80 ЛЕТ
ИЛ СО РАН

Лесные экосистемы бореальной зоны: биосферная роль, биоразнообразие, экологические риски

Материалы международной конференции
16–20 сентября 2024 г.

Электронное издание

Красноярск - 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЕВА СО РАН – ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ
ФИЦ КНЦ СО РАН

ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ: БИОСФЕРНАЯ РОЛЬ, БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

Материалы международной конференции
Красноярск, 16–20 сентября 2024 г.

Красноярск, 2024

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL STATE BUDGET SCIENTIFIC INSTITUTION, FEDERAL RESEARCH CENTER
«KRASNOYARSK SCIENCE CENTER OF THE SIBERIAN BRANCH
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES»

V.N. SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST – SEPARATE SUBDIVISION OF THE FRC KSC SB RAS

FOREST ECOSYSTEMS OF BOREAL ZONE: BIOSPHERIC ROLE, BIODIVERSITY, ECOLOGICAL RISKS

Proceedings of the International Conference
Krasnoyarsk, September 16–20, 2024

Krasnoyarsk, 2024

УДК 630+574
ББК 43+28
Л506

Лесные экосистемы бореальной зоны: биосферная роль, биоразнообразие, экологические риски. Материалы международной конференции. Красноярск, 16–20 сентября 2024 г. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2024. – 458 с.

В материалах международной конференция, посвященной 80-летию Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН и 300-летию Российской академии наук, представлены результаты исследований лесных экосистем бореальной зоны в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов по основным направлениям: биоразнообразие лесных экосистем; динамика и мониторинг лесных экосистем; пулы и потоки углерода в лесных экосистемах; дендроэкологический мониторинг лесных экосистем; лесные ресурсы и лесоуправление; лес и вода; пожары в лесных экосистемах; болезни и вредители леса: век XXI; техногенно-нарушенные экосистемы; антропогенные и природные риски уязвимости городских насаждений; селекционно-генетические и геномные исследования бореальных лесов; биотехнология и глубокая переработка лесных продуктов. Для сотрудников исследовательских учреждений, преподавателей, работников лесного хозяйства, аспирантов и студентов.

Forest Ecosystems of Boreal Zone: Biospheric role, Biodiversity, Ecological Risks. Proceedings of the International Conference. Krasnoyarsk, September 16–20, 2024. Krasnoyarsk: IF SB RAS, 2024. – 458 p.

The proceedings of the international conference, dedicated to the 80th anniversary of the V.N. Sukachev Institute of Forest – separate subdivision of the FRC KSC SB RAS and 300th anniversary of the Russian academy of sciences, present the results of studies of forest ecosystems of the boreal zone in forest protection, conservation and reproduction of the main areas: biodiversity of forest ecosystems; dynamics and monitoring of forest ecosystems; carbon pools and fluxes in forest ecosystems; dendroecological monitoring of forest ecosystems; forest resources and management; forest and water; fires in forest ecosystems; forest diseases and pests: XXI century; anthropogenically-disturbed ecosystems; anthropogenic and natural risks of urban forest vulnerability; selection and genetic and genomic studies of boreal forests; biotechnology and deep processing of forest products. For employees of research institutions, teachers, forestry workers, graduate students and students.

Печатается по решению программного комитета конференции
Материалы публикуются в авторской редакции

Ответственный редактор А.В. Пименов

Мероприятие проведено при финансовой поддержке ФИЦ КНЦ СО РАН, «Важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически-активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах”» (Российские инновационные технологии мониторинга углерода — «РИТМ углерода» https://ritm-c.ru/), ООО “Красноярский городской центр озеленения” и ПАО «ГМК «Норильский никель».

ISBN 978-5-6052145-0-2

© Коллектив авторов, 2024
© ИЛ СО РАН (дизайн обложки и оригинал-макет), 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Агафонов Л. И., Бубнов М.О., Вьюхина А.А., Гурская М.А., Дэви Н.М., Комарова А.В. Островные боры Южного Урала и Зауралья в контексте климата и геоморфологических условий……. 12
Алексеев А.Б., Плотникова А.С., Шевченко Н.Е. Разработка методики оценки вертикальной сквозистости древостоя по данным воздушного лазерного сканирования…….. 14
Алтаев А.А. Лесные ресурсы российско-монгольских приграничных территорий на примере Республики Бурятия……... 16
Аминев П.И. Биаторелловый рак как фактор уязвимости соснового подроста…… 19
Аненхонов О.А. Применение понятия «эпиассоциация» к ассоциациям флористической классификации лесной растительности при ограниченности натурных данных (на примере Восточного Прибайкалья)……. 21
Антонова Г.Ф., Стасова В.В. Структурные и метаболические изменения в стволах сосны обыкновенной в постпирогенный период…… 24
Асанов С.К., Идирисов А. Лесокультурные мероприятия для создания защитных насаждений в Нарынской области Кыргызской Республики..... 26
Астраханцева Н.В., Кузнецова Г.В., Барченков А.П., Щерба Ю.С. Аккумуляция каллозы во флоэме гомо- и гетеропластических прививок и непривитых деревьев хвойных…… 29
Афанасьева Л.В., Калугина О.В. Изменение репрезентативных показателей состояния ассимилирующей фитомассы светлохвойных деревьев в условиях воздействия эмиссий алюминиевого производства……... 31
Бажина Е.В., Аминев П.И. Оценка состояния темнохвойных древостоев…….. 33
Бауэр Э.Е., Новикова С.В., Бондар Е.И., Шаров В.В., Орешкова Н.В., Жук Е.А., Васильева Г.В., Горошкевич С.Н., Крутовский К.В. Изучение генетических механизмов доминирования апикального роста деревьев путем сравнительного анализа дифференциальной экспрессии генов у «ведьминых метел» и нормальной кроны сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны кедровой сибирской (*P. sibirica* Du Tour)…… 35
Безденежных И.В. Возможности увеличения доли насаждений сосны сибирской…… 37
Белоусова Д.А., Ильин В.А., Попкова М.И., Арзак А., Шишов В.В. Анализ и прогнозное моделирование роста камбиальной зоны хвойных средствами веб-приложения VS-Cambium-Developer……... 39
Бенькова В.Е., Ахметов Р.С., Шашкин А.В., Дукенов Ж.С., Овчинников Д.В., Бенькова А.В., Досманбетов Д.А., Уашев М.А., Шашкин Е.А., Кладько Ю.В., Машуков Д.А. Дендрохронологические исследования туранги разнолистной (*Pópulus diversifolia* Schrenk) в пойменных насаждениях Казахстана…… 42
Бобкова К.С., Лиханова Н.В., Кузнецов М.А. Влияние зимних сплошнолесосечных рубок на обмен веществ в системе почва – фитоценоз в ельниках на полугидроморфных почвах…….. 44
Бондар Е.И., Мирошникова К.А., Шаров В.В., Кузьмин Д.А., Орешкова Н.В., Крутовский К.В. Референсный геном лиственницы сибирской в популяционной и сравнительной геномике хвойных видов…… 46
Бондарев А.И., Машуков Д.А., Мухортова Л.В. Оценка скорости накопления биомассы гипоарктическими кустарничками в восточном Таймыре……. 48
Брюханов А.В., Жила С.В., Фуряев И.В. Оценка постпирогенных сукцессий в местах проведения контролируемых выжиганий на вырубках в горных темнохвойных лесах…….. 50
Брянин С.В. Роль пирогенного угля в динамике тонких корней лиственничников Верхнего Приамурья……... 52
Велисевич С.Н. Влияние кратковременных погодных аномалий на плодоношение кедра сибирского……... 54
Волокитина А.В., Корец М.А., Софронова Т.М., Цветков П.А. Карты растительных горючих материалов для прогноза возникновения и поведения пожаров растительности на ООПТ…… 56
Волокитина А.В., Софронова Т.М., Софронова А.В. Методы прогнозирования почвенно-торфяных пожаров в заболоченных лесах……. 58
Гапаров К.К., Акматакунова Б.Т., Абдилабек У.Э. Промерзание почв и его влияние на гидрологические функции еловых лесов Кыргызстана……. 60
Гарус И.А. Разработка лесохозяйственных и экосистемных мероприятий по повышению средозащитных функций водоохранных лесов Иркутской области на основе комплексной лесоводственно-экологической оценки…… 62
Гниненко Ю.И., Сергеева Ю.А., Гниненко А.Ю., Чернова У.А. Возможности классического биометода в защите леса…… 64
Гончарова И.А., Скрипальщикова Л.Н., Барченков А.П. Антропогенное влияние на живой напочвенный покров сосновых ценозов Красноярской лесостепи…… 66
Горбач Н.М., Старцев В.В., Севергина Д.А., Паюсова И.В., Дымов А.А. Химический состав лизиметрических вод в естественном лесу и на вырубке…… 68

Горина Н.В., Куликова В.О. Динамика возгораний в лесах Томской области в связи с деятельностью местного населения……. 70
Горичев Ю.П. Особенности высотной дифференциации широколиственных и темнохвойных лесов на западном склоне Южного Урала…… 72
Гриднев А.Н., Овчинникова Н.Ф., Живец Т.И. Рост и развитие сосны кедровой корейской разного географического происхождения в условиях Уссурийского лесничества Приморского края……. 75
Гродницкая И.Д., Сенашова В.А., Пашкеева О.Э., Трусова М.Ю. Роль эндофитных бактерий в патогенезе темнохвойных пород бореальных лесов…… 77
Гурская М.А., Кавун К.А., Агафонов Л.И. Годичный прирост тополя черного в пойме р. Тура (Свердловская область)…….. 80
Данилина Д.М., Коновалова М.Е., Назимова Д.И. Итоги стационарных исследований структуры черневых кедровых лесов на постоянных объектах Ермаковского стационара Института леса СО РАН……... 82
Данилова И.В., Буренина Т.А. Оценка гидрологического режима после рубок и пожаров в лесах Приангарья…….. 85
Добронравина В.Н., Волкова Е.А., Храмцов В.Н., Кушневская Е.В. Динамика лесной растительности памятника природы «Комаровский берег» (г. Санкт-Петербург) по результатам 15-летнего мониторинга…….. 87
Доржсурэн Ч., Алтанзагас Б., Цогт З., Балжинням У., Ундраа М. Аллометрические модели надземной биомассы деревьев лесообразующих древесных пород в Монголии……. 89
Дрейман И.А., Вайс А.А. Оценка запаса углерода в маломерной древесине и хвое пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) в условиях Центральной Сибири…… 91
Дугаржав Ч., Цогт З. Вклад сибирских ученых Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН в изучение лесов Монголии…….. 93
Евграфова С.Ю., Мухортова Л.В., Децура А.Е., Ануева Д.О., Кривобоков Л.В., Масягина О.В. Гетеротрофная характеристика почв лиственничных редколесий лесотундровой зоны Средней Сибири……. 96
Евдокименко М.Д. Природа пожаров в байкальских лесах…… 98
Евлаков П.М., Гродецкая Т.А., Жужукин К.В. Оценка потенциальной углерододепонирующей способности быстрорастущих древесных пород тополя и березы ювенильного возраста……. 100
Егоров А.А., Глухова Т.В., Широковская А.А. Динамика запаса древостоя в *сосняке андромедо-пушицево-сфагновом* за 50 лет при экстенсивном осушении в условиях подтайги Европейской России (Западнодвинский лесоболотный стационар)……. 102
Елисеев А.О., Бисирова Э.М., Керчев И.А. Связь вегетационных индексов и запасов надземной фитомассы в очагах инвазивных стволовых вредителей в Западной Сибири…….. 104
Елисеев С.Г., Жила С.В., Казицин С.Н. Исследование изменения свойств древесины погибших древостоев на территории Красноярского края…… 106
Желдак В.И. Общие принципы ведения лесного хозяйства в защитных лесах и их региональная реализация……... 109
Жила С.В., Фуряев И.В., Ковалева Н.М. Оценка запасов горючих материалов в нарушенных полиграфом уссурийским темнохвойных насаждениях Красноярского края…….. 111
Забродин А.Н., Пономарёв Е.И. Оценка степени пожарного воздействия на древостои Сибири на основе спектральных индексов по дистанционным данным……. 113
Залесов С.В., Безденежных И.В., Бунькова Н.П., Осипенко А.Е. Проблема интенсификации лесопользования и пути её решения……. 115
Залесов С.В., Секерин И.М., Кузнецов Л.Е., Куксин Г.В. Проблема лесных торфяных пожаров и пути ее решения…….. 117
Звягинцев В.Б., Жданович С.А. Эффективность и перспективы развития биологического метода защиты хвойных лесов от корневых гнилей…… 119
Злобин А.А. Эффективность использования лесных ресурсов Красноярского края в условиях глобальных изменений……... 121
Зубарева А.М., Глаголев В.А. Оценка антропогенной пожароопасности на территории Дальневосточного федерального округа…….. 123
Зырянова О.А. Пирогенные сукцессии в формации *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. (основные сценарии, разнообразие видов и послепожарная трансформация)…… 125
Иванов А.В., Масютина Ю.А., Брянин С.В. Изменение надземных запасов углерода в лиственничных лесах Дальнего Востока под действием пожаров разной интенсивности……. 127
Иванов В.А., Пономарёв Е.И. Грозоактивность и лесные пожары на территории Средней Сибири 129
Иванова Г.А. Зонально-географические особенности лесных горючих материалов в сосняках Средней Сибири…….. 131
Иванова Ю.Р., Скок Н.В. Изучение сезонной динамики лесных экосистем фенологическими методами…….. 133

Иванова Ю.Р., Сухих Г.А. Применение вегетационного индекса для характеристики растительного покрова карбонового полигона…….. 135
Иванчина Л.А., Игошева Е.А. Особенности строения усыхающих еловых древостоев осинского лесничества пермского края по диаметру…… 137
Им С.Т., Двинская М.Л., Петров И.А. Динамика горно-таежных лесов хребта Танну-Ола по данным дистанционного зондирования…… 139
Казарян Л.К., Лоскутов С.Р. Хвоя сосны (*Pinus sylvestris* L.) и ели (*Picea obovata* L.) как возобновляемый ресурс для пиролитической переработки…… 141
Калугина О.В., Афанасьева Л.В. Изменение содержания липидов и их жирнокислотного состава в хвое *Larix sibirica* при воздействии техногенных эмиссий…… 143
Канев В.А., Гончарова Н.Н., Дубровский Ю.А. Современное состояние флоры и растительности лесного заказника «Ляльский» (подзона средней тайги Республики Коми)…… 145
Карпун Н.Н. Новые находки кипарисовой радужной златки *Lamprodila festiva* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera: Buprestidae) на юге европейской части России…… 147
Катютин П.Н., Ставрова Н.И., Лянгузова И.В. Ценопопуляции сосны обыкновенной в естественных и антропогенно трансформированных лесных экосистемах…….. 149
Кирдянов А.В., Арзак А, Прокушкин А.С., Овчинников Д.В., Бондарев А.И., Сергеева О.В., Шишов В.В. Потеря чувствительности радиального прироста лиственницы к изменениям температуры в подзоне южной тайги Средней Сибири…….. 151
Кирдянова А.А., Катютин П.Н., Ганюшкин Д.А. Особенности формирования лиственничных древостоев при отступлении ледников в условиях Алтая (Южно-Чуйский хребет) 153
Клочихина Л.И. Лесопатологические исследования и мониторинг в федеральном заказнике «Цасучейский бор»……. 155
Кнорре А.А., Ерунова М.Г., Назимова Д.И. Ландшафтно-экологическая приуроченность кедра (*Pinus sibirica*) в национальном парке «Красноярские Столбы»…… 158
Ковалев А.В., Суховольский В.Г. Оценка риска повреждения сибирских таежных лесов насекомыми- вредителями по данным ДЗЗ…….. 161
Ковалева Н.М., Иванова Г.А., Жила С.В. Пирогенная трансформация живого напочвенного покрова в светлохвойных насаждениях Нижнего Приангарья…… 163
Колмогоров А.И., Кирдянов А.В., Николаев А.Н., Арсак А. Дендроклиматический анализ лиственницы на северо-востоке России …….. 165
Коломыц Э.Г. Ресурсный потенциал лесных экосистем в поглощении парниковых газов и в адаптации к глобальному потеплению……. 167
Комарова И.А., Лямцев Н.И. Методы выявления очагов и оценки численности стволовых вредителей……... 171
Кондратова А.В. Влияние постпирогенного угля на разложение опада при усложнении фаунистического сообщества…… 173
Коновалова М.Е., Данилина Д.М., Назимова Д.И. Многолетние исследования горных лесов на Ермаковском ОЭП Института леса: методы, результаты, перспективы…… 175
Копысов С.Г., Елисеев А.О. Особенности перераспределения влаги лесными биогеоценозами на Томь-Яйском междуречье…….. 177
Коротаева Н.Е., Шмаков В.Н., Бельков В.И., Горбенко И.В., Пятрикас Д.В. Влияние водного дефицита на экспрессию генов дегидринов каллусной культуры сосны обыкновенной…… 179
Корчагов С.А., Конюшатов О.А., Беляков Д.В. Экономическая эффективность сплошных рубок с сохранением ключевых биотопов……. 182
Котельников Р.В. Долгосрочный прогноз основных параметров пожароопасного сезона в лесах Российской Федерации…….. 184
Котенева А.С., Колмогоров А.И., Кошурникова Н.Н., Арсак А., Кирдянов А.В. Динамика границы распространения лиственницы Каяндера в низовьях р. Индигирка на северо-востоке Сибири…… 186
Кошкаров А.Д., Косов И.В., Зубарева О.Н., Прысов Д.А., Тимошкин В.Б. Географическая информационная система «Экологические условия и экоурбанистика г. Красноярска и его окрестностей»……. 188
Кошкарова В.Л., Кошкаров А.Д., Назимова Д.И. Палеоэкологические реконструкции динамики растительности и климата в голоцене на горном профиле Ермаковского стационара (бассейн р. Кебеж, Западный Саян)…….. 190
Кравченко А.Н., Экарт А.К., Ларионова А.Я., Семерикова С.А. Дифференциация популяций ели сибирской и ели корейской на основе анализа изменчивости маркеров хлоропластной и митохондриальной ДНК……. 192
Красноперова П.А., Ковалев А.В., Суховольский В.Г. Привлекательность лесных насаждений для насекомых: ретроспективный анализ временных рядов годичных колец деревьев с применением флуктуационно-диссипационной теоремы…….. 194

Кривец С.А., Бисирова Э.М., Керчев И.А., Пац Е.Н., Удалой А.В. Роль инвазивных насекомых – стволовых дендрофагов в деградации хвойных древостоев на пунктах мониторинга углеродного баланса в Западной Сибири…… 196
Кривобоков Л.В., Мухортова Л.В., Бондарев А.И. Эколого-географические особенности и ценотическая структура лиственничных редколесий западной окраины Анабарского плато…… 199
Крутовский К.В., Новикова С.В., Шаров В.В., Орешкова Н.В., Жирнова Д.Ф., Белокопытова Л.В., Бабушкина Е.А., Демидко Д.А., Бисирова Е.М., Ваганов Е.А. Дендрогеномика – современный междисциплинарный подход в изучении адаптивного генетического потенциала популяций лесных деревьев…….. 202
Кузнецова Г.В. Отселектированное клоновое потомство кедровых сосен на плантации в Красноярской лесостепи…… 204
Кузнецова Э.А., Шавкатбеков Т.Ш. Метеорологические условия весеннего периода как фактор пирогенной опасности юга Тюменской области…… 206
Кузьмин С.Р., Кузьмина Н.А. Оценка прямоствольности сосны обыкновенной в географических культурах в Сибири…… 208
Кулаков С.С., Татаринцев А.И., Демидко Д.А., Хижняк Н.П. Макромицеты севера Красноярского края (район города Норильска)……. 210
Ларина Г.Е., Серая Л.Г. О целесообразности применения внутристволовых инъекций с инсектицидами в лесных полосах агроландшафтов из ясеня пенсильванского…… 212
Лобанов А.И., Гордеева Г.Н., Коновалова Н.А., Мулява В.В., Мулява В.Е. Повышение биоразнообразия методами интродукции древесных растений в Средней Сибири……. 214
Лобанов А.И., Чебочаков Е.Я., Кравцова Л.П., Коновалова Н.А., Мулява В.В., Мулява В.Е. Агроэкологические аспекты защитного лесоразведения на юге Средней Сибири…….. 217
Лоскутов С.Р. О термодинамической концепции взаимодействия древесины с низкомолекулярными веществами…… 220
Лоскутов С.Р., Казарян Л.К., Пермякова Г.В., Пименов А.В. Термогравиметрическая индикация изменчивости физико-химических свойств хвои *Picea obovata* Ledeb. различных популяций……. 222
Луценко Т.Н., Кожевникова Н.К., Болдескул А.Г., Юрченко С.Г. Растворенные биогенные элементы в природных водах горно-лесных ландшафтов южного Сихотэ-Алиня (Приморский край, Россия)……... 224
Лянгузова И.В., Катютин П.Н. Динамика содержания тяжелых металлов при мониторинге лесных экосистем в условиях аэротехногенного загрязнения разной интенсивности……. 226
Маергойз Л.С. Модель управления режимом работы источников загрязнения атмосферы мегаполиса……... 228
Малиновских А.А. Изменения состава и структуры лесных насаждений в пригородных лесах Барнаула…….. 230
Мальканова А.В., Пономарёв Е.И. Природные пожары и пространственные закономерности динамики метеопоказателей в Сибири……. 232
Мартирова М.Б., Мамаев Н.А., Пахучий В.В., Пахучая Л.М., Поповичев Б.Г., Селиховкин А.В. Сравнительный анализ состояния таежных лесных экосистем на северо-западе в европейской части России…… 234
Масютина Ю.А., Иванов А.В. Анализ многолетней динамики NDVI после пожаров в бореальных лесах Дальнего Востока……. 236
Махныкина А.В., Панов А.В., Арясов В.Е., Полосухина Д.А., Прокушкин А.С. Межсезонная изменчивость эмиссионных потоков CO_2 в сосняках Средней Сибири …….. 238
Машуков Д.А., Бенькова А.В., Бенькова В.Е., Шашкин А.В., Прокушкин А.С., Шашкин Е.А., Качаев А.В. Радиальный прирост деревьев в криогенном лиственничнике после локального антропогенного нарушения …….. 240
Мирошникова К.А., Литовка Ю.А., Павлов И.Н. Применение метабаркодинга для изучения микобиома филосферы лиственницы сибирской в условиях техногенного загрязнения (Норильский промышленный район) и заражения корней деревозразрушающим грибом *Porodaedalea niemelae*…… 242
Михайлова Т.А., Шергина О.В. Индикация состояния городских лесных биогеоценозов……. 244
Михеева Н.А., Мусохранова А.В., Мухортова Л.В. Запасы фитомассы и почвенного углерода сосняков разнотравно-зеленомошных гемобореальной зоны Средней Сибири…….. 246
Мичурин Н.Н., Мориц Р.С., Осколков В.А., Воронин В.И. Влияние продолжительного дефицита увлажнения на радиальный прирост лиственницы сибирской…….. 248
Модоров М.В., Кукарских В.В. Индикация последствий Кыштымской аварии методами дендрохронологии…….. 250
Морозова Т.И., Воронин В.И. Лесопатологический мониторинг в Прибайкалье…… 252
Москалюк Т.А. Парцеллярная структура широколиственных лесов на склонах северной экспозиции в Южном Приморье…… 253

Моченов С.Ю., Мишина М.С., Суворов Г.Г. Потоки CH_4 и CO_2 в заболоченных лесах Центрально-Лесного заповедника…….. 255
Муратова Е.Н., Седельникова Т.С., Горячкина О.В., Пименов А.В. Кариологические исследования хвойных в экстремальных условиях произрастания …….. 257
Мурзакматов Р.Т. Угольное месторождение Кавакского буроугольного бассейна Кыргызской Республики и его экологические проблемы …… 259
Мухин В.А., Диярова Д.К., Жуйкова Е.В. Температурная динамика углеродного дыхания древесного дебриса и ее драйверы……. 261
Мухортова Л.В., Бондарев А.И., Кривобоков Л.В., Метелева М.К. Структура запасов углерода в лиственничных экосистемах лесотундры Средней Сибири …….. 263
Назаров Н.Г. Оценка воздействия деятельности евразийского бобра на фитоценозы Раифского участка Волжско-Камского заповедника…….. 265
Назимова Д.И., Карсаков А.А., Пономарёв Е.И. Анализ пространственной структуры высотно-поясного спектра на горном профиле с использованием космосъемки и спектральных характеристик ……. 267
Намзалов Б-Ц.Б., Преловская С.З., Намзалов М.Б-Ц. Полыни травяных гемибореальных лесов Селенгинского среднегорья – ресурс лекарственного растениеводства в Бурятии …… 269
Нарыкова А.Н., Плотникова А.С., Ахметова Г.В., Данилова М.А., Кузнецова А.И. Моделирование экосистемных функций лесов на примере запасов углерода в лесной подстилке республики Карелия и Карельского перешейка (Ленинградская область)…… 271
Некляев С.Э., Ларина Г.Е., Серая Л.Г. Биоинтенсификация микогенного ксилолиза древесного отпада и порубочных остатков для снижения уровня антропогенного воздействия на лесные биоценозы…… 273
Нелюбина П.Е., Павличенко В.В., Протопопова М.В. Филогеографическая структура неморального реликта *Anemone altaica* Fisch. ex C.A. Mey. в Южной Сибири…… 275
Нестерова О.В., Семаль В.А., Брикманс А.В. Нормативно-правовое обеспечение управления лесными ресурсами в России…… 277
Никифоров А.Н., Грачев И.Г. Влияние инвазионных дендрофагов на свойства почв припоселковых кедровников и энергетический потенциал гумуса……... 279
Николаева С.А., Савчук Д.А. Структура и динамика кедровников зеленомошных в бассейне среднего течения р. Оби …… 281
Новикова С.В., Орешкова Н.В., Шаров В.В., Жирнова Д.Ф., Белокопытова Л.В., Бабушкина Е.А., Демидко Д.А., Крутовский К.В. Изучение генетических механизмов адаптации к стрессовым факторам у сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica* Du Tour) с использованием дендрогеномного подхода и полногеномного генотипирования…….. 283
Озерова С.Д., Деркач Е.С. Разнообразие лесов Санкт-Петербурга…… 285
Онучин А.А. Парадигма устойчивого управления лесами: дань моде или стратегия……. 287
Онучин А.А., Мусохранова А.В., Буренина Т.А. Климат и гидрологический статус лесов…… 289
Осипов А.Ф. Корреляция между поступлением древесного опада и характеристиками древостоев среднетаежных сосняков на Северо-Востоке европейской части России……. 291
Осипов А.Ф., Дымов А.А. Дыхание почвы волоков на вырубке среднетаежного хвойно-лиственного насаждения в зависимости от числа проходов лесозаготовительной техники…… 293
Осколков В.А., Мориц Р.С., Мичурин Н.Н., Воронин В.И. Реконструкция природных процессов на севере Республики Бурятия по дендрохронологическим данным……. 295
Пахарькова Н.В., Шикалова Е.А., Максимова К.М., Куппер И.И., Калабина А.А., Позднякова Е.Е. Распространение *Pinus sibirica* выше границы леса на склонах хребта Борус (Западный Саян)…… 297
Пашенова Н.В., Кабилов М.Р., Керчев И.А. Микоассоцианты союзного короеда в инвазионных сибирских популяциях вредителя…….. 299
Перевощикова А.А., Митракова Н.В., Хайрулина Е.А. Оценка биоразнообразия в природно-техногенных ландшафтах горнопромышленного профиля…… 302
Перфильева А.И., Крутовский К.В. Нанокомпозиты на основе наночастиц селена и марганца в природных полимерных матрицах как средства защиты растений от бактериозов…… 304
Петренко А.Е., Прокушкин С.Г., Зырянова О.А. Формирование экологических условий и живого напочвенного покрова у отдельных деревьев и в их группах в средневозрастном сосняке…… 306
Пилецкая О.А., Брянин С.В. Влияние современной пирогенной динамики на активность ферментов углеродного цикла в лесах Приамурья…….. 308
Пименов А.В., Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Седельникова Т.С. Биоразнообразие и ресурсный потенциал лесоболотных экосистем Западной Сибири…….. 310
Плакхина Е.В., Малышкина Е.Е. Использование ресурса о биоразнообразии GBIF для предварительного анализа фауны региона и оценки качества проведенного мониторинга…… 312
Плотникова А.С., Гопп Н.В., Мешалкина Ю.Л., Нарыкова А.Н., Чернова О.В., Честных О.В. Геопространственное моделирование запасов почвенного органического углерода лесных экосистем на региональном уровне по данным консорциума «РИТМ углерода»…… 314

Пляшечник М.А., Анискина А.А. Летучие соединения растений-интродуцентов дендрария Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН……. 316
Пожидаева А.Е., Колесникова В.М. Трансформация лесных экосистем под влиянием антропогенного воздействия на стоянках Большой Валдайской тропы …….. 318
Полякова Г.Г., Соколова Н.В., Сенашова В.А., Подоляк Н.М. Деградация пригородных сосняков Красноярска, вызванная токсичностью воздуха…….. 320
Пономарёв Е.И., Забродин А.Н. Интенсивность пожаров Сибири и прямые пожарные эмиссии по данным спутниковых съемок…… 322
Пономарёва Т.В. Современные исследования почвенного покрова трансформированных ландшафтов криолитозоны Средней Сибири…….. 324
Попова А.А., Литовченко Д.А., Матвеев С.М. Выделение контрастных форм дуба черешчатого в географических культурах ……. 326
Приходько О.Ю. Характеристика воспроизводства лесов в Приморском крае…… 328
Протопопова М.В., Павличенко В.В., Нелюбина П.Е. Неморальные реликты как компонент гемибореальных лесных экосистем Южной Сибири: молекулярно-генетические подходы к их изучению……. 330
Прысов Д.А., Зубарева О.Н., Мусохранова А.В., Пляшечник М.А., Казарян Л.К. Зонирование бассейна реки Черемушка г. Красноярска по уровню пылевого загрязнения снежного покрова….. 332
Ромашкин И.В., Кикеева А.В., Нуколова А.Ю., Фомина Е.В., Крышень А.М. Динамика годового хода температуры валежа и почвы в зоне его влияния в условиях старовозрастного среднетаежного ельника черничного (заповедник «Кивач»)…….. 334
Рыжкова В.А., Данилова И.В., Корец М.А., Назимова Д.И. Картографирование и оценка ландшафтного разнообразия Саяно-Шушенского биосферного заповедника …… 336
Сабиров Р.Н. Ценотическое разнообразие долинных лесов острова Сахалин……. 338
Сабреков А.Ф., Куприянова Ю.В., Коваль А.А., Ильясов Д.В., Глаголев М.В., Лапшина Е.Д. Трансформация наземного опада различается на разных стадиях послепожарной сукцессии среднетаежного леса: анализ с помощью ИК-Фурье спектрометрии…… 340
Санданов Д.В., Зверев А.А. Сравнительный анализ лесной флоры Тункинской котловины и окружающих предгорий…… 342
Сафронова И.Е., Шилкина Е.А., Ибе А.А., Сухих Т.В. Микобиота подроста сосны обыкновенной предварительного возобновления на территории Емельяновского лесничества……. 344
Селиховкин А.В., Рысс А.Ю. Ассоциации дендрофильных насекомых, нематод и грибов древесных растений: постановка задачи…….. 346
Семенович А.В., Пермякова Г.В. Методы утилизации коры хвойных пород Сибири …… 349
Сенашова В.А., Гродницкая И.Д., Сорокина О.А., Антонов Г.И., Пашкеева О.Э. Формирование почвенных микробных сообществ под географическими культурами *Pinus* sp. в зоне Ширинской степи…… 351
Серая Л.Г., Ларина Г.Е. Фитопатологическая ситуация в зоне бореальных лесов на селитебных территориях с посадками растений семейства бересклетовых……. 353
Сидоренков В.М., Ачиколова Ю.С., Рябцев О.В., Астапов Д.О. Результаты комплексного обследования ленточных боров Алтая: оптимизация способов лесопользования…….. 355
Синюткина А.А. Оценка запасов углерода в торфяной залежи заболоченных лесов в зоне влияния Большого Васюганского болота…… 358
Скрипальщикова Л.Н., Гончарова И.А., Астраханцева Н.В., Барченков А.П., Шушпанов А.С., Белянин А.В., Фомичев И.В. Экологическая роль пригородных лесов в формировании благополучной среды на урбанизированных территориях……. 360
Смирнов Н.А. Запас и структура крупных древесных остатков в припоселковых кедровниках южно-таежной зоны Западной Сибири…… 362
Собачкин Д.С., Собачкин Р.С., Петренко А.Е. Углерододепонирующая способность средневозрастных сосняков …….. 364
Собачкин Р.С., Собачкин Д.С., Петренко А.Е. Запас углерода в сосновых молодняках после экспериментальных рубок……. 366
Соколов В.А., Втюрина О.П., Злобин А.А., Москвич О.Ю. Совершенствование лесоуправления в России…….. 368
Соколова Н.А., Соколов Д.А., Лащинский Н.Н. Оценка запасов углерода в почвах карбонового полигона BioCarbon, г. Новосибирск…… 370
Сорока А.О., Недбаев И.С., Семёнова Е.И. Ключевые климатические риски уязвимости лесных экосистем Красноярского края…….. 372
Стасова В.В., Астраханцева Н.В., Скрипальщикова Л.Н., Барченков А.П. Морфолого-анатомические характеристики хвои побегов разной сексуализации у сосны обыкновенной …… 374
Стороженко В.Г. Баланс биомассы и грибные гетеротрофы коренных ельников тайги…….. 376
Суслопарова Е.С., Брянин С.В. Влияние лесных пожаров на параметры тонких корней в лиственничниках Верхнего Приамурья…… 378

Суховольский В.Г. Закономерности популяционной динамики лесных насекомых…… 380
Сымпилова Д.П. Влияние низовых пожаров на свойства почв в сухих сосновых лесах Селенгинского среднегорья……... 382
Сыроежко М.Ю., Пономарёв Е.И. Аномалии спектральных индексов в оценке состояния территории Севера…….. 384
Тараканов В.В., Дубовик Д.С., Бородинцева Л.И. Влияние полноты сосновых древостоев на формирование подроста в Верхнеобском бору……. 386
Тимошок Е.Н., Тимошок Е.Е., Райская Ю.Г. Лиственничные леса в современных горно-ледниковых бассейнах (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай)……. 388
Токарева И.В., Прокушкин А.С. Особенности содержания биогенных элементов в инфильтрационных водах подстилок сосняков Средней Сибири ……. 390
Третьяков П.Д., Пономарёв Е.И. Закономерности горимости лесов арктической зоны Сибири при современных трендах метеорологических характеристик……. 393
Третьяков П.Д., Пономарёва Т.В. Тренды температурного режима почв тундровых ландшафтов в Красноярском крае…….. 395
Третьякова И.Н., Пак М.Э. Сортовое плантационное лесовыращивание на основе технологии соматического эмбриогенеза *in vitro* …… 397
Тычков И.И., Шишов В.В., Кирдянов А.В., Ильин В.А., Арзак А. Влияние потепления на изменения в фенологии роста хвойных деревьев бореальных лесов Восточной Сибири за период 1960–2014 гг. ……... 399
Тютькова Е.А. Биохимические изменения в годичных кольцах у березы извилистой под влиянием климатического тренда……... 401
Уткина И.А., Рубцов В.В. История стационарных исследований Института лесоведения РАН…… 403
Фарбер С.К., Кузьмик Н.С., Мартынов А.А. Нарушенность лесов Красноярского края с 1955 по 2005 г…… 406
Фарбер С.К., Кузьмик Н.С., Мартынов А.А., Горяева Е.В. Изменение запасов древостоев в Красноярском крае с 1955 по 2005 г……. 408
Федотова Е.В., Харук И.В., Мацейко А.В., Батмаев В.Б. Нейросети без учителя для классификации лесной растительности ……. 410
Чербакова Н.Н., Вараксин Г.С. Размножение разных видов ивы зелеными черенками в открытом грунте Норильского промышленного района…….. 412
Черепанова А.М. Динамика развития и современное состояние Батагайского термоцирка…….. 415
Чернова Н.А., Райская Ю.Г. Запасы углерода в напочвенном покрове папоротниково-разнотравных пихтовых лесов юга Западной Сибири (Томская область)……. 417
Черткова Е.П. Оценка средообразующей экосистемной услуги по запасу и поглощению углерода лесными экосистемами Алтайского государственного заповедника …… 419
Чжан Сяохун, Николаев А.Н., Васильев М.С., Пестрякова Л.А. Связь радиального роста лиственницы и сосны с климатом в Центральной Якутии……. 421
Шамов В.В., Лебедева Л.С., Павлова Н.А., Христофоров И.И., Ван П., Данилов П.П. Надмерзлотные воды в сосновых лесах Центральной Якутии как источники питания малых рек .. 423
Шапченкова О.А., Анискина А.А., Пляшечник М.А., Кукавская Е.А., Лоскутов С.Р. Влияние пожара на физико-химические свойства хвои *Pinus sylvestris* L…… 425
Шахматова Е.Ю. Динамика свойств почв в пирогенно-трансформированных сосновых лесах Западного Забайкалья……. 427
Швецов Е.Г., Голюков А.С., Харук В.И. Оценка многолетней динамики лесных пожаров и степени нарушенности на юге Сибири…… 429
Швецов С.Г. Трансформация, миграция и депонирование природных радионуклидов в лесных ландшафтах юго-западного Прибайкалья…… 431
Шепелев А.Г., Старостин Е.В., Максимов Т.Х. Пулы углерода в среднепродуктивном лиственничном лесу, Центральная Якутия…….. 433
Шергина О.В., Михайлова Т.А. Исследование загрязнения городских деревьев частицами твердого аэрозоля……... 435
Шишикин А.С., Мурзакматов Р.Т. Лесовозобновление на горных отвалах…….. 437
Шишикин А.С., Мурзакматов Р.Т., Брюханов И.И. Восстановление усыхающих кедровников гор юга Сибири…….. 439
Шишкина А.А., Карпун Н.Н. К вопросу о поражении корневой губкой сосны обыкновенной в Серебряноборском опытном лесничестве Московской области…… 441
Шорохова М.А., Кушневская Е.В., Шорохова Е.В., Капица Е.А. Динамика напочвенного покрова в ельниках чернично-сфагновых резервата «Вепсский лес»……. 443
Щуров В.И. Новые приоритеты лесопатологического мониторинга (arthropoda: insecta) в природных и рукотворных древесно-кустарниковых экосистемах северо-западного Кавказа (Краснодарский край, Республика Адыгея)……. 445

Щуров В.И. Значение рукотворных лесонасаждений и антропогенных рефугиумов исконных биомов в формировании современных ареалов редких и малоизвестных видов насекомых (insecta: neuroptera) в агроландшафтах…… 448
Якимов Н.Д., Пономарёв Е.И., Пономарёва Т.В. Идентификация природных и техногенных трансформаций ландшафтов с применением спектральных индексов …….. 451
Agapova V.V., Kirdyanov A.V., Kolmogorov A.I., Koshurnikova N.N., Kukarskih V.V., Devi N.M., Arzac A. Climatic response of coniferous in Northern Russia: analysis using the Delta Blue Intensity method… 453
Mingfang Zhang Studies of Forest and Water in China…….. 455
Farber S.K., Sokolova N.V., Martynov A.A. Mapping the current and the past state of forest stands…… 456

УДК 630*561.24+551.583(470.56)

ОСТРОВНЫЕ БОРЫ ЮЖНОГО УРАЛА И ЗАУРАЛЬЯ В КОНТЕКСТЕ КЛИМАТА И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Л.И. АГАФОНОВ, М.О. БУБНОВ, А.А. ВЬЮХИНА, М.А. ГУРСКАЯ, Н.М. ДЭВИ, А.В. КОМАРОВА

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург (lagafonov@ipae.uran.ru)

Аннотация. Исследован дендроклиматический потенциал древесно-кольцевых хронологий сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на южном пределе распространения бореальных лесов на Южном Урале и в Зауралье. По живым деревьям и исторической древесине построена древесно-кольцевая хронология длительностью более 480 лет. Выявлена значимая связь радиального прироста деревьев с температурой воздуха, атмосферными осадками и индексом суровости засух Палмера (scPDSI). Выявлены региональные различия в функциях отклика радиального прироста деревьев, которые, вероятно, обусловлены геоморфологическими различиями территорий.

INSULAR PINE FORESTS OF THE SOUTH URAL AND TRANS-URALS IN THE CONTEXT OF CLIMATE AND GEOMORPHOLOGICAL CONDITIONS

L.I. AGAFONOV, M.O. BUBNOV, A.A. VYUKHINA, M.A. GURSKAYA, N.M. DEVI, A.V. KOMAROVA

Institute of plant and animal ecology UB RAS, Yekaterinburg (lagafonov@ipae.uran.ru)

Abstract. The dendroclimatic potential of tree-ring chronologies of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at the southern limit of the boreal forest distribution in the southern Urals and Trans-Urals was investigated. A tree-ring chronology with a duration of more than 480 years was constructed from living trees and historical timber. A significant relationship of tree radial growth with air temperature, precipitation and Palmer Drought Severity Index (scPDSI) was found. regional differences in the climatic response functions of tree radial growth were found, probably due to geomorphological differences in the areas.

Бореальная растительность на южном пределе распространения в лесостепи и степной зоне очень информативна в контексте изменений климата. Реликтовые островные боры Южного Урала и Зауралья, годичные кольца живых старовозрастных деревьев, а также историческая и археологическая древесина региона – уникальный источник данных о климате прошлого. Цель работы состоит в построении длительных древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) по живым деревьям, исторической и археологической древесине для исследования и реконструкции таких погодно-климатических факторов, как засухи, температура воздуха и атмосферные осадки.

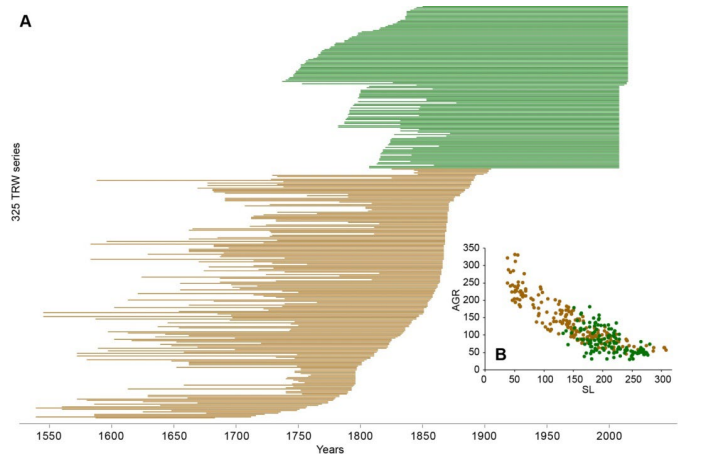


Рис. 1. Распределение во времени индивидуальных древесно-кольцевых хронологий Южного Урала и Зауралья (А) по ширине годичных колец по живым деревьям (зеленый цвет) и историческим постройкам (коричневый цвет) и зависимость между средней скоростью прироста (AGR, мм/год) и длиной хронологии в годах (SL) для каждой выборки (Б)

Выполнено датирование 411 образцов исторической древесины с территории Южного Урала и Зауралья. Датированные хронологии исторической древесины позволили продлить хронологии по живым деревьям и получить общую хронологию для Южного Урала и Зауралья за 1537–2022 годы, в которой использовалось 325 индивидуальных хронологий. На настоящий момент длительность датированных хронологий составляет 483 года (рис. 1).

В программе Seascorr [1] исследованы связи радиального прироста деревьев сосны обыкновенной, произрастающей на тест-полигонах Южного Урала и Зауралья, с климатом (температура воздуха, атмосферные осадки). В обоих регионах ДКХ имеют выраженный и статистически значимый климатический сигнал – влияние температуры воздуха и атмосферных осадков (рис. 2). При этом выявлено сезонное постоянство значимого положительного влияния осадков различных исследованных сезонов, тогда как значимое влияние температуры (имеет отрицательный знак) проявляется в ограниченный период времени – май – июнь.

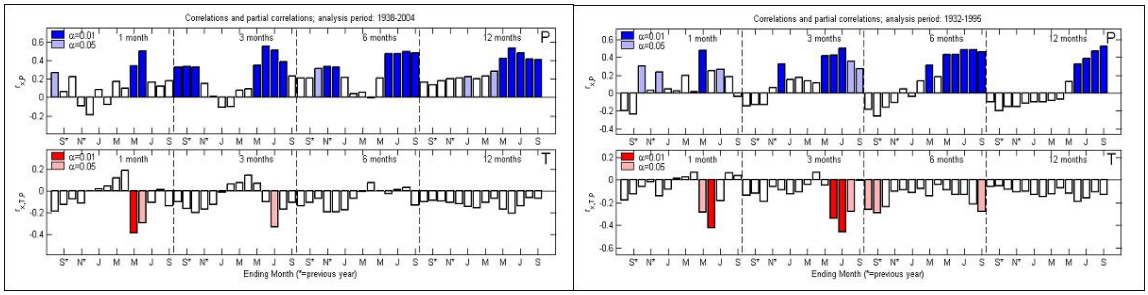


Рис. 2. Коэффициенты корреляции древесно-кольцевых хронологий с Южного Урала (слева) и Зауралья (справа) с сезонными осадками (P) и температурой воздуха (T). Латинскими буквами по шкале абсцисс показаны названия месяцев с сентября предшествующего года по сентябрь текущего. Интенсивность цвета показывает уровень значимости 0.01 и 0.05

Наряду с общим характером влияния климата на прирост выявлены региональные сезонные различия (рис. 2). Для южно-уральских тест-полигонов значимая отрицательная связь прироста с температурой характерна для самого начала сезона вегетации (май), тогда как в Зауралье такая связь более характерна для июня, т. е. происходит сдвиг на 1 месяц. В отношении осадков южно-уральские хронологии более чувствительны к осадкам начала сезона вегетации (май – июнь) и предшествующих сезонов, тогда как для зауральских хронологий более значимы осадки второй половины сезона вегетации (июль – сентябрь), особенно в контексте накопленных осадков по сезонам. Предполагаем, что такой характер связей обусловлен геоморфологическими различиями территорий, особенно почвенными условиями.

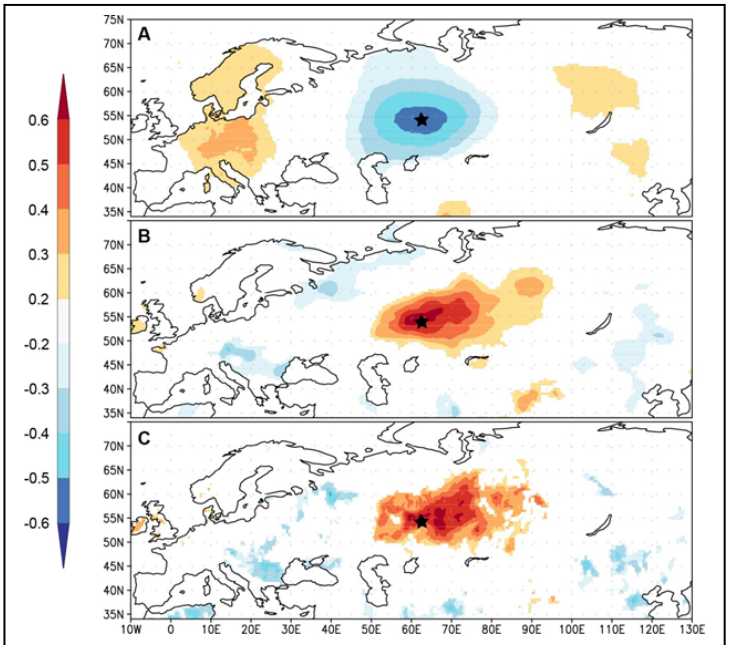


Рис. 3. Пространственные корреляции обобщенных древесно-кольцевых хронологий трех дендрохронологических тест-полигонов (Черный бор, Южный Урал; Каминский и Казак-Кочердыкский боры Зауралья) со средней температурой воздуха (A), атмосферными осадками (B) и индексом суровости засух Палмера scPDSI (C) за сезон май – июль. Климатические данные CRU TS4.01 за 1945–2015 гг. ($p < 10$ %)

Пространственные корреляции обобщенных древесно-кольцевых хронологий трех дендрохронологических тест-полигонов (Черный бор, Южный Урал; Каминский и Казак-Кочердыкский боры Зауралья) со средней температурой воздуха, атмосферными осадками и индексом суровости засух Палмера (рис. 3) за сезон май – июль (1938–2015) показали высокую значимую зависимость прироста от этих факторов, что позволяет использовать эти хронологии для реконструкции климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Meko D.M., Touchan R., Anchukaitis K.J.* Seascorr: A MATLAB program for identifying the seasonal climate signal in an annual tree-ring time series // Computers and Geosciences. 2011. DOI: 10.1016/j.cageo.2011.01.013.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-27-00365 «Историко-археологическая древесина Южного Урала и Зауралья как источник данных о климате прошлых столетий»).

УДК 574+528.88

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВОЗИСТОСТИ ДРЕВОСТОЯ ПО ДАННЫМ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

А.Б. АЛЕКСЕЕВ, А.С. ПЛОТНИКОВА, Н.Е. ШЕВЧЕНКО

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва (poxpox@mail.ru, plotnikova-as-cepl@yandex.ru, neshevchenko@gmail.com)

Аннотация. Древесный ярус – основной компонент, формирующий фитоклимат в лесу. Сквозистость древостоя является комплексным фактором, надежно определяющим такие параметры, как интенсивность светового потока, температура, проникновение осадков к нижним ярусам. Прямое измерение указанных параметров достаточно трудоемко и не может быть выполнено в короткие сроки на больших территориях. В данной работе представлена разработка методики оценки вертикальной сквозистости древостоя по данным воздушного лазерного сканирования.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ESTIMATION OF VERTICAL FOREST CANOPY TRANSPARENCY FROM AIRBORNE LiDAR

A.B. ALEKSEEV, A.S. PLOTNIKOVA, N.E. SHEVCHENKO

Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences, Moscow (poxpox@mail.ru, plotnikova-as-cepl@yandex.ru, neshevchenko@gmail.com)

Abstract. The forest canopy is the main element in the forest that forms the phytoclimate. Forest canopy transparency is a complex factor that reliably determines such parameters as the intensity of the light flux, temperature, and the penetration of precipitation to the lower tiers. Direct measurement of these parameters is quite labor-intensive and cannot be performed in a short time over large area. This paper presents the development of a methodology for estimation of vertical forest canopy transparency from airborne LiDAR.

Под сквозистостью понимается суммарная проекция любых просветов в древостое на: мысленную плоскость над пологом леса – вертикальная сквозистость (рис. 1а); мысленную полусферу, ограниченную горизонтом в любой точке под пологом леса – сквозистость на полусферу (рис. 1б). При этом сквозистость полога древостоя зависит как от сомкнутости крон – просветов между кронами, так и от просветов внутри крон (ажурности) [1].

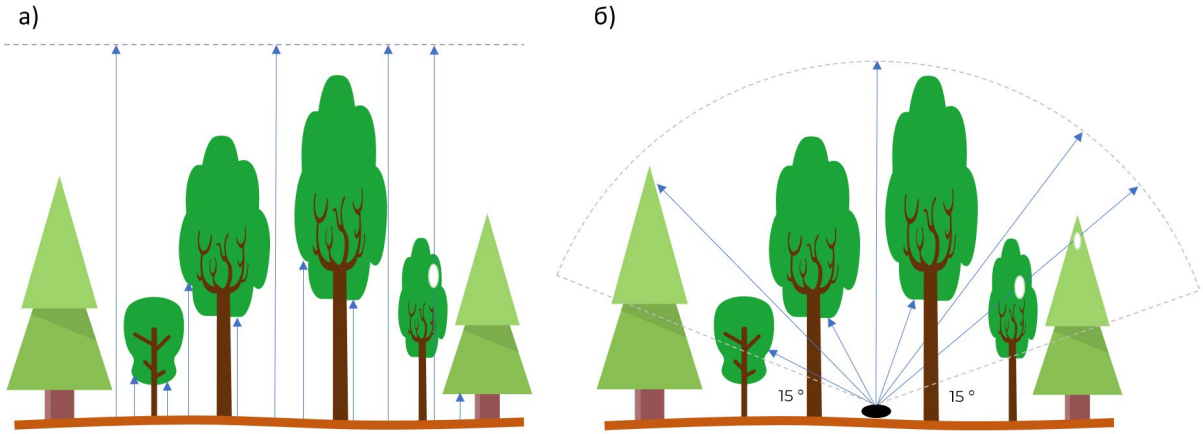


Рис. 1. Сквозистость: а) вертикальная (проективное покрытие), б) на полусферу

Известны различные методы определения сквозистости полога древостоя: фотографический при помощи широкоугольной фотокамеры с последующей обработкой снимков [4], аналоговым прибором – сквозистомером [2]. Существующие методы весьма трудоемки и позволяют получать только точечные оценки сквозистости.

Воздушное лазерное сканирование (ВЛС), являясь высокотехнологичным методом сбора пространственных данных о наземных объектах и рельефе, позволяет оперативно получать трехмерные данные о лесных экосистемах большого пространственного охвата, в том числе в труднодоступных районах, с высокой степенью детальности и точности. Получаемая информация о верхнем пологе и структуре растительности под ним, а также о рельефе позволяет определять количественные и качественные характеристики древостоя.

Объект исследования расположен в подзоне хвойно-широколиственных лесов Тверской области в 77 км к северо-западу от г. Тверь. Объект имеет линейно-протяженную форму, площадь его составляет 4.8 км^2.

Разработана методика оценки вертикальной сквозистости, состоящая из следующих этапов: (1) обработка исходного облака точек ВЛС, классификация облака точек на классы «земля» и «растительность»; (2) сегментация класса «растительность» на 3 яруса по высоте: травянистый, подрост/подлесок, древесный; (3) формирование регулярных бинарных растровых моделей (ячейка 0.2 м) по каждому ярусу, определенных содержанием в ячейке минимум одного лазерного отражения от растительности; (4) агрегация и построение карт сквозистости различного пространственного разрешения (1, 5, 10 м): отношение площади ортогональных проекций просветов на горизонтальную поверхность на единицу площади – площадь агрегируемой ячейки (рис. 2). Дополнительно для каждого яруса был определен процент его вклада в общую сквозистость древостоя.

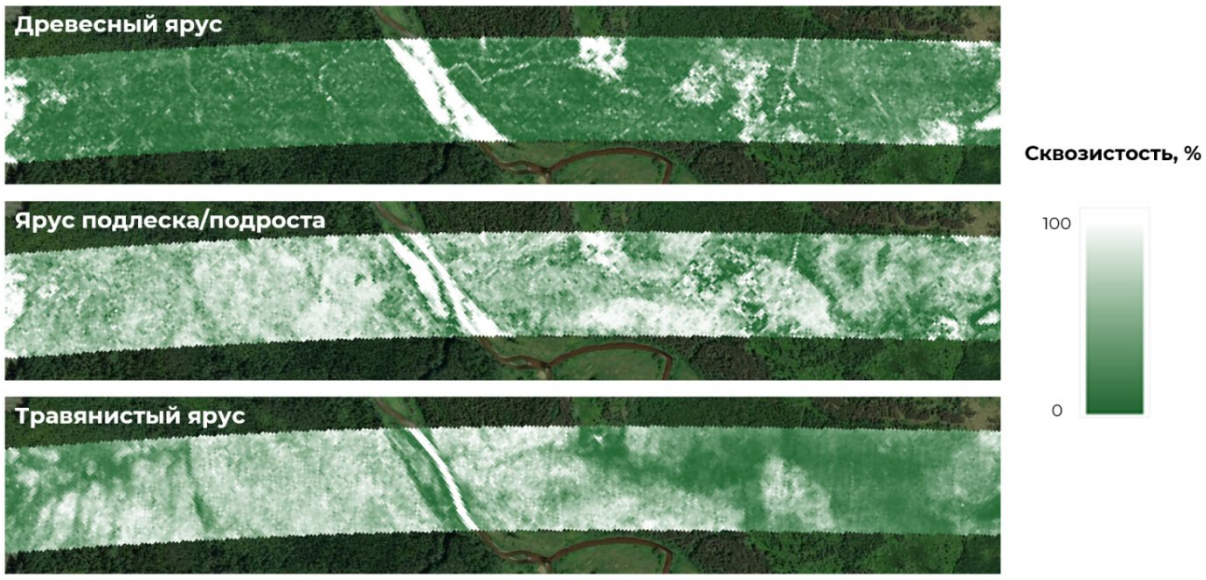


Рис. 2. Карта сквозистости по ярусам

Верификацию получаемых оценок сквозистости древостоя планируется выполнять посредством отклика растительности на факторы среды: световой режим и степень увлажнения. В 5-кратной повторности будут подобраны три группы пробных площадей по проценту сквозистости древостоя: максимальный, средний и минимальный. На пробных площадях будут выполнены геоботанические описания и проведена оценка соотношения разных экологических групп растений по отношению к свету и влажности с применением индикационной экологической шкалы Э. Ландольта [3], содержащей балловые оценки экологических свойств видов по указанным факторам среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев В.А.* Световой режим леса. Л.: Наука, 1975. 228 с.
2. *Ипатов В.С., Кирикова Л.А., Бибиков В.П.* Сквозистость древостоев (измерение и возможности использования в качестве показателя микроклиматических условий под пологом леса) // Ботан. журн. 1979. Т. 64. № 11. С. 1615–1624.
3. *Landolt E., Bäumler B., Erhard A., Hegg O., Klötzli F., Lämmler W., Nobis M., Rudmann-Maurer K., Schweingruber F.H., Theurillat J.-P., Urmi E., Vust M., Wohlgemuth T.* Flora indicative. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen. Bern: Haupt-Verlag, 2010. 376 s.
4. *Winn M.F., Palmer A.J., Lee S.-M., Araman P.A.* ForestCrowns: A transparency estimation tool for digital photographs of forest canopies. e-Gen. Tech. Rep. SRS–215. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station, 2016. 10 p.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы исследования выражают благодарность директору ЦЭПЛ РАН, чл.-корр. РАН Н.В. Лукиной, заместителю директора ЦЭПЛ РАН, к. б. н. А.В. Горнову и заведующей лаборатории ЦЭПЛ РАН, к. б. н. А.П. Гераськиной за информативные консультации по лесоведению и структурному биоразнообразию лесов. Работа выполнена в рамках темы государственного задания «Методические подходы к оценке структурной организации и функционирования лесных экосистем», регистрационный номер 121121600118-8.

УДК 630*905

ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИЙСКО-МОНГОЛЬСКИХ ПРИГРАНИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ

А.А. АЛТАЕВ

Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ (altaev@mail.ru)

Аннотация. Для трансграничных территорий Республики Бурятия и Монголии леса имеют огромное значение, поскольку являются важным фактором эффективного социально-экономического развития. Также леса выполняют средообразующие и средорегулирующие функции, значимость которых выходит далеко за рамки региональных интересов поддержания экологического равновесия. Являясь важнейшим компонентом экосистемы оз. Байкал, леса играют первостепенную роль в сохранении этого уникального природного объекта. В настоящее время необходима стратегия по улучшению сохранности приграничных лесов, которые имеют особое значение в мировом, национальном и региональном аспекте. В статье показан уровень лесистости трансграничных лесов, подчеркнута актуальность сохранения лесных ресурсов.

FOREST RESOURCES OF THE RUSSIAN-MONGOLIAN BORDER TERRITORIES ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF BURYATIA

A.A. ALTAEV

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude (altaev@mail.ru)

Abstract. Forests are of great importance for the cross-border territories of the Republics of Buryatia and Mongolia, as they are an important factor in the effective socio-economic development of our republics. Forests also perform environmental-forming and environmental-regulating functions, the importance of which goes far beyond the regional interests of maintaining ecological balance. Being the most important component of the lake ecosystem of Baikal, forests play a primary role in the preservation of this unique natural site. Currently, a strategy is particularly needed to improve the conservation of border forests, which are of particular importance in the global, national and regional aspects. The article shows the level of forest cover of transboundary forests, emphasizes the relevance of conservation of forest resources.

Монгольская Народная Республика является одной из стран мира с небольшими лесными ресурсами. Леса Монголии – это продолжение лесных массивов Южной Сибири, они отделяют леса Сибири от центральноазиатских степей и пустынь, защищают земли от сухости и почвенной эрозии, регулируют водный сток [1]. Общая площадь приграничных районов, примыкающих к государственной границе России на территории Республики Бурятия и Монголии, составляет более 658.6 тыс. км^2. Приграничные районы Бурятии занимают 66.4 тыс. км^2, или 18.9 % от общей площади Республики Бурятия, а приграничные с Россией аймаки Монголии – 592.2 тыс. км^2, или 37.9 % от общей площади Монголии. Площадь земельного фонда Республики Бурятия (Западное Забайкалье) по состоянию на 1 января 2022 года составляла 35 133.4 тыс. га, из них земли сельскохозяйственного назначения – 2764 тыс. га (7.87 % от общей площади республики), в том числе пашни – 699.1 тыс. га [2]. Общая площадь земель, занятых лесами в Бурятии, в том числе земель лесного фонда и земель иных категорий, составляет 29 810.6 тыс. га (или 84.8 % соответственно). К ценным лесам региона относятся противоэрозионные леса (1807.3 тыс. га) и леса, расположенные в пустынных, полупустынных, лесостепных, лесотундровых зонах, степях, горах, выполняющие защитные, водорегулирующие функции (1581.9 тыс. га) [3]. Лесной фонд Монголии составляет 19 002.2 тыс. га, или 12.1 % от общей площади, а лесопокрытая площадь – 13 397.1 тыс. га, или 8.56 %. Горные лесные экосистемы Северной Монголии, в том числе с лиственничными лесами, занимающими 72 % общей лесной площади страны, выполняют важные водоохранные, водорегулирующие и почвозащитные функции [4]. В лесном поясе на территории Монголии формируется 73 % стока реки Селенги – крупнейшего притока оз. Байкал [5]. Слабая залесенность территории объясняется как неблагоприятными для произрастания леса почвенно-климатическими условиями, так и вырубкой лесов при социализме. Многие леса из вырубленных впоследствии не восстанавливаются. Однако в последние десятилетия лесопокрытая площадь незначительно возрастает за счет искусственных насаждений. Также сохраняется сложная обстановка с лесными пожарами в Монголии, которые в значительной степени имеют трансграничное происхождение.

В Монголии уровень лесистости в среднем не достигает 10 %, хотя территория монгольской части бассейна р. Селенги характеризуется относительно высокой для страны лесистостью – 25.6 % (рис. 1). Леса монгольской части бассейна р. Селенги на 88.3 % представлены хвойными породами, на 11.7 % – мягколиственными. Среди хвойных пород лиственница составляет 76.4 %, на долю сосны приходится 5.7, кедра – 5.9, ели – 0.3 %. Из мягколиственных пород 11.2 % составляет береза, 0.3 % – ива, 0.1 % – осина. В монгольской части бассейна р. Селенги 65.3 % земель лесного фонда относится к защитному, 7.3 % – к особо защитному поясам, 27.3 % – к лесоэксплуатационной части [6].

Интересен монгольский опыт ведения общинного лесного хозяйства, который дает заметные результаты по сохранению лесов. В настоящее время в северо-восточной Монголии работают 325 общин,

включающих 4300 семей с 8800 членами, – они владеют лесным фондом общей площадью 761.7 тыс. га. Это местные жители, община, местные администрации, которые владеют лесным фондом по договору «Лесной менеджмент по совместному ведению лесного хозяйства». Проект «Ведение общинного лесного хозяйства» уже внедрен и на арендованных на длительный срок лесных территориях Монголии: граждане должны заботиться о сохранении лесов. Общины имеют юридический статус и права по принятию решений в области лесопользования, при этом местная администрация должна оказывать помощь и поддержку общинам при разработке планов лесоуправления.

Для трансграничных территорий Республики Бурятия и Монголии леса имеют огромное значение: они не только являются важным фактором эффективного социально-экономического развития наших республик, но и выполняют средообразующие и средорегулирующие функции, значимость которых выходит далеко за рамки региональных интересов поддержания экологического равновесия. Являясь важнейшим компонентом экосистемы оз. Байкал, леса играют первостепенную роль в сохранении этого уникального природного объекта. В настоящее время требуется стратегия по улучшению сохранности приграничных лесов, которые имеют особое значение в мировом, национальном и региональном аспекте.

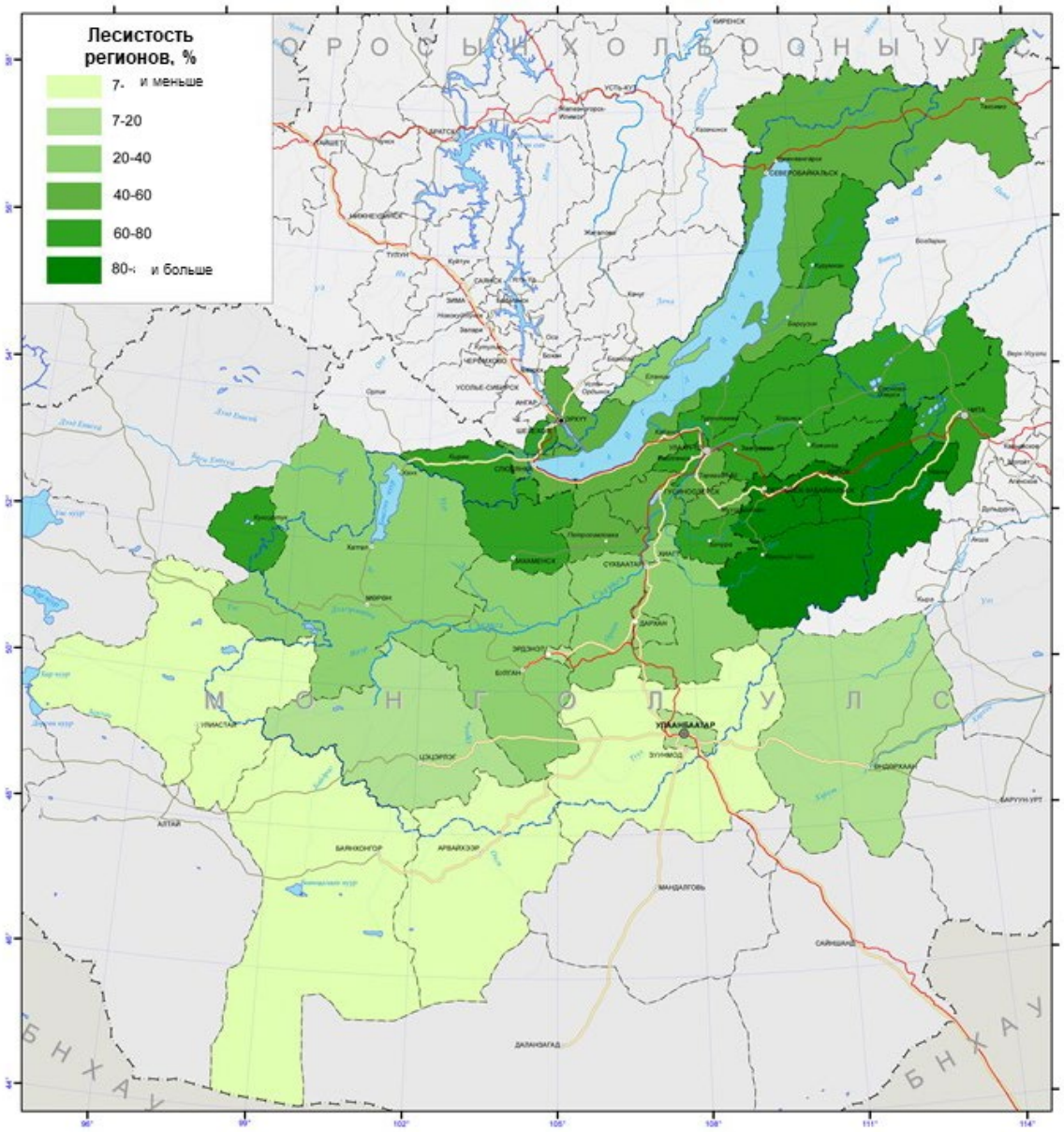


Рис. 1. Уровень лесистости в районах водосборного бассейна оз. Байкал в Монголии и Бурятии

Таким образом, взаимное изучение национальных систем лесного хозяйства и лесопользования, сложившихся в различных условиях освоения сопредельных территорий в Бурятии и Монголии, актуально в связи с разработкой единой стратегии по рациональному использованию лесов и ведению лесного хозяйства, включающему не только потребление, но и эффективное воспроизводство и охрану лесов. Для этого необходимы исследования современного состояния лесных ресурсов, процессов рационального лесопользования, анализ основных эколого-экономических проблем, имеющих трансграничный характер, и выработка рекомендаций по их решению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леса Монгольской Народной Республики (хозяйственное использование). М.: Наука, 1980. 148 с.
2. Региональный доклад о состоянии и использовании земель в Республике Бурятия в 2021 году. Улан-Удэ: Управление Росреестра РФ по Республике Бурятия, 2021. 80 с.
3. Постановление Правительства Республики Бурятия от 28 декабря 2018 г. № 763 «Об утверждении Лесного плана Республики Бурятия» (в ред. Постановления Правительства Республики Бурятия от 21.07.2021 № 401).
4. *Доржсурен Ч.* Антропогенные сукцессии в лиственничных лесах Монголии // Биологические ресурсы и природные условия Монголии: труды совм. рос.-монг. компл. биол. экспедиции. М., 2009. Т. 50. С. 6–10.
5. *Краснощеков Ю.Н.* Экологическая оценка состояния антропогенной нарушенности лесов Монгольской Народной Республики // Тезисы докл. междунар. совещ. Улан-Батор, 1990. С. 26–27.
6. *Энхтайван Н.* Устойчивое лесоуправление в северной Монголии / Мониторинг и биоразнообразие экосистем Сибири и Дальнего Востока: сб. научных статей. Находка: Институт технологии и бизнеса, 2012. С. 119–123.

УДК 630.44:582.475(571.51)

БИАТОРЕЛЛОВЫЙ РАК КАК ФАКТОР УЯЗВИМОСТИ СОСНОВОГО ПОДРОСТА

П.И. АМИНЕВ

Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск (aminevpi@sibsau.ru)

Аннотация. По материалам детального лесопатологического обследования выявлено повсеместное очаговое поражение соснового подроста биаторелловым раком на территории Усольского лесничества Красноярского Приангарья. Приведены сведения о распространенности рака в различных ценотических условиях и проанализировано его влияние на состояние подроста сосны.

BIATORELLA CANCER AS A FACTOR OF PINE YOUTH VULNERABILITY

P.I. AMINEV

M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk (aminevpi@sibsau.ru)

Abstract. Based on the materials of a detailed forest pathological inspection, prevalent focal damage of the pine undergrowth by biatorella cancer on the Usolsky forestry of the Krasnoyarsk Angara region was revealed. Information about the prevalence of cancer in various coenotic conditions was given and its influence on the state of pine undergrowth was analyzed.

Сосна обыкновенная является одной из основных лесообразующих пород Сибири. Особой ценностью отличается ангарская сосна. Многолетняя лесопромышленная эксплуатация приангарских сосняков существенно истощила лесосырьевую базу. Поэтому вопрос об ускоренном восстановлении коренных насаждений приобретает все большую актуальность. Одним из наиболее значимых факторов ослабления и летализации соснового подроста выступает биаторелловый рак, возбудитель которого – сумчатый гриб *Biatorella difformis* (Fries.) Rehm. [4, 9, 7, 10, 6]. Болезнь впервые была обнаружена в Карелии, позднее она была зарегистрирована в других регионах страны: на Кольском полуострове, на Северном Кавказе, на Урале, в Сибири, в европейской части России. Зараженность подроста и молодняков сосны биаторелловым раком в разных регионах варьируется от 11–40 % [11, 9], 40–60 % [10, 4, 8, 6, 3] до 60–80 % и более [11, 5, 7, 10, 3, 6, 1]. Учитывая широкое распространение и большую вредоносность болезни, необходимо регулярно проводить лесопатологический мониторинг с целью своевременного отслеживания негативных изменений в состоянии подроста и последующего проведения оздоровительных мероприятий.

Объектом исследования являлся подрост сосны обыкновенной, произрастающий под пологом материнского соснового древостоя Усольского лесничества, которое расположено на территории Тасеевского и частично Абанского административных районов. В соответствии с лесорастительным районированием, разработанным Институтом леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Усольское лесничество расположено в трех лесорастительных районах. При этом большая часть территории изучаемых участковых лесничеств (Тасеевского и Троицкого) относится к Ангарскому южнотаежному району лиственнично-сосновых лесов.

Лесопатологическое обследование соснового подроста выполнено в соответствии с действующими в лесозащитной практике методиками [2] на 15 пробных площадях (ПП), заложенных в сосновых насаждениях лесничества. Сосняки на обследуемых ПП представлены чистыми и с примесью (от 1 до 4 единиц) лиственницы, березы или осины насаждениями лишайниковой, зеленомошной, осочково-разнотравной, крупнотравно-папоротниковой и сфагновой групп типов леса. По возрасту насаждения IV–XII классов возраста, I–V классов бонитета, с полнотой 0.4–1.0. На каждой ПП на учетных площадках размером 2 × 5 м, равномерно размещенных на площади, производили сплошной перечет подроста высотой от 0.5 м и выше. Количество учетных площадок на ПП устанавливали с таким расчетом, чтобы на них в общей сложности было не менее 250 экземпляров. Учитываемые растения распределяли по категориям состояния. У деревьев, пораженных раком, указывали месторасположение раковых язв: в нижней части стволика, в средней, в верхней или по всему стволику. С целью оценки влияния рака на рост и развитие подроста на каждой ПП производили анализ 20 модельных деревьев. В качестве контроля дополнительно анализировали по 10 здоровых деревьев. У анализируемых деревьев определяли возраст, измеряли высоту, диаметр у шейки корня, параметры кроны, текущий прирост.

В результате проведенного обследования установлено повсеместное очаговое поражение соснового подроста биаторелловым раком (доля больных деревьев – более 10 %). Средняя распространенность болезни по лесничеству составила 53.4 % с варьированием по ПП от 24.6 % до 80.8 %. При этом на 14 ПП выявлена сильная степень заражения раком (доля больных деревьев – более 30 %), что составляет 93.3 % случаев. И лишь на одной ПП отмечалась средняя степень заражения (доля больных деревьев – 21–30 %).

Литературные сведения о распространенности рака в различных ценотических условиях весьма противоречивы. Одни авторы отмечают наибольшую распространенность болезни во влажных типах в местах избыточного увлажнения: в сосняке сфагновом в Архангельской области – 70 % [10], в Мурманской

области – 60 % [7], в Карелии в местах избыточного увлажнения – 80 % [11]. По выводам других, напротив, наиболее высокой распространенностью характеризуется рак на подросте сосны в сухих типах условий произрастания – 75 % в Бурятии [8] – или в сосновых молодняках лишайникового типа, растущих на бедных почвах, – 50.8 % в Республике Коми [3]. Наконец, по выводам третьих, какой-либо зависимости зараженности соснового подроста раком от типа леса и влажности почвы не выявлено [9].

Наши исследования показали, что на территории Усольского лесничества наиболее высокая средняя распространенность рака отмечается в сфагновой группе типов леса – 74 %. Указанная группа представлена чистыми и смешанными сосновыми насаждениями IV–V классов бонитета, произрастающими по межтеррасным низинам на торфянисто-сырых или мокрых почвах. В напочвенном покрове – сфагнум, кукушкин лен. Вместе с тем достаточно высокая распространенность рака была зафиксирована также и в лишайниковой группе типов леса (66.9 %), представленной низкобонитетными сосняками, приуроченными к более сухим условиям произрастания и малогумусированным песчаным почвам. В напочвенном покрове – лишайники, брусника, толокнянка, кошачья лапка. Минимальная средняя распространенность рака отмечена в зеленомошной группе типов леса – 38.3 %, обычно приуроченной к наиболее оптимальным для сосны лесорастительным условиям.

Опасность рака для подроста сосны состоит в том, что, развиваясь на ослабленных деревьях, болезнь снижает и без того пониженный жизненный тонус растения, так как нарушается и частично прекращается ток питательных веществ по лубу [11]. Степень влияния биатореллового рака на состояние пораженных им деревьев зависит от количества ран и места их образования. Наибольшую угрозу для жизни молодых растений представляют язвы, образованные в нижней части стволика, поскольку облом сосенок в области этих ран неизбежно приводит к их гибели. В условиях Усольского лесничества в среднем 29.8 % пораженных раком деревьев имели язвы в нижней части стволика. У 19.2 % деревьев были отмечены раны в средней части стволика. При этом пораженные стволики нередко имели кривизну, расположенную на высоте раковой язвы. У деревьев с раковыми ранами в верхней части достаточно часто отмечалось усыхание вершинок, что в дальнейшем приводит к развитию многовершинности. Преобладали деревья с язвами по всему стволику (44.2 %). Количество раковых ран на дереве варьировало от 1 до 16 шт. Чаще встречались деревья с тремя (33.3 %) и двумя (27.3 %) ранами, реже – с одной раной (16.2 %).

Анализ соотношения морфометрических показателей здоровых и пораженных раком деревьев показал, что рак ослабляет подрост и затормаживает ростовые процессы. Пораженные раком деревья отстают от здоровых деревьев в среднем по высоте на 4.7 %, диаметру шейки корня – на 7.2 %, приросту – на 4.5 %, протяженности кроны – на 8.6 %, ширине кроны – на 14.0 %. Вредоносность болезни выражается не только в снижении морфометрических показателей, но и в гибели растений. Патологический отпад подроста от рака в среднем составил 6.9 % с варьированием по ПП от 1.6 % до 13.2 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аминев П.И.* К состоянию подроста сосны обыкновенной в сосновых насаждениях Красноярского Приангарья // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. трудов по итогам XXIV междунар. научно-практ. конф. «Лес-2023». Вып. 63. Брянск: БГИТУ, 2023. С. 6–11.
2. *Воронцов А.И., Мозолевская Е.Г., Соколова Э.С.* Технология защиты леса. М.: Экология, 1991. 304 с.
3. *Иванова Э.А.* Динамика распространения грибных заболеваний и вредителей в сосновых молодняках // Повышение продуктивности, устойчивости и защитной роли лесных экосистем: Сб. науч. трудов. Воронеж, 1990. С. 150–155.
4. *Нечаев Ю.А*. Некоторые особенности поражения биаторелловым раком хвойных пород в горных лесах Северного Кавказа // Современные проблемы лесозащиты и пути их решения. Матер. региональной науч.-практ. конф. Белоруссии и Прибалтийских республик. Минск, 1985. С. 90–91.
5. *Осипова Л.С.* Язвенный рак хвойных пород в условиях Иркутской области // Научные труды ЛТА им. С.М. Кирова. Л.: ЛТА, 1968. № 115. Вып. 1. С. 171–179.
6. *Семенкова И.Г.* Значение биатореллового рака сосны в горных лесах Кабардино-Балкарии // Достижения науки и передового опыта защиты от вредителей и болезней. М., 1987. С. 171–172.
7. *Соколова Э.С.* Болезни соснового подроста Мурманской области и меры борьбы с ними // Защита хвойных насаждений от вредителей и болезней: Матер. к всесоюзному совещанию. Каунас, 1978. С. 206–209.
8. *Соколова Э.С., Галасьева Т.В.* Грибные болезни хвойного подроста в насаждениях Байкальского заповедника // Экология и защита леса. Л., 1985. С. 35–39.
9. *Стыцюк Н.Ф.* Язвенный рак соснового подроста в юго-западной Якутии // Известия СО АН СССР. Сер. биол. науки. 1971. № 15. Вып. 3. С. 166–168.
10. *Суханова И.В.* Язвенный рак сосны в лесах Севера // Бюллетень московского общества испытателей природы. Отд. биол. 1979. Т. 84. Вып. 2. С. 98–100.
11. *Щедрова В.И.* Язвенный рак – болезнь соснового подроста предварительного возобновления // Лесной журнал. 1965. № 3. С. 40–45.

УДК 581.555 : 581.6 (571.54)

ПРИМЕНЕНИЕ ПОНЯТИЯ «ЭПИАССОЦИАЦИЯ» К АССОЦИАЦИЯМ ФЛОРИСТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ОГРАНИЧЕННОСТИ НАТУРНЫХ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ)

О.А. АНЕНХОНОВ

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ (anen@yandex.ru)

Аннотация. Обсуждается применение подхода, сочетающего флористическую классификацию (подход Браун-Бланке) лесной растительности с концепцией «эпиассоциации» (по В.Б. Сочаве) в условиях необходимости генерализации небольшого объема геоботанической информации, собранной на ограниченной территории и в ограниченные сроки. В этом случае сукцессионные стадии лесов приняты в качестве динамических вариантов, относящихся к ассоциациям флористической классификации, и вместе с ними интерпретируются как эпиассоциации.

APPLICATION OF THE “EPIASSOCIATION” CONCEPT TO ASSOCIATIONS OF THE FLORISTIC CLASSIFICATION OF FOREST VEGETATION UNDER THE LIMITED AMOUNT OF FIELD DATA (CASE STUDY IN THE EASTERN BAIKAL AREA)

O.A. ANENKHONOV

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude (anen@yandex.ru)

Abstract. The possibility to combine the floristic classification (the Braun-Blanquet approach) of the forest vegetation with the “epiassociation” concept (by V.B. Sochava) is discussed. This combination is believed to be helpful when generalizations are required, but the field vegetation data are limited and collected within a small area over a relatively short period of time. As a result, succession stages have been accepted as dynamic variants related to the association of the floristic classification and the combined vegetation unit is interpreted as epiassociation.

Исследование и характеристика состояния растительного покрова являются неотъемлемой частью работ по оценке возможного воздействия на окружающую среду, возникающего в результате человеческой деятельности. Такие работы, обладая определенной спецификой, все же должны базироваться на научно обоснованной методологии и решать практические задачи с привлечением адекватных научных методов. Всё это в полной мере касается исследований лесной растительности в рамках договорных работ (ОВОС и пр.). С практической точки зрения степень детализации классификации лесной растительности определяется характером предстоящего лесопользования. Соответственно этому при подготовке проектов освоения залесенных территорий Техническими заданиями (ТЗ) может устанавливаться требование выявления фитоценотического разнообразия с той или иной степенью детальности. Однако чаще всего в ТЗ характеризуются лишь границы и размер территории, подлежащей исследованию, и лесотипологическое/геоботаническое обследование не регламентировано по детальности, а упоминается только в качестве одной задачи из их списка. Кроме того, на практике сроки выполнения ТЗ всегда весьма ограниченны, а бюджеты проектов по ОВОС, экологической оценке и т. п. ориентированы на минимизацию расходов. В результате следствием выполнения таких (безусловно, важных) работ являются ограниченные по объему и по территории геоботанические описательные материалы. Особую сложность при этом создает тот факт, что большинство изучаемых территорий расположены в районах с хозяйственной деятельностью и/или включают участки не с коренными типами лесов, а с их сукцессионными вариантами (особенно часто постпирогенными). Еще В.С. Ипатов и Л.А. Кирикова [3] отмечали: несмотря на то, что имеется целый ряд разработок динамической классификации леса, «в полной мере динамический принцип лесной типологии не реализован». Такое положение сохраняется и поныне. Систематизация подобных материалов оказывается затруднительной и требует привлечения различных методов и подходов. В одних случаях методологической базой для систематизации может служить эколого-фитоценотический подход, не требующий встраивания выделяемых единиц в единую систему классификации растительности; при этом достаточно следования принципам выделения тех или иных единиц и субъективного соотнесения их с единицами, установленными в других районах. В настоящей работе сделан акцент на опыте синтеза флористической классификации (подход Браун-Бланке) и ценогенетического подхода с введением понятия «эпиассоциация», разработанного В.Б. Сочавой [5, 6]. В этом случае представляется возможным трактовать ассоциацию флористической классификации в качестве «материнского ядра», а базальные и дериватные сообщества – в качестве «производных состояний, подчиненных материнскому ядру» [6]; все вместе они составляют «эпиассоциацию». Однако поскольку система синтаксономии лесной растительности Байкальского региона на основе флористической классификации разработана недостаточно, то применение дедуктивного метода [11] с выделением базальных и дериватных сообществ, как это сделано для Южно-Уральского региона [7], здесь пока еще затруднительно.

В качестве примера может выступить применение понятия «эпиассоциация» в отношении ассоциаций флористической классификации в центральной части Восточного Прибайкалья. Здесь нами было выполнено геоботаническое обследование растительного покрова на ограниченном согласно ТЗ участке, включающем невысокий ассиметрично-склоновый увал (выс. до 700 м над ур. м.), подгорные шлейфы и приозерную байкальскую террасу (выс. около 470–530 м над ур. м.), узкую долину временного водотока. Площадь участка около 2.5 км^2, бóльшая его часть облесена. Для характеристики лесной растительности было выполнено 26 полных геоботанических описаний. Описания сообществ были внесены в базу данных ИБИС [2], обработаны с применением алгоритма TWINSPAN [10], интегрированного в ИБИС, и проанализированы на предмет принадлежности к синтаксонам растительности, ранее описанным на территории Прибайкалья [1, 8, 9].

Коренными типами леса на описанном участке являются светлохвойные леса из *Larix sibirica* Ledeb. и *Pinus sylvestris* L. Темнохвойные леса присутствуют лишь небольшими участками по днищам долин временных водотоков. При этом темнохвойные породы, чаще *Pinus sibirica* Du Tour, изредка *Abies sibirica* Ledeb., обычно присутствуют в составе лесных сообществ хотя бы в форме подроста и/или подгона. Однако в силу продолжительной истории существенных антропогенных воздействий лесная растительность центральной части Восточного Прибайкалья характеризуется довольно высоким уровнем нарушенности. Это проявляется в том, что здесь весьма ограниченны площади лесных сообществ, которые можно считать коренными (первичными), тогда как бóльшая часть территории покрыта производными (вторичными) лесными сообществами, находящимися на различных стадиях восстановления после рубок и/или пожаров. О производном характере таких сообществ свидетельствуют как признаки нарушений (пни, местами порубочные остатки), так и признаки состава и структуры фитоценозов. К последним относятся: значительная роль мелколиственных древесных пород – *Betula platyphylla* Sukaczev и *Populus tremula* L.; нарушенность возрастной структуры древостоев; нарушенность травяно-кустарничкового яруса сообществ (выраженная мозаичность за счет разрастания длиннокорневищных травянистых растений – *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., некоторых видов злаков, бобовых, и др.). Исходя из вышесказанного выделенные категории лесной растительности отнесены к коренным (условно-коренным) и производным. К категории условно-коренных сообществ (по [4]) отнесены слабо нарушенные сообщества, которые были описаны в основном на приозерной террасе и отчасти на примыкающем к ней подгорном делювиальном шлейфе увала. Поскольку терраса сложена преимущественно древними лимническими отложениями – песками, супесями, а подгорный шлейф – рыхлым делювием, эти сообщества являются не собственно коренными, а квазикоренными, т. е. представляют собой эдафические варианты собственно коренных сообществ. На склонах по гребню увала условно коренные сообщества представлены весьма ограниченно, поскольку на всех обследованных участках имеются следы антропогенных нарушений (рубки, пожары). По занимаемой площади на обследованной территории доминируют производные леса: смешанные мелколиственно ↔ хвойные и мелколиственные.

В рамках флористической классификации описанные лесные сообщества отнесены к 3 ассоциациям: (1) *Calamagrostio obtusatae-Abietetum sibiricae* Danihelka et al. [8]; (2) *Calamagrostio obtusatae-Laricetum sibiricae* Chytry et al. [8]; (3) *Maianthemo bifolii-Pinetum sibiricae* Danihelka et al. [8]. Эти ассоциации относятся к союзу *Pino sibiricae-Laricion sibiricae* Guinochet ex Dostálek et al. 1988, включающему мезофитные светлохвойные и смешанные лесные сообщества, которые составляют основную часть лесного пояса Прибайкалья. Союз относится к порядку преимущественно светлохвойных таежных лесов средней и верхней части лесного пояса *Ledo palustris-Laricetalia cajanderi* Ermakov 2023, бореального класса таежных лесов *Vaccinio-Piceetea* Br.-Bl. in Br.-Bl. et al. 1939. Однако значительная часть конкретных участков описаний, отнесенных к ассоциациям 1 и 2, отличаются от типичных сообществ по вышеуказанным признакам, характерным для производных лесов. Тем не менее присутствие видов диагностических комбинаций этих ассоциаций позволяет определить принадлежность к ним. Соответственно, с учетом динамического статуса сообществ указанные ассоциации можно рассматривать как эпиассоциации по В.Б. Сочаве [5, 6], а леса, представленные на исследованном участке, считать их инвариантами – производными лесными сообществами, характеризующими собой разные стадии восстановления коренных типов (ядер эпиассоциаций) после рубок и/или пожаров. В пределах характеризуемой территории к коренному типу близки лишь описанные сообщества 3-й ассоциации – *Maianthemo bifolii-Pinetum sibiricae*. Можно также отметить, что сообщества 2-й ассоциации *Calamagrostio obtusatae-Abietetum sibiricae* менее нарушены, поскольку они приурочены к более влажным местообитаниям и, соответственно, были менее подвержены воздействию пожаров.

Таким образом, применение интегрированного подхода, сочетающего флористическую классификацию лесной растительности с концепцией «эпиассоциации», позволило осуществить генерализацию даже небольшого объема геоботанической информации, собранной на ограниченной территории и в ограниченные сроки. При этом удалось учесть преобладание на данной территории различных сукцессионных стадий лесов, интерпретированных как динамические инварианты «ядер» ассоциаций, выделенных на основе флористического подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аненхонов О.А.* Лесная растительность Западного Забайкалья и вероятные направления ее климатогенной динамики: Дисс. … докт. биол. наук: 03.02.01, 03.02.08. Новосибирск: ЦСБС СО РАН, 2015. 475 с.
2. *Зверев А.А.* Информационные технологии в исследованиях растительного покрова. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.
3. *Ипатов В.С.*, *Кирикова Л.А.* Фитоценология. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1997. 316 с.
4. *Колесников Б.П.* Типы южнотаежных лесов среднего течения р. Тавды и Тавда-Куминского междуречья // Южнотаежные леса Западно-Сибирской равнины (бассейны рек Тавды и Конды): Тр. Ин-та экологии растений и животных УНЦ АН СССР, 1972. С. 66–98.
5. *Сочава В.Б.* Растительные сообщества и динамика природных систем // Докл. Института географии Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 1968. Вып. 20. С. 12–22.
6. *Сочава В.Б.* Классификация растительности как иерархия динамических систем // Геоботаническое картографирование. Л., 1972. С. 3–19.
7. *Широких П.С.* Вторичные автогенные сукцессии на вырубках и залежах Южно-Уральского региона как основа прогноза естественного восстановления и организации мониторинга лесных экосистем: Дисс. … докт. биол. наук: 1.5.9. Уфа: УИБ УФИЦ РАН, 2022. 627 с.
8. *Anenkhonov O.A.*, *Chytrý M.* Syntaxonomy of vegetation of the Svjatoj Nos Peninsula, Lake Baikal 2. Forests and krummholz in comparison with other regions of northern Buryatia // Folia Geobot. 1998. 33: 31–75.
9. *Brianskaia E.*, *Schmieder K.*, *Boecker R.*, *Gyninova A.*, *Balsanova L.* Syntaxonomy of forest vegetation of the central zone of the Lake Baikal eastern coast // Tuexenia. 2019. 39: 139–160.
10. *Hill M.O.* TWINSPAN – A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Ithaca: Cornell University, Sect. Ecol. Syst., 1979. 90 p.
11. *Kopecký K.*, *Hejný S.* A new approach to the classification of anthropogenic plant communities // Plant Ecol. 1974. 29: 17–20.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор признателен Б.Б. Найданову, принимавшему участие в полевых исследованиях. Работа выполнена в рамках госзадания № 121030900138-8 Института общей и экспериментальной биологии СО РАН.

УДК: 630*181.43: 581.824.2

СТРУКТУРНЫЕ И МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СТВОЛАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ПОСТПИРОГЕННЫЙ ПЕРИОД

Г.Ф. АНТОНОВА, В.В. СТАСОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (antonova_cell@mail.ru), (stasova.vv@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Изучено влияние природного низового пожара разной интенсивности на флоэмо- и ксилогенез и низкомолекулярные метаболиты развивающихся тканей в стволах взрослых деревьев сосны обыкновенной, растущих в естественном насаждении Красноярской островной лесостепи (Восточная Сибирь).

STRUCTURAL AND METABOLIC CHANGES IN SCOTS PINE TRUNKS DURING THE POST-PYROGENIC PERIOD

G.F. ANTONOVA, V.V. STASOVA

V.N. Sukachev Institute of the Forest SB RAS, Krasnoyarsk (antonova_cell@mail.ru), (stasova.vv@ksc.krasn.ru)

Abstract. The influence of natural ground fire of varying intensity on phloem- and xylogenesis and low-molecular metabolites of developing tissues in the trunks of adult Scots pine trees growing in the natural plantation of the Krasnoyarsk forest-steppe (Eastern Siberia) was studied.

Одним из абиотических факторов, влияющих на древесные растения, являются пожары. Их воздействие при нагревании живых тканей растения может инициировать в дереве каскад изменений физиологических и биохимических процессов, что в свою очередь приведет к его ослаблению, снижению продуктивности и созданию условий для атак вредителей и патогенов. Воздействие тепла в период пожара и после него на внутренние процессы в дереве постоянно изучается. Еще И.С. Мелехов [1] указывал, что после пожара изменяются соотношение ранней и поздней древесины, диаметр трахеид, толщина стенок, размещение смоляных ходов. Воздействие пожаров в регионах Сибири изучалось Г.И. Гирс [2].

Влияние природного низового пожара разной интенсивности на ростовые процессы в стволах взрослых деревьев сосны обыкновенной, растущих в естественном насаждении Красноярской островной лесостепи разнотравно-зеленомошного типа леса, изучали по анатомо-морфологическим характеристикам структуры клеток флоэмы и ксилемы и составу низкомолекулярных метаболитов. Характеристики древостоя, пройденного весенним низовым пожаром от низкой до высокой степени интенсивности 7 мая 2022 г., были следующими: полнота древостоя – 0.8–1.6, возраст – около 120 лет. Диаметр стволов – 31–34 см, средняя высота – 26–27 м, максимальный нагар – 4–8 м, минимальный – 1–3 м. Степень поражения ствола огнем определяли по высоте нагара. В насаждении были выбраны 2 площадки со средней (высота нагара 2–3 м) и сильной (высота нагара 4–6 м) степенью поражения огнем стволов деревьев. Контролем служили деревья из не поврежденного пожаром насаждения на прилегающей территории. На каждой площадке выбирали по 3 дерева. Одновременно с отбором высечек вырезали рядом полосы 3 × 8 см, содержащие зрелый луб и формирующуюся ксилему. Каждую ткань разделяли по стадиям дифференциации клеток.

Изменения в морфогенезе клеток ксилемы и флоэмы анализировались через 2 и 5 месяцев после пожара (8 июня и 4 октября 2022 г.). Тепловое воздействие вызывает снижение влажности развивающихся слоев флоэмы и ксилемы, что изменяет условия морфогенеза клеток и приводит к уменьшению числа клеток в зонах, отвечающих за формирование и развитие клеток флоэмы и ксилемы (камбия, роста растяжением и вторичного утолщения стенок) с увеличением степени поражения ствола огнем. В результате сокращается число клеток во флоэме и трахеид в ранней ксилеме (8 июля, через два месяца после пожара). В сформированном слое проводящей флоэмы число клеток уменьшается с повышением степени повреждения ствола огнем. В ксилеме в конце ростовых процессов образуется меньше ранних и поздних трахеид.

Меняется структура годичных слоев ксилемы и флоэмы. Стрессовые условия активируют адаптационные возможности деревьев, что проводит к изменениям в сетевой (транспортной) системе, обеспечивающей развивающиеся клетки водой и фотоассимилятами. Во флоэме и ксилеме увеличивается ширина лучей. В ксилеме кроме этого с повышением степени поражения ствола огнем увеличивается содержание лучей. Во флоэме содержание лучей повышается при средней степени поражения ствола и снижается при усилении степени повреждения. Объем лучевой системы (ширина лучей и их содержание) в проводящей флоэме, напротив, значительно увеличивается при усилении теплового воздействия. Одновременно во флоэме увеличивается содержание аксиальной паренхимы. В лучевой и аксиальной паренхиме луба в зависимости от степени поражения стволов пожаром меняется содержание крахмала, который служит запасным пулом углеводов для ростовых процессов. В октябре, после окончания ростовых процессов, крахмал в паренхиме луба отсутствует.

Низкомолекулярные метаболиты (спирто- и водорастворимые) в клетках развивающихся флоэмы и ксилемы изучали на двух стадиях дифференциации тканей, расположение которых определяли по отношению к камбиальной зоне (Фл1, Фл2 и Кс1, Кс2). В клетках с разной степенью развития определяли общее содержание спирторастворимых (в их составе – углеводов, связанных и свободных фенолов) и водорастворимых (углеводов, аскорбиновой и дегидроаскорбиновой кислот) веществ. Содержание метаболитов существенно изменялось в зависимости от степени воздействия тепла. Высокое содержание спирторастворимых веществ отмечалось во Фл1 как в контроле, так и при поражении ствола 2-й и 3-й степени. Однако их содержание в тканях значительно зависело от степени воздействия огня. Содержание углеводов во Фл1 в контроле было больше в контрольных образцах, чем в других тканях. При усилении степени поражения ствола содержание углеводов уменьшалось при 2-й степени и увеличивалось при 3-й степени поражения. Содержание связанных фенолов в спирторастворимых веществах в Кс1 в контроле в разы превышало их содержание во Фл2, Кс1 и Кс2. После воздействия пожара их содержание снизилось во Фл1 и значительно увеличилось во Фл2. Содержание свободных фенолов было больше в Кс1 контрольных сосен. В деревьях 2-й степени поражения содержание свободных фенолов уменьшалось во Фл1 и увеличивалось в Фл2, Кс1 и Кс2. При 3-й степени поражения, напротив, оно значительно увеличилось во Фл1 и Фл2 и снизилось в Кс1 и Кс2. Содержание водорастворимых веществ, и в их составе углеводов, тоже существенно изменяется в зависимости от степени дифференциации клеток флоэмы и ксилемы и степени поражения стволов огнем. В контроле углеводы уменьшаются в ряду Фл1 – Фл2 – Кс1 – Кс2. После 2-й степени поражения углеводы снижены по сравнению с контролем во Фл1 и Кс2. Поражение стволов 3-й степени приводит к увеличению углеводов во Фл2 и снижению в Кс1 и Кс2. Содержание и соотношение аскорбиновой и дегидроаскорбиновой кислот как показателей окислительно-восстановительной системы тоже варьируют в зависимости от степени теплового воздействия на стволы сосен. Снижение содержания низкомолекулярных углеводов и ослабление активности большинства элементов антиоксидантной системы отмечали в прикамбиальной зоне деревьев сосны обыкновенной первого класса возраста после искусственного низового пожара [3]. Уменьшение растворимых сахаров и неструктурных белков во флоэме и усиление флоэмного транспорта наблюдали у 4 молодых *Pinus brutia* Ten. деревьев [4].

Установлены существенные изменения в структурных элементах флоэмы и ксилемы и метаболизме развивающихся тканей в стволах зрелых деревьев сосны обыкновенной после низового природного пожара. Меняются не только анатомо-морфологические показатели формирующихся годичных слоев, но и проводящая система тканей и состав низкомолекулярных метаболитов. Обобщенные данные указывают на разную степень реакции метаболизма, структурных изменений в проводящей системе и анатомических характеристиках ксилемы и флоэмы в стволах сосны обыкновенной в зависимости от силы теплового воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мелехов И.С.* Влияние пожаров на лес. М.–Л.: Гос. лесотех. изд-во, 1948. 126 с
2. *Гирс Г.И.* Физиология ослабленного дерева. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1982. 255 с.
3. *Судачкова Н.Е., Романова Л.И., Астраханцева Н.В., Новоселова М.В., Косов И.В.* Стрессовые реакции деревьев сосны обыкновенной на повреждение низовым пожаром // Сиб. экол. журн. 2016. № 5. С. 739–749. DOI: 10.15372/SEJ20160511.
4. *Alexou M., Dimitrakopoulos A.* Early physiological consequences of fire as an abiotic stressor in metabolic source and sink of young Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) // Tree Physiology. 2014. 34. P. 1388–1398 DOI:10.1093/treephys/tpu098.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы глубоко признательны Г.А. Ивановой, А.С. Морозову и С.В. Жила за помощь в организации полевых исследований. Работа выполнена при поддержке Базового проекта ИЛ СО РАН-2021-2025 № 0287-2021-0011.

УДК 634. 95

ЛЕСОКУЛЬТУРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЗАЩИТНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В НАРЫНСКОЙ ОБЛАСТИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

С.К. АСАНОВ, А. ИДИРИСОВ

НПЦ ИЛ Институт биологии НАН КР, Бишкек (asanov54@mail.ru, Adilet1111@mail.ru)

Аннотация. Работа проведена в поясе еловых лесов Внутреннего Тянь-Шаня. Рассматривается посадка защитных насаждений на склонах гор для предотвращения и смягчения экологических рисков. Эти подпоясы еловых лесов области имеют важное значение при создании лесных культур для роста и развития растений в горных условиях.

FOREST CULTURAL EVENTS FOR THE CREATION OF PROTECTIVE PLANTINGS IN THE NARYN REGION OF THE KYRGYZ REPUBLIC

S.K. ASANOV, A. IDIRISOV

SPC FR Institute of Biology NAS KR, Bishkek (asanov54@mail.ru, Adilet1111@mail.ru)

Abstract. The work was carried out in the spruce forest belts of the Inner Tien Shan. Planting protective plantings on mountain slopes to prevent and mitigate environmental risks is being considered. These sub-belts of spruce forests in the region are important in creating forest crops for the growth and development of plants in mountain conditions.

Высокогорные леса Внутреннего Тянь-Шаня, произрастая на высоте от 1800 до 3500 м над уровнем моря [1], способствуют предотвращению селевых потоков, препятствуют образованию в горах оползней, снежных лавин, регулируют расходы воды в реках, делая их более равномерными в течение года. Наиболее непредсказуемыми и опасными являются снежные лавины, выход горных рек из берегов и селевые потоки. В связи с этим трудно переоценить почвозащитные, а главное, водорегулирующие свойства леса. Поэтому в настоящее время крайне необходимо создавать больше защитных лесных насаждений на склонах гор, вдоль русел рек, находящихся в непосредственной близости от населенных пунктов.

Для создания лесных культур в поясе еловых лесов Нарынской области нами выделено три вертикальных подпояса [2]:

а) нижний подпояс – абс. высота 2200–2400 м над ур. м., количество дней с положительной температурой (выше +10°) – 130 и более. Это зона возможного разведения ели тянь-шаньской, сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, березы повислой и видов тополя во всех лесхозах области.

б) средний подпояс – абс. высота 2401–2600 м над ур. м., количество дней с положительной температурой (выше +10°) – от 117 до 130. Эта зона оптимальна для разведения ели тянь-шаньской во всех лесхозах. В Жумгальском и Ат-Башинском лесхозах возможно выращивание сосны обыкновенной и лиственницы сибирской.

в) верхний подпояс – абс. высота 2601 м и выше над ур. м., количество дней с положительной температурой (выше +10°) – менее 117. Это зона разведения только ели тянь-шаньской во всех лесхозах области.

Для сохранения экологического баланса в будущем в горном районе в 2012 г. были созданы лесные культуры ели тянь-шаньской (*Picea schrenkiana* F. et M.) – по 20 га на землях лесокультурного фонда и на склонах гор в Нарынском и Ат-Башинском лесхозах.

Целью данных лесокультурных мероприятий является увеличение лесистости на эродированных склонах, лавиноопасных участках и сокращение природных и экологических рисков в регионе. При создании культур ели учитывали абсолютную высоту местности, ориентацию и крутизну склона, количество площадок на гектар и число саженцев на площадке. Правильное планирование, подготовка почвы и подбор посадочных материалов для лесных культур пояса еловых лесов – основные предпосылки успешности лесокультурных работ.

В Нарынском лесхозе в четырех лесничествах (Нарын, Куланак, Он-Арча и Кара-Тал) созданы культуры ели на высоте от 2455 до 2850 м над ур. м. на северо-восточных, северных и северо-западных склонах гор крутизной до 35°. При создании культуры ели 70 % площадок подготовлено на лавиноопасных склонах гор, остальные 30 % размещены на эродированных участках. На этих участках подготовлено 15 000 площадок размером 1 × 2 м и осуществлена посадка сеянцев ели тянь-шаньской в количестве 48 000 шт. (рис. 1, 2).

На каждой площадке посажено по 4 шт. 6-летних сеянцев ели высотой 5–15 см и диаметром корневой щейки 0.3–0.8 см (рис. 3). Посадочный материал подобран из местного питомника Нарынского лесничества.



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

В Ат-Башинском лесхозе выполнены такие же объемы работ, но там созданы культуры ели на высоте от 2670 до 3000 м над ур. м. на северных, северо-восточных и северо-западных склонах гор. На каждой площадке посажено по 4 шт. 5-летних сеянцев ели тянь-шаньской высотой 4–10 см, диаметром корневой шейки 3.0–5.0 мм (рис. 4).



Рис. 4

Здесь на лавиноопасных участках подготовлено 60 % площадок крутизной до 30°. Остальные 40 % размещены на эродированных участках. Посадочный материал приобретен в Жумгальском лесхозе Нарынской области.

Рекомендованы следующие виды ухода за лесными культурами:

- рыхление почвы одновременно с уничтожением травяной растительности на площадках – 2-3 раза за вегетационный период,
- в целях обеспечения высокой приживаемости и сохранности лесных культур лесникам лесхоза поручено усилить охрану на данной территории от пастьбы скота.

Подготовка посадочного материала и посадка растений проведены в соответствии с нормами и требованиями лесокультурных работ, что обеспечило качество и хороший уровень приживаемости культур. Согласно учетам, сохранность еловых культур 2023 года, созданных в Нарынском и Ат-Башинском лесхозах, составила 65–70 %, их рост и развитие хорошие, высота достигла 0.5 м (рис. 5).



Рис. 5

Посаженные еловые культуры в будущем увеличат лесистость склонов гор, будут накапливать воду и регулировать ее расход, снижать риски снежных лавин и оползней, а также деградации почвы Нарынской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Камчибеков Н. К.* Формы ели тянь-шаньской. Фрунзе: Изд-во «Илим», 1978. С 17.
2. *Турдалиев Т.Т., Асанов С.К.* Опыт создания искусственных насаждений ели тянь-шаньской в лесхозах Нарынской области: Серия научных изданий Института леса и ореховодства им. проф. П.А. Гана НАН КР. Бишкек, 2006. 44 с.

УДК 581.824.2:631.541

АККУМУЛЯЦИЯ КАЛЛОЗЫ ВО ФЛОЭМЕ ГОМО- И ГЕТЕРОПЛАСТИЧЕСКИХ ПРИВИВОК И НЕПРИВИТЫХ ДЕРЕВЬЕВ ХВОЙНЫХ

Н.В. АСТРАХАНЦЕВА[1], Г.В. КУЗНЕЦОВА[1], А.П. БАРЧЕНКОВ[1], Ю.С. ЩЕРБА[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (astr_nat@mail.ru, galva@ksc.krasn.ru, alexbarchenkov@mail.ru)
[2] Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск (shcherba_@mail.ru)

Аннотация. Авторы исследования изучали зону срастания привойных деревьев, сопоставляя данные с данными по непривитым деревьям. Установлены увеличение содержания каллозы при сокращении приростов ксилемы у нормально развитых деревьев, увеличение содержания каллозы в зоне срастания у успешных прививок и сокращение запасов каллозы в зоне срастания прививок при появлении отложенной несовместимости. Отмечены видовые особенности отложения каллозы.

ACCUMULATION OF CALLOSE IN THE PHLOEM OF HOMO- AND HETEROPLASTIC GRAFTED AND NON-GRAFTED CONIFEROUS TREES

N.V. ASTRAKHANTSEVA[1], G.V. KUZNETSOVA[1], A.P. BARCHENKOV[1], Iu.E. SHCHERBA[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (astr_nat@mail.ru, galva@ksc.krasn.ru, alexbarchenkov@mail.ru)
[2] M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk (shcherba_@mail.ru)

Abstract. The fusion zone of grafted trees was studied; the data were compared with data on ungrafted trees. An increase in callose content was found with a reduction in xylem growth in normally developed trees, an increase in callose content in the fusion zone in successful grafts, and a reduction in callose reserves in the fusion zone of grafts with the appearance of delayed incompatibility. Species-specific features of callose deposition were noted.

Каллоза (*β*-1,3-глюкан) представляет собой линейное соединение, полисахарид, играющий важную роль на различных этапах индивидуального развития, а также в защите от неблагоприятных факторов окружающей среды. *β*-глюканы входят в состав клеточных стенок дрожжей, растений, микроскопических и высших грибов, а также лишайников, образуют локальные отложения, обычно временного характера, а кроме того, служат запасами энергии в живых системах. Отложение каллозы с участием каллозосинтаз в определенных областях клеточной стенки, окружающей плазмодесмы, и ее деградация *β*-1,3-глюканазами регулируют транспорт веществ через симпласт. На примере прививок груши березолистной (*Pyrus betulifolia* Bunge) было показано, что стимуляция деградации каллозы улучшала транспорт в целом и рибонуклеинового комплекса в частности через место срастания [3]. Каллоза также участвует в формировании и закрытии пор ситовидных пластинок. Осенью в проводящей флоэме многолетних растений происходит закрытие пор ситовидных пластинок, весной поры открываются. Также каллоза может откладываться в ответ на поранение и стресс. Сравнительно быстрый синтез и деградация этого полисахарида указывает на то, что его синтез регулируется на уровне белка, например, путем высвобождения или связывания отдельных единиц каллозосинтазного комплекса вместо его синтеза *de novo*. В виде каллозы также могут храниться излишки углеводов для последующего потребления [2].

Аккумуляция каллозы на ситовидных полях во флоэме как привитых, так и не привитых деревьев хвойных изучена слабо, особенно у взрослых деревьев, поэтому целью данной работы было выяснить особенности отложения каллозы во флоэме у гомо- и гетеропластических прививок и у непривитых деревьев.

Изучали зону срастания привойных деревьев сосны сибирской (кедр сибирский, *Pinus sibirica* Du Tour, черенки местного климатипа), сосны европейской (кедр европейский, *P. cembra* L., черенки карпатского климатипа), сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L., черенки тамбовского климатипа), привитых на подвой сосны обыкновенной (7-10-летний подрост естественного происхождения), возраст привойных деревьев – около 55 лет. Также изучали место срастания прививок сосны сибирской (черенки с плюсовых деревьев новосибирского климатипа) на подвоях сосны сибирской (подрост местного климатипа), возраст привойных деревьев – около 35 лет. Полученные данные сопоставляли с данными с той же высоты ствола непривитых деревьев сосны обыкновенной и сосны сибирской. Высечки фиксировали смесью этиловый спирт/глицерин/вода (1/1/1), срезы делали на микротомах МС-2 и МЗ-1, срезы окрашивали анилиновым синим, отмывали смесью глицерин/вода (1/1) и просматривали в глицерине под ультрафиолетом на микроскопе Carl Zeiss AxioLab A1 с флуоресцентным модулем производства Carl Zeiss Microscopy GmbH, Германия. Так как деревья по приростам ксилемы последних лет отличались, то рассматривали отдельно деревья с большими и с малыми (меньшими) приростами.

Как у непривитых деревьев, так и у гомопластических прививок (сосна обыкновенная на сосне обыкновенной, кедр сибирский на кедре сибирском) у одновозрастных деревьев при снижении приростов ксилемы отмечено увеличение отложений каллозы на ситовидных полях и увеличение числа годичных

слоев непроводящей флоэмы, в которых встречается каллоза. Общая для всех изученных нами деревьев тенденция – наибольшие количества каллозы отмечаются в 2-3-годичном слое флоэмы от камбия, далее содержание снижается, отложения каллозы варьируют по годам, обычно каллозы откладывается больше в годы с узкими кольцами ксилемы. Содержание каллозы у сосны обыкновенной ниже, чем у кедровых сосен, при сравнении пар малые приросты / малые приросты, большие приросты / большие приросты и непривитых деревьев между собой. В гомопластических прививках, несмотря на успешное срастание и хороший рост, содержание каллозы в зоне срастания выше, чем у непривитых деревьев того же возраста, и плавно снижается вверх и вниз по стволу либо синхронно в подвое и привое, либо чуть быстрее в подвое.

В гетеропластических прививках (кедр на сосну) картина несколько отличается от гомопластических прививок. Ранее было показано, что с возрастом у хорошо растущих и успешно плодоносящих привойных деревьев обнаруживается явление отложенной несовместимости, причем у привойных деревьев кедра сибирского раньше, чем у кедра европейского, и деструктивные процессы более выражены при малых приростах ксилемы [1]. Анализ содержания каллозы в зоне срастания у привоев сосны сибирской и сосны европейской с большими приростами ксилемы показал, что оно примерно одинаковое и выше, чем у непривитой сосны сибирской того же возраста (соответственно приросты ксилемы были примерно в полтора-два раза ниже). У привоев с малыми приростами ксилемы по сравнению с привоями с большими приростами ксилемы содержание каллозы было ниже в три раза у привоев сосны сибирской и в два раза – у сосны европейской, что подтверждает нарастание процессов деградации и затруднение транспорта, так как каллоза синтезируется при избытке ассимилятов в транспортном русле. Содержание каллозы в подвое сосны обыкновенной было ниже, чем у непривитых деревьев, и в 2-4 раза ниже, чем в гомопластических прививках сосны обыкновенной. Это также указывает на затруднение транспорта по флоэме через место срастания.

Таким образом, общая тенденция у хвойных – увеличение отложения каллозы при сокращении приростов ксилемы (своего рода депо для утилизации избытка ассимилятов в транспортном русле) у нормально развитых деревьев и увеличение содержания каллозы у успешных прививок в зоне срастания, где идет перезагрузка флоэмы. Отмечено сокращение запасов каллозы при нарастании деструктивных процессов и затруднении транспорта в зоне срастания прививок.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузнецова Г.В., Астраханцева Н.В.* Изучение роста ствола у гетеропластических прививок кедровых сосен в Красноярской лесостепи // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2021. Т. 20. № 1. С. 249–254.
2. *Piršelová B. Matušíková I.* Callose: the plant cell wall polysaccharide with multiple biological functions // Acta Physiol Plant. 2013. N 35. P. 635–644.
3. *Yunfei Y., Shengyuan W., Chaoran X., Ling X., Wenting H., Xiao Z., Baihui T., Chong M., Tianzhong L., Shengnan W.* The *β*-1,3-glucanase degrades callose at plasmodesmata to facilitate the transport of the ribonucleoprotein complex in *Pyrus betulaefolia* // International J. of Molecular Sciences. 2023. 24. 8051.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования проведены в рамках базового проекта ФИЦ КНЦ СО РАН «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (2024-2026 гг.) FWES-2024-0028.

УДК 574.24

ИЗМЕНЕНИЕ РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ АССИМИЛИРУЮЩЕЙ ФИТОМАССЫ СВЕТЛОХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМИССИЙ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Л.В. АФАНАСЬЕВА[1], О.В. КАЛУГИНА[2]

[1] Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ (afanl@mail.ru)
[2] Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск (olignat32@inbox.ru)

Аннотация. Приведены результаты исследования состояния лесных экосистем на территории рассеивания эмиссий Братского алюминиевого завода. Для оценки состояния ассимилирующей фитомассы древостоев выделены репрезентативные показатели, обнаруживающие наиболее тесные корреляционные связи с уровнем загрязнения. На основе этих показателей вычисляли индекс состояния ассимилирующей фитомассы деревьев. По полученным данным составлена карта-схема проблемных территорий.

CHANGES IN REPRESENTATIVE INDICES OF LIGHT CONIFEROUS TREES ASSIMILATING PHYTOMASS UNDER THE INFLUENCE OF ALUMINIUM PRODUCTION EMISSIONS

L.V. AFANASYEVA[1], O.V. KALUGINA[2]

[1] Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude (afanl@mail.ru)
[2] Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk (olignat32@inbox.ru)

Abstract. The results of a study on the state of forest ecosystems in the area affected by the emissions from the Bratsk Aluminum Smelter have been presented. To assess the health of the tree-stands, several representative indicators were identified that correlate closely with the level of pollution. These indicators were used to calculate the index of state of assimilating phytomass. Based on this data, a map of problem areas was created.

В современный период атмосферное промышленное загрязнение воздуха считается одной из основных причин сокращения площади бореальных лесов в экономически развитых странах. В составе лесов доминируют хвойные породы, чувствительные к воздействию промышленных эмиссий, поэтому реализация их экосистемных функций может быть нарушена вследствие ухудшения жизненного состояния. Высокие концентрации загрязняющих веществ, накапливаемые древесными растениями, влияют на их физиологическую активность, что, в свою очередь, приводит к нарушению анатомо-морфологических параметров ассимиляционных органов, угнетению процессов роста и снижению продуктивности древостоя [2]. Более того, непрерывный перенос, накопление и трансформация загрязняющих веществ в компонентах лесных экосистем вызывают изменения в видовом составе и структуре сообщества, часто приводят к деградации лесных экосистем в целом.

В Иркутской области бореальные леса занимают свыше 83 % территории и играют важную роль в экономике региона, а также в сохранении уникальной экологической системы объекта всемирного наследия ЮНЕСКО оз. Байкал. В последние десятилетия в регионе наблюдается ухудшение состояния лесов в результате воздействия неблагоприятных факторов, таких как пожары, вредители и болезни, атмосферное промышленное загрязнение [1]. Причем значимость последнего обусловлена мощным экономическим потенциалом – в регионе сосредоточены крупные центры теплоэнергетики, топливной, химической, нефтехимической и металлургической промышленности. Особую опасность представляют выбросы алюминиевого производства, содержащие высокоагрессивные и токсичные для живых организмов соединения фтора, а также алюминия, серы, тяжелых металлов и металлоидов. Для оценки их влияния на состояние лесных экосистем были проведены исследования на территории рассеивания эмиссий одного из крупнейших в России алюминиевых заводов – Братского (БрАЗ). В качестве объекта исследования выбраны две основные лесообразующие породы – *Pinus sylvestris* L. и *Larix sibirica* Ledeb. Последствия воздействия промышленных эмиссий на ассимиляционный аппарат деревьев выявляли по изменению элементного состава хвои, а также ряду визуальных, морфометрических и физиолого-биохимических параметров.

На основе кластерного анализа данных о содержании в хвое деревьев элементов-поллютантов (фтора, алюминия, серы, тяжелых металлов и металлоидов) обследованные древостои были ранжированы по уровню загрязнения: фоновый (загрязнение отсутствует), слабый, средний, сильный, критический. Анализ общей аккумулирующей способности деревьев, оцениваемой по зольности хвои и суммарному содержанию в ней химических элементов, показал, что хвоя *L. sibirica* отличается большей интенсивностью накопления химических элементов как на фоновой территории, так и в условиях промышленного загрязнения.

Для оценки состояния ассимилирующей фитомассы (АФ) древостоев из большого набора измеренных корреляционно связанных параметров были выделены репрезентативные показатели, обнаруживающие наиболее тесные достоверные связи с уровнем загрязнения. К таким показателям

относятся: процент зеленой хвои в кроне дерева (показатель, обратный уровню дефолиации), масса хвои на побегах, количество хлорофиллов ($a + b$) в хвое побега, величина соотношения белкового и небелкового азота в хвое, показатель фотохимической активности фотосистемы II (Fv/Fm). Все эти показатели имеют сходную динамику у сосны и у лиственницы, зависящую от уровня аккумуляции загрязняющих элементов в хвое. Она выражается в снижении выбранных величин с ростом уровня загрязнения хвои, при этом значительный спад обнаруживается уже при среднем уровне загрязнения деревьев. При сильном уровне загрязнения происходит резкое снижение этих параметров, а минимальные значения регистрируются при критическом уровне загрязнения хвои деревьев.

Так, содержание хлорофилла в хвое побегов сосны снижается с ростом уровня загрязнения в 1.4–2.6 раза по сравнению с фоновыми значениями; в хвое лиственницы – в 1.4–4.5 раза, что может быть связано как с окислением их молекул активными формами кислорода, образование которых инициирует высокий уровень элементов-поллютантов, так и со структурными изменениями в хвое. О наличии функциональных нарушений фотосинтетического аппарата хвои деревьев в условиях техногенного загрязнения свидетельствует соотношение переменной (Fv) и максимальной (Fm) флуоресценции. Величина Fv/Fm отражает эффективность использования энергии света реакционными центрами фотосистемы II и является одним из основных показателей, характеризующих эффективность первичных процессов фотосинтеза. Установлено, что на территории, загрязняемой выбросами БрАЗа, как у сосны, так и у лиственницы этот показатель снижается по сравнению с фоновыми значениями (на 10–25 %). При этом у лиственницы параметры флуоресценции хлорофилла изменяются гораздо сильнее, чем у сосны, что может свидетельствовать о бóльшей уязвимости и чувствительности процессов фотосинтеза у этого вида. Полученные нами результаты выявили увеличение уровня общего азота в хвое деревьев, подвергающихся воздействию выбросов алюминиевого завода, причем происходит это в бóльшей степени за счет возрастания его небелковой фракции, количество белков изменяется менее значимо. Вместе с тем показатель соотношения белкового и небелкового азота в хвое по мере роста загрязнения резко снижается, достигая минимальных значений при критическом уровне.

В результате негативного воздействия выбросов существенно изменяются визуальные и морфометрические показатели состояния АФ деревьев. Уровень дефолиации крон деревьев сосны в промышленной зоне БрАЗа (критический уровень загрязнения) может достигать 75–85 %, лиственницы – 60–65 %. При сильном уровне загрязнения этот показатель также высок, он составляет, соответственно, 65–70 % и 55–60 %, при этом фоновые значения уровня дефолиации крон деревьев сосны не превышают 20–30 %, лиственницы – 15–20 %. В значительной степени изменяются и морфометрические параметры, особенно такой показатель, как масса хвои на побеге: при воздействии эмиссий отмечается ее уменьшение в 2.1–6.8 раза у сосны и в 1.9–4.2 раза у лиственницы.

На основе выделенных репрезентативных показателей вычисляли индекс состояния ассимилирующей фитомассы (ИСАФ) деревьев для каждого уровня загрязнения. Он рассчитывался как средний балл от суммы показателей, нормированных относительно фоновых значений (каждый показатель на фоновой территории приравнивался к 10 баллам). Подобный подход позволяет сопоставлять разные по размерности показатели. Установлено, что формализованная зависимость между ИСФА, с одной стороны, и индексом загрязнения, с другой, имеет высокий уровень аппроксимации ($R^2 = 0.866$) и описывается уравнением степенной функции следующего вида: у сосны – $y = 16.208x – 0.316$, у лиственницы – $y = 12.192x – 0.163$, где y (в баллах) – индекс, свидетельствующий об угнетении состояния ассимилирующей фитомассы у загрязняемых деревьев, x (в баллах) – индекс загрязнения древостоев. Обнаружено, что при критическом уровне загрязнения ИСАФ снижается до 2-3 баллов, что свидетельствует о сильном ухудшении жизненного состояния древостоев. При сильном уровне загрязнения ИСАФ варьирует в пределах 4-5 баллов, при среднем уровне загрязнения – 6-8 баллов, слабом уровне загрязнения ИСАФ выше 8 баллов. По полученным результатам составлена карта-схема, отражающая проблемные территории, где наблюдается ухудшение состояния АФ светлохвойных древостоев.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Михайлова Т.А., Калугина О.В., Шергина О.В.* Мониторинг техногенного загрязнения и состояния сосновых лесов на примере Иркутской области // Лесоведение. 2020. № 3. С. 265–273.
2. *Fu L., Xu Y., Zhao D. et al.* Analysis of coniferous tree growth gradients in relation to regional pollution and climate change in the Miyun Reservoir Basin, China // Environ. Sci. Pollut. Res. 2023. 30: 55635–55648.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены в рамках госзаданий № 121030900138-8 (ИОЭБ СО РАН) и № 122041100045-2 (СИФИБР СО РАН).

УДК 630

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕМНОХВОЙНЫХ ДРЕВОСТОЕВ

Е.В. БАЖИНА[1, 2], П.И. АМИНЕВ[3]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (genetics@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск
[3] Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск

Аннотация. Приведены результаты мониторинга состояния темнохвойных древостоев отрогов Восточного Саяна (территория национального парка «Красноярские Столбы») до инвазии (1994–2004 гг.) и в период интенсивного повреждения полиграфом (2019–2021 гг.) с применением различных методов оценки.

ASSESSMENT OF THE CONDITION OF DARK-CONIFEROUS STANDS

E.V. BAZHINA[1,2], P.I. AMINEV[3]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (genetics@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk
[3] M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

Abstract. The results of monitoring of the state of dark-coniferous stands of the Eastern Sayan spurs (territory of the national park "Krasnoyarsk Stolby") before polygraph invasion (1994–2004) and during the period of intensive damage (2019–2021) with the use of different assessment methods are presented.

Виды рода *Abies* оказались весьма уязвимы к воздействию как абиотических, так и биотических факторов среды. В ряде регионов Сибири на фоне нарушения гомеостаза и снижения устойчивости лесных экосистем усыхание пихтовых древостоев (*Abies sibirica* Ledeb.) вследствие массового размножения уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandf.) приняло катастрофический характер. Исследования проводились в спелых и перестойных пихтовых древостоях V–VIII классов возраста разнотравной и крупнотравной групп типов леса. Пробные площади (ПП) закладывались по методу непровешанных ходовых линий, на каждой ПП учитывалось не менее 200–250 деревьев пихты. В настоящее время для оценки состояния древостоев пихты сибирской в очагах уссурийского полиграфа разработана специальная шкала [3]. Шкала учитывает биологию вредителя и защитные свойства пихты, при этом признаки состояния кроны, ствола и внутренние признаки повреждений принимаются равнозначными. Однако учитывая тот факт, что на начальных этапах мониторинга пригородных темнохвойных древостоев нами использовалась шкала диагностики жизненного состояния деревьев и древостоев, разработанная В.А. Алексеевым [1], оценка состояния древостоев проводилась и по этой методике.

Оценка жизненного состояния по методике В.А. Алексеева до инвазии (1994–2004 гг.) показала, что состояние древостоев варьировало от здоровых, произрастающих на высотах 480–640 м над ур. м. (L = 82.2–98.5 %) до ослабленных (L = 69.9 %) на высоте 440 м над ур. м., границе с г. Красноярском (табл. 1). Усыхание деревьев пихты сибирской наблюдалось преимущественно в древостоях, растущих в верховьях руч. Калтат и хребта Кайдынский, а также непосредственно на северо-восточной границе национального парка с Красноярском. Усыхающие деревья составляли от 8.6 до 19.6 % на разных ПП, отмечалось интенсивное поражение их ржавчинным раком (*Melampsorella caryophyllacearum* G. Schrot. (= *M. cerastii* Wint.), распространенность которого варьировала от 21.4 до 71.4 % [2]. Инвазия уссурийского полиграфа привела к катастрофической гибели деревьев пихты на всей территории национального парка не только в ослабленных, но и в здоровых древостоях. В период инвазии (2019–2022 гг.) все древостои пригородной зоны Красноярска оказались повреждены. По шкале В.А. Алексеева они относились к категориям сильно поврежденных (L_v = 49–20 %) либо полностью разрушенных (L_v ниже 19 %), от 3.8 до 7.5 % деревьев пихты на ПП представлены свежим ветровалом. В то же время по средневзвешенному индексу [3] состояние древостоев варьировало от сильно ослабленных ($К_{ср}$ = 2.9–3.3) до усыхающих ($К_{ср}$ = 4.1–4.5). При этом на трех из семи пробных площадей отмечалась сильная степень деградации древостоев.

Усыхание охватывает широкий спектр условий произрастания. Относительный запас текущего отпада превышает 30 %, что указывает на прогрессирующее усыхание древостоев с потерей ими биологической устойчивости. Средний диаметр деревьев в части отпада, за исключением ПП 1, несколько больше среднего диаметра древостоя, что указывает на наличие патологического отпада с вовлечением в усыхание деревьев I–III классов Крафта. Поражению деревьев способствует зараженность гнилевыми и раковыми заболеваниями; активно могут поражаться не только старовозрастные, но и молодые деревья пихты с диаметром 12–16 см. Среди выявленных болезней наибольшей вредоносностью отличаются корневая и стволовая гнили (возбудители – *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. (= *Fomitopsis annosa* Karst.) и *Phellinus hartigii* (All. et Schnab.) Bond.). В соответствии со средневзвешенным индексом ($К_{ср}$) состояние деревьев, пораженных этими заболеваниями, оценивается как гибель. Величина текущего отпада от

корневой гнили оказалась значительно ниже, чем от стволовой. Очевидно, это можно объяснить значительным отпадом от корневой гнили, произошедшим в предшествующие годы. Помимо пихтовой губки, вызывающей стволовую гниль, достаточно часто на стволах ослабленных и усыхающих деревьев отмечались базидиомы окаймленного трутовика *Fomitopsis pinicola* (Sw. et Fr.) Karst. – основного деструктора древесного отпада. Летальность от ржавчинного рака, наиболее широко распространенного заболевания в отрогах Восточного Саяна, значительно ниже по сравнению со стволовой гнилью. Так, например, на ПП 1, характеризующейся максимальной зараженностью, около 58.0 % деревьев относится ко II категории состояния. Средний текущий отпад от болезни составлял до 34.2 %.

Таблица 1. Динамика состояния темнохвойных древостоев

№ ПП	До инвазии (1994–2004 гг.)		В период инвазии (2019–2021 гг.)					
	Показатель ЖС, L_n, %	Состояние древостоя	Показатель ЖС, L_v, %	Состояние древостоя	Поврежденность полиграфом, D_v, %	Состояние древостоя	Средневзвешенный индекс, $K_{ср}$	Состояние древостоя
1	94.5	здоровый	49.7	сильно поврежденный	83.7	разрушенный	2.9	сильно ослабленный
2	96.8	здоровый	24.6	сильно поврежденный	94.6	разрушенный	4.2	усыхающий
3	69.9	ослабленный	39.5	сильно поврежденный	26.3	поврежденный	3.3	сильно ослабленный
4	учет не проводился		10.7	полностью разрушенный	89.3	разрушенный	4.5	усыхающий
5	98.5	здоровый	32.5	сильно поврежденный	34.4	поврежденный	2.9	сильно ослабленный
6	88.9	здоровый	6.9	полностью разрушенный	93.0	разрушенный	3.2	сильно ослабленный
7	82.2	здоровый	21.7	сильно поврежденный	78.3	сильно поврежденный	4.1	усыхающий

Настоящие исследования показали, что методика В.А. Алексеева [1], которая широко применяется в основном при мониторинге антропогенно-нарушенных лесных экосистем, дает объективные результаты оценки состояния древостоев. Очевидно, этот интегральный показатель, учитывающий влияние на деревья всей совокупности условий, можно использовать при оценке состояния древостоев независимо от повреждающего фактора. При этом необходимо учитывать показатель поврежденности древостоя как объективно отражающий состояние и выявляющий повреждающий фактор. В то же время при анализе степени повреждения такими биотическими факторами, как энтомовредители и грибные заболевания, нам представляется более целесообразным применение общепринятого в лесозащитной практике средневзвешенного индекса, в том числе и шкалы категорий состояния пихты в очагах полиграфа [3]. Учитывая масштабы явления, необходимо отметить, что, уничтожая деревья до вступления в возраст семеношения, полиграф способен не только привести к деградации древостоев, но и создать локальную угрозу существованию пихты сибирской в горных лесных экосистемах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев В.А*. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
2. *Бажина Е.В., Аминев П.И.* Особенности семеношения и морфологии побегов деревьев пихты сибирской, пораженных ржавчинным раком // Лесной журнал. 2007. № 3. С. 7–13.
3. Уссурийский полиграф в лесах Сибири (распространение, биология, экология, выявление и обследование поврежденных насаждений) / С.А. Кривец, Ю.Н. Баранчиков, отв. ред. Метод. пособие. Томск – Красноярск, 2015. 48 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены частично в рамках госзадания № 0287-2021-0009 «Функционально-динамическая индикация биоразнообразия лесов Сибири».

УДК 630:575.174.015.3

ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ДОМИНИРОВАНИЯ АПИКАЛЬНОГО РОСТА ДЕРЕВЬЕВ ПУТЕМ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ У «ВЕДЬМИНЫХ МЕТЕЛ» И НОРМАЛЬНОЙ КРОНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) И СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ (*P. SIBIRICA* Du Tour)

Э.Е. БАУЭР[1], С.В. НОВИКОВА[1, 2], Е.И. БОНДАР[1, 2], В.В. ШАРОВ[1, 2], Н.В. ОРЕШКОВА[1, 2, 3], Е.А. ЖУК[4], Г.В. ВАСИЛЬЕВА[4], С.Н. ГОРОШКЕВИЧ[4], К.В. КРУТОВСКИЙ[1, 5, 6, 7]

[1] Сибирский федеральный университет, Красноярск (eduardb657@gmail.com, serafima_novikova_11@mail.ru, bone-post@yandex.ru, sharvadim07@ya.ru, oreshkova@ksc.krasn.ru)
[2] Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр» СО РАН, Красноярск, Россия
[3] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
[4] Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск (eazhuk@yandex.ru, galina_biology@mail.ru, pearldiver@yandex.ru)
[5] Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Гёттинген, Германия (konstantin.krutovsky@forst.uni-goettingen.de)
[6] Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва
[7] Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж

Аннотация. Хвойные леса составляют основу бореальных экосистем и имеют колоссальное хозяйственное значение. Одними из основных лесообразующих бореальных хвойных являются сосны (род *Pinus*), включающие сосну обыкновенную (*Pinus sylvestris* L.) и сосну кедровую сибирскую (*P. sibirica* Du Tour), которые представляют собой очень ценные и широко используемые древесные породы. У данных видов, так же, как и у многих других древесных, довольно часто встречается мутантный фенотип «ведьмина метла» (ВМ), который связан с нарушением апикального роста и бурным латеральным ветвлением. Важно отметить, что апикальное доминирование является важнейшей характеристикой дерева, отличающей деревья от кустарников и других растений. Представлены результаты исследования мутации ВМ на полногеномном транскриптомном уровне, которые выявили ряд генов, чья экспрессия связана с фенотипом ВМ и, вероятно, с генетическими механизмами апикального доминирования в морфогенезе древесных растений.

STUDY OF GENETIC MECHANISMS OF APICAL GROWTH DOMINANCE IN TREES BY COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENTIAL GENE EXPRESSION IN “WITCHES’ BROOM” AND NORMAL CROWN OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) AND SIBERIAN STONE PINE (*P. SIBIRICA* Du Tour)

E.E. BAUER[1], S.V. NOVIKOVA[1, 2], E.I. BONDAR[1, 2], V.V. SHAROV[1, 2], N.V. ORESHKOVA[1, 2, 3], E.A. ZHUK[4], G.V. VASILYEVA[4], S.N. GOROSHKEVICH[4], K.V. KRUTOVSKY[1, 5, 6, 7]

[1] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (eduardb657@gmail.com, serafima_novikova_11@mail.ru, bone-post@yandex.ru, sharvadim07@ya.ru, oreshkova@ksc.krasn.ru)
[2] Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center», SB RAS, Krasnoyarsk
[3] V.N. Sukachev Institute of Forest, SB RAS, Krasnoyarsk
[4] Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, Tomsk (eazhuk@yandex.ru, galina_biology@mail.ru, pearldiver@yandex.ru)
[5] Georg-August University of Göttingen, Göttingen, Germany (konstantin.krutovsky@forst.uni-goettingen.de)
[6] N.I. Vavilov Institute of General Genetics, RAS, Moscow
[7] G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh

Abstract. Conifers are the keystone species of boreal ecosystems and have enormous economic importance. One of the main forest-forming boreal conifers are pines (*Pinus*), including Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Siberian pine (*P. sibirica* Du Tour), which are very valuable and widely used tree species. The mutant witch's broom (WB) phenotype is quite common in these species, as well as in many other trees, and is associated with impaired apical growth in trees and heavy lateral branching. It is important to note that apical dominance is the most important characteristic of a tree, distinguishing trees from shrubs and other plants. The results of a study of the WB mutation at the genome-wide transcriptomic level are presented, which revealed a number of genes whose expression is associated with the WB phenotype and probably with the genetic mechanisms of apical dominance in the morphogenesis of woody plants.

В данной работе был проведен анализ дифференциальной экспрессии генов у «ведьминых метел» и нормальной кроны сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны кедровой сибирской (*P. sibirica* Du Tour) с использованием *de novo* собранных транскриптомов.

Анализ дифференциальной экспрессии выявил 61 дифференциально экспрессируемый ген (ДЭГ) для сосны обыкновенной и 164 ДЭГ для сосны кедровой сибирской (padj < 0.05), которые были проаннотированы путем поиска гомологов в базе данных NCBI GenBank с помощью BLAST (Basic Local Alignment Search Tool), а также путем поиска ортологов с помощью программы eggNOG-mapper.

Для обнаруженных ДЭГов были построены генные метаболические сети с помощью онлайн-сервиса STRINGdb с использованием данных для тополя *Populus trichocarpa* как наиболее изученного модельного вида в генетике древесных (рис. 1).

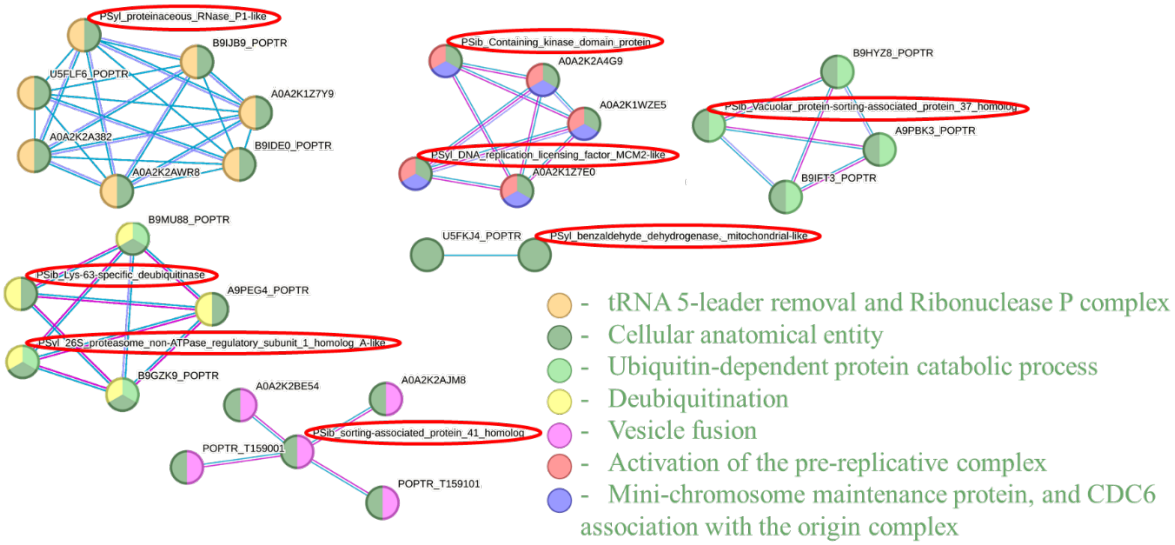


Рис. 1. Генная сеть с отображением биологических процессов GO, компонентов клетки GO, локальных кластеров генной сети STRING и метаболических путей Reactome, в которые вовлечены полученные ДЭГи

Получены 6 кластеров, каждый из которых представлен белками, поддерживающими анатомическую структуру клетки. Часть этих белков участвует в активации пререпликативного комплекса и поддержании мини-хромосом, а также в процессах де- и убиквитинирования. Важно заметить, что в два кластера, представляющих процессы деубиквитинирования и связанных с репликацией ДНК, соответственно, вошли ДЭГи как сосны обыкновенной, так и сосны кедровой сибирской.

В представленной работе была обнаружена сверхэкспрессия MCM2 (Minichromosome Maintenance Complex Component 2) в кронах, несущих ВМ. Можно предположить, что MCM2 может иметь важную функцию в морфологическом проявлении признака ВМ [1].

Также наблюдалась сверхэкспрессия транскрипта, который кодирует фермент хлоропластов PRORP1. Эта функция эндонуклеазы важна для получения пригодных для использования тРНК хлоропластов и, следовательно, имеет решающее значение для трансляции [2].

Были найдены ДЭГи с повышенной экспрессией в ВМ, вовлеченные в процессы де- и убиквитинирования, и кодирующие субъединицу 26S протеасомы и Lys63-специфическую деубиквитиназу. Было показано, что деубиквитинирование спасает белки от деградации и повышает их стабильность [3, 4].

Необходимы дополнительные исследования, чтобы понять точную роль обнаруженных ДЭГов в формировании фенотипа ВМ. Знание этих механизмов позволит более эффективно создавать декоративные сорта сосен, а также высокопродуктивные карликовые породы кедра, облегчающие сбор ценных кедровых орехов [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ni D.A., Sozzani R., Blanchet S. et al.* The Arabidopsis MCM2 gene is essential to embryo development and its over-expression alters root meristem function // New Phytologist. 2009. 184 (2): 311–322.
2. *Bouchoucha A., Waltz F., Bonnard G. et al.* Determination of protein-only RNase P interactome in *Arabidopsis* mitochondria and chloroplasts identifies a complex between PRORP1 and another NYN domain nuclease // The Plant Journal. 2019. 100 (3): 549–561. DOI: 10.1111/tpj.14458.
3. *Pokhilko A., Ramos J.A., Holtan H. et al.* Ubiquitin ligase switch in plant photomorphogenesis: A hypothesis // J. Theor. Biol. 2011. 270 (1): 31–41. DOI: 10.1016/j.jtbi.2010.11.021
4. *Shu K., Yang W.* E3 Ubiquitin ligases: Ubiquitous actors in plant development and abiotic stress responses // Plant Cell Physiol. 2017. 58 (9): 1461–1476. DOI: 10.1093/pcp/pcx071.
5. *Polyakova O., Goroshkevich S., Zhuk E.* Cone structure and seed development in grafted witches' broom and normal crown clones from the same trees of *Pinus sibirica* // New Forests. 2019. 50 (5): 805–819. DOI: 10.1007/s11056-018-09700-x.

УДК 630.237.5:630.174.754

ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОЛИ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ СИБИРСКОЙ

И.В. БЕЗДЕНЕЖНЫХ

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург (predeina@yandex.ru)

POSSIBILITIES OF INCREASING THE SHARE OF SIBERIAN PINE PLANTATIONS

I.V. BEZDENEZHNYKH

Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg (predeina@yandex.ru)

Одним из наиболее ценных древесных видов, произрастающих на территории лесного фонда Российской Федерации, является сосна сибирская кедровая (кедр сибирский) (*Pinus sibirica* Du Tour.) [1, 9]. Указанный вид-лесообразователь, будучи источником ценной древесины и выполняя экологические функции, вдобавок позволяет в течение длительного периода времени получать ценные семена-орешки, активно используемые в пищевой промышленности, а также в качестве кормовой базы лесной фауны.

Учитывая высокую ценность сосны сибирской, жители населенных пунктов Сибири и Урала старались сохранять ее деревья, вырубая сопутствующие виды в прилегающих насаждениях. В результате формировались так называемые припоселковые кедровники, которые характеризовались повышенной семенной продуктивностью. Сбор кедровых орехов служил существенным подспорьем местному населению, которое, сберегая припоселковые кедровники, устанавливало строгие правила и сроки сбора орехов [6, 7].

В XX столетии картина резко изменилась. Пренебрежение лесоводственными правилами привело к массовому применению сплошнолесосечных рубок и, как следствие, массовой смене коренных кедровых насаждений с доминированием в составе древостоев сосны сибирской на производные мягколиственные. Переформирования производных насаждений в кедровники не происходило, поскольку из-за медленного роста к достижению мягколиственными видами возраста спелости сосна сибирская находилась в подросте. По этой причине в мягколиственных насаждениях вновь назначались сплошнолесосечные рубки с целью заготовки древесины мягколиственных видов. Имеющийся подрост сосны сибирской погибал в значительном количестве в процессе проведения лесосечных работ, особенно при использовании многооперационных машин с ограниченным выносом стрелы манипулятора. Кроме того, высокий процент гибели подроста сосны сибирской на вырубке в первые годы после рубки наблюдался из-за резкого изменения микроклимата. Другими словами, после проведения сплошнолесосечной рубки в производных мягколиственных насаждениях восстановительно-возрастная динамика насаждений сосны сибирской возвращалась в исходную точку [7, 8].

Обеспокоенность научных работников и общественности сокращением площади насаждений сосны сибирской привела к принятию правительством ряда нормативно-правовых актов, суть которых сводилась к запрещению всех видов рубок спелых и перестойных насаждений при наличии в составе древостоев 3 и более единиц сосны сибирской. При положительной оценке запрещения рубок сосны сибирской нельзя не констатировать ряд существенных недостатков указанных постановлений. Так, насаждения с участием в составе древостоев сосны сибирской стареют, а следовательно, в них наблюдается повышение показателей текущего отпада, что приводит к накоплению напочвенных горючих материалов и, как следствие этого, повышению горимости лесов. Кроме того, если сосна сибирская произрастает до 600 лет [1, 5], то сопутствующие древесные виды живут значительно меньше и при отсутствии рубок переходят в отпад. В результате государство не получает значительный доход от использования древесины сопутствующих пород в связи с запретом ее заготовки.

Понятно, что принять решение о введении в практику выращивания насаждений сосны сибирской выборочных рубок спелых и перестойных насаждений проблематично. Последнее объясняется низкой квалификацией операторов многооперационных машин, высокой долей технологических элементов лесосеки при ограниченной длине стрелы манипулятора валочной машины. Кроме того, сосна сибирская имеет поверхностную корневую систему, что создает опасность повреждения корней и заражения оставляемых на доращивание деревьев спорами грибов, вызывающих корневые и комлевые гнили.

Полагаем, что увеличение доли насаждений сосны сибирской в лесном фонде можно обеспечить созданием лесных культур и систематическим проведением рубок ухода в мягколиственных молодняках с наличием в составе сосны сибирской. Опыт создания таких культур и проведения рубок ухода на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югра имеется [2, 3, 4]. Однако следует отметить, что оба указанных мероприятия требуют значительных трудовых и финансовых затрат, что обусловлено необходимостью проведения неоднократных агротехнических уходов, а также строительства дорог для перемещения техники.

Значительно более эффективным решением задачи увеличения площади насаждений сосны сибирской является замена сплошнолесосечных рубок в спелых и перестойных мягколиственных

насаждениях с долей участия сосны сибирской в составе древостоев менее 3 единиц на выборочные рубки. Выполненные нами исследования показали, что при наличии сосны сибирской в составе мягколиственных насаждений под их пологом имеется жизнеспособный подрост данной породы в количестве до 3.0 тыс. шт./га. Последнее позволяет при наличии деревьев сосны сибирской в составе древостоев обеспечить переформирование производных мягколиственных насаждений в коренные кедровники, не прибегая к созданию лесных культур.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Действующая система лесопользования в потенциальных кедровниках не решает задачу увеличения площади насаждений сосны сибирской.

2. Увеличить долю кедровых насаждений в лесном фонде можно созданием лесных культур, а также проведением рубок ухода в мягколиственных молодняках с участием в составе сосны сибирской. Однако оба эти способа требуют значительных финансовых и трудовых затрат.

3. Наиболее перспективным вариантом увеличения площади насаждений сосны сибирской является замена сплошнолесосечных рубок в спелых и перестойных мягколиственных насаждениях с долей участия сосны сибирской менее 3 единиц формулы состава на выборочные.

4. Указанные рубки целесообразно проводить в наиболее потенциально продуктивных типах леса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бех И.А.* Кедровники Южного Приобья. Новосибирск: Наука, 1974. 212 с.
2. *Залесов С.В., Белов Л.А., Оплетаев А.С.* и др. Формирование кедровников рубками ухода на бывших сельскохозяйственных угодьях // ИВУЗ «Лесной журнал». 2021. № 1. С. 9–19.
3. *Залесов С.В., Платонов Е.П., Неволин А.В., Фролова Т.А., Эфа Д.Э.* Опыт создания кедросада «Приозерный» // Аграрный вестник Урала. 2011. № 8 (87). С. 37–38.
4. *Залесов С.В., Платонов Е.П., Неволин А.В., Фролова Т.А., Эфа Д.Э.* Увеличение доли сосны сибирской в составе древостоев на примере создания кедросада «Югорский» // Аграрный вестник Урала. 2011. № 10 (89). С. 23–27.
5. Кедровники Югры – вчера, сегодня, завтра / С.В. Залесов, Б.Е. Чижов, Е.В. Титов и др. Ханты-Мансийск, 2012. 178 с.
6. *Петров М.Ф.* Припоселковые кедровники и их историческая связь с сельским хозяйством // Использование и воспроизводство кедровых лесов. Новосибирск: Наука, 1971. С. 155–161.
7. *Седых В.Н.* Динамика равнинных кедровых лесов Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.
8. *Смолоногов Е.П., Залесов С.В.* Эколого-лесоводственные основы организации и ведения хозяйства в кедровых лесах Урала и Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. 186 с.
9. *Чижов Б.Е., Бех И.А.* Кедровые леса Западно-Сибирской равнины, хозяйство в них. Пушкино: ВНИИЛМ, 2014. 164 с.

57.042

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА КАМБИАЛЬНОЙ ЗОНЫ ХВОЙНЫХ СРЕДСТВАМИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ VS-CAMBIUM-DEVELOPER

Д.А. БЕЛОУСОВА, В.А. ИЛЬИН, М.И. ПОПКОВА, А. АРЗАК, В.В. ШИШОВ

Сибирский федеральный университет, Красноярск (daryadarya1611@gmail.com, iljin.victor@gmail.com, popkova.marg@gmail.com, aarzac@gmail.com, vlad.shishov@gmail.com)

Аннотация. Годичные слои древесины отражают прямую реакцию деревьев на климатические изменения. Активность камбия в вегетационный период происходит по аналогичным закономерностям. Имитационные модели годичных колец помогают анализировать эти взаимосвязи. Разработка модели, описывающей функционирование камбия, является как фундаментальной, так и прикладной задачей. Новое веб-приложение VS-Cambium-Developer представляет собой инструмент для прогнозирования камбиальной активности хвойных растений.

ANALYSIS AND FORECASTING OF CAMBIAL ZONE GROWTH RATE OF CONIFERS WITH WEB APPLICATION VS-CAMBIUM-DEVELOPER

D.A. BELOUSOVA, V.A. ILJIN, M.I. POPKOVA, A. ARZAC, V.V. SHISHOV

Siberian Federal University, Krasnoyarsk (daryadarya1611@gmail.com, iljin.victor@gmail.com, popkova.marg@gmail.com, aarzac@gmail.com, vlad.shishov@gmail.com)

Abstract. Annual tree rings of wood reflect direct response of trees and their cambium activity to climatic changes during the growing season. Tree ring simulation models is useful for analysis of these relationships. Forecasting modeling describing the functions of cambium is both fundamental and applied. The new web application VS-Cambium-Developer is a tool for the cambial activity of conifers forecasting.

Одна из актуальных задач современной экологии – изучение влияния климата на камбиальную активность и, как следствие, на общую адаптацию растений к климатическим изменениям. Исследования показывают, что изменения климата могут оказывать значительное воздействие на процессы роста и развития растений, включая камбиальную зону. Такие изменения могут привести к сдвигам в географическом распространении растений и изменению их жизненных циклов [1, 2, 6, 7, 8].

Камбиальные клетки деревьев во время сезона роста формируют уникальную структуру ткани под влиянием одновременно внутренних биохимических процессов и внешних факторов окружающей среды. Например, климатические условия, такие как температура, осадки и доступность воды, могут влиять на скорость изменения камбиальной зоны, формирование и функционирование ее клеток. Это может отразиться на структуре и характеристиках годичного кольца. Имитационные модели роста годичных колец играют ключевую роль в анализе этих взаимосвязей, они помогают понять влияние внутренних и внешних факторов на активность камбия [2, 7].

Результаты многих исследований описывают, как внутренние (гормоны роста, ассимиляты, гены) и внешние (температура, влажность, освещенность) факторы влияют на активность камбия и последующую дифференцировку его производных. Этот сложный характер влияния факторов на активность камбия также обусловливает разнообразие подходов к его количественному описанию и способам моделирования его динамики [6, 7, 8].

В данной работе предложен новый подход к количественному описанию кинетики камбия, при котором учитывается влияние внешних факторов роста на активность камбиальной зоны и доступность цитоплазматического ингибитора для клеток камбиальной зоны. В его основе лежат следующие принципы:

1. Под влиянием климата изменяется скорость роста камбиальных клеток и доступность цитоплазматического ингибитора для клеток камбиальной зоны.

2. Основные внешние факторы, лимитирующие скорость роста клеток в камбиальной зоне, – температура воздуха, содержание влаги в почве и освещенность. При расчете скорости клеток применяется принцип лимитирующего фактора: скорость роста определяется минимальной на данный момент частной скоростью роста, рассчитанной для каждого из факторов отдельно.

3. Объем сезонной клеточной продукции определяется только доступностью цитоплазматического ингибитора в клетках камбиальной зоны.

4. Моделируются только изменения в скорости роста клеток и их структуре, обусловленные текущими погодными условиями сезона роста.

5. Модель можно использовать для прогнозирования или реконструкции клеточной продукции и динамики камбия [2, 3, 4, 8].

В данной работе рассматривается новая версия модели VS-Cambium-Developer для оценки активности камбия у хвойных видов древесных растений. Это прогнозный блок имитационной модели Ваганова – Шашкина, не требующий ежегодной ручной калибровки. VS-CD может использоваться для автоматического прогнозирования развития камбиальной зоны на длительные сроки. Модель

рассчитывает клеточную продукцию и моделирует динамику радиального ряда в течение вегетационного периода для каждого года, в том числе с помощью средств визуального моделирования [3, 4].

В модели VS-CD скорость роста клеток в фазе G1 в сезоне описывается формулой:

$$v = \begin{cases} \dfrac{(D_M - D_{init})}{d}, \text{деление инициали} \\ e^{-e^{-c*C_{inht}}}, \text{деление клетки при оптимальных условиях,} \\ e^{-e^{-c*S*C_{inht}}}, \text{деление клетки в стрессовых условиях,} \end{cases}$$

где D_M – размер клетки, выходящей из митотической фазы, D_{init} – размер клетки в начале клеточного цикла, d – срок деления инициали, c – параметр модели, S – количественная мера стресса (параметр модели), C_{inht} – концентрация ингибитора в клетке [4].

Пользователь может пошагово просмотреть развитие камбиальной зоны в сезоне и за период лет. Разработанные виджеты (средства визуализации процесса) позволяют отслеживать динамику роста камбиальной зоны с высокой точностью менее суток (рис. 1, 2) [4].

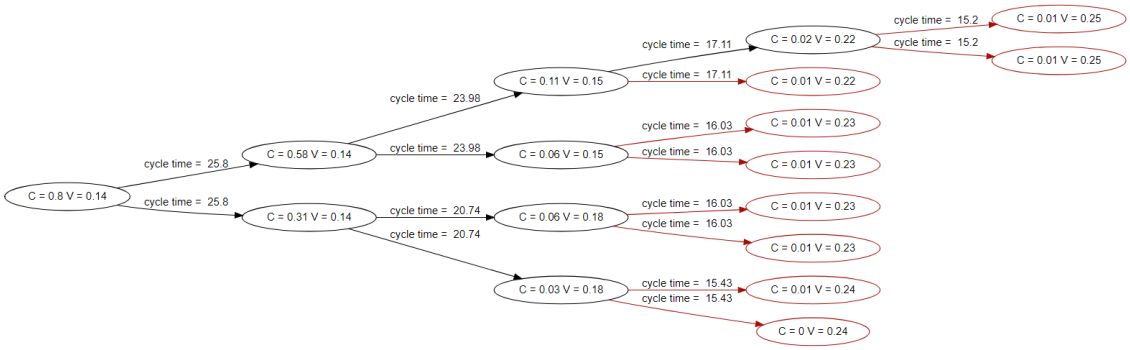


Рис. 1. Один из виджетов веб-приложения, реализующего алгоритм VS-CD модели, позволяет представить информацию обо всех делениях за сезон в виде дерева делений, в узлах которого отображены период прохождения материнской клеткой клеточного цикла, концентрация ингибитора в клетке на момент фазы M, скорость роста клетки в фазе G1. Красным обозначены клетки, перешедшие в зону растяжения



Рис. 2. Пример работы виджета VS-CD модели, реализующего пошаговую визуализацию делений во времени. Готовая к делению клетка выделена темным цветом

Алгоритм разработан на языке программирования R и может быть легко адаптирован для использования на онлайн-платформе vs-genn.ru. Модель успешно протестирована на данных о сезонной продукции клеток сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* в трех регионах Сибири с разными ведущими климатическими факторами за период с 1963 по 2017 г. В ходе эксперимента удалось подобрать численные параметры оценки климатического воздействия, описывающие внешние условия роста (длина сезона роста, его начало и конец, периоды климатических депрессий в сезоне) и внутренние аспекты (параметры скорости роста, степень реакции растений на стрессовые факторы и т. д.). Среди этих параметров были подобраны наиболее значимые, на основе которых построена формула линейной регрессии, численно описывающая запас ингибитора в отдельно взятом сезоне. Эта величина напрямую влияет на клеточную продукцию в сезоне.

Формула легла в основу алгоритма прогностической версии модели – при вычислении статистических оценок климатических факторов алгоритм для каждого сезона позволяет оценить клеточную продукцию без необходимости ручной настройки параметров.

Эксперимент показал, что данная формула является универсальной независимо от ведущих климатических факторов участков и одинаково работает для всех выбранных участков: получена корреляция смоделированной и наблюденной продукций более 0.55.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чавчавадзе Е.С.* Древесина хвойных. Морфологические особенности, диагностическое значение. Л.: Наука, 1979. 190 с.
2. *Anchukaitis K.J., Evans M.N., Hughes M.K., Vaganov E.A.* An interpreted language implementation of the Vaganov – Shashkin tree-ring proxy system model // Dendrochronologia. 2020. V. 60. P. 125677.
3. *Belousova D.A., Shishov V.V., Babushkina E.A., Vaganov E.A.* VS-Cambium-Developer: A new approach to modeling the functioning of the cambial zone of conifers under the influence of environmental factors // Russian Journal of Ecology. 2021. Т. 52. С. 358–367.
4. *Belousova D.A., Shishov V.V., Arzac A., Popkova M.I., Babushkina E.A., Huang J.-G. Yang B., Vaganov E.A.* VS-Cambium-Developer: A new predictive model of cambium functioning under the influence of environmental factors. Plants. 2023. № 12. P. 3594.
5. *Drew D.M., Downes G.* A model of stem growth and wood formation in Pinus radiata // Trees. 2015. V. 29. № 5. P. 1395–1413.
6. *Hartmann F.P., Rathgeber C.B.K., Fournier M., Moulia B.* Modelling wood formation and structure: power and limits of a morphogenetic gradient in controlling xylem cell proliferation and growth // Annals of Forest Science. 2017. V. 74. № 1. P. 1–15.
7. *Larson P.R.* The vascular cambium. Development and structure. Berlin: Springer-Verlag, 1994. 725 p.
8. *Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V.* Growth dynamics of conifer tree rings: images of past and future environments. Berlin: Springer-Verlag, 2006. 358 p.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 22-14-00048 и Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта № FSRZ-2023-0007. Автор выражает благодарность соавторам работы: В.А. Ильину, М.И. Попковой, В.В. Шишову, А. Арзаку.

УДК 630*561.24

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТУРАНГИ РАЗНОЛИСТНОЙ (*PÓPULUS DIVERSIFOLIA* SCHRENK) В ПОЙМЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА

В.Е. БЕНЬКОВА[1], Р.С. АХМЕТОВ[2], А.В. ШАШКИН[1], Ж.С. ДУКЕНОВ[2], Д.В. ОВЧИННИКОВ[1], А.В. БЕНЬКОВА[1], Д.А. ДОСМАНБЕТОВ[2], М.А. УАШЕВ[2], Е.А. ШАШКИН[1], Ю.В. КЛАДЬКО[1], Д.А. МАШУКОВ[1]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (annie1977@yandex.ru)
[2] Алматинский филиал Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана, Алматы (los-almaty@mail.ru)

Аннотация. Исследовали динамику роста деревьев туранги разнолистной (*Pópulus diversifolia* Schrenk), произрастающей в пойменных лесах на р. Или (44°8′ с. ш., 76°27′ в. д.; 396 м над ур. м) и Сырдарья (Туркестанская область, 42°19′ с. ш., 69°27′ в. д.; 396 м над ур. м). Выявлен убывающий тренд среднего радиального прироста с 1990-х гг., начала интенсивной аридизации климата. Установлена отрицательная корреляционная связь радиального прироста со среднемесячными температурами воздуха апреля, мая и июля и положительная связь с осадками сентября в пойме р. Или и отсутствием таковых в пойме р. Сырдарья. Интенсивность и погодичную изменчивость радиального прироста на р. Сырдарья определяет гидрологический режим пойменных почв, зависящий главным образом от режима ежегодного искусственного затопления в июле – августе, в то время как на р. Или эти показатели определяются и климатическими факторами, и гидрологическим режимом пойменных почв.

DENDROCHRONOLOGICAL STUDY OF *PÓPULUS DIVERSIFOLIA* SCHRENK IN THE TUGAY FORESTS, KAZAKHSTAN

V. E. BENKOVA[1], R.S. AKHMETOV[2], A.V. SHASHKIN[1], J.S. DUKENOV[2], D.V. OVCHINNIKOV[1], A.V. BENKOVA[1], D.A. DOSMANBETOV[2], M.A. UASHEV[2], E.A. SHASHKIN[1], YU.V. KLADKO[1], D.A. MASHUKOV[1]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (annie1977@yandex.ru)
[2] A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry LLP, Almaty, Kazakhstan (los-almaty@mail.ru)

Abstract. The tree growth of dynamics of *Pópulus diversifolia* Schrenk growing in floodplain forests on the Ili River (44°8′ N, 76°27′ E; 396 m above sea level) and Syrdarya (Turkestan region, 42°19′ N, 69°27′ E; 396 m above sea level) were investigated. A decreasing trend of average radial growth since the 1990s, since the beginning of intensive climate aridization, has been revealed. A negative correlation of radial growth with average monthly air temperatures in April, May and July and a positive relationship with September precipitation in the floodplain on the Ili River and the absence of such in the floodplain of the Syr Darya River were established. The intensity and annual variability of radial growth on the Syrdarya River is determined by the hydrological regime of floodplain soils, which depends mainly on the regime of annual artificial flooding in July-August, while on the Ili River these indicators are determined by both climatic factors and the hydrological regime of floodplain soils.

Тугайные (пойменные) леса имеют важное гидрологическое, ландшафтное, социально-экологическое, хозяйственное и биологическое значение. Однако в настоящее время отмечается их резкое сокращение. На мировом уровне положение оценивается как катастрофичное. Сегодня в Центральной Азии тугайные лесные массивы составляют менее 10 % площади, занимаемой ими в 1960-е гг. При разработке стратегии эффективного восстановления тугайных лесов в засушливых регионах Казахстана исключительное внимание уделяется исследованию их современного состояния, определению лесовосстановительного потенциала основных лесообразующих пород, оценке устойчивости их к патогенам и др. При этом слабо используется такой показатель, как радиальный прирост, в котором заключена ретроспективная информация о росте и развитии отдельных деревьев и целых популяций. Цель работы заключалась в выявлении изменений динамики радиального роста в условиях текущей аридизации климата у туранги разнолистной – вида-лесообразователя тугайных лесов в поймах рек Или и Сырдарья (Казахстан).

Во время экспедиционных работ в 2021–2023 гг. сотрудники Алматинского филиала «Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана» выбрали для исследования в полупустынных климатических условиях два участка в поймах рек Или (Алматинская область, 44°8′ с. ш., 76°27′ в. д.; 396 м над ур. м) и Сырдарья (Туркестанская область, 42°19′ с. ш.; 69°27′ в. д.; 396 м над ур. м). Для дендрохронологического исследования было отобрано 10 деревьев туранги разнолистной в пойме р. Или и 21 дерево в пойме р. Сырдарья. Древесно-кольцевые хронологии радиального прироста проанализированы во временном интервале 1979–2023 гг., общем для обоих участков. Для выделения периодов времени в пределах сезона вегетации со значимым влиянием на радиальный прирост климатических факторов использовали корреляционные функции отклика на среднемесячные значения температуры и осадков. В связи с тем, что интенсивная аридизация климата (по данным метеостанций «Баканас» и «Шымкент», ближайших к участкам (http://www.pogodaiklimat.ru/history/36821_2.htm)) началась с 1990-х гг., общий период был разбит на два: 1974–1991 гг. и 2001–2023 гг. Коэффициенты корреляции рассчитывали для этих временных периодов.

Результаты и их обсуждение. Несмотря на то, что в пойме р. Сырдарья в период интенсивного роста (с марта по июль) осадков выпадает в несколько раз больше, средняя по деревьям ШГК за период с 1979 по 2023 г. в 2.6 раза меньше (1.87 ± 0.61 мм), чем в пойме р. Или (4.91 ± 1.90 мм). На кривых хода роста деревьев на обоих участках четко выделяется убывающий тренд ШГК с конца 1990-х гг. На р. Или тренд ШГК соответствует положительным трендам апрельской, майской и июльской температуры воздуха (коэффициенты корреляции достоверны и равны -0.34, -0.44 и -0.59) и отрицательному тренду количества июльских осадков (R = 0.48). На р. Сырдарья убывающий тренд ШГК достоверно не связан с ходом весенне-летних температур и количеством осадков. Из этого следует, что текущий процесс аридизации с конца 1990-х гг. угнетающе действует на интенсивность роста туранги в пойме р. Или и заметно не сказывается на р. Сырдарья. Очевидно, что в последнем случае рост определяется неклиматическими факторами, например, меньшим количеством доступной для корней влаги, которая имеет разные источники, а не только осадки.

По корреляционным функциям отклика выявили следующее:

Период 1979–1991 гг. У деревьев на р. Или ШГК положительно коррелирует (при $P \geq 0.95$) со средней температурой августа; достоверной корреляции с месячным количеством осадков в апреле – сентябре не выявлено. На р. Сырдарья достоверной корреляции между ШГК и обоими климатическими факторами не выявлено (при $P \geq 0.95$).

Период 2001–2023 гг. У деревьев на р. Или выявлена отрицательная корреляция ШГК со среднемесячными температурами апреля, мая, июня и июля и слабая (на пределе достоверности) положительная корреляция с количеством осадков в июне. На р. Сырдарья достоверной корреляции между ШГК и обоими климатическими факторами не выявлено (при $P \geq 0.95$).

Таким образом, корреляционные функции отклика показали, что:

– аридизация климата в течение двух последних десятилетий сопровождается существенным негативным влиянием температур апреля – июля на радиальный прирост деревьев в пойме р. Или, чего не было в предшествующий период;

– текущая аридизация не привела к изменению реакции растений на внутрисезонную изменчивость погодных условий в пойме р. Сырдарья.

Изменчивость ширины годичных колец на 90 % можно связать с межсезонным изменением водного режима «дерево – почва». Его компонент, почвенная влага пойм, имеет разные источники. Это не только осадки, но и сезонные подтопления талыми водами, искусственные поверхностные затопления пойм, проведение которых в июле – августе является обязательным; близкое залегание грунтовых вод и др. Таким образом, можно утверждать, что сравнительно низкая интенсивность радиального роста и нечувствительность к влиянию климатических факторов у туранги в пойме р. Сырдарья обусловлены худшими гидрологическими свойствами почвы. На р. Или сравнительно высокую интенсивность роста определяют как погодные условия (пониженная температура апреля – июля и повышенное количество июньских осадков), так и сравнительно благоприятный для роста режим погодичного искусственного затопления. Ежегодные затопления пойм в июле – августе являются важным фактором роста. Они обусловливают появление ложных колец на обоих опытных участках (по нашим наблюдениям). Этот эффект аналогичен формированию ложных колец в сезоны дождей после летней засухи у сосны желтой (*Pinus ponderosa*) в полупустынном климате (Аризона, США) [1].

Заключение. В поймах рек Или и Сырдарья сложились разные условия произрастания туранги разнолистной. Интенсивность радиального роста и чувствительность радиального прироста к погодным условиям сезона у деревьев в пойме р. Или более высокая, чем в пойме р. Сырдарья, несмотря на более выраженные изменения климата в сторону аридизации. Сравнительно низкая интенсивность радиального роста и нечувствительность к влиянию климатических факторов в пойме р. Сырдарья, очевидно, обусловлены худшими гидрологическими свойствами почвы, определяемыми в основном режимом погодичного затопления. В связи с этим туранга разнолистная может использоваться как индикатор при реконструкции и разработке режимов сезонных затоплений поймы на р. Сырдарья.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Fritts H.C.* Tree-rings and climate. London; New York; San Francisco: Acad. Press., 1976. 576 p.

УДК 630*221.01:574.4

ВЛИЯНИЕ ЗИМНИХ СПЛОШНОЛЕСОСЕЧНЫХ РУБОК НА ОБМЕН ВЕЩЕСТВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – ФИТОЦЕНОЗ В ЕЛЬНИКАХ НА ПОЛУГИДРОМОРФНЫХ ПОЧВАХ

К.С. БОБКОВА[1], Н.В. ЛИХАНОВА[2], М.А. КУЗНЕЦОВ[1]

[1] Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Республика Коми (bobkova@ib.komisc.ru, kuznetsov_ma@ib.komisc.ru)
[2] Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина, Сыктывкар, Республика Коми (lihanad@mail.ru)

Аннотация. Проведен сравнительный анализ биологического круговорота углерода, азота, зольных элементов в спелых ельниках и на вырубках. Показаны процессы эмиссии CO_2 с поверхности почвы вырубок.

THE INFLUENCE OF WINTER CLEAR-CUTTING ON THE EXCHANGE OF SUBSTANCES IN THE SOIL-PHYTOCENOSIS SYSTEM IN SPRUCE FORESTS ON SEMI-HYDROMORPHIC SOILS

K.S. BOBKOVA[1], N.V. LIKHANOVA[2], M.A. KUZNETSOV[1]

[1] Institute of Biology of Komi Science Centre UB RAS, Syktyvkar, Komi Republic (bobkova@ib.komisc.ru, kuznetsov_ma@ib.komisc.ru)
[2] P. Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Komi Republic (lihanad@mail.ru)

Abstract. A comparative analysis of the biological cycle of carbon, nitrogen and ash elements in mature spruce forests and fellings is carried out. The processes of CO_2 emission from soil surface of fellings are shown.

В докладе представлены результаты исследований, которые вносят определенный вклад в разработку одной из важнейших проблем лесоведения – оценку влияния зимних промышленных рубок на функционирование экосистем на необлесенных вырубках ельников. Приведенные результаты позволяют оценить различные пулы органического вещества (ОВ), углерода и минеральных элементов, а также фундаментальные процессы, определяющие ход обмена между пулами в экосистемах спелых среднетаежных ельников и вырубок на полугидроморфных почвах.

В средней тайге Республики Коми в спелых ельниках черничном влажном и долгомошно-сфагновом аккумуляция углерода растительного ОВ составляет 86–92 т·га$^{-1}$, а концентрация азота и зольных элементов – 1.55–1.33 т·га$^{-1}$ соответственно. Ряд распределения химических элементов в фитомассе растений – азотно-кальциево-калиевый: N>Ca>K>Mg>Si>Mn>P>AI>Fe>Na. В древесных растениях спелых ельников аккумулируется 95–98 % азота и зольных элементов от общей суммы химических элементов ОВ фитоценозов, остальная часть концентрируется в растениях напочвенного покрова.

Выявлено, что в процессе зимних сплошнолесосечных рубок при хлыстовой трелевке с предварительной обработкой крон на лесосеке вывозится 40–44 % углерода, 24–28 % азота, 22–23 % зольных элементов от их массы, накопленной в фитомассе древостоев. В то же время за счет оставленных корней древесных растений будет постепенно вовлечено в биологический круговорот 18–20 т·га$^{-1}$ углерода, 104–120 кг·га$^{-1}$ азота, 184–239 кг·га$^{-1}$ зольных элементов. С порубочными остатками дополнительно в почву поступит также на один гектар площади 37.7 т углерода ОВ, 285 кг азота, 558 кг зольных элементов в ельнике черничном влажном и 41, 309 и 565 соответственно в ельнике долгомошно-сфагновом. Большая часть зольных элементов приходится на Ca, K, Si и P.

Сплошнолесосечная рубка в ельниках приводит как к изменению структуры фитомассы ценозов, так и к накоплению углерода и элементов минерального питания. Содержание азота и зольных элементов в фитомассе растущих органов растений на вырубке ельников составляет 0.49–0.61 т·га$^{-1}$, что в 3-4 раза меньше, чем в спелых ельниках. В древесных растениях вырубки концентрируется 62–67 % от общего количества углерода в фитомассе растений. В ценозе на вырубках ельников по сравнению со спелыми ельниками при значительном уменьшении (в 4-6 раз) запасов питательных элементов в древесных растениях наблюдается увеличение их (в 2 раза) в растениях напочвенного покрова, основная часть которых представлена травянистыми растениями и мхами. На вырубке ельника черничного влажного элементы минерального питания в фитомассе растений располагаются в следующем порядке: N>Ca>K>Si>P>Mg>Mn>AI>Fe>Na, на вырубке долгомошно-сфагнового – N>Ca>K>Si>P>Mg>AI>Mn>Fe>Na. Следует отметить, что с порубочными остатками и корневыми системами древесных растений после рубки в почву поступает довольно большое количество азота и зольных элементов, примерно в 3 раза превышающее величину годичного их поступления с опадом. Постепенно освобождаемые в процессе минерализации порубочных остатков элементы минерального питания перехватываются корнями растений, формирующих фитоценоз; тем самым они активно используются в биологическом круговороте химических элементов.

Характерной особенностью как спелых ельников, так и вырубок является накопление значительного количества минеральных элементов в лесной подстилке. Содержание азота и зольных

элементов в подстилке спелого ельника черничного влажного равно 1.74 т·га$^{-1}$, долгомошно-сфагнового – 2.42 т·га$^{-1}$. Ряд распределения – азотно-кремниево-алюминиевый: N>Si>AI>Fe>P>Ca>K>Mg>Mn>Na. Количество элементов минерального питания в органогенном горизонте вырубки ельника черничного влажного составляет 1.52 т·га$^{-1}$, ельника долгомошно-сфагнового – 2.32 т·га$^{-1}$. Ряд содержания их на вырубках ельников – азотно-кальциево-кремниевый: N>Ca>Si>Fe>AI>K>Mn>Mg>P>Na. Изменение ряда аккумуляции элементов минерального питания в лесной подстилке почв на вырубках по сравнению со спелыми ельниками следует объяснить сменой растительного покрова после рубки.

Интенсивность круговорота элементов минерального питания, т. е. количество элементов минерального питания, ежегодно вовлекаемых в прирост фитомассы, в спелых ельниках составляет 0.14–0.17 т·га$^{-1}$, на 4-6-летних вырубках – 0.35–0.36 т·га$^{-1}$. Количество элементов минерального питания, поступающего с годичным опадом в почву, на вырубке ельника черничного влажного составляет 0.08 т·га$^{-1}$, на вырубке ельника долгомошно-сфагнового – 0.09 т·га$^{-1}$. Большая часть (88–90 %) элементов минерального питания на вырубках ельников поступает с опадом остатков растений напочвенного покрова. Ряд распределения химических элементов в растительных остатках опада обозначенного ценоза: N>K>Ca>Si>Mg>P. На вырубке ельника черничного влажного ряд возврата элементов минерального питания с годичным опадом растительных остатков – азотно-калиево-кремниевый: N>K>Si>Ca>Al>P>Mg>Mn>Fe>Na, на вырубке ельника долгомошно-сфагнового – азотно-кремниево-калиевый: N>Si>K>Ca>Al>P>Mg>Mn>Fe>Na. Для сравнения, в спелых ельниках на торфянисто-подзолисто-глееватых иллювиально-гумусово-железистых почвах с опадом возвращается 0.11–0.12 т·га$^{-1}$ азота и зольных элементов, большая часть (77–87 %) которых приходится на опад древесных растений. Для еловых фитоценозов исследуемого региона ряд распределения минеральных элементов в опаде – азотно-кальциево-калиевый: N>Ca>K>Si>Mg>P>Mn>Al>Na>Fe>Cl.

Таким образом, выявленные нами изменения основных показателей круговорота химических элементов в спелых ельниках и на вырубках этих ценозов объясняются различной биологической миграцией элементов минерального питания в системе почва – фитоценоз. Фитоценозы как спелых ельников, так и 4-6-летних вырубок еловых сообществ средней подзоны тайги на торфянисто-подзолисто-глееватых почвах относятся к азотно-бореальному классу круговорота веществ, который характеризуется как малопродуктивный, среднезольный, сильно заторможенный. При этом следует подчеркнуть, что рубка леса – это не только отчуждение элементов питания из леса, но и вовлечение их в биологический круговорот последующим поколением возобновляющихся древесных растений. Стоит также учесть, что при рубках в экосистеме остаются органический углерод и элементы минерального питания, накопленные в растениях напочвенного покрова, валеже, подстилке и почве, которые будут вовлекаться в обмен веществ древесными растениями в процессе их восстановления на вырубках, что станет предметом дальнейших исследований лесной науки.

УДК 630:575.174.015.3

РЕФЕРЕНСНЫЙ ГЕНОМ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В ПОПУЛЯЦИОННОЙ И СРАВНИТЕЛЬНОЙ ГЕНОМИКЕ ХВОЙНЫХ ВИДОВ

Е.И. БОНДАР[1, 2], К.А. МИРОШНИКОВА[1, 2], В.В. ШАРОВ[1, 2], Д.А. КУЗЬМИН[1], Н.В. ОРЕШКОВА[1, 2, 3], К.В. КРУТОВСКИЙ[1, 4, 5, 6]

[1] Сибирский федеральный университет, Красноярск (dm.kuzmin@gmail.com, ebondar@sfu-kras.ru, sharvadim07@ya.ru)
[2] Федеральный исследовательский центр «КНЦ» СО РАН, Красноярск (mixe96@mail.ru, oreshkova@ksc.krasn.ru)
[3] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (oreshkova@ksc.krasn.ru)
[4] Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Гёттинген, Германия (konstantin.krutovsky@forst.uni-goettingen.de)
[5] Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва
[6] Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж

Аннотация. Сибирская лиственница (*Larix sibirica* Ledeb.) – ключевой вид хвойных деревьев в бореальных лесах Северного полушария, известный своей устойчивостью к экстремально холодным условиям и ценной гнилоустойчивой древесиной. Недавние достижения в геномных исследованиях, включая публикацию полных ядерного, хлоропластного и митохондриального геномов лиственницы сибирской, предоставили новые инструменты для изучения и сохранения этих важных экосистем.

SIBERIAN LARCH REFERENCE GENOME IN POPULATION AND COMPARATIVE GENOMICS OF CONIFERS SPECIES

E.I. BONDAR[1, 2], K.A. MIROSHNIKOVA[1, 2], V.V. SHAROV[1, 2], D.A. KUZMIN[1], N.V. ORESHKOVA[1, 2, 3], K.V. KRUTOVSKY[1, 4, 5, 6]

[1] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (dm.kuzmin@gmail.com, ebondar@sfu-kras.ru, sharvadim07@ya.ru)
[2] Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center» SB RAS, Krasnoyarsk (mixe96@mail.ru, oreshkova@ksc.krasn.ru)
[3] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (oreshkova@ksc.krasn.ru)
[4] Georg-August University of Göttingen, Göttingen, Germany (konstantin.krutovsky@forst.uni-goettingen.de)
[5] N.I. Vavilov Institute of General Genetics, RAS, Moscow
[6] G. F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh

Abstract. Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) is a key conifer species in the boreal forests of the northern hemisphere, known for its hardiness to extreme cold conditions and its valuable rot-resistant wood. Recent advances in genomic research, including the publication of complete nuclear, chloroplast and mitochondrial genomes of Siberian larch, have provided new tools for studying and conserving these important ecosystems.

В данной работе представлен комплексный анализ генома сибирской лиственницы, включая детальный анализ высокоповторяющихся элементов генома и первую аннотацию черновой сборки генома сибирской лиственницы, ее ядерного [2, 4, 6], хлоропластного [3] и митохондриального [7] геномов (рис. 1). Кроме того, были улучшены существующие геномные аннотации трех других значимых хвойных видов: *Pinus taeda, Picea glauca* и *Picea abies*. Эти улучшения включают предсказание сайтов начала транскрипции (TSS) и определение 5'-UTR, что важно для понимания регуляции генов [4]. Промоторные последовательности, как правило, расположены непосредственно перед TSS, и ее правильное определение имеет важное значение для изучения регуляторных взаимоотношений между элементами генома.

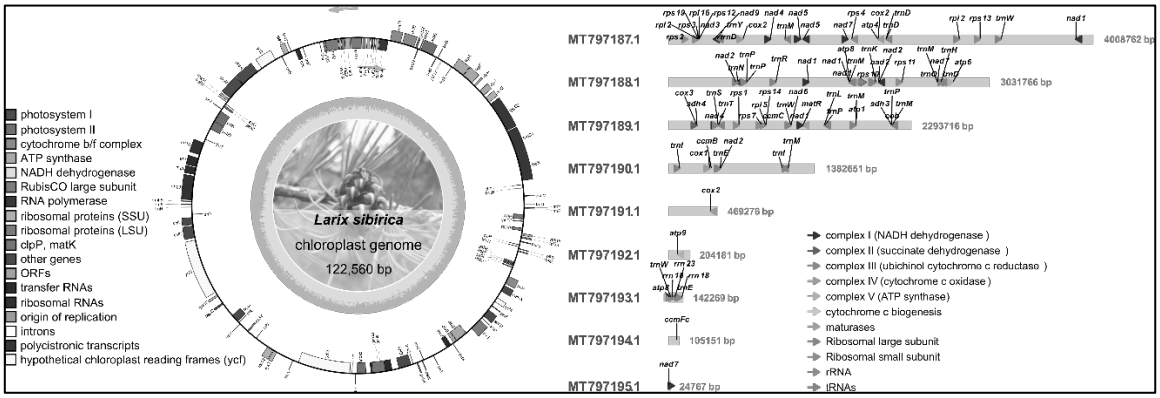


Рис. 1. Расположение генов в хлоропластном (слева) и митохондриальном (справа) геномах лиственницы сибирской

Аннотация референсного генома показала, что 87 % предсказанных геномных моделей лиственницы имеют гомологию с аннотированными белками арабидопсиса и 78 % соответствуют хотя бы одному термину Gene Ontology (GO) [2]. Существующий уровень аннотации позволяет проводить

сравнительные геномные исследования голосеменных и покрытосеменных, анализировать эволюционные процессы и функциональные адаптации. Анализируя обогащенность генов в различных функциональных категориях, можно лучше понять эволюционную историю и экологические стратегии этих видов.

Около 66 % генома сибирской лиственницы состоит из повторяющихся и высокомобильных элементов. Филогенетическая оценка времени их встраивания в геном выявила волну вставок ретротранспозонов около 4-5 млн лет назад (рис. 2). Была создана комплексная библиотека повторов [2], доступная для свободного использования, которая может помочь в идентификации и маскировке повторов у других древесных видов, улучшая точность геномных аннотаций.

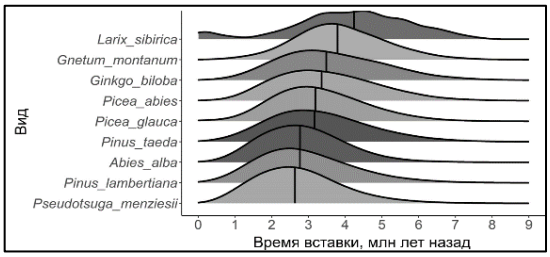


Рис. 2. Оценка времени вставки LTR-RT элементов в геноме девяти видов голосеменных

Эффективное сохранение и оценка биоразнообразия бореальных лесов требуют надежных молекулярных генетических маркеров [5]. Традиционно для *Larix sibirica* использовались микросателлитные локусы (SSR), разработанные для других видов, но они часто демонстрируют низкую эффективность при использовании для родственных видов. Был разработан новый набор видоспецифичных микросателлитных маркеров для *L. sibirica*, который протестировали также на популяциях двух других видов лиственницы – *L. gmelinii* и *L. cajanderi* (рис. 3). Этот набор включает 14 надежных полиморфных ядерных SSR маркеров, которые могут использоваться в популяционно-генетических исследованиях, селекционных программах и идентификации происхождения древесины [1, 5].

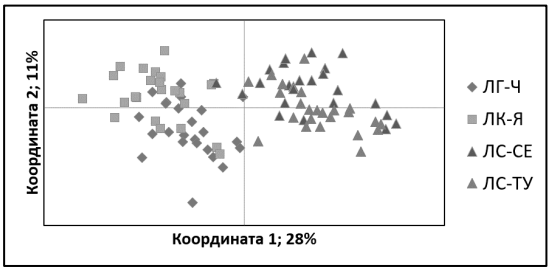


Рис. 3. Выборки популяций лиственниц сибирской (ЛС), Каяндера (ЛК) и Гмелина (ЛГ) на плоскости двух координат по данным анализа главных координат (PCoA) матрицы генотипических расстояний

Проаннотированная референсной сборка генома сибирской лиственницы наряду с новыми микросателлитными маркерами предоставляет важные полногеномные ресурсы, необходимые для сохранения биоразнообразия и снижения экологических рисков в бореальных лесах. Эти данные позволяют проводить детальные популяционные генетические исследования, поддерживают селекционные программы, направленные на улучшение качества древесины и устойчивости к экологическим стрессам, помогают лучше понять генетическое разнообразие, эволюционную историю и функциональные адаптации хвойных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Орешкова Н.В., Бондар Е.И., Путинцева Ю.А., Шаров В.В., Кузьмин Д.А., Крутовский К.В.* Разработка ядерных микросателлитных маркеров с длинными (трех-, четырех-, пяти- и шестинуклеотидными) мотивами для трех видов лиственницы на основе полногеномного *de novo* секвенирования лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) // Генетика. 2019. 55 (4). С. 418–425. DOI: 10.1134/S001667581904009X.
2. *Bondar E.I., Feranchuk S.I., Miroshnikova K.A., Sharov V.V., Kuzmin D.A., Oreshkova N.V., Krutovsky K.V*. Annotation of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) nuclear genome – one of the most cold-resistant tree species in the only deciduous GENUS in *Pinaceae* // Plants. 2022. 11 (15): 2062. DOI: 10.3390/plants11152062,
3. *Bondar E.I., Putintseva Y.A., Oreshkova N.V., Krutovsky K.V.* Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) chloroplast genome and development of polymorphic chloroplast markers // BMC Bioinformatics. 2019. 20 (Suppl. 1): 38. DOI: 10.1186/s12859-018-2571-x.
4. *Bondar E.I., Troukhan M.E., Krutovsky K.V., Tatarinova T.V.* Genome-wide prediction of transcription start sites in conifers // Int. J. Mol. Sci. 2022. 23 (3): 1735. DOI: 10.3390/ijms23031735.
5. *Krutovsky K.V., Putintseva Y.A., Oreshkova N.V., Bondar E.I., Sharov V.V., Kuzmin D.A*. Postgenomic technologies in practical forestry: development of genome-wide markers for timber origin identification and other applications // For. Eng. J. 9 (1): 9–16. DOI: 10.12737/article_5c92016b64af27.15390296.
6. *Kuzmin D.A., Feranchuk S.I., Sharov V.V., Cybin A.N., Makolov S.V., Putintseva Y.A., Oreshkova N.V., Krutovsky K.V.* Stepwise large genome assembly approach: a case of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) // BMC Bioinformatics. 20 (Suppl. 1): 37. DOI: 10.1186/s12859-018-2570-y.
7. *Putintseva Y.A., Bondar E.I., Simonov E.P., Sharov V.V., Oreshkova N.V., Kuzmin D.A., Konstantinov Y.M., Shmakov V.N., Belkov V.I., Sadovsky M.G., Keech O., Krutovsky K.V*. Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) mitochondrial genome assembled using both short and long nucleotide sequence reads is currently the largest known mitogenome // BMC Genomics. 2020. 21 (1): 654. DOI: 10.1186/s12864-020-07061-4.

УДК 581.143.28

ОЦЕНКА СКОРОСТИ НАКОПЛЕНИЯ БИОМАССЫ ГИПОАРКТИЧЕСКИМИ КУСТАРНИЧКАМИ НА ВОСТОЧНОМ ТАЙМЫРЕ

А.И. БОНДАРЕВ, Д.А. МАШУКОВ, Л.В. МУХОРТОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (abondarev@ksc.krasn.ru)

Аннотация. В работе приведены сведения о морфометрических показателях и годичной продукции надземной фитомассы побегов 4 видов гипоарктических кустарничков, произрастающих в кустарничковом ярусе лиственничных редколесий в западной части Анабарского плато на полуострове Таймыр. Наибольшая скорость накопления фитомассы отмечена у *Vaccinium uliginosum*, наименьшая – у *Rhododendron adamsii.*

AN EVALUATION OF THE RATE OF BIOMASS ACCUMULATION BY HYPOARCTIC GRASS SHRUBS IN EASTERN TAIMYR

A.I. BONDAREV, D.A. MASHUKOV, L.V. MUKHORTOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (abondarev@ksc.krasn.ru)

Abstract. The study presents data on morphometric indices and annual production of aboveground phytomass of sprouts of 4 species of hypoarctic dwarf shrubs inhabiting the shrub layer of larch sparse forests in the western part of the Anabar Plateau on the Taimyr Peninsula. *Vaccinium uliginosum* has the highest rate of phytomass accumulation; *Rhododendron adamsii* has the lowest one.

Исследование проводилось в западной части Анабарского плато на юго-востоке полуострова Таймыр. Задачи исследования включали анализ возрастной структуры, определение общей и годичной продукции надземной фитомассы фоновых гипоарктических кустарничков. Образцы отбирались в июле 2023 г. в лиственничном редколесье из *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr., формирующем верхнюю границу лесного пояса на контакте с горными тундрами (70°87′ с. ш., 102°94′ в. д., 300 м над ур. м.), у четырех видов фоновых гипоарктических кустарничков: *Betula exilis* Sukaczev, *Vaccinium uliginosum* L., *Salix glauca* L. и *Rhododendron adamsii* Rehder., доминирующих в травяно-кустарничковом ярусе.

Для каждого вида было взято по 10 модальных по морфометрическим показателям побегов. Побеги взвешивались в облиственном состоянии, после чего листва удалялась и вес каждого побега и листьев определялся отдельно. Затем образцы высушивались до воздушно-сухого состояния и в таком виде транспортировались для проведения измерений в лабораторных условиях. После высушивания до абсолютно сухого состояния образцы повторно взвешивались, что позволило определить общий и фракционный запас надземной фитомассы в абсолютно сухом состоянии.

Для определения годичной продукции традиционно используется масса однолетних побегов за последние 1-3 года [1, 5]. Однако данный показатель не учитывает изменение годичного прироста массы всего побега на протяжении всей жизни растения. Поэтому было решено определить возраст каждого растения и уже затем рассчитать среднегодовое значение продукции фитомассы. Задача установления возраста оказалась весьма непростой в силу крайне незначительных размеров основания побегов, диаметр которых составлял лишь несколько миллиметров.

Для определения возраста с торцов побегов были взяты микросрезы с использованием микротома санного типа. Перед резкой на микротоме образцы размягчались в дистиллированной воде. Затем на микротоме изготавливались поперечные срезы толщиной примерно 10–15 мкм. Срезы помещались на предметное стекло, и под микроскопом проверялось их качество, при этом часть срезов отбраковывалась. Наиболее качественные срезы использовались для приготовления временных микропрепаратов с использованием известных методик [2, 3].

Подсчет числа годичных колец и измерение их ширины проводились на оборудовании для компьютерного анализа изображений Axio Imager MAT, version 04/14/2005 Karl Zeis Light AGMicroscopy, с точностью измерений до 0.003 мм и с применением специализированного программного обеспечения, позволяющего определять линейные размеры и площади анатомических элементов в разных частях годичного кольца [4]. В табл. 1 представлены результаты обработки полученных данных. Приведены средние значения и среднеквадратические отклонения. Все данные по фитомассе приведены для абсолютно сухого состояния.

При сравнительно небольших различиях морфометрических показателей побегов им присуща достаточно высокая изменчивость. Минимальное ее значение наблюдается у диаметров основания, которые оказались достаточно близки у всех видов. По возрастной структуре достаточно четко выделяются две группы видов: *Vaccinium uliginosum* с *Salix glauca,* средний возраст которых не превышает 10 лет, и *Betula exilis* с *Rhododendron adamsii,* средний возраст которых достигает 20 и более лет.

Таблица 1. Характеристика морфометрических показателей изучаемых видов, их общей и годичной продуктивности

№ пп	Показатель	Ед. изм.	Наименование вида			
			Betula exilis	*Vaccinium uliginosum*	*Salix glauca*	*Rhododendron adamsii*
1	Высота растения (длина побега)	см	50±10	46±7	34±8	37±6
2	Диаметр основания	см	0.51±0.08	0.48±0.04	0.68±0.09	0.51±0.13
3	Возраст	лет	23±10	8±2	9±4	19±6
4	Масса растения общая	г	5.1±2.9	3.9±1.2	7.7±4.0	4.0±2.1
5	Масса побега	г	4.3±2.5	3.2±1.0	5.7±3.1	2.9±1.6
6	Доля листьев	%	15.3±2.4	16.5±3.5	26.0±6.3	30.1±8.9
7	Годичная продукция надземной фитомассы побегов	г/год	0.23±0.19	0.42±0.14	0.65±0.35	0.16±0.07
		%	5.6±3.3	13.2±3.6	12.2±4.3	6.7±4.8

Наибольшей массой побегов ожидаемо обладает *Salix glauca,* имеющая наряду с *Rhododendron adamsii* дихотомический характер ветвления (в отличие от двух других видов с моноподиальным типом ветвления), но отличающаяся от *Rhododendron adamsii* существенно большей толщиной побега. Для всех видов в структуре фитомассы преобладает масса побегов, которая для *Betula exilis* и *Vaccinium uliginosum* составляет 85–87 %, а для *Salix glauca* и *Rhododendron adamsii* – 70–74 %, что также обусловлено характером ветвления побегов.

Максимальное значение средней скорости накопления фитомассы побегами отмечено для *Salix glauca,* за которой следует *Vaccinium uliginosum*, а наименьшее значение – для *Rhododendron adamsii*. При этом для годичной продукции всех видов характерна высокая изменчивость, обусловленная варьированием морфометрических параметров побегов.

По относительному приросту фитомассы побегов изучаемые виды распределяются на две группы: *Betula exilis* с *Rhododendron adamsii,* годичный прирост которых составляет 6–7 %, и *Vaccinium uliginosum* с *Salix glauca* с приростом 12–13 % в год.

В результате проведенного исследования впервые для данного региона получены данные, характеризующие среднегодовое накопление фитомассы надземной частью отдельных растений четырех видов гипоарктических листопадных кустарничков. Используемый подход имеет важное методологическое значение, поскольку позволяет оценивать годичную продукцию кустарничковых видов исходя из их количества на единице площади и среднегодовой скорости накопления фитомассы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В., Родин Л.Е., Нечаева Н.Т., Левин Ф.И.* Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 185 с.
2. *Бенькова В.Е., Швейнгрубер Ф.Х.* Анатомия древесины растений России (атлас для идентификации древесины деревьев, кустарников, кустарничков, полукустарников и деревянистых лиан России). Бирменсдорф: Хаупт, 2004. 456 с.
3. *Фурст Г.Г.* Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей. М.: Наука. 1979. 156 с.
4. *Munro M.A.R.* Image analysis of tracheid dimensions for dendrochronological use // Tree Rings, Environment and Humanity / ed. by J.S. Dean, D.M. Meko, T.W. Swetnam. Radiocarbon. 1996. P. 843–852.
5. *Scurlock J.M.O., Johnson K., Olson R.J.* Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements // Global Change Biology. 2002. V. 8. P. 736–753.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах», рег. № 123030300031-6.

УДК 630*

ОЦЕНКА ПОСТПИРОГЕННЫХ СУКЦЕССИЙ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ВЫЖИГАНИЙ НА ВЫРУБКАХ В ГОРНЫХ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСАХ

А.В. БРЮХАНОВ[1, 2, 3], С.В. ЖИЛА[4], И.В. ФУРЯЕВ[4]

[1]Филиал ФБУ ВНИИЛМ «Центр лесной пирологии», г. Красноярск (bryukhanov1975@yandex.ru)
[2]ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», г. Красноярск
[3]ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск
[4]Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск (getgain@mail.ru)
[4]Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск (furya_i@mail.ru)

Аннотация. За 25 лет наблюдений за местами огневой очистки вырубок в предгорьях Восточного Саяна выявлено, что участки, пройденные огнем, наиболее часто имели разнотравный, мелкотравный и осочковый тип зарастания, а негоревшие участки – разнотравный, крупнотравный и папоротниковые типы. Наблюдение также велись за естественным лесовосстановлением и изменением уровня природной пожарной опасности.

ASSESSMENT OF POST-PYROGENIC SUCCESSION LOCATED IN LOGGING SITE AFTER PRESCRIBED BURNINGS, SITUATED ON MOUNTAIN DARK CONIFEROUS FORESTS

A.V. BRYUKHANOV [1, 2, 3], S.V. ZHILA[4], I.V. FURYAEV[4]

[1]The Branch of FBU VNIILM “Center of the forest pyrology”, Krasnoyarsk (bryukhanov1975@yandex.ru)
[2]Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk
[3]Siberian Federal University, Krasnoyarsk
[4]V.N. Sukachev Institute of Forest SB KSC RASc, Krasnoyarsk (getgain@mail.ru)
[4]V.N. Sukachev Institute of Forest SB KSC RASc, Krasnoyarsk (furya_i@mail.ru)

Abstract. The report presents the results of monitoring of prescribed burning of logging sites in the foothills of the Eastern Sayan over 25 years. Most frequently mixed grasses, short grasses and sedges grew in burned areas, while mixed grasses and ferns grew in unburned areas. Moreover, the quality of reforestation and level of wildfire danger were also monitored.

Зафиксировано, что на очищенных лесосеках с помощью технологии сплошного пала в горных темнохвойных лесах за четверть века можно сформировать достаточно успешное возобновление коренными темнохвойными (ель, пихта и сосна кедровая) с мелколиственными (осина, береза, ива древовидная) породами. Подобные насаждения в силу их смешанного видового состава являются устойчивыми к нашествию фито- и энтомовредителей и обладают достаточно низким уровнем природной пожарной опасности. Невысокий уровень природной пожарной опасности обусловливается прежде всего достаточно низкой захламленностью упавшими древесными горючими материалами (не превышает 25 т/га) и небольшой долей в напочвенном покрытии пожароопасных злаков (рис. 1, 2).



Рис. 1. Пример лесовосстановления на одной и той же вырубке после пирогенного воздействия в течение четверти века после выжигания. По изображению можно оценить зарастание негоревших и пройденных огнем участков с 1998 по 2022 г.

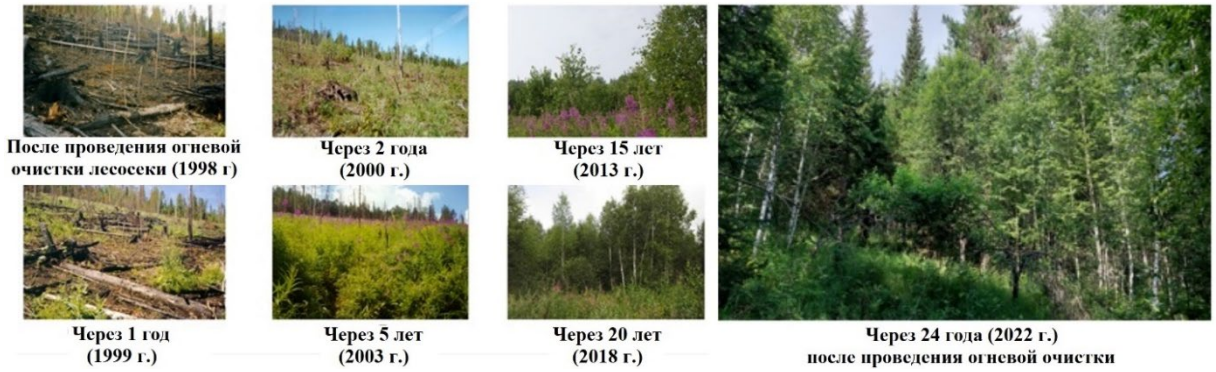


Рис. 2. В течение первых двадцати лет после огневой очистки вырубки в напочвенном покрове доминировал кипрейный тип зарастания, затем на разных вырубках он сменился преимущественно на разнотравный, мелкотравный и осочковый тип

Обследования проводились на пробных площадях, заложенных как под пологом леса, так и на вырубках, лесозаготовительные работы на которых велись во второй половине 90-х годов прошлого века (на постоянных

пробных площадях). Данные постоянные пробные площади были заложены в 1998–1999 гг. специалистами лаборатории лесной пирологии ИЛ СО РАН (под руководством д. с.-х. н., проф. Э.Н. Валендика). Все лесосеки были очищены от порубочных остатков методом сплошного пала в первый год после рубки, однако они отличались тем, что располагались на склонах разных экспозиций и крутизны. Также имелись существенные различия как по исходным запасам лесных горючих материалов (ЛГМ), так и по интенсивности их горения на каждом участке [1, 2, 3].

На некоторых пробных площадях в дальнейшем были осуществлены посадка и посев хвойных пород (в разное время). То есть, по сути, исследования ведутся на уникальных в своем роде объектах, где лесные сукцессии можно наблюдать в деталях. Имеется полная информация о том, в каком состоянии были участки до начала лесозаготовительных работ, что происходило на них во время огневой очистки (погода и характеристики горения, динамика запасов горючих материалов, температуры у поверхности и на разной глубине в почве и т. д.). Для оценки экологического состояния после проведения лесопожарных экспериментов каждая вырубка, на которой выполнялось контролируемое выжигание, проходила детальное обследование (пирологические наблюдения, оценки геоботанического зарастания, животного населения и начального этапа лесовосстановления). В дальнейшем обследования стали проводиться с интервалом в пять лет. В отличие от естественных гарей, пробные площади на участках после экспериментальных выжиганий позволяют сформировать массив значительно более точных и обширных данных, чего нельзя достигнуть, работая в местах стихийного горения, где большинство параметров оценивается весьма приблизительно (как запасы ЛГМ до пожара, так и его сила и продолжительность).

В ходе наблюдений выявлено, что спустя более 20 лет после воздействия огня найти следы пирогенного воздействия крайне сложно. Как правило, уже в течение первых нескольких лет нагар на стволах полностью смывается дождями и снегом, обуглившие участки разрушаются, а обгоревшая поверхность лесной подстилки, несгоревшие валеж и пни зарастают мхами, лишайниками и сосудистыми растениями. Из результатов исследований видно, что лесовосстановление коммерчески ценных хвойных пород лучше идет на негоревших участках (в силу сохранения части благонадежного хвойного подроста, достигающего объема до 1.5 тыс. шт./га), однако в целом более высокое видовое разнообразие и меньшая природная пожарная опасность наблюдаются на участках, где порубочные остатки были сожжены в первый год после лесозаготовки. Высоты хвойного подроста варьировали в среднем от 0.2 до 2.8 м, лиственных пород – от 0.4 до 4.5 м. На данных постпирогенных насаждениях в экспедиции фиксировались смешанные мелколиственно-темнохвойные насаждения-молодняки. Живой напочвенный покров на участках также отличался повышенным биоразнообразием. Если на участках вырубок с пирогенным воздействием наиболее часто фиксировались разнотравный, мелкотравный и осочковый тип зарастания, то на негоревших участках доминировали разнотравные, крупнотравные и папоротниковые типы живого напочвенного покрова.

В целом как на участках, пройденных огнем, так и на участках, не тронутых пирогенным воздействием, зафиксировано достаточно успешное возобновление коренных темнохвойных пород, а сами молодые лесные насаждения в силу их смешанного видового состава являются устойчивыми к нашествию фито- и энтомовредителей и отличаются низким уровнем природной пожарной опасности. Это обусловлено как достаточно невысокой захламленностью упавшими древесными горючими материалами (до 25 т/га), формированием смешанных хвойно-лиственных молодняков, так и отсутствием наиболее пожароопасных травяных типов зарастания напочвенного покрова. Если под пологом леса естественное возобновление было достаточно однообразным, то даже на одной вырубке породный состав естественного возобновления во многом варьировал в зависимости от степени минерализации вырубки в момент рубки (пасека или волок), а также от того, был участок подвергнут огневой очистке или нет. На таких участках фиксировалось большее видовое разнообразие подроста (рис. 3)

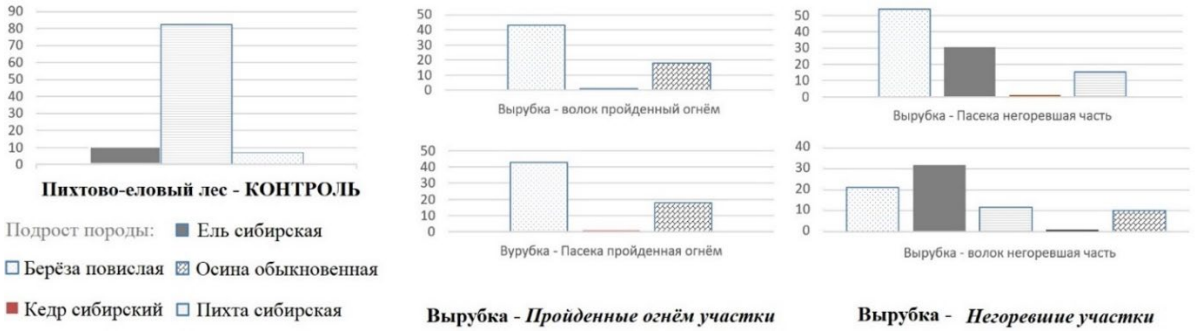


Рис. 3. График распределения породного состава подроста под пологом старовозрастного елово-пихтового леса (слева – контроль) в разных частях вырубки

ЛИТЕРАТУРА

1. *Валендик Э.Н., Векшин В.Н., Иванова Г.А. и др.* Контролируемые выжигания на вырубках в горных лесах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001.172 с.
2. *Перевозникова В.Д., Брюханов А.В.* Восстановление живого напочвенного покрова после контролируемых выжиганий // Лесное хозяйство. 2002. № 3. С. 22–25.
3. *Valendik E.N., Goldamer J.G., Kisilyakhov Ye.K. et al.* Prescribed burning in Russia and neighboring temperate-boreal Eurasia. Kessel Publishing House, 2013. 326 p.

УДК 630*164.3

РОЛЬ ПИРОГЕННОГО УГЛЯ В ДИНАМИКЕ ТОНКИХ КОРНЕЙ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ

С.В. БРЯНИН

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск (bruanin@gmail.com)

Аннотация. При лесных пожарах в лиственничных лесах образуется пирогенный уголь, который сохраняется в почвах и на их поверхности тысячелетиями. На базе полевого эксперимента показана роль угля в разложении корневого опада и жизнеспособности тонких корней лиственницы Гмелина. Установлено, что при содержании угля в поверхностных горизонтах почв около 4 г/кг почвы разложение тонких корней ускоряется на 30 % по сравнению с фоновым содержанием 0.95 г/кг почвы. Уголь также способствует более длительному периоду жизни тонких корней лиственницы, в то время как для корней трав такой закономерности не наблюдается. Таким образом, уголь оказывает видоспецифическое влияние на динамику тонких корней и может ускорять разложение тонких корней лиственницы, что, вероятно, приводит к дополнительным эмиссиям CO_2.

FIRE-DERIVED CHARCOAL AS A FACTOR OF FINE ROOT DYNAMICS IN LARCH FORESTS OF UPPER PRIAMUR'E

S.V. BRYANIN

Institute of Geology and Nature Management, Far East Branch of RAS, Blagoveshchensk (bruanin@gmail.com)

Abstract. Forest fires in larch forests produce pyrogenic charcoal, which is preserved in soils and on their surface for thousands of years. On the basis of field experiment the role of charcoal in decomposition of fine root litter and fine root vitality of Gmelin larch was shown. It is established that at charcoal content in surface soil horizons about 4 g/kg of soil decomposition of fine roots is accelerated by 30 % in comparison with background content of 0.95 g/kg of soil. Charcoal is also favoring a longer lifespan of larch fine roots, while no such pattern is observed for grass and understorey fine roots. Thus, charcoal has a species-specific effect on root dynamics and may accelerate decomposition of larch fine roots, which probably leads to additional CO_2 emissions.

Почвы бореальных лесов являются крупным стоком атмосферного углерода; значительный вклад в этот сток вносят тонкие корни (диаметром <2 мм) [1]. Тонкие корни составляют небольшую часть биомассы экосистемы, но их оборот является основным механизмом накопления углерода в почвах бореальных лесов. Лесные пожары ежегодно поражают значительные территории бореальной зоны и преобразуют часть биомассы в древесный уголь – побочный продукт и долговременное наследие этих пожаров. При этом уголь является одним из основных факторов, контролирующих динамику углерода в этой среде. Учитывая, что тонкие корни развиваются и разлагаются вблизи древесного угля в слое почвы, вероятно, уголь влияет на оба этих процесса.

Известно, что уголь оказывает влияние на физико-химические и биологические свойства почв [2]. Многочисленные исследования показали неоднозначное влияние древесного угля на минерализацию органического вещества почвы. Так, уголь способствует потере органического вещества почв, повышая скорость разложения гумуса в долгосрочной перспективе. Другие исследования продемонстрировали замедление разложения органического вещества в присутствии угля из-за стабилизации лабильного органического углерода почвы за счет его сорбции на древесном угле. Есть также данные о том, что древесный уголь никак не влияет на разложение подстилки и что такое влияние зависит от его состава. Влияние угля на жизнеспособность, биомассу и другие показатели тонких корней, вероятно, связано с его структурой и адсорбционными способностями, однако в природных условиях такие исследования до сих пор не проводились. К настоящему времени из лабораторных экспериментов известно, что уголь способствует увеличению биомассы проростков лиственницы; также в присутствии угля повышается микоризообразование. При этом влияние его на тонкие корни взрослых деревьев и растений подлеска и напочвенного покрова остается неизученным.

Мы провели длительный полевой эксперимент в Зейском заповеднике (54°0′ с. ш., 127°2′ в. д.), на южном склоне хребта Тукурингра. В составе древостоя доминирует лиственница (*Larix gmelinii* (Rupr.), а в напочвенном покрове – брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L). Смеси для инкубации имитировали диапазон содержания древесного угля: контроль – 0; фон – 0.95; двойная – 1.9 г/кг; максимальная – 3.9 г/кг почвы. Такой диапазон установлен ранее для верхнего 10-сантиметрового слоя почвы в изучаемом районе. Уголь для эксперимента был изготовлен в лабораторных условиях из веток лиственницы, которые нагревали в муфельной печи при 450 °C в течение 45 минут в бескислородной среде. Полученный уголь измельчали и просеивали для получения однородных частиц размером 0.5–2.0 мм. Приблизительно 1.0 г тонких корней (0.5–2.0 мм), которые были промыты, отсортированы и высушены при 40 °C, были тщательно перемешаны и помещены в нейлоновые мешочки (10 × 10 см; размер ячеек – 45 мкм). Для экспериментального контроля использовались мешки с корнями, не содержащие угля.

Во всех вариантах эксперимента наблюдалась быстрая потеря массы тонких корней: от 17 до 25 % в течение начального периода (0–70 дней) независимо от количества добавленного угля. Различия в скорости потери массы между вариантами были значительными только в конце эксперимента (515 дней, $p < 0.05$). В это время по сравнению с контролем и фоном потеря массы корней лиственницы составила 42 % при добавлении угля в дозе 1.9 г/кг и 40 % при максимальном содержании угля. При этом контрольный вариант и низкая доза угля показывали схожие темпы разложения в течение всего эксперимента.

В ходе изучения тонких корней и угля из почвенных кернов, отобранных в районе исследований, нами установлена положительная взаимосвязь между содержанием угля, биомассой и жизнеспособностью тонких корней лиственницы. Для тонких корней трав и растений напочвенного покрова установлена отрицательная взаимосвязь между биомассой, жизнеспособностью и содержанием угля в поверхностном слое почв. Положительное влияние древесного угля на ризосферу лиственницы может быть связано с изменением свойств почвы в части накопления питательных элементов и влаги, что положительно влияет на биомассу тонких корней. Zackrisson и др. [3] показали, что функция древесного угля как сорбента длится недолго, однако они установили, что эта функция может быть восстановлена после его прогрева при повторяющихся пожарах. В нашей системе пожар является регулярным событием, которое периодически приводит к образованию новых порций древесного угля и реактивирует уже существующий уголь. Действительно, положительная корреляция между древесным углем и биомассой тонких корней и жизнеспособностью лиственницы была обнаружена в верхнем слое, где уже отложенный в предыдущем пожаре древесный уголь может быть подвержен воздействию последующего пожара. В целом повторные поверхностные пожары могут поддерживать активность древесного угля в почве и влиять на биомассу тонких корней и жизнеспособность корней лиственницы.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что древесный уголь усиливал поздние стадии (>70 дней) разложения тонких корней. Этот вывод согласуется с результатами других исследований, показавших, что древесный уголь влияет только на поздние стадии разложения листовой подстилки. Первоначально корни теряют массу из-за высвобождения лабильного органического вещества в результате гидролиза. Потеря массы на поздних стадиях происходит в результате медленной деградации лигнина и целлюлозы. Это позволяет предположить, что древесный уголь может усиливать микробное разложение этих веществ на поздних стадиях разложения тонких корней.

Наши результаты показывают, что в зависимости от концентрации пирогенный уголь может ускорять поздние стадии разложения корней и увеличивать эмиссии углерода, по крайней мере, в течение двух лет после пожара. В нашем исследовании представлены данные, свидетельствующие о том, что динамика тонких корней в значительной степени зависит от древесного угля, полученного в результате пожара в часто горящем бореальном лесу.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Berg B., McClaugherty C.* Plant Litter / 3rd ed. Springer Berlin Heidelberg, 2014. DOI: 10.1007/978-3-642-38821-7.
2. *Pluchon N., Vincent A.G., Gundale M.J., Nilsson M.-C., Kardol P., Wardle D.A.* The impact of charcoal and soil mixtures on decomposition and soil microbial communities in boreal forest // Applied Soil Ecology. 2016. 99: 40–50. DOI: 10.1016/j.apsoil.2015.11.020.
3. *Zackrisson O., Nilsson M.-C., Wardle D.A.* Key ecologicalfunction of charcoal from wildfire in the boreal forest // Oikos. 1996. 77 (1): 10. DOI: 10.2307/3545580.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах», рег. № 123030300031-6.

УДК 57.045:581.543+582.475.4

ВЛИЯНИЕ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ПОГОДНЫХ АНОМАЛИЙ НА ПЛОДОНОШЕНИЕ КЕДРА СИБИРСКОГО

С.Н. ВЕЛИСЕВИЧ

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск (s_n_velisevich@mail.ru)

Аннотация. Исследовано влияние кратковременных погодных аномалий в период заложения и цветения шишек на динамику плодоношения кедра сибирского. Показано, что количество зрелых шишек в кроне отрицательно коррелировало с суммой активных температур выше +5 °С, накопленной до наступления позднего весеннего заморозка. Оптимальными условиями для заложения шишек являются среднесуточные температуры не выше +17.5 °С в первой декаде августа.

THE INFLUENCE OF SHORT-TERM WEATHER ANOMALIES ON SEEDING OF SIBERIAN STONE PINE

S.N. VELISEVICH

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of SB RAS, Tomsk (s_n_velisevich@mail.ru)

Abstract. The influence of short-term weather anomalies during the period of cone initiation and flowering on the dynamics of seeding of Siberian stone pine was studied. It was shown that the number of mature cones in the crown negatively correlated with the sum of active temperatures above +5 °C accumulated before the late spring frost. The optimal conditions for cone initiation are average daily temperatures not higher than +17.5 °C in the first ten days of August.

Репродуктивная сфера более чувствительна к климатическим изменениям, чем вегетативная. При этом для репродуктивной сферы важны не столько средние температуры и среднее количество осадков, которые обычно учитываются в связи с ростом, сколько кратковременные события в течение переходных сезонов. Потому анализ этой информации актуален в связи с многолетними наблюдениями за динамикой семенной продуктивности. У изучаемого нами кедра сибирского наблюдается ярко выраженный неравномерный характер плодоношения. В предшествующий климатический период, до начала потепления, обильные урожаи формировались два-три раза за десятилетие [1], однако в настоящее время пиковые урожаи исчезли [2], что, предположительно, связано с климатическими изменениями. Мы полагаем, что основной причиной негативного тренда могут быть поздние весенние заморозки. В климатических условиях Западной Сибири наиболее чувствительный период в развитии репродуктивных структур кедра сибирского приходится на конец мая – начало июня в год опыления, когда происходят дифференциация женского и мужского гаметофита и мейоз [1, 3]. Однако именно в это время высока вероятность возникновения поздних весенних заморозков [4]. Для проверки этой гипотезы мы провели сопряженный анализ динамики плодоношения кедра сибирского в 180-200-летнем припоселковом кедровнике (Обь-Томское междуречье) и погодных условий весной в год опыления.

Однако не вся изменчивость плодоношения объясняется весенними заморозками: существует некоторая не до конца исследованная связь итогового урожая с погодой в период заложения шишек [2]. Причины неравномерности заложения шишек практически не изучены, поэтому настоящая работа призвана отчасти заполнить этот пробел. Поскольку заложение женских шишек происходит в довольно короткий промежуток времени – в течение трех недель в конце лета [1], мы предположили, что этот процесс контролируется кратковременными отклонениями погодных условий от среднего многолетнего значения. В настоящей работе проведен сопряженный анализ 28-летней (1991–2018 гг.) динамики заложения шишек и динамики температуры и осадков в течение трех декад в конце лета (20 июля – 20 августа). Число заложившихся шишек восстанавливали ретроспективно на женских побегах кроны 180-200-летних деревьев припоселкового кедровника (Обь-Томское междуречье).

Погода в год цветения шишек. Установлено, что за последние два десятилетия среднемноголетний уровень количества созревших шишек снизился почти на четверть от уровня, характерного для стабильного климата, и обычное для прежнего климата чередование высоких и низких урожаев сменилось чередованием средних и низких (рис. 1). Количество зрелых шишек в кроне во многом зависело от весенней погоды в год опыления и отрицательно коррелировало ($r = -0.647$, достоверно при $P \leq 0.05$) с суммой активных температур (САТ) выше +5 °С, накопленной до наступления позднего весеннего заморозка. Величина этого показателя, в свою очередь, определялась температурой апреля ($r = +0.505$, достоверно при $P \leq 0.05$). В годы, когда поздний весенний заморозок случался при небольшой САТ (менее 100 °С), урожай шишек был большим. Напротив, когда перед заморозком накапливалось 300 °С и более, урожай шишек оказывался минимальным. Несмотря на рост теплообеспеченности в весенний период из-за активного прироста температуры в апреле, ожидаемого сдвига заморозков на более ранние сроки на юге

Западной Сибири не наблюдается. Для кедра сибирского такая ситуация чревата усилением негативного тренда в плодоношении, поскольку при дальнейшем потеплении климата начало весеннего развития репродуктивных структур будет происходить в более ранние сроки на фоне «запаздывающих» заморозков. Обильные урожаи у кедра сибирского смогут формироваться лишь в отдельные годы с поздней весной и/или при отсутствии поздних весенних заморозков.

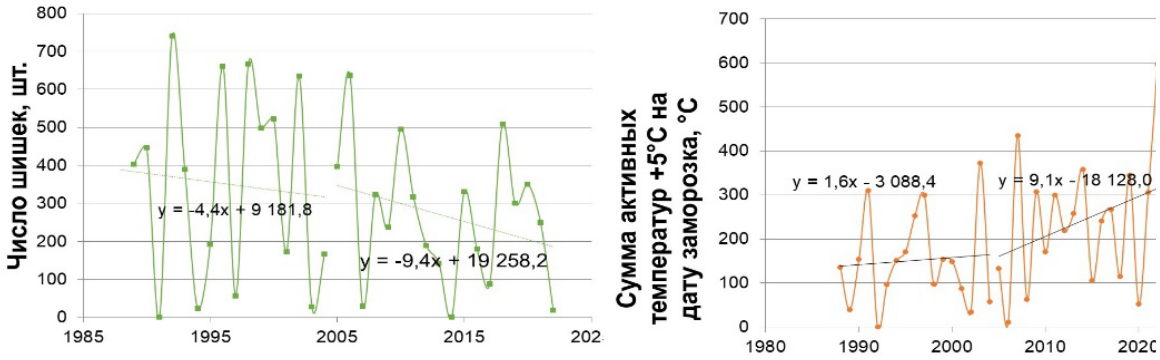


Рис. 1. Погодичная динамика урожая шишек и САТ за период 1991–2023 гг.

Погода в год заложения шишек. Среднемесячная температура и осадки июля и августа слабо влияли на заложение шишек (табл. 1). Единственная значимая отрицательная корреляция установлена для температуры первой декады августа, что указывает на повышенную чувствительность шишек во время заложения к температуре воздуха именно в этот временной интервал. Прохладная погода способствует их обильному заложению (рис. 2, 3). Оптимальными условиями для заложения шишек у кедра сибирского являются среднесуточные температуры не выше +17.5 °C в первой декаде августа.

Таблица 1. Влияние погодных параметров в разные временные периоды на заложение шишек

	июль	август	1–10 июля	11–20 июля	21–31 июля	1–10 августа	11–20 августа	21–30 августа
Температура	-0.022	-0.321	0.238	0.343	-0.136	-0.689*	-0.080	-0.185
Осадки	-0.089	-0.235	-0.070	-0.174	-0.123	-0.137	-0.152	-0.456

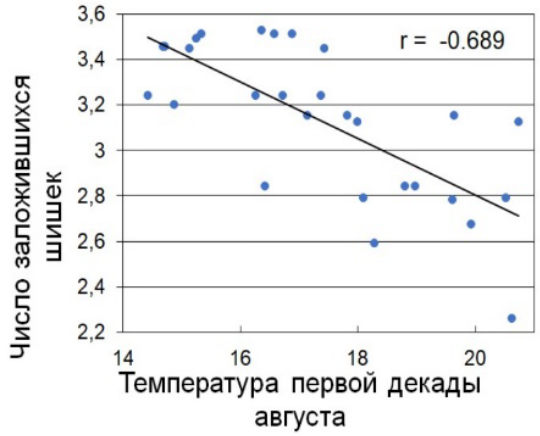


Рис. 2. Связь заложения шишек с температурой первой декады августа

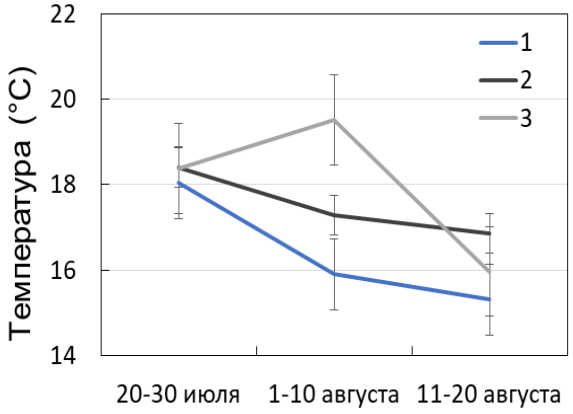


Рис. 3. Изменение среднедекадной температуры в годы с высоким (1), средним (2) и низким (3) заложением шишек

ЛИТЕРАТУРА

1. *Некрасова Т.П.* Биологические основы семеношения кедра сибирского. Новосибирск: Наука, 1972. 276 с.
2. *Goroshkevich S., Velisevich S., Popov A., Khutornoy O., Vasilyeva G.* 30-year cone production dynamics in Siberian stone pine (*Pinus sibirica*) in the southern boreal zone: a causal interpretation // Plant Ecology and Evolution. 2021. 154 (3): 321–331.
3. *Третьякова И.Н.* Эмбриология хвойных: физиологические аспекты. Новосибирск: Наука, 1990. 157 с.
4. *Волкова Е.С., Мельник М.А.* Заморозки в южной тайге Западной Сибири как фактор риска для сферы растениеводства // География и природные ресурсы. 2023. № 1. С. 67–75.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РНФ (грант 23-26-00080).

УДК 630*431.5

КАРТЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОГНОЗА ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПОВЕДЕНИЯ ПОЖАРОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ООПТ

А.В. ВОЛОКИТИНА[1], М.А. КОРЕЦ[1], Т.М. СОФРОНОВА[2], П.А. ЦВЕТКОВ[1]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (volokit@ksc.krasn.ru, mik@ksc.krasn.ru, tsvetkov@ksc.krasn.ru)
[2] Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, Красноярск (tmsofronova@gmail.com)

Аннотация. Рассмотрены вопросы составления и использования крупномасштабных карт растительных горючих материалов (РГМ) для прогноза возникновения и поведения пожаров растительности на особо охраняемых природных территориях. Перечислены заповедники, для которых в РФ уже созданы информационные базы данных в ГИС при лесоустройстве. Приведены результаты ретроспективной проверки компьютерной программы прогноза распространения низового пожара.

VEGETATION FUEL MAPS FOR FIRE OCCURRENCE AND BEHAVIOR PREDICTION IN PROTECTED AREAS

A.V. VOLOKITINA[1], M.A. KORETS[1], T.M. SOFRONOVA[2], P.A. TSVETKOV[1]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest, SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (volokit@ksc.krasn.ru, mik@ksc.krasn.ru)
[2] V.P. Astafyev Krasnoyarsk State Pedagogical University, Krasnoyarsk, Russia (tmsofronova@gmail.com)

Abstract. The issues are considered of making and using large-scale vegetation fuel (VF) maps for predicting the occurrence and behavior of vegetation fires in protected areas. There are reserves listed for which the Russian Federation has already created information databases in GIS during forest inventory. The results of a retrospective check of a computer program for surface fire behavior prediction are presented.

Из особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в России по площади преобладают заповедники. Несмотря на существующую в заповедниках жесткую охрану от антропогенных источников огня, пожары растительности на их территории случаются довольно часто, что обусловлено рядом факторов [7]. Кроме того, невозможно исключить естественные источники загораний – молнии. Детальный анализ пожаров растительности в заповедниках России выполнили Л.В. Кулешова и В.Н. Коротков в 2002 г. [5]. Динамика пожаров была проанализирована ими за период с 1975 по 2000 г. Выявлена тенденция роста количества пожаров в заповедниках и числа горевших за этот период заповедников. Обращает на себя внимание и определенное соотношение площадей лесных и нелесных пожаров. Так, после 1990 г. наблюдалось преобладание площадей гарей на нелесных территориях. При разработке стратегии управления пожарами в заповедниках данный факт надо обязательно учитывать. Что касается памятников природы, то они, как правило, бывают сравнительно невелики по своей площади, но включают в себя объекты, которые почти невозможно восстановить в случае их значительного повреждения или гибели. Поэтому памятники природы (особенно лесные) очень уязвимы в отношении воздействия на них пожаров и требуют особой стратегии охраны.

В работе [5] также было отмечено, что за рубежом (США, Канада, Австралия) уже разработаны руководства по управлению пожарами на ООПТ и что «решение подобных задач – назревшая необходимость и для России с ее огромными лесными пространствами, исключительным разнообразием лесорастительных условий, высокой опасностью лесных пожаров». Но специальные рекомендации по охране от пожаров растительности особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в РФ пока отсутствуют. На практике используются рекомендации, разработанные для лесного хозяйства. Так, например, при лесоустройстве ООПТ создаются «Лесопожарные карты» в масштабе 1:100000, которые лишь в грубой интегрированной форме отражают природную пожарную опасность, но непригодны для прогноза возможности возникновения и поведения пожаров, поскольку не содержат детальной пирологической характеристики растительности.

Такую детальную пирологическую характеристику предлагают крупномасштабные карты растительных горючих материалов (карты РГМ), методика составления которых, базирующаяся на классификации РГМ, разработана в ИЛ СО РАН [1]. Кроме того, разработана и зарегистрирована компьютерная программа составления таких карт в ГИС на основе лесоустроительной информации [3]. Информационные базы данных для составления карт РГМ и примеры карт были созданы для ряда заповедников при их лесоустройстве, таких как «Столбы» (сейчас национальный парк), «Саяно-Шушенский», «Кузнецкий Алатау», «Убсунурская котловина».

Непосредственно на карте РГМ цветом обозначены основные проводники горения в весенний (осенний) и летний периоды пожароопасного сезона, а информация о других группах РГМ содержится в прилагаемом к карте пирологическом описании. Главный классификационный критерий основных проводников горения – скорость пожарного созревания под влиянием изменяющихся условий погоды и

таксационных показателей древостоев. Для установления типов основных проводников горения разработан специальный определитель, который можно использовать как в процессе лесоустройства, так и при анализе имеющихся материалов лесоустройства. Высокий разряд лесоустройства особо охраняемых природных территорий позволяет составлять достаточно точные карты РГМ, которые дают возможность прогнозировать текущую природную пожарную опасность на территории, а в случае возникновения пожара растительности – предсказывать по специальной компьютерной программе его поведение, то есть скорость распространения, интенсивность, развитие и ближайшие последствия [6, 3, 4].

Для проверки точности прогнозирования возможности возникновения пожара растительности и его поведения на основе карты РГМ был выбран ретроспективный метод, в основе которого лежит сбор и детальный анализ материалов прошлых пожаров. Данный метод широко используется за рубежом, поскольку другие объективные методы связаны с необходимостью наблюдений на действующих пожарах или с организацией специальных экспериментальных пожаров растительности [6, 8].

Для прогноза возможности возникновения пожара растительности, связанного с прогнозированием состояния «пожарной зрелости» участков, в течение 4 лет исследований было проанализировано 125 лесных пожаров по Чунскому лесничеству в Красноярском Приангарье, а именно их место и время действия. Установили, что из 125 пожаров 117 действовали в выделах, по нашему прогнозу, готовых к горению, а 8 пожаров – в выделах, которые находились в стадии «пожарного дозревания». Среди горевших выделов не было таких, которые по прогнозу не были готовы к распространению горения. Таким образом, прогнозирование возможности возникновения пожара растительности по карте РГМ при появлении источников огня является достаточно надежным.

Для корректной ретроспективной проверки прогноза поведения пожаров растительности по компьютерной программе требовались корректные данные не только по погодным условиям и их динамике в течение дня (особенно о направлении и скорости ветра), но и о точном месте возникновения и начальной (зафиксированной) форме контура каждого пожара. К сожалению, такие полные и точные данные в протоколах и в карточках о лесных пожарах имелись далеко не для всех случаев. Для ретроспективной проверки могла быть использована в той или иной степени информация только по 26 лесным пожарам в Чунском лесничестве и по 10 пожарам в заповеднике «Столбы». Кроме того, возникали сложности учета снижения скорости распространения пожара под влиянием тушения, а также учета времени остановки пожара и его ликвидации [6]. Но проведенная ретроспективная проверка по имеющимся данным убедительно доказала, что разработанная программа прогноза поведения пожара растительности может работать в производственных условиях, где имеются карты РГМ в ГИС. Прогноз выполняется оперативно и быстро, управление программой несложное [6, 2].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Волокитина А.В., Софронов М.А.* Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: СО РАН, 2002. 314 с.
2. *Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А.* Управление пожарами растительности на особо охраняемых природных территориях. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2020. 201 с.
3. *Корец М.А., Волокитина А.В.* Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014660252. Программа для расчета пирологического описания лесоустроительных выделов. Дата регистрации 03 октября 2014 г.
4. *Корец М.А., Волокитина А.В.* Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015661771. Программа для прогноза распространения низового пожара. Дата регистрации 09 ноября 201 г.
5. *Кулешова Л.В., Коротков В.Н.* К стратегии управления лесными пожарами на территории природных заповедников // Мониторинг сообществ на гарях. М.: МПР, ВНИИ охраны природы, 2002. С. 158–173.
6. Прогнозирование поведения лесных пожаров / А.В. Волокитина, М.А. Софронов, М.А. Корец и др. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2010. 211 с.
7. *Цветков П.А., Горбунов А.С.* Влияние рекреации на природную пожарную опасность сосновых лесов заповедника «Столбы» // Хвойные бореальной зоны. 2007. 1. С. 72–79.
8. *Finney M.A.* Efforts at comparing simulated and observed fire growth patterns. Final Report 2/25/2000 INT-95066-RIVA, Systems for Environmental Management. Missoula, Montana, 2000. 20 p.

УДК 634.043

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОЧВЕННО-ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ В ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСАХ

А.В. ВОЛОКИТИНА[1], Т.М. СОФРОНОВА[2], А.В. СОФРОНОВА[1]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (volokit@ksc.krasn.ru, asofronova.rf@gmail.com)
[2] Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, Красноярск (tmsofronova@gmail.com)

Аннотация. Проанализированы основные исследования по почвенно-торфяным пожарам и рассмотрены методы их прогнозирования в южнотаежных заболоченных лесах.

METHODS FOR PREDICTING GROUND-PEAT FIRES IN PEATLAND FORESTS

A.V. VOLOKITINA[1], T.M. SOFRONOVA[2], A.V. SOFRONOVA[1]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest, SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (volokit@ksc.krasn.ru, asofronova.rf@gmail.com)
[2] V.P. Astafyev Krasnoyarsk State Pedagogical University, Krasnoyarsk, Russia (tmsofronova@gmail.com)

Abstract. The main studies on ground-peat fires are analyzed and methods of their prediction in south taiga peatland forests are considered.

Исследования почвенно-торфяных пожаров в заболоченных лесах продолжают оставаться актуальными. Они достаточно трудоемки и поэтому немногочисленны. На большие площади такие пожары распространяются за счет низового огня, вследствие чего их при учете обычно относят к низовым пожарам. Этим объясняется тот факт, что по официальной статистике доля почвенно-торфяных пожаров от площади всех пожаров невысока.

По болотоведческой классификации [5] заболоченные леса имеют перегнойный или торфяной горизонты мощностью 0.2–0.3 м, болотные леса – более 0.3 м. Перегнойным горизонтом именуют органический горизонт мощностью более 10 см со степенью разложения растительных остатков более 45 %, торфяно-перегнойным – при степени разложения менее 25 %.

В терминах лесной пирологии [10] группа почвенных пожаров делится на два вида: 1) подстилочные пожары, при которых основным горючим материалом является лесная подстилка; 2) торфяные пожары, при которых основным горючим материалом является торфянистый горизонт. Поскольку горение торфяного горизонта и последствия этого горения, в сущности, мало отличаются от горения перегнойного горизонта и его последствий, было предложено для практического использования объединить их под названием почвенно-торфяные пожары, в которых основным горючим материалом служат торфяной и перегнойный горизонты почвы [11]. Специальные пирологические исследования в заболоченных лесах подтвердили обоснованность данного термина, а в качестве наглядного диагностического признака почвенно-торфяных пожаров было предложено считать наличие на пожарище вывала древостоя в результате перегорания корней [7].

На основе изучения и обобщения общих закономерностей возникновения, распространения и развития почвенно-торфяных пожаров [6, 4, 2, 7] для практических целей рекомендуется выделять следующие виды пожаров [7]:

1) почвенно-торфяной открытый (комбинированный с низовым огнем);
2) почвенно-торфяной кромковый (с подземным характером тления);
3) почвенно-торфяной одноочаговый (с подземным характером тления);
4) почвенно-торфяной многоочаговый (с подземным характером тления).

В южнотаежных заболоченных лесах значительный ущерб приносят открытые почвенно-торфяные пожары. Благоприятные условия для таких пожаров складываются при сильной атмосферной засухе в конце весеннего – начале летнего периода. Засуха задерживает перегнивание опада и ветоши, поэтому низовые пожары могут действовать иногда до середины июля, а в июле уже становится возможным заглубление горения в перегнойно-торфяной горизонт. Чаще всего открытые почвенно-торфяные пожары развиваются на участках с насаждениями II–IV классов бонитета при полноте 0.7 и более. В редкостойных лесах и на безлесых болотах открытые почвенно-торфяные пожары не наблюдались. При высоком стоянии грунтовых вод капиллярный подъем влаги постоянно увлажняет перегнойно-торфяной горизонт. Капиллярный подъем влаги, в отличие от осадков, действует непрерывно, и высыхание перегнойно-торфяного горизонта может начаться лишь после опускания уровня грунтовых вод на глубину более 0.9 м в суглинистых грунтах и 0.6 м – в торфяниках.

Для прогнозирования почвенно-торфяных пожаров рекомендуются следующие методы:

1) *долгосрочный* − на основе достоверной прямой связи между аномально низкими уровнями грунтовых вод в январе и в июне в пределах одного года [8];

2) *краткосрочный*, для уточнения долгосрочного прогноза в полевых условиях; в случае прогноза почвенной засухи по январскому уровню грунтовых вод следует в течение июня еженедельно измерять уровень грунтовых вод непосредственно в заболоченных лесных массивах на специально организованных скважинах [7];

3) *прогнозирование по уровню атмосферной засухи* условий, благоприятных для развития открытых почвенно-торфяных пожаров; опасность таких пожаров возникает, если величина лесопожарного показателя засухи В.Г. Нестерова (или ПВ-1 ЛенНИИЛХа) в конце июня и в первой половине июля превышает 5000 единиц (либо ПВ-2 ЛенНИИЛХа превышает 9000 единиц); авиапатрулирование в случае атмосферной засухи в конце весны и начале лета необходимо проводить по местной весенней шкале до конца засухи; также нужно выполнять тщательный осмотр с воздуха ранее потушенных пожаров, используя для выявления тлеющих очагов инфракрасную технику [7];

4) *прогнозирование на основе крупномасштабной карты растительных горючих материалов* (карты РГМ), составленной в ГИС по лесоустроительной информации на основе классификации растительных горючих материалов [3, 1] или на основе дешифрирования космоснимков высокого разрешения для весеннего и осеннего периодов пожароопасного сезона; при наличии на карте в заболоченных лесах травяно-ветошного типа основного проводника горения велика вероятность возникновения открытых и многоочаговых почвенно-торфяных пожаров; полезно использовать крупномасштабную карту растительных горючих материалов и при составлении оперативного плана тушения возникшего крупного пожара [9].

Использование предлагаемых методов прогнозирования почвенно-торфяных пожаров в лесопожарной практике позволит значительно сократить их число. К сожалению, методы борьбы с данными пожарами разработаны слабо. В литературе больше внимания уделяется тушению торфяных пожаров на осушенных болотах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Волокитина А.В., Софронов М.А.* Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: СО РАН, 2002. 314 с.
2. *Гундар С.В.* Почвенные пожары в бассейне Нижнего Амура, их профилактика и тушение: Автореф. дисс. … канд. с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1978. 24 с.
3. *Корец М.А., Волокитина А.В.* Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014660252. Программа для расчета пирологического описания лесоустроительных выделов. 03 октября 2014 г.
4. *Курбатский Н.П., Красавина Н.Н., Жданко В.А.* Лесные почвенные пожары и борьба с ними. Л.: ЛенНИИЛХ, 1957. 32 с.
5. *Пьявченко Н.И.* Лесное болотоведение. М.: ИЛиД СО АН СССР, 1963. 230 с.
6. *Рутковский В.И.* Гидрологическая роль леса. М.: Гослесбумиздат, 1949. 118 с.
7. *Софронов М.А., Волокитина А.В.* Рекомендации по охране от пожаров южнотаежных заболоченных лесов Сибири. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2012. 40 с.
8. *Софронов М.А., Валендик Э.Н., Волокитина А.В.* Способ определения пожарной опасности в лесу. Авторское свидетельство № 1333343 от 22 октября 1985 г.
9. *Софронова А.В., Волокитина А.В.* Пирологическая экспертиза нефтегазовых комплексов // Сиб. лесной журн. 2023. 3. С. 3–14.
10. *Софронова Т.М., Волокитина А.В.* Терминология лесной пирологии: моделирование двуязычного глоссария. Красноярск: КГПУ, ИЛ СОРАН, 2012. 336 с.
11. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров. М.: Федеральная служба лесного хозяйства России, 1995. 110 с.

ПРОМЕРЗАНИЕ ПОЧВ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ КЫРГЫЗСТАНА

К.К. ГАПАРОВ, Б.Т. АКМАТАКУНОВА, У.Э. АБДИЛАБЕК

Научно-производственный центр исследования лесов им П.А. Гана Института Биологии
Национальной академии наук Кыргызской Республики, Кыргызстан (gaparov65@mail.ru, bubu0406@mail.ru)

Аннотация. В статье изложена краткая характеристика промерзания почвы в водосборных бассейнах с различной лесистостью в зоне еловых лесов.

SOIL FREEZING AND ITS IMPACT ON HYDROLOGICAL FUNCTIONS OF SPRUCE FORESTS IN KYRGYZSTAN

K.K. GAPAROV, B.T. AKMATAKUNOVA, U.E. ABDILABEK

P.A. Gan Scientific and production center for forest researches of Institute of Biology, National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Kyrgyzstan (gaparov65@mail.ru, bubu0406@mail.ru)

Abstract. The paper presents a brief characterization of soil freezing in watersheds with different forest cover in spruce forest.

Кыргызстан, расположенный в горной системе Тянь-Шаня, находится между 39° и 43° с. ш. и 69° и 81° в. д. Многие хребты покрыты снежниками и ледниками. Ниже нивального пояса расположены альпийские и субальпийские луга и горные леса, чередующиеся с лугами и лугостепями. Все леса республики являются государственной собственностью и образуют единый Государственный лесной фонд. Согласно Национальной инвентаризации лесов (2008–2010 гг.) площадь лесов Кыргызской Республики составляет 1116.56 тыс. га, или 5.6 % общей площади страны. Леса Кыргызстана являются природоохранными и выполняют преимущественно водоохранные, водорегулирующие, почвозащитные, санитарно-гигиенические, оздоровительные, рекреационные и иные функции.

Еловые леса, где главной породой является ель Шренка (*Picea schrenkiana* Fisch. et Mey.), или тянь-шаньская, распространены в горной части Центральной Азии. На территории Кыргызстана еловые леса в основном произрастают на северных и близких к ним экспозициях на высотах 1800–3200 м над ур. м. Основные их массивы находятся в восточной части горного обрамления озера Иссык-Куль. Общая площадь еловых лесов в республике составляет 107.9 тыс. га, и на долю ели тянь-шаньской приходится 12.7 % от всей площади лесов.

Проблема водоохранных и водорегулирующих свойств леса давно привлекает внимание ученых. Повышенный интерес к ней вызван тем, что развитие промышленности и сельского хозяйства во многих регионах, в том числе и в Кыргызстане, находится в прямой зависимости от водоснабжения. В связи со сказанным неизмеримо большое значение приобретает лес как водоохранный и водорегулирующий фактор.

Гидрологическая роль сезонной мерзлоты состоит в основном в преобразовании инфильтрующих свойств почвы и зависит от механического состава почвы, физических свойств и режима ее влажности, а также от климатических особенностей зимы, высоты снежного покрова, наличия и толщины лесной подстилки.

Процесс промерзания и последующее оттаивание резко изменяют водно-физические свойства почвы. Следует отметить, что если в зиму почва уходит сухая, слабо увлажненная, то проявления этих изменений несущественны, и наоборот: если почва в осенний период хорошо увлажняется, ее промерзание зимой и оттаивание весной значительно улучшают ее водно-физические свойства, что вызывает увеличение водопроницаемости, а следовательно, обеспечивает перевод поверхностного стока во внутрипочвенный.

Изучением процессов промерзания почвы в лесу в свое время занимались многие [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. Авторами доказано огромное водорегулирующее и водоохранное значение лесов; отмечается, что под пологом леса почва промерзает на меньшую глубину, чем на открытых площадях.

Изучение характера промерзания почвы в водосборных бассейнах в еловом лесу нами было организовано на Аксуйской лесной опытной станции на трех водосборных бассейнах с различной лесистостью. Лесистость составила в бассейне Адыбаево 92 %, длина водотока – 764 м, в бассейне Ак-Таш – 43 %, длина водотока – 2185 м, и в бассейне Бель – 21 %, 2174 м.

Период наблюдений за промерзанием почвы в лесу показал определенную закономерность этого явления. Разница по годам состояла лишь в том, что в один год глубина промерзания была больше, что связано в основном с низкими температурами в зимнее время и мощностью снежного покрова; в другой год промерзание оказалось меньшим. В мягкие или многоснежные зимы глубина промерзания является меньшей и, наоборот, в суровые и малоснежные зимы почва промерзает на большую глубину. Однако общая закономерность промерзания почвы по водосборным бассейнам не нарушается.

Характер промерзания почвы по всем вариантам мы проследили по данным зимы 2022–2023 гг. Зима этого года была средней по снежности, сильных морозов не наблюдалось, а среднегодовое количество зимних осадков было ближе к среднемноголетним. Результаты наблюдений показаны на графике (рис. 1).

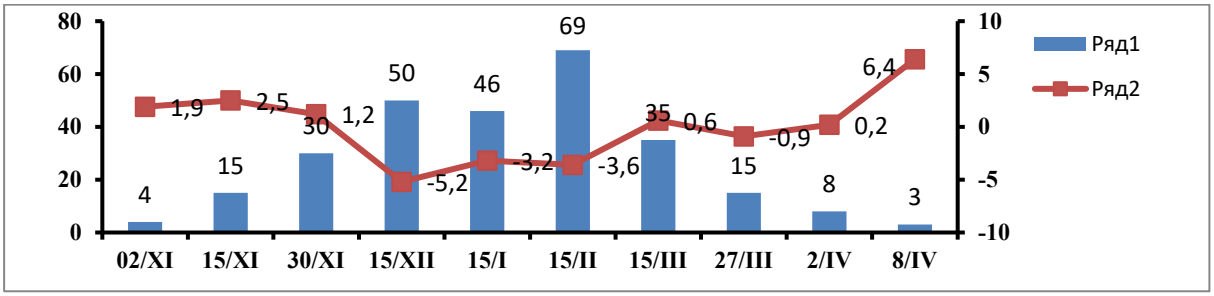


Рис. 1. Количество осадков и среднемесячная температура воздуха по метеостанции «Опорный» (зима 2022–2023 гг.).
Ряд 1 – осадки, ряд 2 – температура воздуха

Анализ данных, приведенных на графике (рис. 2), показывает, что максимальная глубина промерзания почвы оказалась равна 102 см в середине февраля в водосборном бассейне Бель с лесистостью 21 %, а минимальная, 54 см, – в бассейне Адыбаево, лесистость 92 %. Бассейн Ак-Таш с лесистостью 43 % занимает промежуточное положение. Это означает, что толщина лесной подстилки имеет большое значение для промерзания почвы.

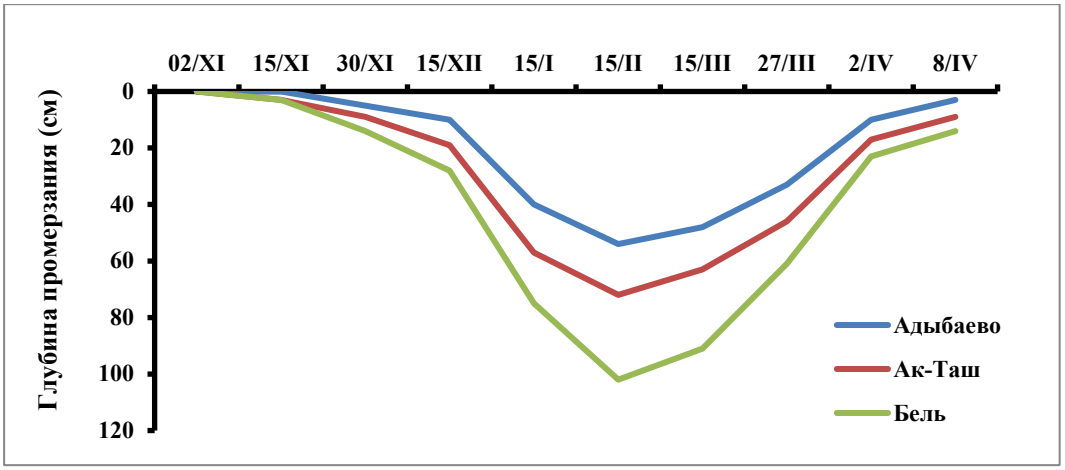


Рис. 2. Глубина промерзания в водосборных бассейнах

Наблюдения за оттаиванием почвы показали, что оттаивание идет как сверху вниз, так и снизу вверх за счет тепла в более глубоких горизонтах. Процесс полного оттаивания почти совпадает с момента схода снега, что обеспечивает полное поглощение влаги почвой. Такое совпадение положительно сказывается на характере питания рек в период снеготаяния. В бассейне с большой лесистостью почти не наблюдается паводковых явлений, расход воды в водотоках более равномерный, что благоприятно сказывается на водном режиме горных рек.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воронков Н.А.* Роль лесов в охране вод. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 286 с.
2. *Кулик А.В., Гордиенко О.А., Шайфуллин М.Р.* Динамика промерзания и оттаивания почвы в агролесоландшафте // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2022. Вып. 112. С. 160–180.
3. *Кожевникова Н.К.* Влияние сезонного промерзания почвогрунтов на русловой сток весенне-летнего периода в лесах южного Сихотэ-Алиня: Матер. Всеросс. конф. Иркутск, 2005. С. 308–311.
4. *Матвеев П.Н.* Гидрологическая роль еловых лесов Тянь-Шаня. Фрунзе: Изд-во «Илим», 1973. 73 с.
5. *Молчанов А.А.* Лес и окружающая среда. М.: Наука, 1968. 278 с.
6. *Субботин А.Н.* Влияет ли лес на осадки // Лесоведение. 1979. № 5.

УДК: 630*308, 630*311

РАЗРАБОТКА ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ЭКОСИСТЕМНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ СРЕДОЗАЩИТНЫХ ФУНКЦИЙ ВОДООХРАННЫХ ЛЕСОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ЛЕСОВОДСТВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

И.А. ГАРУС

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Братский государственный университет», Братск (ivan-garus@yandex.ru)

Аннотация. В настоящее время леса, расположенные в водоохранных зонах, не в полной мере выполняют целевые функции, что является в значительной мере результатом ведения лесного хозяйства и отражает уровень их соответствия природным свойствам и целевому назначению. Собранные данные подтверждают необходимость системного подхода к сохранению и использованию лесов водоохранных зон в современных социально-эколого-экономических и законодательных условиях.

DEVELOPMENT OF FORESTRY AND ECOSYSTEM MEASURES TO INCREASE THE ENVIRONMENTAL PROTECTIVE FUNCTIONS OF WATER PROTECTION FORESTS IN THE IRKUTSK REGION BASED ON AN INTEGRATED FORESTRY-ECOLOGICAL ASSESSMENT

I.A. GARUS

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bratsk State University», Bratsk (ivan-garus@yandex.ru)

Abstract. Currently, forests located in water protection zones do not fully fulfill their target functions, which is largely the result of forestry management and reflects the level of their compliance with natural properties and intended purpose. The collected data confirms the need for a systematic approach to the conservation and use of forests in water protection zones in modern socio-ecological, economic and legislative conditions.

Защитные леса являются важнейшей составляющей биосферы и выполняют средообразующие, водоохранные, климаторегулирующие, санитарно-гигиенические, рекреационные, оздоровительные и другие функции. В водоохранных лесах допускается проведение лесохозяйственных мероприятий только с целью сохранения их санитарного состояния и указанных полезных функций (ст. 12 Лесного кодекса РФ) [2, 3]. Однако эти леса находятся, в первую очередь, под влиянием таких хозяйственных мероприятий, как нерациональные рубки, цель которых – не повышение водоохранных свойств лесов, а заготовка крупномерной древесины. Во вторую очередь на них влияют пожары, с которыми достаточно трудно бороться по причине труднодоступности лесов. В результате водоохранно-защитные свойства лесов могут существенно снижаться, ухудшаются водно-физические свойства лесных почв, уменьшается их инфильтрационная способность, сокращается продуктивность древостоев, меняется их санитарное состояние [1].

Цель работы и задачи исследования – оценка состояния водоохранных лесов водохранилищ Сибири в стадии естественной спелости.

Для достижения поставленной цели предполагается решить следующие задачи:

1. Изучение породного состава, возрастной структуры, товарности, наличия захламленности в насаждениях по берегам водохранилищ, общего лесоводственного, экологического и санитарного состояния лесов по материалам постоянных и временных площадей.

2. Исследование состояния стволовой древесины перестойных древостоев инструментальными методами с последующей математической обработкой материалов.

3. Теоретическое обоснование лесохозяйственных мероприятий по повышению водоохранных свойств лесов, биологического разнообразия и общего экологического состояния водоохранных лесов в глобальном климатическом процессе.

На исследованной территории водохранилищ для изучения эрозионных процессов применялись разнообразные методы: исследования в полевых условиях, хронологический и картографический способы с использованием дистанционных методов мониторинга лесных насаждений. С целью сбора информации, которая могла бы помочь в изучении динамики формирования берегов, ежегодно проводятся наблюдения за состоянием береговой линии и лесных насаждений на стационарных мониторинговых участках.

При анализе и исследовании эрозионных процессов береговой части Братского водохранилища были использованы материалы полевых данных, методы дистанционного зондирования. В качестве поискового инструмента применялась поисковая система Google Earth Pro. Установлено, что основу данных системы составляют спутниковые снимки Digital Globe. Уровень изображения на снимках соответствует масштабам карт 1:25 000.

В качестве примера полученных результатов представлена фотокартосхема пробных участков на территории Падунского лесничества, Карахунского участкового лесничества, Прибойной дачи, квартал 8, где удалось выделить ключевые участки, на которых произошли наибольшие изменения.

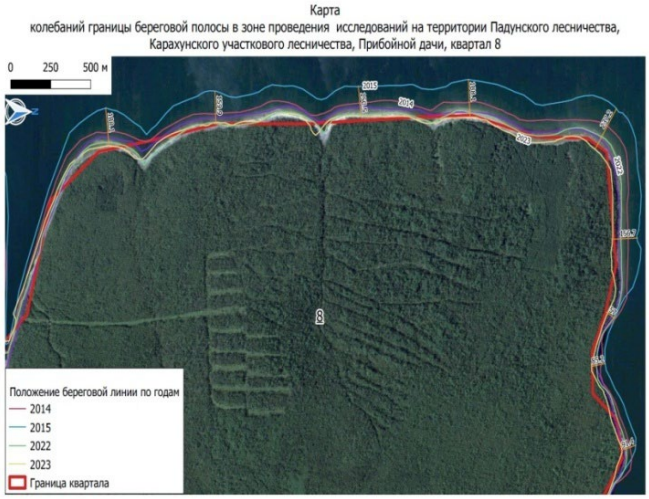


Рис. 1. Результаты исследуемых пробных площадей по разрушению береговой зоны с 2014 по 2023 г.

На исследуемом участке за период с 2014 по 2023 г. (9 лет) произошло отступление берега на 18.1 м. В период с 2014 по 2015 г. (один год) оно составило в среднем 1.8 м, что свидетельствует о росте интенсивности разрушения. За 9 лет береговая линия сместилась в сторону суши практически на 19 м со средней скоростью 1.8 м в год.



Рис. 2. Состояние лесных насаждений и разрушение береговой зоны с 2014 по 2023 г.

Существенное увеличение разрушения берега с лесными массивами наблюдается в последние два года. Лесные деревья падают со склона, увлекая за собой огромные глыбы грунта и тем самым увеличивая отступления берега. Последствия разрушения береговой зоны с лесными насаждениями показаны на рис. 2. Меры по защите береговой линии и леса в данный момент практически не принимаются. Потери лесных насаждений на 1 км исследуемой береговой зоны за период с 2014 по 2023 г. (9 лет) составили в среднем 570 м^3. Следует отметить, что протяженность береговой зоны Братского водохранилища составляет 7400 км.

На основании проведенных исследований установлено, что большинство водоохранных лесов по берегам водохранилищ находятся в стадии распада в связи с возрастом естественной спелости, более 50 % деревьев имеют ядровую гниль, заселены стволовыми вредителями, повреждены низовыми пожарами. Многие насаждения имеют IV класс санитарной оценки, захламлены и требуют незамедлительных лесохозяйственных мероприятий по повышению их водоохранных функций и действий по укреплению береговой линии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 01.05.2022)
2. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 29.12.2022)
3. *Леман В., Кобяков К., Винников А.* Защитные леса и сохранение водных биологических ресурсов // Устойчивое лесопользование. 2018. № 1 (53). С. 2–10.

УДК 630*4

ВОЗМОЖНОСТИ КЛАССИЧЕСКОГО БИОМЕТОДА В ЗАЩИТЕ ЛЕСА

Ю.И. ГНИНЕНКО, Ю.А. СЕРГЕЕВА, А.Ю. ГНИНЕНКО, У.А. ЧЕРНОВА

Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства, Пушкино (gninenko-yuri@mail.ru)

Аннотация. Приведены данные о применении энтомофагов для защиты древостоев от вредных лесных насекомых в свое время в разных регионах СССР. Показан имеющийся современный опыт успешного применения энтомофагов способом интродукции (выпуск *Torymus sinensis* в очагах восточной каштановой орехотворки на Северном Кавказе) и способом наводнения (применение трихограммы в очагах звездчатого пилильщика-ткача).

THE POSSIBILITIES OF THE CLASSIC BIOMETHOD IN FOREST PROTECTION

Yu.I. GNINENKO, Yu.A. SERGEEVA, A.Yu. GNINENKO, U.A. CHERNOVA

All-Russian Scientific Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization, Pushkino (gninenko-yuri@mail.ru)

Abstract. The data on the use of entomophages to protect stands from harmful forest insects, previously carried out in different regions of the former USSR, are presented. The available modern experience of the successful application of entomophages by the method of introduction (release of *Torymus sinensis* in the foci of the eastern chestnut nut in the North Caucasus) and by the method of flooding (application of the trichogram in the foci of the *Acantholyda nemoraliz*) is shown.

В биологической защите леса имеется два важных направления: микробиологическое (основой которого является применение препаратов, созданных на базе энтомопатогенных микроорганизмов) и классическое (основой которого является применение энтомофагов). И несмотря на то, что в настоящее время микробиологический метод доминирует, именно использование энтомофагов исторически первично [6].

Первый практический опыт использования паразитических насекомых с целью сокращения численности фитофагов древесных пород в России относится к началу XX в. И.В. Емельянов работал на территории нынешней Украины в очагах массового размножения златогузки и из старых ее очагов в районе Харькова переселял в новые, образовавшиеся в районе Киева, паразитоида *Eupteromalis nidulans* Forst. В результате этого были получены неплохие результаты [5]. Позднее А.Ф. Радецкий [8] из района г. Астрахани переселил в Среднюю Азию трихограмму (*Trichogramma* sp.), которую там стали в лабораторных условиях размножать и выпускать в сады с целью снижения ущерба от массового размножения яблонной плодожорки. Фактически это был не только первый в России успешный опыт применения трихограммы для защиты садов, но и первое ее успешное производство. Большим энтузиастом применения трихограммы был С.А. Мокржецкий, который считал, что можно быстро и эффективно решить вопрос о защите садов с помощью этого энтомофага [7].

В лесном хозяйстве применение трихограммы началось в 1935 г. в Белоруссии. Тогда в БелНИИЛХ была организована лаборатория по разведению этого энтомофага [9]. Его испытывали в очагах массового размножения соснового коконопряда, рыжего соснового пилильщика, пяденицы-обдирало и дубовой зеленой листовертки. После получения хороших результатов по сосновому коконопряду в г. Чернигове (Украина) была создана производственная лаборатория по разведению трихограммы. Первый выпуск полученной в лаборатории трихограммы был проведен в 1939 г. Выпускали взрослых особей энтомофага (они находились в стаканах) в 100 точках выпуска на 1 га с нормой выпуска 150 тыс. особей на 1 га. Однако зараженность яиц соснового коконопряда оказалась низкой и превышала таковую на контрольном участке всего на 0.5 % [1]. Такой результат дал основания считать, что трихограмма не имеет перспектив для использования в очагах соснового коконопряда.

В этом же году в сосновых лесах Сиротинского лесхоза (Белоруссия) трихограмму применили против сосновой совки. На площади 100 га было выпущено 19 млн особей. Эффективность по всей площади в среднем составила 50 % [10].

В это же время проводились опыты по использованию трихограммы и в Воронежском государственном заповеднике – Б.А. Смирновым. Он получил из яиц сосновой пяденицы трихограмму, которую Н.Ф. Мейер описал как *Trichogramma pini* [12]. Этот яйцеед специализируется на паразитизме яиц сосновой пяденицы и соснового коконопряда. Но опытные выпуски этой трихограммы в очаги сосновой совки в Хоперском заповеднике и сосновой пяденицы в Савальском лесхозе в 1939 г. не были успешными. В 1940 г. выпуск трихограммы был проведен в очаге соснового коконопряда в Старооскольском лесничестве Курской обл. В этом очаге численность вредителя составляла 3.0 тыс. яиц на крону. Для испытания, кроме этой лесной трихограммы, использовали также азово-черноморскую, среднеазиатскую и азербайджанскую расы, которые были получены в лаборатории г. Баку. Норма выпуска составляла 1.5 млн особей на 1 га. Наибольшая зараженность яиц была отмечена на том участке, где выпускали лесную трихограмму (54 %). На всех остальных участках зараженность яиц составила от 1.1 до

14 %. В этом же лесхозе *T. pini* выпустили в очаге сосновой пяденицы и получили среднюю зараженность яиц в 52.3 %.

По мнению А.И. Воронцова [2], эти опыты, проведенные на основе хорошо продуманной методики и отличавшиеся тщательностью исполнения, показали, что в таких работах следует использовать специализированную трихограмму, выращенную на яйцах лесных фитофагов.

Однако в практике защиты леса использование энтомофагов не стало столь же распространенным явлением, как применение микробиологических препаратов. Это связано, по нашему мнению, прежде всего с тем, что энтомофагов нельзя успешно применять в уже действующих очагах с целью борьбы с вредителями. Они являются важной частью системы профилактических мероприятий, направленных на предотвращение формирования очагов, особенно в тех местах, где невозможно применять пестициды. Использование энтомофагов требует от практиков существенно более глубоких знаний, чем применение пестицидов, тогда как в настоящее время преобладает «борьбистский» подход, который позволяет скрывать недостатки в организации и осуществлении мер по защите леса.

Некоторым исключением является использование трихограммы, которую можно с успехом применять в действующих очагах в качестве своеобразного «живого инсектицида» [3]. Тенденция развития биологической защиты леса лежит в плоскости все большего внимания к классическому направлению, поскольку оно позволяет обеспечить надежный уровень защиты леса на территориях, на которых применение любых пестицидов ограничено, а также при необходимости защиты от все более часто появляющихся инвазивных дендрофильных насекомых.

В России уже имеется успешный опыт применения такого вида классической биозащиты, как целенаправленная интродукция энтомофага *Torymus sinensis* для предотвращения повреждений каштана посевного инвазивным вредителем – восточной каштановой орехотворкой – на Северном Кавказе [4]. Этот метод может стать основным при решении вопросов защиты древостоев от все чаще обнаруживаемых на территории России новых чуждых вселенцев.

В настоящее время проводятся исследования по разработке технологии использования трихограммы для защиты леса от повреждений, наносимых личинками звездчатого пилильщика-ткача [3], – как для профилактики формирования очагов, так и в качестве «живого инсектицида» для защиты от повреждений в действующих очагах.

Современные тенденции биологизации способов и методов лесозащиты требуют развития инновационных подходов [11]. В силу этого разработка современных методик применения энтомофагов, основанных на глубоких знаниях особенностей взаимодействия в системе целевой вредитель – энтомофаг и на современных способах внесения энтомофагов в лес, должна стать важным трендом, способным обеспечить надежный уровень защиты леса в любых очагах вредных лесных насекомых.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арцимович С.А*. Яйцеед-трихограмма в борьбе с сосновым шелкопрядом // Лесное хозяйство. 1941. № 4. С. 50–52.
2. *Воронцов А.И*. Состояние и перспективы развития биологического метода защиты леса // Инф. бюллетень ВПРС МОББ. 1986. С. 39–46.
3. *Гниненко Ю.И., Раков А.Г., Гимранов Р.И., Гниненко А.Ю*. Опыт производственного применения трихограммы в очагах массового размножения звездчатого пилильщика-ткача // Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике. Матер. 3-й Всеросс. конф. с междунар. участием. Москва, 11–15 апреля 2022 г. Москва – Красноярск: ИЛ СО РАН, 2022. С. 47–48.
4. *Гниненко Ю.И., Раков А.Г., Гниненко А.Ю., Гимранов Р.И., Чернова У.А., Чилахсаева Е.А., Ширяева Н.В*. Опыт интродукции торимуса *Torymus sinensis* Kamijo – специализированного паразитоида восточной каштановой орехотворки в России // Сиб. лесной журн. 2023. № 1. С. 111–118.
5. *Емельянов И*. Златогузка *Euproctis chrysorrhoea*, ее паразиты и меры борьбы с нею. Харьков, 1907. 102 с.
6. *Крушев Л.Т*. Биологические методы защиты леса от вредителей. М.: Лесная пром-ть, 1973. 192 с.
7. *Никольская М.Н*. Основы биологического метода борьбы с вредными насекомыми с помощью яйцеедов рода *Trichogramma* (Hymenoptera, Chalcididae) // Защита растений. 1932. № 3. С. 25–34.
8. *Радецкий А.Ф*. О паразитарном методе борьбы с яблоневой плодожоркой. / Тр. 2-го съезда деятелей Туркестанского общества естествоиспытателей. Ташкент, 1912.
9. *Рывкин Б.В*. Энтомофаги и защита леса. Минск: Гос. изд-во с.-х. литературы БССР, 1963. 48 с.
10. *Трибушевский Ф.Б*. Биометод в борьбе с лесными вредителями // Лесное хозяйство. 1939. № 11. С. 74–78.
11. *Мартынюк А.А., Родин С.А., Рябцев О.В.* Инновационному развитию нет альтернативы // Лесохозяйственная информация. 2019. № 3. С. 7–20.
12. *Мейер Н.Ф*. Трихограмма. М.-Л.: Сельхозиздат, 1941. 174 с.

УДК 630*182:581.55

АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА ЖИВОЙ НАПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ СОСНОВЫХ ЦЕНОЗОВ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

И.А. ГОНЧАРОВА[1, 2], Л.Н. СКРИПАЛЬЩИКОВА[1], А.П. БАРЧЕНКОВ[1]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (iagoncharova007@mail.ru, lara@ksc.krasn.ru, alexbarchenkov@mail.ru)
[2] Красноярский краевой краеведческий музей, Красноярск

Аннотация. Приведены результаты исследования техногенного и рекреационного влияния на живой напочвенный покров сосновых насаждений, произрастающих в лесостепной зоне. Сделан вывод об адаптации растительных компонентов сосновых ценозов к существующему уровню техногенной нагрузки. На момент исследования признаков антропогенной деструкции сложения растительного сообщества не выявлено.

ANTHROPOGENIC INFLUENCE ON PINE CENOSES LIVING GROUND COVER OF THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

I.A. GONCHAROVA[1, 2], L.N. SKRIPALSCHIKOVA[1], A.P. BARCHENKOV[1]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (iagoncharova007@mail.ru, lara@ksc.krasn.ru, alexbarchenkov@mail.ru)
[2] Krasnoyarsk regional Museum, Krasnoyarsk (iagoncharova007@mail.ru)

Abstract. The study results of technogenic and recreational influence on the living ground cover at the pine plantations growing in the forest-steppe zone are presented. A conclusion about the adaptation of pine cenoses plant components to the technogenic load level was made. At the time of the study no plant community anthropogenic destruction signs were identified.

Сосновые ценозы являются одним из зональных компонентов растительности Красноярской лесостепи. Все элементы фитоценозов в течение длительного периода времени подвергались интенсивному антропогенному воздействию г. Красноярска, при этом наиболее значимыми здесь являются техногенная и рекреационная нагрузки. Актуальность исследования современного состояния сосновых насаждений Красноярской лесостепи обусловлена важностью выполняемых ими функций (средообразующая, санитарно-гигиеническая, рекреационная и др.) [5]. Цель работы заключается в оценке современного состояния растительного покрова сосновых ценозов, произрастающих в условиях антропогенного воздействия.

Исследования проведены в естественных насаждениях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) разнотравной группы типов леса в 2023 г. с использованием стандартных методик [4, 6]. Сосняки на опытных объектах (ПП 1–5) произрастают в 10–30 км на восток от города Красноярска (в направлении основного переноса промышленных выбросов). Контрольная пробная площадь (ПП 6) заложена в 40 км на север от города (вне основного направления переноса загрязняющих веществ; кроме того, она не испытывает рекреационного воздействия). Поскольку в загрязняющих атмосферу выбросах преобладают твердые (тяжелые металлы, фториды) и газообразные вещества (оксиды серы, азота и углерода) [1], степень техногенной нагрузки определялась по содержанию токсичных ингредиентов (цинк, свинец, кадмий, фтор) в растениях живого напочвенного покрова (средний образец растений травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов) в аккредитованной лаборатории (Аккредитованная испытательная лаборатория ФГБУ ГЦАС «Красноярский»). Влияние рекреационных нагрузок изучалось с применением оценочных шкал дигрессии [3].

Аналитическое сравнение содержания загрязняющих веществ с литературными данными [2] показало, что на момент исследований концентрации всех изученных токсичных элементов в растениях не достигают избыточных значений, при которых происходит нарушение гомеостаза. Данный факт позволяет сделать вывод об адаптации растительных компонентов сосновых ценозов к существующему уровню техногенной нагрузки.

Видовой состав растительного покрова изученных сосняков насчитывает 3 вида, относящихся к древесному ярусу, 16 видов кустарникового яруса, 77 – травяно-кустарничкового и 8 – мохово-лишайникового покрова. Пробные площади 1–5, испытывающие антропогенное влияние, характеризуются средним уровнем сходства флористического состава между собой (коэффициент Серенсена – Чекановского не ниже 0.5), тогда как контрольная пробная площадь (ПП 6) по видовому составу отличается от других (коэффициент Серенсена – Чекановского не выше 0.4). Видовое богатство на контрольной ПП 6 выше ($p < 0.5$), чем на ПП 1–5, подверженных рекреационной нагрузке (табл. 1).

Индексы видового разнообразия растительного покрова (индекс Шеннона) на пробных площадях варьируют от 2.38 (ПП 1) до 3.07 (ПП 5). Величина индекса Шеннона не зависит от стадии дигрессии живого напочвенного покрова. Значения вышеуказанного показателя в фоновых и нарушенных условиях

отличаются несущественно, что может быть объяснено внедрением в видовой состав синантропных видов, вследствие чего увеличивается видовое разнообразие.

Таблица 1. Основные характеристики растительного покрова в сосновых ценозах

ПП	Количество видов	Индекс Шеннона	Индекс синантропизации	Стадия дигрессии
1	26	2.38	4.76	II
2	50	2.93	15.38	II
3	35	2.76	10.34	II
4	49	2.79	17.50	IV
5	53	3.07	11.11	III
6	59	3.05	0	I

Все пробные площади, подверженные рекреационной нагрузке (ПП 1–5), характеризуются наличием синантропных видов. Индекс синантропизации колеблется от 4.76 (ПП 1) до 17.50 (ПП 4). На контрольной ПП 6 синантропные растения не произрастают (индекс синантропизации равен 0).

Контрольная ПП 6 имеет ненарушенный растительный покров (стадия дигрессии I). На ПП 1–5 выражена дорожно-тропиночная сеть, ее площадь составляет 3–25 % в различных сосновых ценозах. В зависимости от развитости дорожно-тропиночной сети в изученных сосняках (ПП 1–5) выделяются II–IV стадии дигрессии.

Все виды, произрастающие как на контрольной пробной площади, так и в условиях антропогенного воздействия, не имеют повреждений, проходят полный цикл развития и нормально развиваются, включая плодоношение. Растительный покров в сосновых ценозах, произрастающих в условиях многолетнего антропогенного воздействия г. Красноярска, характеризуется в настоящее время меньшим видовым богатством и более высокими показателями индекса синантропизации и стадии дигрессии по сравнению с ненарушенным ценозом. Однако индекс видового разнообразия не является показателем нарушенности фитоценоза, поскольку увеличение синантропизации растительности в рекреационно нарушенных сосняках приводит к увеличению видового разнообразия. На момент исследования признаков антропогенной деструкции сложения растительного сообщества не выявлено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2022 году». Красноярск: Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края, 2023. 367 с.
2. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
3. *Казанская Н. С., Ланина В.В., Марфенин Н.Н.* Рекреационные леса: состояние, охрана, перспективы использования. М.: Лесн. пром-ть, 1977. 96 с.
4. Полевая геоботаника. Т. 3. М.–Л.: Наука, 1964. 527 с.
5. *Полякова Г.А., Малышева Т.В., Флеров В.А.* Антропогенное влияние на сосновые леса Подмосковья. М.: Наука, 1981. 144 с.
6. Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1974. 403 с.

УДК 631.4

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННОМ ЛЕСУ И НА ВЫРУБКЕ

Н.М. ГОРБАЧ, В.В. СТАРЦЕВ, Д.А. СЕВЕРГИНА, И.В. ПАЮСОВА, А.А. ДЫМОВ

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар (nikolay.tbo@yandex.ru, vik.startsev@gmail.com, angels-danya@mail.ru, irina.payusova2016@yandex.ru, aadymov@gmail.com)

Аннотация. Исследования с применением лизиметрических методов в подзоне средней тайги показали, что рубки существенно изменяют свойства и состав внутрипочвенного стока с увеличением вымывания из органогенного горизонта в элювиальный. Установлено, что на степень изменений влияет ландшафтное положение протекающих вод.

NATURAL AND CLEAR-CUT FORESTS` CHEMICAL COMPOSITION OF LYSIMETER WATER

N.M. GORBACH, V.V. STARTSEV, D.A. SEVERGINA, I.V. PAUSOVA, A.A. DYMOV

IB FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar (nikolay.tbo@yandex.ru, vik.startsev@gmail.com, angels-danya@mail.ru, irina.payusova2016@yandex.ru, aadymov@gmail.com)

Abstract. A lysimeters using study in the middle taiga subzone revealed that logging significantly impacts soil infiltration and water regime properties, including increased leaching of substances from the organic to eluvial horizon. The degree of these changes is also influenced by the landscape position in which they flow.

Лесные экосистемы Республики Коми, как и другие таежные экосистемы России, подвергаются возрастающему антропогенному воздействию. Одним из наиболее распространенных типов воздействия является рубка леса. На севере европейской части России наиболее распространены сплошнолесосечные рубки. В настоящее время имеется множество пробелов в понимании восстановительных процессов после рубок. Известно, что внутрипочвенный сток способен определять состав, распределение и здоровье растений и микроорганизмов в экосистеме, а следовательно, влиять на восстановление послерубочных экосистем. Для выявления закономерностей, связанных с изменением инфильтрации и водного режима почв, применяют лизиметрический метод исследований [1]. Данный метод позволяет оценить внутрипочвенный сток соединений и их изменение в результате трансформации лесных экосистем. Цель работы заключалась в оценке изменений внутрипочвенных вод в результате рубок. Отбор и анализ проб осуществляли в год перед рубкой и в течение трех лет после рубки.

Климат района исследований умеренно-континентальный, умеренно холодный [2]. Среднемесячная температура воздуха в июле составляет +16.6 °С. Среднегодовая температура – +0.4 °С, годовое количество осадков – 514 мм [2]. Отбор лизиметрических вод осуществлялся из подстилочного (О) и элювиального (EL) горизонтов на плакоре и склоне вырубки [3]. Временной промежуток исследований охватывал периоды с мая по октябрь 2020 г. (до рубки) и 2021–2023 гг. (после рубки). Анализ отобранных образцов лизиметрических вод был проведен в аккредитованной экоаналитической лаборатории и отделе почвоведения Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Значения pH оценивали с помощью Edge HI2002-02 pH-метра (Hanna Instruments, Румыния) с цифровым электродом (±0.01 pH). Удельная электропроводность измерялась с применением портативного анализатора Five FG3 с кондуктометрическим датчиком LE 703 (Mettler Toledo, China). Содержание углерода и азота водорастворимых органических соединений определяли на анализаторе TOC-VCPN (Япония, Shimadzu) с модулем TNM-1. Для выделения фенолов из исследуемых проб воды удаляли гумусовые кислоты методом колоночной хроматографии на оксиде алюминия. Далее фенол переводили в 2,4,6-трибромфенол с помощью бромид-броматной смеси. Затем 2,4,6-трибромфенол экстрагировали толуолом и исследовали методом капиллярной газовой хроматографии с детектором электронного захвата на хроматографе «Кристалл 2000М». Катионы определяли на атомно-эмиссионном спектрофотометре ICP Spectro Ciros. Содержание взвешенных веществ (ВВ) установлено фильтрованием после встряхивания на установках Millipore с использованием кварцевых фильтров (MN, Германия) с размером пор 0.4 мкм.

Закономерности, протекающие в системе «почва – вода», трудно отследить, так как, в отличие от почвенных растворов, между лизиметрическими водами и твердой частью почвы нет определенного равновесия в силу того, что они имеют временный характер и связаны с химическим составом жидких и твердых атмосферных осадков, трансформированных растительностью [4]. Выявлено, что в результате рубки состав лизиметрических вод исследуемых участков существенно изменился. Установлено, что в органогенном горизонте плакора значения pH повысились (с 5.2 до 5.6), тогда как в минеральном горизонте, наоборот, снизились (с 5.6 до 5.3). Удельная электропроводность снизилась на следующий год после вырубки (с 36.3 до 33.8 и с 38.0 до 29.5 мкСм/см в органогенном и минеральном горизонтах соответственно), со временем уровень электропроводности выровнялся и к третьему году после рубки значения возросли и существенно превысили исходные (до рубки) (до 51.6 и 66.2 мкСм/см в органогенном и минеральном горизонтах соответственно). Средние показатели железа в воде из подстилок варьировали

от 0.58 до 0.98 мг/дм^3, марганца – от 183.08 до 298.00 мкг/дм^3 и алюминия – от 858.33 до 1132 мкг/дм^3. В водах из минерального горизонта содержание железа варьировало в пределах 0.26–0.51 мг/дм^3, марганца – 148.33–405 мкг/дм^3 и алюминия – 393.33–840 мкг/дм^3. На первый год после рубки наблюдается значительный спад концентраций общего водорастворимого углерода. По истечении трех лет после рубки наблюдается тренд по восстановлению значений к исходным. Значения общего органического азота варьировали в пределах 0.74–1.38 и 0.84–2.79 мг/дм^3 в органогенном и минеральном горизонтах соответственно. Показано, что содержание фенолов значительно снизилось в исследуемых горизонтах. По содержанию ВВ наблюдаются повышенные значения на первый год после рубки (48.5 мг/дм^3 в органогенном и 24.65 мг/дм^3 в минеральном горизонтах) с постепенным снижением после (11.04–11 мг/дм^3 в органогенном и 28.08–14.63 мг/дм^3 в минеральном горизонтах).

При сравнении данных, полученных с плакора и склона, наблюдаются схожие закономерности, за исключением содержания водорастворимых форм углерода, азота и фенолов. Вероятно, в наибольшей степени на это повлияло значительное отличие промывного режима исследуемых участков вырубки. Отмечено, что за весь период исследований лизиметрические воды почв на плакоре были несколько менее кислые, чем на склоне. Вероятно, это связано с большим содержанием в почвах минеральных элементов, которыми обогащаются осадки, когда проходят через кроны хвойных деревьев или большое количество порубочных остатков на поверхности почвы. Также в органогенном горизонте плакора после рубки наблюдается повышение значений pH, что, вероятно, связано со значительным уменьшением постоянного содержания хвои в подстилке. Максимальные значения электропроводности приходились на май и сентябрь, когда наблюдается либо активное снеготаяние, либо осенние дожди, которые привносят различные вещества в лизиметрические воды в начале вегетационного периода и в конце. Лизиметрические воды почвы, формирующейся на плакоре, характеризовались большим содержанием гидрокарбонат-ионов, чем в почве склона, что подтверждается увеличением гидрокарбонатов в весенние месяцы как в подстилке, так и в минеральных горизонтах. Данные согласуются с литературными [5], в которых описывается, что воды, собранные из-под кроновых сообществ, обладают высокой степенью минерализации. По содержанию Fe, Mn и Al установлены значительные отличия между плакором и склоном. В почве склона содержание металлов до рубки было значительно меньше, и оно значительно увеличилось ко второму году после рубки. На третий год их содержание существенно сократилось (для железа и марганца – до минимальных значений за все время) как в органогенном (железо – 0.34 мг/дм^3, марганец – 460 мкг/дм^3 и алюминий – 448 мкг/дм^3), так и в минеральном (железо – 0.35 мг/дм^3, марганец – 41.8 мкг/дм^3 и алюминий – 1042 мкг/дм^3) горизонтах. Содержание органического углерода до рубки было меньше, чем после (с максимальным значением на второй год после рубки). Динамика содержания неорганического углерода соответствует изменениям на плакоре. По содержанию общего органического азота установлено значительное повышение на второй год после рубки, до 8.34 и 2.67 мг/дм^3 в органогенном и элювиальном горизонтах соответственно. На второй год также наблюдается повышение содержания фенолов. Выявлено повышение содержания ВВ на первый и второй год после рубки (до 11.98 мг/дм^3 в O и 28.0 мг/дм^3 в EL). На третий год содержание ВВ значительно снизилось (до 8.68 мг/дм^3 в O и 7.83 мг/дм^3 в EL). Максимальные значения приходятся на май и сентябрь, когда наблюдается либо активное снеготаяние, либо осенние дожди.

В результате проведенных исследований с применением лизиметров установлено, что в результате рубок в значительной степени меняются состав и свойства внутрипочвенных вод. Вещества активнее вымываются из органогенного горизонта в элювиальный. Также выявлено, что изменение вод существенно зависит от участка ландшафта, на котором они протекают.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов / Н.В. Лукина, Е.В. Тихонова, Н.Е. Шевченко и др. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2018. 232 с.
2. *Добровольский Г.В., Таскаев А.И., Забоева И.В.* Атлас почв Республики Коми. Сыктывкар, 2010. 356 с.
3. *Дымов А.А., Старцев В.В., Горбач Н.М., Севергина Д.А., Кутявин И.Н., Осипов А.Ф., Дубровский Ю.А.* Изменения почв и растительности при разном числе проездов колесной лесозаготовительной техники (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. 2022. 11. С. 1426–1441.
4. *Забоева И.В., Пристова Т.А.* Химический состав атмосферных осадков и лизиметрических вод подзола иллювиально-железистого лиственно-хвойного насаждения средней тайги // Вестник института биологии Коми научного центра УрО РАН. 2007. 5. С. 18–25.
5. *Moffat A.J., Kvaalen H., Solberg S., Clarke N.* Temporal trends in throughfall and soil water chemistry at three Norwegian forests, 1986–1997 // Forest Ecology and Management. 2002. 168. С. 15–28.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 23-74-10007.

УДК 614.841.2

ДИНАМИКА ВОЗГОРАНИЙ В ЛЕСАХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ В СВЯЗИ С ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ МЕСТНОГО НАСЕЛЕНИЯ

Н.В. ГОРИНА, В.О. КУЛИКОВА

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск (gorina.nv@yanex.ru, kul.vitalia@gmail.com)

Аннотация. Выполнен анализ пространственного распространения ландшафтных и лесных пожаров. Полученные результаты подтверждают гипотезу о связи первичных возгораний с хозяйственной деятельностью, разными видами промысла и поджогами.

DYNAMICS OF FIRES IN TOMSK REGION FORESTS DUE TO LOCAL POPULATION ACTIVITY

N.V. GORINA, V.O. KULIKOVA

National Research Tomsk State University, Tomsk (gorina.nv@yanex.ru, kul.vitalia@gmail.com)

Abstract. In the paper the spatial distribution of landscape and forest fires was analyzed. The results confirm the hypothesis that primary fires are associated with agriculture activities, various types of harvesting and arsons.

В Томской области доля пожаров по вине местного населения в разные годы, по официальным данным, составляет от 28 до 97 %. Знание о причинах возникновения лесных пожаров и местах их распространения позволит разработать меры по взаимодействию с местным населением и сокращению частоты возгораний.

В работе использованы данные спутника Terra-MODIS с сайта Fire Information for Resource Management System (NASA, *https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/*). Архив данных для Томской области за период с 2001 по 2022 г. включает 83 286 термоточек.

Термоточки были сгруппированы по пожарам на основе близости пространственного расположения и сходства даты регистрации. На данном этапе одиночные точки также включены в исследование, поскольку большинство из них отмечено в районе наземного и авиационного патрулирования, что говорит не столько о ложной регистрации, сколько о раннем обнаружении и ликвидации возгораний.

После объединения точек выделено 9092 пожара, каждый из которых включает от 1 до 1305 термоточек. За очаг возгорания принята термоточка, зарегистрированная первой. Для этих термоточек проведен расчет расстояний до ближайшего населенного пункта, дороги и водного объекта. В расчетах использована цифровая топографическая основа Томской области М 1:200 000.

С точки зрения активности местного населения выделено 2 пожароопасных периода. Весенний период длится с 1 апреля до 9 июня, когда нахождение людей в лесу и вблизи воды связано с рекреацией, рыболовством и весенней охотой на боровую и водоплавающую дичь. Летне-осенний период длится с 10 июня до конца сезона, когда основная цель посещения леса – заготовка дикоросов местным населением. За дату перехода весенне-летнего периода принята дата 9 июня согласно Региональной шкале классов пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды [2].

Активная грозовая деятельность на территории области наблюдается с мая по август с максимумом в июле. Средняя дата начала грозового периода, по многолетним данным, приходится на 15 мая, конца грозового периода – на 17 сентября. В среднем в год наблюдается 17 грозовых дней, из них 10 дней – в июле [1].

Анализ пространственного распространения пожаров показал очевидную неравномерность их распределения. Значительная доля пожаров приходится на южные районы области, на земли сельскохозяйственного назначения (включая сельские леса): 51.0 % от весенних пожаров и 25.1 % – от летних (рис. 1). Весной пожары возникают в результате неконтролируемых выжиганий, которые традиционно используют в Сибири для подготовки сенокосов и пастбищ, а также поджогов. Появление пожаров в летний период связано с незатушенными кострами в теплую сухую погоду в конце сезона. Несмотря на высокую освоенность этой территории, корреляции пожаров с населенными пунктами и плотностью населения не установлено.

Большое число пожаров зафиксировано в поймах крупных рек: 41.1 % весенних пожаров и 15.2 % летних. Причина появления огня – костры и небезопасное обращение с огнем охотников и рыболовов.

На остальную территорию, занятую лесами и болотами, приходится около 20 % от общего числа возгораний, почти треть из них примыкает к дорогам и водным объектам.

Таким образом, к антропогенным ландшафтным и лесным пожарам могут быть отнесены возгорания, регистрируемые:

1) на землях сельскохозяйственного назначения,

2) в поймах крупных рек,

3) на лесо-болотной территории, если расстояние до дорог и водных объектов составляет до 0.2 км.

В данных условиях термоточки регистрировались многократно в одних и тех же местах.

Остальные термоточки могут быть отнесены к условно-природным возгораниям, поскольку они могут быть связаны как с грозовой активностью, так и с рекреацией, деятельностью лесозаготовителей, разными видами промысла и поджогами.

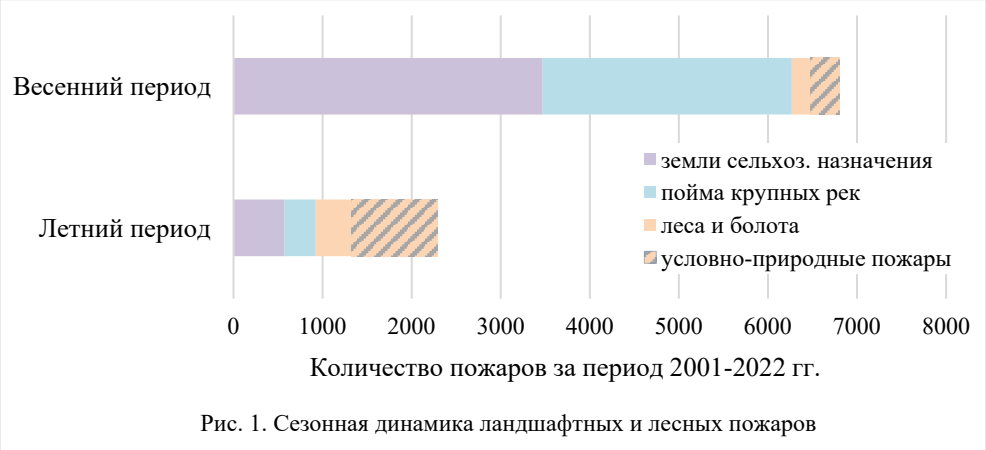


Рис. 1. Сезонная динамика ландшафтных и лесных пожаров

ЛИТЕРАТУРА

1. *Борцовская Л.И., Пархоменко Л.М.* Грозы в районе г. Томска // Вопросы географии Сибири. 1976. Т. 9. С. 45–51.
2. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 09.10.2013 № 288 «О применении региональных классов пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды».

УДК 581.526.42

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОТНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ И ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ НА ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

Ю.П. ГОРИЧЕВ

Южно-Уральский государственный природный заповедник, Республика Башкортостан (yura.gorichev.55@mail.ru)

Аннотация. Рассмотрены особенности высотного распределения лесных формаций на западном склоне Южного Урала. Результаты исследований, проведенных в районе широколиственно-темнохвойных лесов, приводят к выводу о решающей роли термического фактора, определяющего высотную дифференциацию темнохвойных и широколиственных формаций.

FEATURES OF HIGH-ALTITUDE DIFFERENTIATION OF BROAD-LEAVED AND DARK CONIFEROUS FORESTS ON THE WESTERN SLOPE OF THE SOUTHERN URALS

Yu.P. GORICHEV

South Ural State Nature Reserve, Republic of Bashkortostan (yura.gorichev.55@mail.ru)

Abstract. The features of the high-altitude distribution of forest formations on the western slope of the Southern Urals are considered. The results of studies conducted in the area of broad-leaved and dark-coniferous forests lead to the conclusion about the decisive role of the thermal factor determining the altitude differentiation of dark-coniferous and broad-leaved formations.

На западном склоне Южного Урала отчетливо выражена высотная дифференциация ассоциаций широколиственных и темнохвойных лесов. Исследования, проведенные в западной части Южно-Уральского заповедника, относящейся к району широколиственно-темнохвойных лесов, выявили следующее высотное распределение широколиственных и темнохвойных лесов. Темнохвойные леса распространены по днищам горных долин, расположенных на высоте от 200 до 450 м над ур. м., а также по вершинам высоких хребтов, лежащих на высоте более 800 м над ур. м. Широколиственные леса занимают гребни и вершины увалов и невысоких гор в интервале высот от 450 до 520 м над ур. м. Все остальное пространство – горные склоны всех экспозиций в высотном интервале от 200 до 700 м – занимают смешанные широколиственно-темнохвойные насаждения. Границы высотного распространения темнохвойных и широколиственных насаждений на склонах хребтов визуально прослеживаются редко, маскируются массивами производных насаждений.

Схематично высотная структура коренной лесной растительности в районе широколиственно-темнохвойных лесов представляется в виде 5 высотных полос, образованных формациями темнохвойных (пихтово-еловых), широколиственно-темнохвойных и широколиственных лесов. Высотный спектр формаций проявляется в следующем виде, снизу вверх: темнохвойные (пихтово-еловые) леса – широколиственно-темнохвойные леса – широколиственные леса – широколиственно темнохвойные леса – темнохвойные (пихтово-еловые) леса [3]. Полный высотный спектр выражен на склонах высоких хребтов (высотой более 750 м). В этом случае темнохвойные леса формируют 2 высотных топографических комплекса: нижний – долинные леса и верхний – хребтовые леса, разделенные полосами широколиственно-темнохвойных и широколиственных лесов. На склонах невысоких гор и увалов (высотой менее 600 м) высотный спектр представлен в усеченном виде и включает 3 высотные полосы, образованные формациями темнохвойных, широколиственно-темнохвойных и широколиственных лесов.

Первоначально, основываясь на известной концепции инверсии температур [2], предположили, что своеобразные высотные спектры обусловлены орографическими температурными инверсиями, т. е. термическим фактором. В 2013–2016 гг. в ряде широколиственных и темнохвойных насаждений были проведены микроклиматические наблюдения с использованием термодатчиков-логгеров, прикрепленных к стволам деревьев и регистрирующих температуру воздуха 8 раз в сутки. В результате обработки первичных данных были установлены количественные параметры теплообеспеченности и термического режима широколиственных и темнохвойных лесов [4]. Погодные условия в период наблюдений характеризовались средними показателями.

Как показали 4-летние наблюдения, экотопы, занятые широколиственными насаждениями, характеризуются наиболее высокими показателями теплобеспеченности вегетационного периода (сумма температур составляла 2216–2695°), наибольшей продолжительностью безморозного (126–162 дней) и вегетационного периодов (140–150 дней), среднеконтрастным термическим режимом (среднесуточные амплитуды температур составляли 8.3–9.4°, среднемесячные – 26.6–28.3°). За период наблюдений в наиболее морозные дни (январь – февраль 2014 г.) абсолютный минимум температуры воздуха составил -36.5° (30.01.2014), 4 дня температура опускалась ниже 30°. В данных мезоклиматических условиях формируются средне- и высокобонитетные широколиственные насаждения смешанного состава с

участием липы, клена, дуба. Параметры мезоклимата экотопов широколиственных насаждений сопоставимы с показателями макроклимата зоны широколиственных лесов.

Мезоклимат долинных темнохвойных лесов характеризуется контрастно-холодным термическим режимом с максимальными среднесуточными (9.4-10.4°) и среднемесячными амплитудами (29.2–29.6°) температур, частыми весенними и осенними заморозками. Здесь отмечены самые низкие параметры теплообеспеченности (1568–1837°), наименьшая продолжительность вегетационного (111–122 дней) и безморозного (85–92 дней) периодов. Термический режим данного мезоклимата формируется под воздействием частых температурных инверсий. Факторами, ограничивающими и даже исключающими участие широколиственных пород в лесообразовательном процессе в горных долинах, являются, прежде всего, заморозки, наблюдаемые в течение вегетационного периода, а также экстремально низкие зимние температуры. В период наблюдений ежегодно отмечались заморозки в мае (до 12 дней в 2013 г.), а также в летние месяцы – в июне (до 2 дней в 2016 г.) и августе (1 заморозок отмечен в 2016 г.). За период наблюдений в наиболее морозные дни (январь – февраль 2014 г.) абсолютный минимум температуры воздуха составил -40° (30.01.2014), 2 дня температура опускалась ниже -35°, 8 дней – ниже -30°.

Мезоклимат темнохвойных лесов, занимающих гребни и вершины высоких хребтов, отличается от мезоклимата долинных лесов смягченным термическим режимом. За период наблюдений здесь отмечены редкие заморозки в мае (от 2 до 4 дней), в летние месяцы заморозков не было. За период наблюдений в наиболее морозные дни (январь – февраль 2014 г.) абсолютный минимум температуры воздуха составил -30° (30.01.2014), 2 дня температура опускалась ниже -30°, 8 дней – ниже -25°. Здесь отмечены более высокие параметры теплообеспеченности (1618–1903°), более продолжительные безморозный (126–145 дней) и вегетационный (112–131 дней) периоды, меньшие амплитуды температур среднесуточные (5.5–7.3°) и среднемесячные (до 19.8–24.5°). Факторами, ограничивающими участие широколиственных пород в лесообразовательном процессе на вершинах высоких горных хребтов, являются, прежде всего, недостаточная теплообеспеченность, а также сильный ветер. Параметры мезоклимата экотопов темнохвойных насаждений сопоставимы с показателями макроклимата зоны темнохвойных (южнотаежных) лесов.

Результаты исследований указывают на проявление инверсии растительности на западном склоне Ю. Урала. Данное явление является следствием температурных инверсий, происходящих в континентальных горных районах. В результате инверсии температур более теплолюбивые ценозы располагаются на более высоких гипсометрических уровнях по сравнению с менее теплолюбивыми, переносящими более суровый климат [2, 7]. На Южном Урале явление инверсии температур описано В.О. Аскинази еще в 1905 г. [1]. Инверсия растительности отмечена в ряде районов страны, более детально данное явление исследовано на Дальнем Востоке [5].

На западном склоне Ю. Урала инверсия растительности описана С.Ф. Курнаевым в районе широколиственных лесов. Здесь он выделил следующий высотный спектр формаций, снизу вверх: чисто липовые леса – кленово-ильмово-липовые леса – кленовые леса. С.Ф. Курнаев объяснял данный высотный спектр орографическими инверсиями, вследствие которых абсолютные минимумы в горных долинах и в нижней части склонов ниже, чем в верхней части склонов. По его мнению, критические зимние температуры ограничивают распространение более термофильных пород клена и ильма в нижней части склонов горных долин [6].

Результаты исследований, проведенных в районе широколиственно-темнохвойных лесов Южного Урала, приводят к следующему выводу: экологическим фактором, определяющим высотную дифференциацию темнохвойных и широколиственных формаций на западном склоне Ю. Урала, является термический фактор. Его действие связано с недостатком тепла для теплолюбивых широколиственных пород в данном районе, что предопределяет их приуроченность к наиболее теплым экотопам, где они активно участвуют в лесообразовательном процессе, выступая в роли эдификаторов фитоценозов. Вследствие происходящих орографических инверсий теплые экотопы формируются в определенной части высотного профиля в пределах т. н. теплого пояса, охватывающего вершины увалов и невысоких гор, а также тянущегося полосой по склонам высоких хребтов на определенной высоте. Темнохвойные леса занимают крайние нижнюю и верхнюю высотные полосы – днища долин и вершины высоких хребтов, которые характеризуются низкими параметрами теплообеспеченности и контрастным термическим режимом (долинные леса), неблагоприятными для широколиственных пород, ограничивающими или исключающими их участие в лесообразовательном процессе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аскинази В.О.* Об одной температурной особенности климата гор // Записки императорского Русского геогр. общества по общей географии. Сб. статей по метеорологии. СПб.: тип. Акад. наук, 1911. С. 192–204.
2. *Берг Л.С.* Основы климатологии. Л., 1938. 455 с.
3. *Горичев Ю.П., Давыдычев А.Н., Алибаев Ф.Х., Кулагин А.Ю.* Широколиственно-темнохвойные леса Южного Урала: пространственная дифференциация, фитоценотические особенности и естественное возобновление. Уфа: Гилем, 2012. 176 с.
4. *Горичев Ю.П., Давыдычев А.Н., Юсупов И.Р., Кулагин А.Ю.* Микроклиматы лесных фитоценозов в районе широколиственно-темнохвойных лесов Южного Урала // Естественные и технические науки. 2020. 1 (139). С. 37–39.

5. *Грушвицкий И.В.* Явления инверсии растительности в Уссурийском крае // Ботан. журн. 1940. Т. 25. № 1. С. 52–67.
6. *Курнаев С.Ф.* Теневые широколиственные леса Русской равнины и Урала. М.: Наука, 1980. 312 с.
7. *Сочава В.Б.* Некоторые данные об инверсии растительных ассоциаций в связи с вопросом об инверсиях растительности вообще // Проблемы физической географии и геоботаники. Новосибирск: Наука, 1986. С. 269–286.

УДК 630*232:582.475.2(571.63)

РОСТ И РАЗВИТИЕ СОСНЫ КЕДРОВОЙ КОРЕЙСКОЙ РАЗНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ УССУРИЙСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

А.Н. ГРИДНЕВ[1], Н.Ф. ОВЧИННИКОВА[2], Т.И. ЖИВЕЦ[1]

[1] Приморский государственный аграрно-технологический университет, Уссурийск (gridnevan1956@mail.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (nf@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Рассмотрены особенности роста 20 климатипов *Pinus koraiensis* Siebold. et Zucc. в географических культурах, заложенных на юге Приморского края (Дальний Восток). Наибольшие показатели роста к 25 годам были у таких климатипов, как аванский, мухенский, тернейский, хехцирский и кировский. Отмечена многоствольность в разреженных посадках на открытом месте. Для выявления наиболее продуктивных климатипов из Хабаровского и Приморского краев, корректировки лесосеменного районирования кедра корейского необходимо сохранение опытных посадок и продолжение исследований.

GROWTH AND DEVELOPMENT OF KOREAN PINE OF DIFFERENT GEOGRAPHICAL ORIGIN IN CONDITIONS OF USSURIYSK FORESTRY OF PRIMORSKY REGION

A.N. GRIDNEV[1], N.F. OVCHINNIKOVA[2], T.I. ZHIVETZ[1]

[1] Primorsky State Agrarian-Technological University, Ussuriysk (gridnevan1956@mail.ru)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (nf@ksc.krasn.ru)

Abstract. Growth characteristics features of 20 climatypes of *Pinus koraiensis* Siebold. et Zucc. are examined in geographical cultures founded in the south of Primorsky region (Far East). Multiple trunks were noted in sparse plantings in open areas. The highest growth rates (height trunk diameter) by the age of 25 were found in the following climatypes: Avanskiy, Mukhenskiy, Terneyskiy, Khekhtsirskiy and Kirovskiy. To identify the most productive climatypes of the Khabarovsk and Primorsky region and adjust the Korean pine forest seed zoning, it is necessary to preserve experimental plantings and continue research.

Сосна кедровая корейская, или кедр корейский (*Pinus koraiensis* Siebold. et Zucc.), растет в Приморском и Хабаровском краях, в юго-восточной части Амурской области. Ареал вида с запада на восток – около 800 км и с юга на север – до 900 км. В 1998 г. по согласованию с Приморским и Хабаровским управлениями лесами на кафедре лесных культур Приморской государственной сельскохозяйственной академии (ПГСХА) под руководством ее заведующего И.А. Павленко была начата работа по созданию географических культур. В разные годы с целью выявления высокопродуктивных климатипов и корректировки лесосеменного районирования были созданы географические культуры разной густоты из посадочного материала, полученного в питомнике Хабаровского селекционно-семеноводческого центра из семян, собранных в 11 лесхозах Хабаровского края, в 8 – Приморского и в одном лесхозе Еврейской АО.

В мае 2003 г. свыше 9 тыс. 4-летних кедров перевезли и высадили в Уссурийском районе, в питомнике бывшего Учебно-опытного лесхоза ПГСХА. Посадку проводили рядами по схеме 1.5 × 1.0 м с учетом места сбора семян. В 2009 г. из 20 вариантов семян по происхождению случайным образом обмерили более 1700 штук. Анализ данных показал, что лучше росло потомство из семян, собранных в Хабаровском крае [2].

В разреженных посадках индивидуальные особенности роста менее подавлены внутривидовой конкуренцией. Поэтому весной 2007 и 2008 г. почти 400 штук пересадили с учетом происхождения по схеме 4 × 4 м на участок, расположенный на припойменной террасе в 53 квартале Баневуровского участкового лесничества Уссурийского лесничества на легких супесчаных почвах. Подготовка почвы велась путем вспашки плугом общего назначения. В длинных рядах с севера на юг разместили от 3 до 6 климатипов. В центральных рядах наиболее представленные климатипы высадили в 2-3 повторностях. В 2015 г. обследование опытных посадок показало хороший рост и развитие кедра корейского разного географического происхождения. В начале ноября на некоторых экземплярах имелись единичные шишки. В несомкнувшихся посадках был отмечен третичный рост побегов [3].

В 2017 г. сплошной учет показал лучшую сохранность в вариантах из Приморского края, чем в вариантах из Хабаровского – 71 и 58 % соответственно. Отпад растений различался не только в вариантах разного происхождения, но и в повторностях, расположенных в разных местах опытного участка. Среди 20 вариантов достоверно наибольшая средняя высота была у кедров, выращенных из семян, собранных в Кировском лесхозе, а наименьшая – у кедров из семян, полученных в Уликанском лесхозе Хабаровского края. По диаметру ствола различались достоверно крайние средние значения вариантов с происхождением в Рощинском лесхозе Приморского края и Аванском Хабаровского края. При обследовании опытных посадок в 2020 г. отмечено, что у части растений появилась многоствольность [4, 5].

Весной 2024 г. из-за усиленного роста нижних ветвей появились кустообразные формы кедра. Успешность роста климатипа предложено определять по сумме занятых мест в рядах, ранжированных по средним высоте и диаметру ствола, степени кустистости и величине отпада [1], как показано в табл. 1.

Таблица 1. Оценка успешности роста и развития 24-летней сосны кедровой корейской из семян различного географического происхождения в опытных посадках

Климатип/лесхоз	Высота	Диаметр	Кустистость	Отпад	Ранг
Аванский	1	1	10	3	15
Мухенский	4	8	1	5	18
Тернейский	2	2	15	1	20
Хехцирский	5	7	5	6	23
Кировский	3	5	16	3	27
Ольгинский	8	4	13	3	28
Нанайский	9	9	4	7	29
Анучинский	12	10	9	2	33
Вяземский	17	6	7	3	33
Кур-Урминский	7	12	3	11	33
Барабашский	15	3	7	10	35
Пограничный	13	11	12	1	37
Сукпайский	6	16	13	3	38
Рощинский	16	14	6	4	40
Уликанский	20	15	2	3	40
Облученский	10	18	14	1	43
Хабаровский	11	19	8	5	43
Шумненский	14	13	11	5	43
Оборский	19	20	4	8	51
Гурский	18	17	8	9	52

Установлено, что среди 20 климатипов *Pinus koraiensis* Siebold. et Zucc. в условиях Баневуровского участкового лесничества Уссурийского лесничества Приморского края к 25 годам в опытных посадках лучший рост – у семенного потомства аванского, мухенского, тернейского, хехцирского и кировского климатипов. Слабый рост наблюдается у кедра корейского таких климатипов, как уликанский, облученский, хабаровский, шумненский, оборский и гурский. Рост остальных средний. Многоствольность у отдельных кедров появляется в результате гибели верхушечных побегов, почек после вторичного и даже третичного сезонного роста. Для выявления наиболее продуктивных климатипов и корректировки лесосеменного районирования необходимо сохранение опытных посадок и продолжение исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гриднев А.Н., Дюгай С.В.* Рост сосны кедровой корейской разного географического происхождения в культурах на юге Приморского края // Аграрный вестник Приморья. № 4 (12). Уссурийск: Изд-во ПГСХА, 2018. С. 86–91.
2. *Гриднев А.Н., Овчинникова Н.Ф., Мамедова Л.С.* Внутривидовая изменчивость и лесное хозяйство // Интенсификация лесного хозяйства России, проблемы и инновационные пути решения: Матер. Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием, 19–23 сент. 2016 г. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2016. С. 59–60.
3. *Гриднев А.Н., Овчинникова Н.Ф., Мамедова Л.С.* Изменчивость роста *Pinus koraiensis* разного географического происхождения в посадках на юге Приморского края // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока: Чтения памяти Л.М. Черепнина и VI Всеросс. конф. с междунар. участием, 18–20 мая 2016 г. Красноярск: КГПУ, 2016. С. 265–269.
4. *Овчинникова Н.Ф., Гриднев А.Н.* Географические культуры *Pinus koraiensis* Siebold. et Zucc. в Уссурийском лесничестве КГКУ «Примлес» // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений: Матер. XXIII Междунар. науч. конф. «Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений», 23 апреля 2020 г. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2020. С. 78–81.
5. *Овчинникова Н.Ф., Гриднев А.Н.* Рост *Pinus koraiensis siebold.* et Zucc. в опытных посадках Уссурийского лесничества КГКУ «ПРИМЛЕС» // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений: Матер. XXIV Междунар. науч. конф. «Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений», 19 апреля 2021 г. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2021. С. 95–98.

УДК 632.3.01/08+582.475+571.53

РОЛЬ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ В ПАТОГЕНЕЗЕ ТЕМНОХВОЙНЫХ ПОРОД БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ

И.Д. ГРОДНИЦКАЯ[1], В.А. СЕНАШОВА[1], О.Э. ПАШКЕЕВА[1], М.Ю. ТРУСОВА[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (igrod@ksc.krasn.ru)
[2] Институт биофизики СО РАН, Красноярск (mtrusova@ibp.krasn.ru)

Аннотация. Метагеномный анализ показал, что с увеличением степени поражения древостоя (до 75 %) бактериальной водянкой биоразнообразие некоторых видов увеличилось, а другие исчезали в сравнении с менее поврежденными деревьями (25 и 50 %). Среди выделенных видов отмечено присутствие условно-патогенных, проявляющих выраженные вирулентные свойства по отношению к индикаторным растениям и подавляющих рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной. В исследованном эндофитном микробиоме преобладали взаимоотношения симбиотического характера (кооперация) с возможными синтрофными связями.

THE ROLE OF ENDOPHYTIC BACTERIA IN THE PATHOGENESIS OF DARK CONIFEROUS SPECIES OF BOREAL FORESTS

I.D. GRODNITSKAYA[1], V.A. SENASHOVA[1], O.E. PASHKEEVA[1], M.YU. TRUSOVA[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (igrod@ksc.krasn.ru)
[2] Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk (mtrusova@ibp.krasn.ru)

Abstract. Metagenomic analysis showed that as the degree of damage to the tree stand increased (up to 75 %) by bacterial dropsy, the biodiversity of some species increased, while others disappeared, compared to less damaged trees (25 and 50 %). Among the isolated species, the presence of opportunistic ones was noted, exhibiting pronounced virulent properties in relation to epy indicator plants, suppressing the growth and development of Scots pine seedlings. In the studied endophytic microbiome, relationships of a symbiotic nature (cooperation) prevailed, with possible syntrophic connections.

Эндофитная микробиота, ассоциированная с внутренними тканями растений, обнаружена практически во всех известных к настоящему времени растениях и выделена из разных их частей. Большое количество работ направлено на изучение грибных популяций лесных пород, и довольно мало данных об эндофитных бактериях, особенно об их функциях в тканях растений. Эндофитный микробиом – это сложно организованная система (ассоциация), в которой, кроме взаимодействия с растением, микроорганизмы испытывают множество различных взаимных влияний от конкуренции до кооперации [9, 10]. Бактерии родов *Pseudomonas, Bacillus, Paenibacillus, Erwinia* и *Burkholderia* встречаются во всех древесных тканях, воздействуют на растения как положительным (симбиоз), так и отрицательным образом. Проявление отрицательного (патогенного) влияния эндофитов на растения связано, прежде всего, с ослаблением иммунной системы дерева, приводящим к возрастанию численности патогенных микроорганизмов, развитию различных заболеваний. Одним из таких вредоносных заболеваний является бактериальная водянка, поражающая широкий спектр растений. Бактериальная водянка (bacterial wetwood) – системный сосудисто-паренхиматозный бактериоз, связанный с обводнением тканей древесины стволов, ветвей и рядом других специфических симптомов, который поражает лиственные и хвойные лесные, декоративные и садовые древесные породы, развивается в хронической и острой форме, приводя деревья к усыханию и гибели [1, 4, 5, 6, 11].

С 2012 г. ослабление горных лесов юга Восточной Сибири большинство исследователей связывают с заболеванием бактериальной водянкой, которое в хронической форме присутствует в лесных массивах Сибири. В Иркутской области и в Республике Бурятия отмечены массовые усыхания пихтово-кедровых насаждений с признаками этого заболевания. В разной степени кедровые леса повреждены почти по всей территории Хамар-Дабана и Саян. Болеют высокопродуктивные кедровники 150-200-летнего возраста [4]. Кроме кедра, поражаются водянкой пихта сибирская, ель сибирская, сосна обыкновенная [6]. Лесные массивы, больные водянкой, являются источником инфекции для соседствующих с ними лесов, в том числе и светлохвойных. Ранее было показано, что возбудителями бактериальной водянки являются бактерии-полифаги из родов *Erwinia* и *Pseudomonas*. В настоящее время считается, что это заболевание комплексное, т. е. в патологическом процессе может участвовать целая группа различных микроорганизмов, в том числе и непатогенных. Причиной wetwood называют всю совокупность бактерий, изолированных из мокрой древесины деревьев. В основном это конгломерат по большей части сапротрофных видов, не имеющих явного отношения к внутренней патологии древесины ствола. Различные ассоциации бактерий часто упоминаются в привязке к конкретным породам [8]. Вопрос об истинных возбудителях остается открытым: до сих пор неясно, какие именно виды микроорганизмов вызывают это заболевание.

Целью работы являлось исследование эндофитных микробиомов, их основной состав и типы взаимоотношений между бактериями в деревьях, в разной степени поврежденных водянкой в кедрово-пихтовых лесах Прибайкалья.

Для выявления популяций бактерий, находящихся в мокрых тканях пораженных растений, исследовали образцы кернов и спилов стволов кедровых сосен (*Pinus sibirica* Du Tour) разной степени поражения заболеванием (1, 3, 4 балла – 25, 50, 75 % соответственно). С помощью молекулярно-генетических анализов выделена геномная ДНК, проведен метагеномный анализ (NGS) эндофитных бактерий. Кроме того, из «мокрой древесины» деревьев были выделены изоляты эндофитных бактерий в чистую культуру, идентификация которых проведена с помощью метода секвенирования по Сэнгеру (амплификацией гена 16S рРНК); установлена их видовая принадлежность. Оценка таксономической сложности эндофитных сообществ проведена с помощью индексов Маргалефа, Менхиника, Шеннона, Бергера – Паркера и Симпсона. Для понимания роли различных групп бактерий в общем микробиоме исследовали типы взаимоотношений с выявленными видами бактерий по методам [3].

Метагеномный анализ образцов древесины кедра показал, что на долю домена Bacteria приходится от 97.6 до 98.7% последовательностей. Доля фрагментов гена 16S рРНК отдельных филогенетических групп от общего числа полученных для данных образцов фрагментов различна. В основном доминируют представители трех основных фил бактерий: *Proteobacteria* (88–92 %), *Firmicutes* (3.2–18 %) и *Actinobacteria* (0.5–1.9 %). Всего для образца № 1 было получено 44 506, для № 3 – 47 402 и для № 4 – 42 393 последовательности («ридов», или прочтений). Сравнение альфа-разнообразия эндофитных бактерий деревьев с разной степенью поражения болезнью было проведено в целом на уровне типа, а также по семействам и родам бактерий, и показало следующие результаты: на дереве с 50%-м поражением (№ 3) индексы видового богатства без учета доминирования (Маргалефа, Менхиника) были выше (1.82, 0.141), чем на деревьях с 20 и 75%-м поражением (№ 1 и 4), в то время как индексы, учитывающие выравненность/меру доминирования (Шеннона, Бергера – Паркера и Симпсона) и уделяющие внимание обилию самых обычных видов, а не видовому богатству, показали, что биоразнообразие прокариот было выше на дереве с 75%-м (№ 4) поражением. Индекс Симпсона придает больший вес обычным видам, Шеннона – редким, поэтому наиболее высокие значения этих двух индексов (0.71 и 2.55) на дереве № 3 свидетельствуют о более богатом разнообразии одновременно обычных и редких видов по сравнению с деревьями № 1 и № 4. Следовательно, прокариотный состав дерева № 3 (с 50%-м поражением) обладал наиболее обильным количеством видов, в то время как на дереве № 4 (с 75%-м поражением) видовой состав бактериобиома был беднее, но при этом более богат численностью каждого имеющегося вида (отмечалось возрастание степени доминирования отдельно взятых видов, как обычных, так и редких). С увеличением степени поражения некоторые виды увеличились в количестве, а другие вовсе исчезли.

Выделенные эндофитные бактерии по семействам были условно разделены на несколько больших групп: I – сапротрофные (*Halomonadaceae, Paenibacillaceae; Propionibacteriaceae; Actinomycetaceae; Flavobacteriaceae; Sphingomonodaceae; Acidobacteriaceae*; *Comamonadaceae*); II – азотфиксирующие (*Phyllobacteriaceae*; *Rhodospirillaceae; Rhodobacteraceae*; *Rizobiaceae*); III – метанотрофные (*Methylobacteriaceae*); IV – условно фитопатогенные аэробные (*Pseudomonadaceae, Halomonadaceae, Xanthomonadaceae*); условно фитопатогенные факультативно-анаэробные (*Shewanellaceae, Porphyromonadaceae; Burkholderiaceae; Enterobacteriaceae; Bacillaceae*). Каждой группе бактерий отведена определенная роль в эндофитном микробиоме.

С помощью секвенирования бактерий по Сэнгеру установлена видовая их принадлежность: *Bacillus pumilus, Paenibacillus taichungensis, Rouxiella chamberiensis, Ewingella americana, Stenotrophomonas rhizophila, Brevibacterium frigoritolerans, Pseudomonas azotoformans*, *Pseudomonas paralactis, Bacillus amyloliquefaciens.* Эксперименты по выявлению патогенных свойств у этих бактерий показали, что к условно-патогенным штаммам можно отнести *R. chamberiensis* и *E. americana* (сем. *Enterobacteriaceae*), а также *St. rhizophila* (сем. *Xanthomonadaceae*) и *B. pumilis* (сем. *Bacillaceae*), которые проявляют выраженные вирулентные свойства по отношению к индикаторным растениям и неоднозначно влияют на рост и развитие сеянцев сосны обыкновенной. Полагаем, что при определенных условиях окружающей среды вышеуказанные эндофитные бактерии способны запускать механизмы патогенеза и тем самым вызывать инфекционные заболевания [2].

Поскольку типы взаимоотношений между представителями эндофитного сообщества в пораженных водянкой хвойных ранее никем не выяснялись, мы исследовали взаимоотношения между выделенными штаммами бактерий. Опыты по изучению чувствительности эндофитных бактерий к выделяемым ими веществам показали, что 4 штамма (родов *Bacillus, Pseudomonas, Paenibacillus*) обладали ярко выраженной антагонистической активностью по отношению к другим эндофитам, остальные были между собой в нейтральных взаимоотношениях. Присутствие антагонистов в микробиоме необходимо для контроля численности бактерий и предотвращения их негативных воздействий на растения. В целом среди микроорганизмов, принадлежащих к одному эндофитному микробиому, явный антагонизм по отношению друг к другу встречается реже, чем положительные или нейтральные взаимоотношения. Отмечено, что в исследованном эндофитном сообществе преобладали взаимоотношения симбиотического характера (кооперация) с возможными синтрофными связями.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гвоздяк Р.И., Яковлева Л.М.* Бактериальные болезни лесных древесных пород. Киев: Наукова думка, 1979. 240 с.
2. *Гродницкая И.Д., Сенашова В.А., Трусова М.Ю., Пашкеева О.Э., Баранчиков Ю.Н.* Состав и фитопатогенные свойства эндофитных бактерий, выделенных из древесины *Pinus sibirica* Du Tour, пораженной бактериальной водянкой, в Прибайкалье // Сиб. лесной журн. 2023. № 1. С. 70–84.
3. *Егоров Н.С.* Микробы-антагонисты и биологические методы определения антибиотической активности. М.: Высшая школа, 1965. 210 с.
4. *Морозова Т.И., Сурдина В.Г.* Бактериальная водянка хвойных в Байкальской Сибири // Проблемы микологии и фитопатологии в XXI в.: Матер. Междунар. науч. конф. Санкт-Перербург: ООО «Копи-Р Групп», 2013. 400 с.
5. *Смирнов С.И., Котов А.С.* Бактериальная водянка в березняках Калужской области // Лесоведение, экология и биоресурсы. Брянск: БГИТА, 2005. С. 182–183.
6. *Черпаков В.В.* Этиология бактериальной водянки древесных растений // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 220. С. 125–139.
7. *Шеховцев В.П.* Бактериальная водянка березы в Бузулукском бору // Аграрная Россия. М.: ФОЛИУМ, 2009. С. 50.
8. *Alizadeh M., Khakvar R., Babai-Ahari A.* Isolation and characterization of bacterial agents associated of wetwood disease on elm trees in Iran // Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica. 2017. V. 52. N 2. P. 157–168.
9. *Cankar K. et al.* Bacterial endophytes from seeds of Norway spruce (*Picea abies* L. Karts) // FEMS Microbiol. Lett. 2005. V. 244. P. 341–345.
10. *Nair D.N., Padmavathy S.* Impact of endophytic microorganisms on plants, environment and humans // The Scientific World J. 2014. P. 1–11.
11. *Tatarintsev A.I.* Ecological-coenotic characteristics of the bacterial dropsy infection rate in birch forests in the southern part of Middle Siberia (Krasnoyarsk group of areas) // Contemporary Problems of Ecology. 2014. V. 7. N 2. P. 221–227.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках государственного задания FWES-2024-0029.

УДК 630*181.65:582.681.81(210.7:282.256.166.3)

ГОДИЧНЫЙ ПРИРОСТ ТОПОЛЯ ЧЕРНОГО В ПОЙМЕ Р. ТУРА (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

М.А. ГУРСКАЯ, К.А. КАВУН, Л.И. АГАФОНОВ

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург (mgurskaya@yandex.ru)

Аннотация. В работе проанализированы связи годичного прироста тополя черного и гидрологических параметров реки Тура. Выявлены периоды существенного снижения прироста. Расходы воды, температура воздуха и осадки холодного периода оказывают существенное влияние на формирование годичных колец. Показана комплексность гидрологического и климатического сигналов в ширине годичных колец.

ANNUAL GROWTH OF BLACK POPLAR ON THE FLOODPLAIN OF THE TURA RIVER (SVERDLOVSK REGION)

M.A. GURSKAYA, K.A. KAVUN, L.I. AGAFONOV

Institute of Plant and Animal Ecology, UB RAS, Ekaterinburg (mgurskaya@yandex.ru)

Abstract. We have analyzed the relationships between tree-ring width of *Populus nigra* and hydro-climatic parameters of the Tura river. The periods of decreasing of annual growth are highlighted. Water discharge, air temperature and precipitation of the cold period have a significant impact on the formation of tree rings. The complexity of hydro-climatic signal on the tree-ring width has been revealed.

В последнее время большое внимание уделяется изучению последствий, связанных с гидрологическим режимом рек и обусловленных современными изменениями климата [4, 5]. Прогнозируемое увеличение частоты и интенсивности сильных осадков приведет к увеличению местных наводнений, вызванных дождями, и увеличению частоты экстремальных природных процессов и событий, оказывающих негативное воздействие на природную среду [5].

Деревья, произрастающие в поймах рек, испытывают влияние как изменений климата, так и наводнений и изменения гидрологии в целом [3, 6, 7]. Годичные кольца долгоживущих деревьев обеспечивают ретроспективные данные о величине расходов рек [2, 6].

Цель исследования: выявить гидролого-климатические факторы, влияющие на годичный прирост тополя черного (осокоря) *Populus nigra* L., произрастающего в пойме р. Тура (Свердловская область).

Тура − вторая по величине река области. Ее общий водосборный бассейн равен 80 400 км^2, протяженность русла реки – 1030 км, ширина поймы достигает 12–15 км. Половодье длится 1.5–2 месяца и приходится на май – июнь. В период открытого русла амплитуда колебаний уровня воды составляет до 8 м [1]. Керны тополя (27 шт.) были собраны в пойме р. Тура (58º4′ с. ш., 65º5′ в. д.) и отполированы, ширина годичных колец измерена с точностью до 0.01 мм. Для анализа использованы данные по температуре и осадкам CRU4.07 и по расходам воды на гидропосту Туринск за период 1936–2022. Полученные хронологии были проиндексированы в программе ARSTAN с помощью функций негативной экспоненты и кубического сплайна. Статистический анализ выполнен в программе Statistica.

В хронологии годичного прироста тополя выделяются периоды снижения прироста. Наибольшее снижение (более чем на 2STD) выявлено в период 2009–2014 гг., другие периоды отмечены в 1908–1918, 1935–1939, 1946–1950 и 1970–1983 гг.

Анализ климатических переменных показал, что существуют отрицательные корреляции между температурами апреля и мая, с одной стороны, и осадками соответствующих месяцев, с другой. Температура апреля положительно виляет на расходы воды в апреле, но способствует снижению расходов в мае и июне. Температура мая отрицательно влияет на расходы в мае и июне. Температуры других месяцев не влияют на расходы воды. Осадки предыдущего и текущего месяцев увеличивают расходы воды. Осадки отдельных месяцев, июня – сентября, наиболее тесно коррелируют с расходами последующего месяца. Наиболее существенно расходы воды июля – сентября зависят от осадков июля (r = 0.64–0.68), с остальными месяцами коэффициенты корреляции ниже (r изменяется в пределах от 0.43 до 0.63). Наиболее тесные положительные связи между зимними осадками и расходами воды выявлены для расходов апреля – июня и снегонакопления ноября – апреля (r = 0.68).

Выявлены тесные положительные стабильные корреляционные связи с температурой мая и нестабильные положительные связи с температурой июня. Расходы воды влияют неоднозначно. На протяжении периода наблюдений стабильные положительные связи отмечены с маем. Нестабильные связи с июнем отмечены во второй половине XX века. С атмосферными осадками летнего периода связи не найдены. С суммой осадков холодного периода (ноябрь – апрель) получены значимые коэффициенты корреляции. Более тесные связи выявлены с суммой расходов воды мая – июня; со средними значениями температуры мая – июня и с суммой осадков мая – июля связи слабые. Выделенные периоды снижения годичного прироста приходятся на периоды роста температуры и снижения расходов воды мая – июня и уменьшения количества осадков мая – июня.

Анализ главных компонент показал, что при условии помесячного анализа гидролого-климатических данных на первый фактор, включающий температуру мая и июня и расходы июня – июля, приходится 22 % описываемой изменчивости, а на второй фактор, включающий условия апреля (температуру, осадки и расходы воды), – 18%. В случае использования в анализе усредненных значений температуры, осадков и расходов мая – июня и снегонакопления за холодный период ноябрь – апрель первая компонента включает расходы воды и снегонакопление (42 %), а вторая – температуру и сумму осадков (33 %).

Полученные результаты указывают на сложность климатического сигнала в ширине годичных колец тополя черного, произрастающего в пойме р. Тура.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрографическое районирование территории Российской Федерации. Кн. 1. / ред. С.Е. Беднарук. М.: НИА-Природа, 2008. 540 с.
2. *Agafonov L.I., Meko D.M., Panyushkina I.P.* Reconstruction of Ob river, Russia, discharge from ring widths of floodplain trees // J. of Hydrol. 2016. 543: 198–207. DOI: 10. 1016/j. jhydr ol. 2016. 09.031.
3. *Chen F., Shang H., Panyushkina I.P. et al.* Tree-ring reconstruction of Lhasa river streamflow reveals 472 years of hydrologic change on southern Tibetan Plateau // J. of Hydrol. 2019. 572: 169–178.
4. IPCC: Summary for policymakers // Climate Change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the Sixth Assessment report of the Intergovernmental panel on Climate Change / V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, etc (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021. Pp. 3−32. DOI: 10.1017/9781009157896.001.
5. IPCC: Summary for policymakers // Climate Change 2023: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Sixth Assessment report of the Intergovernmental panel on Climate Change / Core writing team, H. Lee and J. Romero (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. Pp. 1–34. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
6. *Meko D.M., Panyushkina I.P., Agafonov L.I., Edwards J.A.* Impact of high flows of an Arctic river on ring widths of floodplain trees // Holocene. 2020. 30: 789–798. DOI: 10.1177/0959683620 902217.
7. *Meko D.M., Woodhouse C.A., Morino K.* Dendrochronology and links to streamflow // J. of Hydrol. 2012. 412: 200–209. DOI: 10.1016/j. jhydrol.2010.11.041.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РНФ (региональный грант по Свердловской области № 24-27-20081).

УДК 630*574.9+581.526.426.2+ 581.555.2+581.552

ИТОГИ СТАЦИОНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРУКТУРЫ ЧЕРНЕВЫХ КЕДРОВЫХ ЛЕСОВ НА ПОСТОЯННЫХ ОБЪЕКТАХ ЕРМАКОВСКОГО СТАЦИОНАРА ИНСТИТУТА ЛЕСА СО РАН

Д.М. ДАНИЛИНА, М.Е. КОНОВАЛОВА, Д.И. НАЗИМОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (dismailova@mail.ru, markonovalova@mail.ru, inpol@mail.ru)

Аннотация. Представлены результаты долговременного изучения структуры коренных черневых кедровых лесов в крупнотравно-папоротниковой группе типов леса. На протяжении периода стационарных наблюдений с 1965 по 2023 г. в составе кедрового эдификаторного яруса поддерживается динамическое равновесие. Субэдификаторный пихтовый ярус трансформируется быстрее и влияет на взаимоотношения синузий нижних ярусов и их роль в процессе возобновления кедра и пихты. Каждая синузия характеризуется относительным постоянством числа видов, состава доминантов и соотношения эколого-ценотических групп (ЭЦГ).

RESULTS OF STATIONARY STUDIES OF THE CHERN SIBERIAN PINE FORESTS ON THE PERMANENT PLOTS OF THE ERMAKOVSKY STATION OF INSTITUTE OF FOREST SB RAS

D.M. DANILINA, M.E. KONOVALOVA, D.I. NAZIMOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (dismailova@mail.ru)

Abstract. The results of a long-term study of the structure of old-grow Siberian pine forests in a large herbs and ferns group of forest types are presented. During the period of stationary investigation from 1965 to 2023, dynamic equilibrium is maintained in the Siberian pine edificator layer. The subedificatory fir layer transforms faster and affects the relationships of the sinusia and their role in the process of renewal of Siberian pine and fir. Each sinusia is characterized by a relative constancy in the number of species, the composition of the dominants and the ecological-cenotic groups (ECG) ratio.

Исследования состава и структуры горных кедровых лесов Западного Саяна в связи с их слабой изученностью были организованы в 1960 г. под руководством академика А.Б. Жукова в рамках решения «проблемы кедра». Проводились комплексные лесоводственно-географические исследования лесов Западного Саяна, выявившие общие ландшафтно-экологические закономерности распространения и формирования кедровых лесов [7]; были заложены объекты долговременных наблюдений в качестве научно-экспериментальной базы для комплексных стационарных исследований кедровых лесов. В 1960 г. организован Ермаковский стационар Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, где на постоянных пробных площадях (ПП), заложенных Н.П. Поликарповым, И.В. Семечкиным, П.М. Ермоленко и Д.И. Назимовой в бассейнах рек Большой и Малый Кебеж, разные исследователи (Д.И. Назимова, Н.И. Молокова, Д.М. Данилина, О.В. Дробушевская, М.В. Бочарников, И.В. Семечкин, В.Ф. Бусоедов, В.Я. Ледовских, П.М. Ермоленко, Н.Ф. Овчинникова, В.И. Поляков, М.Е. Коновалова, Н.Ю. Сташкевич и другие) регулярно проводили подробные таксационно-лесоводственные учеты и геоботанические описания в соответствии с методическими указаниями В.Н. Сукачева и С.В. Зонна (1961) и «Программой и методикой биогеоценологических исследований» (1974). Выполнялось периодическое картирование горизонтальных проекций крон деревьев и кустарников, подроста, синузиальной структуры травяного покрова. Регулярно проводилась оценка возобновления с учетом горизонтальной мозаики сообществ.

В данной работе анализируются результаты долговременного мониторинга (с 1965 по 2023 г.) динамики структуры черневых кедровников, достигших стадии климакса в условиях полного отсутствия пожаров и рубок, и производных насаждений в процессе их развития после рубки в крупнотравно-папоротниковой группе типов леса на объектах Ермаковского стационара. Кедровники крупнотравно-папоротниковые образуют фон в черневом поясе Западного Саяна, являясь репрезентативными для демонстрации особенностей динамики структуры черневых лесов.

Динамическая устойчивость позднесукцессионных черневых кедровников осочково-крупнотравно-папоротниковых (ПП 3) и широкотравно-крупнотравно-папоротниковых (ПП 5) поддерживается разновозрастной структурой древостоя и сложным взаимодействием кедра и пихты, особенностями микрорельефа, изменениями в режимах освещенности и увлажнения [1].

Значительную роль при этом играет синузиальная структура нижних ярусов, выполняющих субэдификаторные функции в лесах черневого пояса. Постоянными ее элементами с 1960 по 2023 г. остаются крупнотравно-папоротниковая, вейниково-щитовниковая (ПП 3) или вейниково-щитовниковая с широкотравьем (ПП 5), борцово-осочковая (ПП 3) или борцово-щитовниковая (ПП 5), осочковая, кисличная синузии. Каждая из них характеризуется относительным постоянством числа видов, состава доминантов и соотношения эколого-ценотических групп (ЭЦГ). Наибольшие по площади крупнотравно-папоротниковые синузии, связанные с окнами и разреженными участками верхнего полога, в соответствии с деструктивными процессами в древостое время от времени меняют свои границы. Возобновление основного эдификатора – кедра протекает в них медленно и приурочено к ветровальным комплексам и

крупному валежу. Борцово-осочковые и борцово-щитовниковые синузии формируются при лучшем дренаже под разреженным пологом кедра и трансформируются в осочковые после возобновления на этих участках пихты. Под группами густого пихтового подроста также выделяются мелкие пятна кисличных синузий. На таких участках, где снижена конкуренция трав, наблюдается периодическое многочисленное возобновление кедра в годы высокого плодоношения, но вероятность последующего выживания подроста низка из-за угнетения пологом пихты. Непрерывное образование молодых поколений кедра в борцово-осочковой, борцово-щитовниковой, осочковой и кисличной синузиях представляет собой постоянно обновляющийся резерв возобновления, переходящий в древостой только в случае распада верхнего полога. По мере увеличения высоты биогрупп пихты, сформированных под пологом основного яруса древостоя кедра, и повышения освещенности осочка и кислица вытесняются вейником и щитовником. Вейниково-щитовниковые синузии являются наиболее благоприятными структурными элементами нижних ярусов для дальнейшего перехода кедра в ярус древостоя после распада достигших старого генеративного состояния деревьев пихты. Таким образом, на протяжении 60 лет наблюдений выявлено, что особенности состава и структуры древостоя влияют на формирование пространственной мозаики нижних ярусов, что в свою очередь определяет характер возобновительного процесса. В результате такого взаимодействия на протяжении жизни многих поколений ключевых видов поддерживается динамическая устойчивость позднесукцессионных (климаксовых) сообществ.

Наблюдения за восстановительной динамикой после условно-сплошной рубки 1949 г. коренного черневого кедровника было начато в 1966 г. на постоянных пробных площадях в смешанном хвойно-лиственном молодняке (20–30 лет) вейниково-крупнотравно-папоротниковом с широкотравьем [6]. Молодняк на ПП объекта «Лежневка» имел густоту 3278 ± 174 шт. га$^{-1}$ и сложный состав с доминированием пихты (60 % от общего числа стволов), участием осины (20 %), березы (10 %) и кедра (10 %). На начальной стадии зарастания вырубки усилилась роль кустарников, вейника Лангсдорфа и видов крупнотравья. В дальнейшем наблюдался рост конкурентных отношений древесных видов, в результате которых через 60 лет после рубки высокопроизводительного черневого кедровника доминирующее положение в пологе заняли лиственные породы и пихта, а в покрове – папоротники, вейники и крупнотравье.

До настоящего времени наблюдается регулярный отпад деревьев кедра (менее 10 % от общего запаса). Возобновление кедра малочисленное и не обеспечивает даже замещения отпадающих деревьев кедра. Более активно протекают процесс возобновления пихты и порослевое восстановление осины и березы, формирующих в течение 60 лет основной полог древостоя. В процессе восстановительной динамики доминирующая роль кустарников и вейника Лангсдорфа сходит на нет в течение первых десятилетий. В синузиальной структуре сохраняются крупнотравно-папоротниковые синузии, приуроченные к более разреженным участкам древостоя, вейниково-щитовниковые, приуроченные к участкам наиболее сомкнутого полога с пихтой, и вейниково-крупнотравно-папоротниковые с участием видов широкотравья. В ходе динамики изменяются границы и соотношение синузий по площади. Уменьшение общего числа стволов и снижение сомкнутости древостоя приводят к разрастанию светолюбивых видов крупных папоротников и крупнотравья [9]. На протяжении всего периода наблюдений мощное развитие видов крупных папоротников и крупнотравья (высотой 80–130 см и с проективным покрытием первого подъяруса 70–100 %) препятствует успешному развитию молодого поколения кедра. Под более сомкнутыми участками древостоя и на остатках разлагающихся пней и стволов наблюдаются волнообразные (во времени) процессы формирования подроста кедра. Таким образом, пространственная неоднородность сообществ, ее изменения во времени и долговечность отдельных структурных элементов, их взаимоотношений между собой оказывают существенное негативное влияние на восстановление черневых кедровников в долгосрочной перспективе (не менее 200 лет). Аналогичные результаты наблюдаются на других объектах постоянного мониторинга в черневых коренных и производных лесах [2, 3, 4, 5, 8, 9].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Данилина Д.М., Назимова Д.И., Коновалова М.Е.* Пространственно-временная структура и динамика позднесукцессионного черневого кедровника Западного Саяна // Лесоведение. 2020. № 5. С. 387–398.
2. *Ермоленко П.М., Овчинникова Н.Ф.* Стационарные исследования возрастной и восстановительной динамики темнохвойных лесов Западного Саяна // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития. Сб. науч. тр. Вып. 5. Брянск: БГИТА, 2003. С. 102–105.
3. *Исмаилова Д.М., Назимова Д.И.* Долговременная динамика фитоценотической структуры черневых пихтово-осиновых лесов в предгорьях Западного Саяна // Лесоведение. 2007. № 3. С. 3–10.
4. *Коновалова М.Е.* Восстановительная динамика леса на сплошных вырубках горных кедровников Южной Сибири // Лесоведение. 2015. № 3. С. 267–274.
5. *Кузьмичев В.В., Овчинникова Н.Ф. Ермоленко П.М.* Восстановительная динамика темнохвойных лесов на сплошных вырубках в Западном Саяне // Лесное хоз-во. 2002. № 6. С. 22–24.
6. *Назимова Д.И., Ермоленко П.М.* Динамика синузиальной структуры при восстановительных сукцессиях в черневых кедровниках Западного Саяна // Динамика лесных биогеоценозов Сибири. Новосибирск: Наука, 1980. С. 54–87.
7. *Поликарпов Н.П.* Комплексные исследования в горных лесах Западного Саяна / Вопросы лесоведения. Т. 1. Красноярск: Кн. изд-во, 1970. С. 26–79.

8. *Поляков В.И.* Черневые кедровники Западного Саяна: контроль и прогнозирование хода роста. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 181 с.
9. *Ismailova D.M., Nazimova D.I.* Long-term dynamics of mixed fir-aspen forests in West Sayan (Altai-Sayan Ecoregion) / H. Balzter (ed.) // Environmental change in Siberia: Earth observation, field studies and modelling, advances in global change research. Springer Science + Business Media B.V., 2010. Pp. 37–51.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке проекта «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» FWES-2024-0028.

УДК 630*556.5*528

ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОСЛЕ РУБОК И ПОЖАРОВ В ЛЕСАХ ПРИАНГАРЬЯ

И.В. ДАНИЛОВА, Т.А. БУРЕНИНА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (tiv80@mail.ru, burenina@ksc.krasn.ru)

Аннотация. В статье рассматриваются пространственно-временные аспекты гидрологических процессов после рубок и пожаров в связи с антропогенной трансформацией растительного покрова на примере четырех водосборов (Иркинеева, Чадобец, Мура, Карабула) в бассейне реки Ангара.

ASSESSMENT OF THE HYDROLOGICAL REGIME AFTER LOGGINGS AND FIRE IN THE FORESTS OF THE ANGARA REGION

I.V. DANILOVA, T.A. BURENINA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (tiv80@mail.ru, burenina@ksc.krasn.ru)

Abstract. The paper discusses the spatiotemporal aspects of hydrological processes after logging and fires in connection with anthropogenic transformation of vegetation cover using the example of four catchments (Irkineeva, Chadobets, Mura, Karabula) in the Angara River basin.

Нарушенность лесного покрова на речном водосборе как природными, так и антропогенными факторами в той или иной степени отражается на гидрологическом режиме территории. Из всех факторов, воздействующих на лесную растительность в бассейнах рек, промышленные рубки и пожары оказывают наиболее существенное влияние на изменение водного баланса и режим стока.

Вследствие промышленной заготовки леса и после масштабных пожаров на первых этапах происходит уменьшение общей лесистости территории; в последующем это сопровождается ростом доли молодняков и увеличением площадей, занятых производными мелколиственными лесами. Естественно, такие изменения структуры лесного покрова сказываются на соотношении основных элементов водного баланса – суммарного испарения и стока [1]. По данным ряда исследователей, в наибольшей степени вырубки и пожары влияют на изменение сезонной структуры стока. Происходит перераспределение стока за счет увеличения поверхностной составляющей и, следовательно, доли весеннего стока.

Традиционным методом изучения динамики стока является построение гидрографов по данным гидропостов. В последние десятилетия появилась возможность использования глобальных гидрологических баз данных, таких как ERA5 Land, TerraClimate и др. Также появляются открытые ресурсы с глобальными данными о лесах, по которым можно оценить площади лесов, процент древесного покрова, площади прироста древесного покрова, типы антропогенных воздействий и др. Глобальная карта Global Forest Change (GFC), разработанная Мэрилендским университетом по результатам анализа временных рядов изображений Landsat (пространственное разрешение – 30 м), показывает изменение площади лесов за период 2000–2021 гг. [2]. Карта GFC отражает фактическое изменение покрытых лесом площадей, включая как потери лесного покрова в результате вырубок, пожаров, ветровалов, так и его увеличение в результате зарастания вырубок, гарей, брошенных сельхозугодий, лесовосстановления и др.

Цель работы: оценить влияние площадей вырубок и гарей и последующего возобновления лесов на сток рек в бассейне средней Ангары.

Исследования проводились на водосборных бассейнах притоков Ангары (Карабула, Мура, Иркинеева, Чадобец) на территории Богучанского района Красноярского края. В настоящее время в пределах бассейнов рек Карабула и Мура проводятся выборочные рубки, в бассейнах рек Иркинеева и Чадобец на расстоянии более чем 200 км от русла Ангары ведутся промышленные лесозаготовки.

В работе к анализу были привлечены фондовые материалы УГМС – данные многолетних наблюдений за стоком на четырех гидрологических постах (гидропост Бедоба – река Иркинеева, гидропост Яркино – река Чадобец, гидропост Карабула – река Карабула, гидропост Ирба – река Мура) и данные об атмосферных осадках на метеостанциях исследуемого региона (метеостанции Бедоба, Ирба, Карабула, Чунояр, Яркино). Для расчета среднемесячной температуры воздуха и суммарных месячных осадков по всей площади тестовых водосборов использовали данные пространственной растровой базы данных CRU TS 4.06 (https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.06).

Лесистость на исследуемых водосборах и площади нарушенности лесного покрова вырубками и гарями до 2000 года определялись по данным спутниковых изображений Landsat, а после 2000 года – по данным ресурса Global Forest Change 2000–2021 [2]. Для оценки влияния масштабных рубок на гидрологический режим территории мы проанализировали динамику стока и изменение площадей свежих вырубок, а также общей нарушенности лесного покрова на исследуемых водосборах.

Как показал анализ динамики стока, на всех реках отмечена тенденция снижения стока по мере увеличения площадей, нарушенных рубками и пожарами за период 2001–2020 гг. При этом значительного

снижения годовой суммы осадков не отмечается (за исключением реки Чадобец), а на отдельных метеостанциях, таких как Карабула (бассейн р. Карабула) и Ирба (бассейн р. Мура), фиксируется незначительный тренд увеличения осадков. Отметим, что реагирование стока на вырубку леса на разных водосборах проявляется по-разному в зависимости от площади тестового водосбора и величины выпавших осадков в предыдущие годы.

Анализ данных показал, что на водосборы площадью более 10 тыс. км^2 (реки Иркинеева и Чадобец) свежие вырубки до 2 % от площади водосбора не вызывают резкого снижения величины стока. Но в 2019 году, когда площадь масштабных вырубок в сочетании с пожарами составила 10 %, было отмечено резкое снижение стока независимо от количества выпавших осадков. На водосборе (река Карабула) площадью около 4 тыс. вырубки в 2–3 % от площади водосбора могут значительно повлиять на гидрологический режим. В годы, когда осадки превышают средние многолетние значения, вырубки, составляющие 2–3 % и более от площади водосбора, приводят к увеличению годового стока на 25–30 % от среднего многолетнего. В маловодные годы вырубка леса приводит к снижению стока на 10–20 % от нормы стока.

Более подробно рассмотрим самый малый по площади (4059 км^2) из исследуемых водосборов – бассейн реки Карабула. По данным снимков Landsat за 1974 г., площадь свежих и недавних вырубок составила 408 км^2 (10 % от площади водосбора). Последствия таких масштабных вырубок отразились на величине речного стока: в 1975 г. модуль стока был в два раза ниже среднего многолетнего. Для оценки послерубочного и послепожарного возобновления была проведена классификация (метод ISODATA) снимков Landsat за 2001 г. Всего было выделено 7 классов земного покрова: темнохвойные, лиственно-темнохвойные, свежие вырубки (травяная стадия восстановления), лиственные молодняки, свежие и недавние пожары, нелесные территории. По состоянию на 2001 г. площадь нарушенных территорий на реке Карабула составила 2000.8 км², лесные территории занимали 2023.2 км², площадь свежих вырубок – 0.2 % от площади водосбора.

Используя данные глобальной карты GFC с 2001 по 2020 г., на водосборе Карабула рассчитали площади для таких классов, как свежие вырубки и лиственные молодняки. Начиная с 2001 г. интенсивность рубок увеличилась; в 2017 г. площадь свежих вырубок составила 3 % от площади водосбора, что значительно отразилось на увеличении коэффициента стока (рис. 1). Далее наметилась тенденция к снижению ежегодных вырубок до 0.5 %. Доля молодняков за этот период уменьшилась с 16 до 12 %, понизилась общая лесистость: с 66 до 58 %. Это указывает на увеличение общей нарушенности лесной территории на водосборе. Как показали расчеты, за 20-летний период суммарная площадь вырубок равнялась 531.5 км², что составило 13 % от общей площади водосбора.

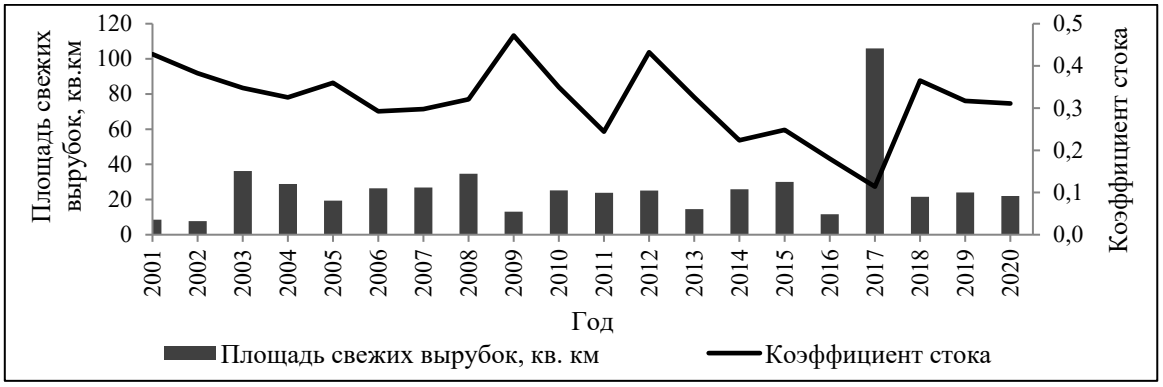


Рис. 1. Реакция стока реки Карабула на нарушенность лесного покрова за 2001–2020 гг.

Для того чтобы определить, в какой степени площадь нарушенных территорий влияет на величину стока, мы провели численный эксперимент. Если площадь нарушенности лесного покрова на водосборе Карабула увеличится на 5 %, то модуль стока снизится в среднем на 3.7 %; если площадь нарушенности увеличится на 10 %, то модуль стока снизится на 4.8 %, а если на 20 %, то модуль стока снизится на 11.2 %. Следовательно, любые значительные нарушения лесного покрова отражаются на характеристиках стока.

Таким образом, полученные результаты и численное моделирование зависимости стока от площади нарушенности лесного покрова показали критические значения доли свежих вырубок для сохранения стабильной водности средних и малых притоков Ангары. Например, для реки Карабула площадь невозобновившейся вырубки не должна превышать 2 % от площади водосбора. Рубка примыкающих лесосек возможна только после формирования на первой вырубке сомкнутого молодняка.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Онучин А.А., Буренина Т.А., Зирюкина Н.В., Фарбер С.К.* Лесогидрологические последствия рубок в условиях Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 110–118.
2. *Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R. et al.* High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. 2013. V. 342. I. 6160. P. 850–853. DOI: 10.1126/science.1244693.

УДК 630*182.21

ДИНАМИКА ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «КОМАРОВСКИЙ БЕРЕГ» (Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ 15-ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА

В.Н. ДОБРОНРАВИНА[1], Е.А. ВОЛКОВА[1], В.Н. ХРАМЦОВ[1], Е.В. КУШНЕВСКАЯ[1, 2]

[1] Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург (dobronravina.v@yandex.ru, evolkova305@gmail.com, teberda1350@gmail.com)
[2] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург (elly.kushn@gmail.com)

Аннотация. По результатам 15-летнего мониторинга (с 2006 по 2021 г.) на 6 постоянных пробных площадях проанализирована динамика лесной растительности памятника природы «Комаровский берег» в г. Санкт-Петербурге. На всех участках отмечены увеличение общего биоразнообразия и прирост запаса древостоя; значимые изменения в структуре нижних ярусов выявлены на четырех участках.

FOREST VEGETATION DYNAMICS IN THE «KOMAROVSKIY COAST» NATURE RESERVE (SAINT PETERSBURG) BASED ON 15-YEARS-MONITORING RESULTS

V.N. DOBRONRAVINA[1], E.A. VOLKOVA[1], V.N. KHRAMTSOV[1], E.V. KUSHNEVSKAYA[1, 2]

[1] V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg (dobronravina.v@yandex.ru, evolkova305@gmail.com, teberda1350@gmail.com)
[2] Saint Petersburg State University, Saint Petersburg (elly.kushn@gmail.com)

Abstract. Forest vegetation dynamics on the territory of "Komarovskiy bereg" nature reserve (St. Petersburg) based on 15-year-monitoring (from 2006 to 2021) on 6 permanent sample plots was analysed. There was an increase in general biodiversity and growing stock increment in all plots; significant changes in vegetation structure were found in four plots.

Памятник природы регионального значения «Комаровский берег» (организован в 1992 г.) – одна из первых особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Санкт-Петербурга. Она включает в себя участок северного побережья Финского залива рядом с поселком Комарово площадью 180 га. Мониторинг природных комплексов ведется с 2006 г. на 8 постоянных пробных площадях (ППП) [1].

Динамика лесной растительности исследовалась на 6 ППП (площадь от 450 до 2500 м^2), где представлены наиболее распространенные в памятнике природы сообщества: сосняки черничо-зеленомошный (КБ-1) и ландышевый (КБ-2), сосново-еловые кисличо-черничный (КБ-4) и кисличо-чернично-сфагновый (КБ-6) леса, елово-черноольховый кисличный лес с неморальными видами (КБ-5) и травяной березняк (КБ-7). Наблюдения проводили в 2006, 2009, 2013, 2017 и 2021 г. сотрудники Ботанического института РАН и Санкт-Петербургского государственного университета. На каждой ППП проводили таксацию древостоя, оценку состояния по 7-балльной шкале; полный пересчет подроста и подлеска по породам; определяли видовой состав сосудистых растений, мохообразных и лишайников всех субстратных групп. Изменение видового состава оценивалось при помощи индекса биотической дисперсии Коха. Проективное покрытие видов травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов определяли на учетных площадках 1×1 м в 10-кратной повторности в 2006 г., в дальнейшем – в 20-кратной. На основе этих данных для оценки временной динамики были построены NMDS-ординации с использованием дистанции Брэя – Кертиса.

Во всех сообществах наблюдается прирост запаса древесины при одновременном уменьшении числа деревьев. На КБ-1 этот процесс идет с сохранением соотношения пород (березы *Betula pendula* Roth и сосны *Pinus sylvestris* L.); на других ППП отмечено увеличение в количественном и процентном отношении запаса ели (*Picea abies* (L.) H. Karst.) и уменьшение (вплоть до полного выпадения) серой ольхи (*Alnus incana* (L.) Moench); на КБ-5 увеличивается запас черной ольхи (*A. glutinosa* (L.) Gaertn.) и сохраняется (хотя и в незначительном количестве) присутствие в древостое клена остролистного (*Acer platanoides* L.). На КБ-1, КБ-2 и КБ-7 во все сроки наблюдений преобладают деревья без признаков ослабления (состояние 1), на КБ-4 и КБ-6 преобладают ослабленные (состояние 2), на КБ-5 в 2021 г. отмечена смена доминирующей категории состояния (со 2 на 1). Ухудшение состояния древостоя в сосново-еловом кисличо-чернично-сфагновом лесу, вероятно, связано с избыточным увлажнением. Численность подроста значительно колеблется между наблюдениями. На четырех ППП он представлен почти исключительно елью, в сосняке чернично-зеленомошном – примерно поровну сосной и елью (за 15 лет доля последней выросла в 3 раза) с примесью мелколиственных пород (до 10 %), в елово-черноольховом сообществе – елью, ольхой серой и ольхой черной в разных соотношениях.

Для всех ППП, кроме КБ-1, характерен развитый подлесок из нескольких видов кустарников. Основная его численность приходится на рябину (*Sorbus aucuparia* L.), черемуху (*Padus avium* Mill.) и крушину (*Frangula alnus* Mill.), в сосняке ландышевом – на одичавшую черную жимолость (*Lonicera nigra* L.). Густота подлеска поступательно увеличивается на КБ-2 и КБ-7, на остальных ППП колеблется.

Увеличение видового богатства сосудистых растений и лишайников наблюдается на всех ППП, мохообразных – на всех, кроме КБ-1. Флористическая гомогенность сообществ относительно большая для сосудистых растений (среднее значение индекса биотической дисперсии Коха 69 %) и лишайников (66 %); для мохообразных низкая гомогенность (47 %) объясняется активным восстановлением покрова после мелкомасштабных нарушений (вывалы, ямы, тропинки, выбросы грунта из канав), разложением валежа и выпадением отдельных деревьев.

Из сосудистых растений на все ППП активно заселяются геминеморальные, неморальные (*Anemonoides nemorosa* L., *Paris quadrifolia* L., *Asarum europaeum* L., *Melica nutans* L.) и бореальнолесные (*Lycopodium annotinum* L., *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newman, *Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt) виды; в более увлажненные сосново-еловые, елово-черноольховое и березовое сообщества вселяются болотно-лесные (*Dryopteris expansa* (C. Presl) Fraser-Jenk. & Jermy, *Viola epipsila* Ledeb., *V. palustris* L.). Об увеличении увлажнения в травяном березняке свидетельствует появление таких видов, как *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Geum rivale* L., *Galium palustre* L., *Scirpus sylvaticus* L. Состав мохообразных характеризуется высокой нестабильностью (то появляются, то исчезают до половины видов); на всех ППП отмечено вселение лесных видов (*Dicranum montanum* Hedw., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al., *Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst.). Из чернично-зеленомошного сосняка исчезли виды нарушенных местообитаний (*Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Polytrichum* spp.). Состав лишайников меняется по большей части за счет эпифитных видов (*Buellia griseovirens* (Turner & Borrer ex Sm.) Almb., *Hypogymnia tubulosa* (Schaer.) Hav., *Violella fucata* (Stirt.) T. Sprib. и др.).

По результатам ординаций значимые изменения в структуре нижних ярусов отмечены для КБ-1, КБ-2, КБ-5 и КБ-7. В чернично-зеленомошном сосняке наблюдается типичная для сосняков северо-запада европейской части России восстановительная послепожарная сукцессия [3]; за 15 лет практически исчез доминировавший в 2006 г. вереск (*Calluna vulgaris* L.), в 3 раза уменьшилось проективное покрытие лишайников, в то время как у черники и зеленых мхов оно увеличилось в 7 и 2,5 раза соответственно. В ландышевом сосняке идет стабилизация растительного покрова (уменьшилось число микрогруппировок, они стали более однородными) в сочетании с «бореализацией» – снизилось покрытие геминеморальных видов (в т. ч. изначально доминировавшей *Carex digitata* L.) и увеличилась доля в покрове таежного мелкотравья (*Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt, *Trientalis europaea* L.). Общее сокращение проективного покрытия, очевидно, связано с увеличением сомкнутости подроста и подлеска и, как следствие, уменьшением освещенности. В елово-черноольховом сообществе определенной тенденции не наблюдается, т. к. увеличилось проективное покрытие видов сразу нескольких эколого-ценотических групп (бореальнолесной, лесной, влажнолесной и геминеморальной). В травяном березняке идет восстановление растительности после сельскохозяйственного использования: возрастает покрытие бореальнолесных видов и уменьшается – более светолюбивых (*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Rubus saxatilis* L.), формируется покров, характерный для ельников-кисличников [2]. Тем не менее на ординационной диаграмме КБ-7 явно видна циклическая динамика, что, возможно, связано с сильными колебаниями покрытия основных доминантов нижних ярусов сообщества между наблюдениями. Сосново-еловые сообщества (КБ-4 и КБ-6) на данный момент представляются стабильными.

По результатам мониторинга на всех ППП наблюдается прирост запаса древостоя и увеличение общего биоразнообразия, в основном за счет бореальнолесных и геминеморальных видов. Нарушенные сообщества активно восстанавливаются. В мелколиственных лесах значительных сукцессионных изменений пока не наблюдается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга / отв. ред. В.Н. Храмцов, Т.В. Ковалева, Н.Ю. Нацваладзе. СПб.: МАРАФОН, 2016. 176 с.
2. *Василевич В.И., Бибикова Т.В.* Ельники кисличные Европейской России // Бот. журн. 2004. 89 (10). С. 1573–1587.
3. *Нешатаев В.Ю.* Антропогенная динамика таежной растительности Европейской России: Дисс. … докт. биол. наук: 03.02.08. СПб.: СПбГЛТУ, 2017. 312 с.

УДК 630*52

АЛЛОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НАДЗЕМНОЙ БИОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В МОНГОЛИИ

Ч. ДОРЖСУРЭН, Б. АЛТАНЗАГАС, З. ЦОГТ, У. БАЛЖИННЯМ, М. УНДРАА

Ботанический сад-институт АНМ, Улан-Батор, Монголия (chdorj_07@yahoo.com; zagas_19@yahoo.com; ztsogt@yahoo.com; bnf_0801@yahoo.com, zuunnast@gmail.com)

Аннотация. В контексте глобального изменения климата необходима количественная оценка надземной биомассы и запасов углерода в лесных экосистемах с использованием аллометрических моделей зависимости биомассы от диаметра ствола и высоты дерева. В настоящем сообщении представлены разработанные нами аллометрические модели надземной биомассы деревьев для 11 древесных пород, произрастающих в Монголии. Статистическая значимость результатов подтверждает высокую точность оценок биомассы, полученных с помощью этих моделей.

ALLOMETRIC MODELS OF SINGLE-TREE ABOVE GROUND BIOMASS FOR FOREST-FORMING SPECIES IN MONGOLIA

Ch. DORJSUREN, B. ALTANZAGAS, Z. TSOGT, U. BALJINNYAM, M. UNDRAA

Botanical Garden-Institute of the Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia (chdorj_07@yahoo.com; zagas_19@yahoo.com; ztsogt@yaBoo.com; bnf_0801@yahoo.com; zuunnast@gmail.com)

Abstract. In the context of global climate change it is necessary to quantitatively assess above-ground biomass and carbon stocks in forest ecosystems using allometric models based on trunk diameter and tree height. This paper presents allometric models of above-ground tree biomass developed for 11 tree species of Mongolia. The statistical significance of the results confirms the high accuracy of the biomass estimates obtained using these models.

Введение. Лесные экосистемы играют главную роль в глобальных и региональных циклах углерода благодаря их способности хранить углерод и высокой продуктивности [1]. Количественная оценка углеродного обмена, секвестрации диоксида углерода из атмосферы и его хранения в лесных экосистемах основывается на определении изменения биомассы с использованием аллометрических моделей биомассы деревьев [2, 3].

Методика исследований и статический анализ. Для составления аллометрических моделей надземной биомассы полевое обследование и взвешивание ствола, ветвей и хвои/листьев 228 модельных деревьев (от 9 до 46 деревьев для отдельных пород) проводились с 2013 по 2020 г. в различных лесорастительных провинциях Монголии. Для моделирования надземной биомассы деревьев были протестированы следующие аллометрические уравнения: 1) $ln\hat{Y}i=lna+b*lnD$; 2) $ln\hat{Y}i=lna+b*ln(D^2H)$; 3) $ln\hat{Y}i=lna+b*lnD+c*lnH$, где $\hat{Y}i$ – надземная биомасса i -й фракции ($\hat{Y}s$, $\hat{Y}b$, $\hat{Y}f$, $\hat{Y}a$ соответственно биомасса ствола в коре, ветвей, листьев (хвои) и общая надземная в абсолютно сухом состоянии, кг); D – диаметр ствола на высоте груди, см; H – высота дерева, м. Для саксаула зайсанского (*Halóxylon ammodéndron*) использованы диаметр корневой шейки (D_0, см) и диаметр кроны (D_{cr}) дерева. Параметры a, b и c моделей были рассчитаны с помощью статистического программного обеспечения Minitab 19. Модели рассчитывались отдельно для биомассы ствола, ветвей, листьев и общей надземной биомассы (AGB). Для выбора лучшей модели для каждого компонента и общей биомассы деревьев мы использовали такие статистические данные о соответствии модели и эффективности, как коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных (adjR^2), среднеквадратичное отклонение (RMSE), стандартная ошибка уравнения (SE) и другие. Высокие значения adjR^2, меньшие значения RMSE и SE указывают на высокую точность модели.

Результаты исследования и заключение. В результате проведенного регрессионного анализа трех протестированных уравнений надземной биомассы деревьев мы выбрали наиболее подходящее уравнение для моделирования надземной биомассы деревьев 11 древесных видов, приведенных в табл. 1. Предложенные нами аллометрические модели надземной биомассы деревьев для условий Монголии характеризуются высокими показателями адекватности исходным данным. Следовательно, аллометрические модели надземной биомассы хвойных и лиственных деревьев были с успехом использованы для оценки плотности запасов биомассы деревьев лесных насаждений при Многоцелевой национальной инвентаризации лесов Монголии, проведенной в 2014–2017 гг. [4].

Таблица 1. Аллометрические модели надземной биомассы (AGB) лесообразующих пород деревьев в Монголии

Виды	Биомасса, модель	Фракция	lna	b	c	d	adjR^2	SE
Larix sibirica (n = 37)	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ствол	-3.716	1.860	1.008	-	98.7	0.173
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Хвоя	-2.932	2.444	-1.242	-	76.8	0.574
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ветви	-2.928	2.924	-1.151	-	87.3	0.520
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	AGB	-2.930	2.033	0.599	-	98.3	0.187
Larix gmelini (n = 15)	$lnŶi=lna+b*ln(D^2H)$	Ствол	-3.72	0.972	-	-	98.2	0.008
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Хвоя	-3.8	3.437	-1.63	-	85.4	0.488
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ветви	-5.15	4.153	-1.79	-	86.3	0.59
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	AGB	-3.279	2.535	0.218	-	97.7	0.01
Larix czekanowskii (n = 10)	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ствол	-3.781	1.722	1.156	-	99.3	0.009
	$lnŶi=lna+b*lnD$	Хвоя	-7.160	3.064	-	-	80.6	0.885
	$lnŶi=lna+b*lnD$	Ветви	-3.838	2.441	-	-	98.9	0.012
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	AGB	-3.123	2.071	0.66	-	99.4	0.009
Pinus sibirica (n = 19)	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ствол	- 3.267	1.734	0.981	-	98.8	0.189
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Хвоя	- 4.292	1.828	0.292	-	83.0	0.648
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ветви	- 4.230	2.886	0.529	-	92.8	0.504
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	AGB	-2.693	1.994	0.577	-	98.3	0.225
Pinus sylvestris (n = 35)	$lnŶi=lna+b*ln(D^2H)$	Ствол	-4.124	1.970	0.990	-	99.5	0.266
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Хвоя	-2.786	3.006	-1.593	-	83.2	0.55
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ветви	-4.278	3.945	-1.806	-	91.7	0.51
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	AGB	-3.136	2.200	0.469	-	98.4	0.267
Picea obovata (n = 10)	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ствол	- 4.476	1.352	1.799	-	99.5	0.089
	$lnŶi=lna+b*lnD$	Хвоя	- 2.672	1.691	-	-	80.6	0.407
	$lnŶi=lna+b*ln(D^2H)$	Ветви	- 4.712	0.873	-	-	90.9	0.361
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	AGB	-3.463	1.534	1.343	-	98.8	0.132
Abies sibirica (n =19)	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ствол	-3.459	0.281	2.532	-	98.3	0.244
	$lnŶi=lna+b*lnD$	Хвоя	-2.472	1.439	-	-	84.6	0.401
	$lnŶi=lna+b*ln(D^2H)$	Ветви	-2.691	0.606	-	-	85.6	0.483
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	AGB	-2.110	0.434	1.974	-	96.4	0.303
Betula platyphylla (n = 14)	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ствол	-3.322	1.952	0.823	-	99.0	0.133
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Листья	-3.043	2.111	-0.696	-	69.6	0.584
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ветви	-3.486	-3.207	-0.963	-	91.2	0.432
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	AGB	-2.611	2.195	0.405	-	99.0	0.132
Populus tremula (n = 9)	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ствол	-3.337	1.927	0.772	-	99.5	0.094
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Листья	-2.610	2.186	-1.011	-	79.9	0.487
	$lnŶi=lna+b*lnD$	Ветви	-4.377	2.465	-	-	87.5	0.536
	ln(n=37) $Ŷi=lna+b*lnD+c*lnH$	AGB	-2.848	2.017	0.584		99.0	0.138
Populus suaveolens (n=14)	$lnŶi=lna+b*lnD$	Ствол	-2.668	2.298	-	-	91.6	0.449
	$lnŶi=lna+b*lnD$	Листья	- 3.967	1.778	-	-	77.3	0.620
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	Ветви	- 4.298	2.282	0.248	-	92.0	0.461
	$lnŶi=lna+b*lnD+c*lnH$	AGB	- 1.969	2.517	-0.386	-	94.1	0.369
Haloxylon ammodendron (n=46)								
$lnŶi=lna+b*lnH+c*lnD_0+d*lnD_{cr}$		Ствол	0.492	0.129	0.118	2.393	95.6	0.188
$lnŶi=lna+b*lnH-c*lnD_0+d*lnD_{cr}$		Зеленые ветви	-1.326	1.881	-0.454	1.698	96.2	0.207
$lnŶi=lna-b*lnH-c*lnD_0+d*lnD_{cr}$		Ветви	0.251	-1.682	-0.467	4.924	96.8	0.202
$LnŶi=lna-b*lnH-c*lnD_0+d*lnD_{cr}$		AGB	0.711	-0.375	-0.135	3.261	95.2	0.444

Примечания. n – число наблюдений; adjR^2 – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных; SE – стандартная ошибка уравнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Данилин И.М., Цогт З.* Морфометрические параметры и фитомасса деревьев лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb. в Восточном Хэнтэе (Северная Монголия) // Сиб. лесной журн. 2015. 5. С. 96–104.
2. *Altanzagas B., Luo Y., Altansukh B., Dorjsuren C., Fang J., Hu H.* Allometric equations for estimating the above ground biomass of five forest tree species in Khangai, Mongolia // Forests. 2019. 10 (661): 2–17.
3. *Battulga P., Tsogtbaatar J., Dulamsuren Ch., Hauck M.* Equations for estimating the above-ground biomass of *Larix sibirica* Ledeb. in the forest-steppe of Mongolia // J. of Forestry Research. 2013. 24 (3): 431–437.
4. *Altrell D.* Multipurpose national forest inventory in Mongolia, 2014–2017. A tool to support sustainable forest management // Geography, Environment Sustainability. 2019. V. 12. N 3. P. 167–183.

УДК 630*53

ОЦЕНКА ЗАПАСА УГЛЕРОДА В МАЛОМЕРНОЙ ДРЕВЕСИНЕ И ХВОЕ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ (*ABIES SIBIRICA* LEDEB.) В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ

И.А. ДРЕЙМАН, А.А. ВАЙС

Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск (dreiman_ia@sibsau.ru)

ASSESSMENT OF THE CARBON POOL IN THE NEEDLES AND WOOD OF SMALL DIAMETER SIBERIAN FIR (*ABIES SIBIRICA* LEDEB.) TREES IN CENTRAL SIBERIA

I.A. DREIMAN, A.A. VAIS

M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk (dreiman_ia@sibsau.ru)

Потенциал лесного хозяйства нашей страны направлен на рациональное использование, сохранение и восстановление лесов, повышение их продуктивности. Особую роль на современном этапе приобретает комплексное использование древесного сырья, учитывающее углерододепонирующие функции древостоев. Данные о запасе углерода в древесине необходимы для оценки роли лесов в глобальном цикле углерода, оптимизации продуктивности и устойчивости лесов, сохранения биологического разнообразия, охраны природы, что указывает на актуальность данной работы.

Пихту сибирскую *(Abies sibirica* Ledeb.*)* относят к наименее изученному виду древесных растений Сибири с точки зрения биологической продуктивности и углеродного пула фитомассы. В специальной литературе недостаточно данных по таксационным показателям маломерной древесины этой породы. При этом маломерная древесина и хвоя – важные элементы горения, которые необходимо учитывать в случае лесных пожаров. Создание региональных баз данных о поглощении углерода пихтой сибирской должно основываться на изучении биологической продуктивности породы, в том числе фитомассы ее маломерной древесины.

Исследование объема маломерной древесины, продуцируемой ценозом, остается также малоизученным вопросом, особенно с учетом проблемы депонирования углерода. Еще в 1929 г. ученый-таксатор М.М. Орлов [2] отмечал, что ветви пихты составляют 12 % от общего объема ствола. Он рекомендовал сучья и ветви прибавлять к объему ствола: 6 % в полных, 10 % – в среднеплотных и 15 % – в редкостойных насаждениях.

Цель исследования – оценка биологической и углеродной продуктивности маломерной древесины пихты по натурным и нормативным данным на региональном уровне.

Объектом исследования являлись древостои пихты сибирской IV класса бонитета, произрастающие в условиях Среднесибирского подтаежно-лесостепного лесного района.

На первоначальном этапе в целях изучения биологической продуктивности маломерной древесины пихты сибирской была представлена динамика роста ветвей и сучьев на растущих деревьях в различных лесорастительных условиях. Древостои пихты сибирской имели разные возрастные стадии – от подроста до старых перестойных – и условия произрастания: под пологом, на склоне у подножия скалы, в логу и на переувлажненном участке (по берегам ручья), в светлохвойных и темнохвойных древостоях.

Отдельные показатели ветвей пихты определялись с помощью программы ImageMeter, рассчитывался объем маломерной древесины пихты по нормативным таблицам [1]. ImageMeter – программа для мобильного приложения, позволяющая с помощью телефона измерять фактические расстояния между заданными точками только через их изображения. К плюсам приложения можно отнести: возможность использования современных технологий и упрощение измерительных работ, их быстрое проведение; программа поддерживает множество типов вычислений, поэтому нет необходимости рассчитывать процесс пошагово, измеряя каждый параметр отдельно. Из минусов: установлены значительные погрешности, поэтому для работ, требующих высокой точности, следует использовать данный подход только с целью предварительной оценки; приложение может не работать в связи со сбоем.

На основе полученных полевых и региональных данных выполнены расчеты биологической продуктивности, отражающие динамику фракционного состава фитомассы. Запас C_x определялся через общую фитомассу древесины и удельное содержание в ней углерода. Изучение особенностей строения ветвей пихты сибирской по основным биометрическим признакам (диаметру у основания ветки, диаметру на ½ длины, длине ветви, объему) позволяет составить регрессионные зависимости данных признаков от диаметра дерева на высоте груди, а применительно к древостою – от среднего диаметра. В ходе исследования помимо нормативной базы использовался полевой материал – около 150 деревьев пихты сибирской в разных лесорастительных условиях. Собранный материал обработан методами вариационной статистики.

На основе действующих нормативных таблиц [3] установлено, как меняется величина веса и объема фитомассы пихтовых насаждений в зависимости от диаметра на высоте груди, сомкнутости полога, полноты древостоя.

Пересчет массы органического вещества на углерод проводили с использованием переводных и общепринятых коэффициентов.

На основе табличного материала получен ряд регрессионных уравнений, расчет углерода выполнялся с использованием следующих коэффициентов: $К_{сух}$ – коэффициент перевода древесины в сухое состояние; $К_ф$ – переводной коэффициент в фитомассу, который равен 0.615 (конверсионные коэффициенты Д.Г. Замолодчикова, А.И. Уткина) [1]; Кс – общепринятый коэффициент углерода, который равен 0.5.

Модели имели следующий вид:

$Y = (a*d^2 + b*d)*К_{сух}*Кф*К_с$ – для сомкнутости крон 0.5; 0.6–0.7; 0.8 и выше,

где Y – ССВХ – углерод в среднем весе хвои.

$Y = (a*d^2 + b*d)*К_{сух}*Кф*К_с$ – для пихтовых древостоев зеленомошного типа леса при полнотах 0.98; 0.57; 0.63; 0.75,

где Y – СМК – углерод в массе кроны; СМСС – углерод в массе сухих сучьев; СМТЗ – углерод в массе технической зелени; СМХ – углерод в массе хвои.

$Y = (a*d^2 + b*d)*К_{сух}*Кф*К_{с.}$ – для сомкнутости крон до 0.5; 0.6–0.7; 0.8 и выше; для 1, 2, 3 разряда высот.

$Y = (b*d)*К_{сух}*Кф*К_с$,

где Y – СООС – углерод в общем объеме сучьев; ССОМС – углерод в объеме мертвых сучьев; СОЖС – углерод в объеме живых сучьев.

Все уравнения имели значимые коэффициенты при $p < 0.05$. Диапазоны действия уравнений – в зависимости от диаметра дерева или среднего диаметра древостоя. Высокие значения коэффициента детерминации $R^2 > 0.95$.

После проведения биометрических измерений стволов и ветвей пихты сибирской можно констатировать следующее.

- При выполнении измерений показателей с помощью программы ImageMeter отмечено, что погрешность замеров зависит не только от качества изображения, но и от удаленности объекта. Максимальная погрешность варьирует от 0.1 до 0.5 см.
- Статистические показатели ветвей по ступеням толщины показали, что максимальный интервал наблюдался у длин ветвей относительно сторон горизонта чаще всего на юге, минимальный размерный лимит имеют диаметры нижних ветвей.
- Установлено, что при увеличении диаметра на высоте груди растут высота ствола и количество ветвей, также увеличивается диаметр нижних сучьев.
- Наибольшим объемом обладают нижние ветви, так как диаметр у них больше, наименьший же объем имеют верхние ветви, что вполне объяснимо процессами развития и роста деревьев. Максимальные показатели имеют ветви у деревьев диаметра 20–24 см.
- При моделировании маломерной древесины по нормативным таблицам наблюдалось изменение объема и веса фитомассы пихтовых насаждений в зависимости от диаметра на высоте груди, сомкнутости полога и полноты древостоя. Вес свежесобранной хвои при любой сомкнутости увеличивается по мере роста диаметра на высоте груди. Масса сухих сучьев практически не увеличивается. Масса хвои и кроны независимо от полноты увеличивается по мере повышения ступени толщины. Общий объем сучьев при увеличении среднего диаметра уменьшается незначительно. Объем живых сучьев в зависимости от сомкнутости постепенно уменьшается при увеличении диаметра.
- В случае оценки депонирования углерода маломерной древесины для пихты проводился пересчет массы органического вещества на углерод с использованием переводных и общепринятых коэффициентов. На основе нормативных данных получены регрессионные уравнения расчета углерода в маломерной древесине и зеленой массе пихты сибирской.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Замолодчиков Д.Г.*, *Уткин А.И.* Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу для основных лесообразующих пород России // Лесная таксация и лесоустройство. 2003. № 1 (32). С. 119–127.
2. *Орлов М.М.* Лесная таксация // Лесное хозяйство и лесная промышленность. 1929. № VII. 532 с.
3. *Шевелев С.Л.* Лесотаксационный справочник для южно-таежных лесов Средней Сибири: Министерство природных ресурсов РФ. М.: ВНИИЛМ, 2002. 166 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование проводилось в рамках государственного задания, установленного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации для реализации проекта FEFE-2024-0029 «Динамика восстановления таежных лесов Центральной Сибири, нарушенных энтомовредителями», коллективом научной лаборатории «Лесных экосистем».

УДК 630*52

ВКЛАД СИБИРСКИХ УЧЕНЫХ ИНСТИТУТА ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЕВА СО РАН В ИЗУЧЕНИЕ ЛЕСОВ МОНГОЛИИ

Ч. ДУГАРЖАВ, З. ЦОГТ

Ботанический сад-институт АНМ, Улан-Батор, Монголия (chultemdugarjav@gmail.com, ztsogt@yahoo.com)

Аннотация. Подведены основные итоги научных исследований лесного полевого отряда и стационаров за 54-летний период работы Российско-монгольской (Советско-монгольской) комплексной биологической экспедиции РАН и АНМ. Намечены дальнейшие перспективные исследования лесных экосистем Монголии, направленные на их сохранение, рациональное использование и воспроизводство.

CONTRIBUTION OF SIBERIAN SCIENTISTS OF THE V.N. SUKACHEV FOREST INSTITUTE OF THE SB RAS TO THE STUDY OF MONGOLIAN FORESTS

Ch. DUGARJAV, Z. TSOGT

Botanical Garden-Institute of the Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia (chultemdugarjav@gmail.com, ztsogt@yahoo.com)

Abstract. The main results of scientific researches by the forest field team and stationary sites for the 54-year period of the joint work of the Russian (former soviet)-Mongolian Complex Biological Expedition RAS (the former USSR Academy of Sciences) and the Mongolian Academy of Sciences (MAS) have been summarized in the paper. Further prospective studies of forest ecosystems of Mongolia are planned which are aimed at their conservation, rational use and reproduction. Key words: forest field team research, forest ecosystems, clearings, typological composition, natural regeneration, forest vegetation zoning, clearings and wildfires.

Введение. Монголия – малолесная страна. Общая ее лесистость составляет 7.1 %. Горные леса страны, произрастая на границах северных бореальных лесов, степей и пустынь Центральной Азии, выполняют важные ресурсные и экологические функции.

До 1970 г. леса Монголии оставались почти не изученными. Здесь мы рассматриваем вклад совместной Российско-монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и АНМ (СРМКБЭ) по двум направлениям: во-первых, это исследования природы самих лесов, а во-вторых, подготовка высококвалифицированных национальных специалистов. Крупный вклад в познание лесов Монголии внесли лесной отряд и лесные стационары этой совместной экспедиции.

Результаты исследования. Лесной отряд с 1970 по 1975 г. изучил все основные массивы лесов Монголии. В результате комплексных исследований лесов страны установлены их типологический состав, таксационные особенности, ход естественного возобновления под их пологом; проведено лесорастительное районирование Монголии. Опубликован ряд работ, посвященных закономерностям пространственного распределения лесов и структуре вертикальной поясности лесной растительности, водоохранной роли лесных почв [6, 8], характеристике типов леса и естественному возобновлению [7, 8, 9, 16, 4], таксационным особенностям лесов [6], географии и классификации лесных почв [12] и энтомофауне лесов [11, 18, 14], а также составлена карта лесов Монголии [8].

Впервые в Монголии было установлено биоразнообразие хвойных, выявлен уровень изменчивости ряда морфологических признаков и семян лиственницы, сосны и кедра, составлено лесосеменное районирование для этих пород, выделен ареал даурской лиственницы [9, 5].

Разработаны способы выращивания культур и содействия возобновлению лиственницы сибирской в лесах Хангая, Западного и Восточного Хэнтэя. Установлены пути и приемы искусственного возобновления вырубок. Результаты работы лесного отряда обобщены в монографиях «Леса МНР» [6, 7, 9].

Комплексные стационарные исследования лесов проведены в Центральном Хангае (Тосонцэнгэльский лесной стационар, 1976–1980 гг.), в Восточном Хэнтэе (Мунгун-Морьтский лесной стационар, 1981–1990 гг.), в лесах Северо-Восточного Хангая и Восточного Прихубсугулья (Хялганатский лесной стационар, с 1989 г.), в лесах Северо-Западного (Шарынгольский лугово-лесной стационар, с 2001 г.) и Южного Хэнтэя (Гачууртский лесовосстановительный центр, с 2008 г.).

В ходе стационарных исследований были заложены более 70 постоянных площадей. На этих участках изучены фитоценотическая и таксационная структура, естественное возобновление, ход роста, водоохранные, водорегулирующие, почвозащитные функции лесных экосистем, пирологическая характеристика и пожарная опасность лесов, изменение микроклиматических и почвенно-экологических условий, сукцессия растительных сообществ на вырубках и гарях, эффективность рубок ухода и содействия естественному возобновлению леса, семеношение деревьев и семенных участков, приемы выращивания посадочного материала и производства лесных культур. Результаты стационарных исследований, проведенных в Центральном Хангае, в Восточном Хэнтэе и Восточном Хубсугулье, были

обобщены в трех монографиях «Леса Монголии» [8, 9, 10]. Также установлены состав, запас и влагосодержание горючих материалов, пожарная зрелость различных участков леса, особенности возникновения и распространения лесных пожаров и горимости лесов [17].

В стационарах экспедиции продолжаются мониторинговые многолетние исследования, которые оценивают средообразующую роль лесов Монголии, выявляют особенности строения и хода роста древостоев, определяют степень влияния различных антропогенных факторов на состояние лесов, выявляют начальные стадии сукцессий фитоценозов лесных экосистем на вырубках и гарях в отдельных районах страны [19, 2, 13, 20, 21]. В результате исследований, проведенных в лесах за многолетний период, выявлены некоторые взаимосвязи между таксационными показателями древостоев, установлены особенности хода роста, таксационно-морфологической структуры и фитомассы древостоев лиственничников [1, 15], созданы таблицы объемов стволов и хода роста лиственничников [4, 19].

Характер восстановления лиственничных лесов на открытых участках в разных регионах Монголии неоднозначен: от полного отсутствия возобновления до восстановления через стадию производных березняков. Динамики растительного сообщества и ход лесовозобновления на гарях зависят от интенсивности пожаров. При низовых пожарах средней интенсивности происходит успешное возобновление лиственницы. В Северо-Восточном Хангае и Восточном Хэнтэе всегда имеется примесь березы [2]. В Южном Хэнтэе на свежих сплошных вырубках лесолуговых разнотравных лиственничников восстановление леса возможно только искусственным путем [2]. В Западном Хэнтэе на свежих и более старых вырубках, неоднократно пройденных низовыми пожарами, подрост сосны обыкновенной либо не встречается вовсе, либо представлен в очень небольшом количестве [13].

В настоящее время продолжаются традиционные многолетние экологические исследования по динамике развития лесов, а также развиваются новые направления по изучению биомассы деревьев для основных древесных пород и разрабатываются инновационные методы лесовосстановления и степного лесоразведения.

Совместная экспедиция академий наук России и Монголии сыграла и играет большую роль в подготовке высококвалифицированных специалистов в области не только биологии и ботаники, но и лесного хозяйства. Отметим, что в 1970 г., в начале организации СРМКБЭ во главе с доктором наук Е.Н. Савиным, в полевых работах лесного отряда участвовали 5 кандидатов наук Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН и один младший научный сотрудник Института биологии АНМ, а также 3 студента из разных вузов.

За полувековую историю существования СРМКБЭ были сформированы Лаборатория лесной фитоценологии Института ботаники АНМ и Лесной отдел Института геоэкологии АНМ, в штате которых работают 2 доктора наук и более 20 кандидатов лесных наук.

Заключение

1. Совместная российско-монгольская комплексная биологическая экспедиция является эффективной формой научного сотрудничества академий России и Монголии.

2. Сибирские ученые Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, участвующие в работах этой экспедиции, сыграли большую роль в познании природы лесов и подготовке высококвалифицированных специалистов в области лесной науки в Монголии.

3. Значительным вкладом данной экспедиции являются многотомные труды «Леса Монголии», тематические монографии, сборники, тематические карты лесов Монголии и Атласы экосистем Монголии и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Данилин И.М., Цогт З.* Антропогенная динамика лиственничников Восточного Хэнтэя // Экология и природопользование в Монголии: Сб. науч. тр. Пущино: Пущинский науч. центр РАН, 1992. С. 249–259.
2. *Доржсурэн Ч.* Антропогенные сукцессии в лиственничных лесах Монголии // Биологические ресурсы и природные условия Монголии: Тр. Совместной российско-монгольской комплексной биологической экспедиции. Т. 50. М., 2009. 260 с.
3. *Доржсурэн Ч., Цогт З., Хонгор Ц.* Дорнот Хэнтийн залуу шинэс модны ишний эзлэхүүнийг тодорхойлох хүснэгт зохиосон тухай // ШУТИС-ийн эрдэм шинжилгээний бүтээлийн эмхтгэл. УБ., 2005. № 3/74. Х. 120–124.
4. *Дугаржав Ч.* Лиственничные леса Монголии (современное состояние и воспроизводство). Улаанбаатар, 2006. 318 с.
5. *Жамъянсурэн С.* Внутривидовая изменчивость, качество семян и лесосеменное районирование лиственниц в Восточном Хэнтэе Монголии: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Улан-Батор, 1992. 28 с.
6. Леса МНР (география и типология) / И.А. Коротков, Е.Н. Савин, И.В. Семечкин и др. М.: Наука, 1978. 128 с.
7. Леса МНР (хозяйственное использование) / Е.Н. Савин, Ч. Дугаржав. М.: Наука, 1980. 148 с.
8. Леса МНР (лиственничные леса Центрального Хангая) / И.А. Коротков, Ю.Н. Краснощеков, Е.Н. Савин и др. Новосибирск: Наука, 1983. 149 с.
9. Леса МНР (лиственничные леса Восточного Хэнтэя) / Е.Н. Савин, Ю.Н. Краснощеков, Л.И. Милютин и др. М.: Наука, 1988. 176 с.
10. Леса Монголии (леса Восточного Хубсугулья, биоразнообразие, экосистемы, динамика, восстановление). Улаанбаатар: Ботъ V, 2018. 252 с.
11. *Намхайдорж Б.* Жуки-дровосеки (Coleoptera, Cerambycidae) фауны Монголии и их хозяйственное значение: Автореф. дисс. … канд. биол. наук. Л., 1974. 22 с.

12. *Огородников А.В.* Почвы горных лесов Монголии. Новосибирск: Наука, 1981. 149 с.
13. *Тушигмаа Ж.* Лесовозобновительные процессы на вырубках и гарях в сосновых лесах Монголии: Дисс. … канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 2012. 172.
14. *Тэгшжаргал Д.* Биология и хозяйственное значение античной волнянки (*Orgyia antiqua* L.) в лиственничных лесах МНР и меры борьбы с ней: Автореф. дисс. … канд. биол. наук. Новосибирск, 1991. 18 с.
15. *Цогт З.* Формирование, строение и продуктивность лиственничных молодняков Центрального Хангая и Восточного Хэнтэя и рубки ухода в них: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Улан-Батор, 1993. 24 с.
16. *Цэдэндаш Г.* Лесорастительность Хэнтэйского нагорья: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Улан-Батор, 1993. 23 с.
17. *Чулуунбаатар Ц.* Пожарная опасность в лесах северной части Монголии (на примере Восточного Прихубсугулья и Восточного Хэнтэя): Автореф. дисс. … канд. с.-х. наук. Ин. Бот. АНМ. Улан-Батор, 1998. 25 с.
18. *Яновский В.М.* Насекомые – вредители псевдотаежных лесов // Леса Монгольской Народной Республики (лиственничные леса Центрального Хангая). М.: Наука, 1983. С. 126–142.
19. *Цогт З., Доржсүрэн Ч., Хонгор Ц.* Төв Хангайн залуу шинэсэн ойн өсөлтийн явц // Ойн ашиглалт, сэргээлт-2003: ТИС-ийн эрдэм шинжилгээний бүтээлийн тусгай дугаар. УБ., 2003. № 1/52. Х. 147–155.
20. *Ундраа М.* Тарвагатайн нурууны тайгажуу шинэсэн ойн түймрийн дараах ургамал бүлгэмдлийн сукцесс, ойн сэргэн ургалт, Биологийн ухааны магистрын зэрэг горилж бичсэн бүтээлийн хураангуй. 2008. УБ.-14.
21. *Undraa M.* Succession and regeneration of pseudo-taiga larch forests after fire in Tarvagatai Mountain Range, Mongolia // A master thesis of Environmental Sciences. Univeristy of Tsukuba, Japan. 2013. 75.

УДК 579.26

ГЕТЕРОТРОФНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ ЛИСТВЕННИЧНЫХ РЕДКОЛЕСИЙ ЛЕСОТУНДРОВОЙ ЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

С.Ю. ЕВГРАФОВА[1, 2], Л.В. МУХОРТОВА[1], А.Е. ДЕЦУРА[1], Д.О. АНУЕВА[2], Л.В. КРИВОБОКОВ[1], О.В. МАСЯГИНА[1]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (esj@yandex.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация. Методами определения базального дыхания и субстрат-индуцированного дыхания почв исследованы карболитоземы кустарничково-зеленомошных лиственничных редколесий лесотундровой зоны Средней Сибири. Показано, что гетеротрофные характеристики карболитоземов не зависели от мозаичности экосистемы и межучастковой изменчивости, что позволяет судить о широком диапазоне адаптационных способностей микробоценозов исследуемых почв, активность которых, вероятно, в большей степени зависит от содержания и доступности почвенного органического вещества.

SOILS HETEROTROPHIC CHARACTERISTICS OF THE LARCH OPEN FORESTS (FOREST-TUNDRA ZONE OF THE CENTRAL SIBERIA)

S.Y. EVGRAFOVA[1, 2], L.V. MUKHORTOVA[1], A.E. DETSURA[1], D.O. ANUEVA[2], L.V. KRIVOBOKOV[1], O.V. MASYAGINA[1]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (esj@yandex.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Abstract. In the forest-tundra zone of Central Siberia, Skeletic Calcaric Leptosols of dwarf shrub-green moss larch open forests were studied using methods for estimating soil basal respiration and substrate-induced respiration. It was demonstrated that the heterotrophic characteristics of Skeletic Calcaric Leptosols were independent of intersite variability and the mosaic structure of the ecosystem. This enables us to identify a broad spectrum of adaptive capacities of the microbial assemblages of the soils under study, the activity of which is probably primarily influenced by the availability of soil organic matter.

Дыхание почвы – это биогеохимический процесс, на который влияет большое количество биотических и абиотических факторов, наблюдаемых на разных иерархических уровнях [8]. Процессы, которые приводят к образованию CO_2 в почвах, зависят от сложного взаимодействия между факторами окружающей среды, физико-химическими свойствами почвы, количеством и качеством субстрата и т. д. [7, 12]. Частично продукция CO_2 в почвах связана с метаболической активностью корней растений и микоризой (автотрофное дыхание) [5, 6], другая составляющая имеет связь с гетеротрофным дыханием микробных сообществ [4]. Доля этих компонентов варьирует от одной экосистемы к другой [10], а дыхание почвы в качестве индикатора метаболизма экосистемы связывает подземные и надземные процессы, которые реагируют на большое количество факторов, в свою очередь контролирующих метаболические процессы [11]. В связи с многокомпонентностью факторов контроля метаболизма почв исследования почвенного дыхания должны также учитывать не только количество углерода в почвах и его качество, но и мозаичность экосистем и межучастковую изменчивость [3, 9, 13].

Методами определения базального дыхания (БД) и субстрат-индуцированного дыхания (СИД) [1, 2] почв проанализировано 90 образцов карболитоземов с пяти пробных площадей кустарничково-зеленомошных лиственничных редколесий лесотундровой зоны Средней Сибири (Таймырский Долгано-Ненецкий район Красноярского края). Почвенные разрезы на пробных площадях были заложены в межкроновом и подкроновом пространствах древостоев. Образцы почв отбирались в минеральном слое почвы соответственно почвенным горизонтам, максимальная глубина отбора образцов составила 30–48 см в зависимости от участка. На каждом участке проводилось описание доминантов в напочвенном покрове. Из показателей БД и СИД рассчитывался микробный метаболический коэффициент (qCO_2, далее по тексту ММК).

БД в минеральном слое почв исследуемых разрезов варьировало в диапазоне от 0.05 до 1,97 мкг CO_2 $г^{-1}ч^{-1}$. Варьирование СИД в почвах профилей в основном повторяло закономерности распределения БД и регистрировалось в диапазоне от 0.99 до 18.44 мкг CO_2 $г^{-1}ч^{-1}$. Характер распределения БД и СИД по почвенному профилю представлял собой три различных паттерна: (i) плавное градиентное снижение активности вниз по почвенному профилю, (ii) преобладающая активность в верхнем минеральном горизонте почвы с резким снижением вниз по профилю и (iii) равномерное распределение активности в почвенном профиле. Все три паттерна встречались в исследуемых почвенных разрезах с одинаковой частотой и не зависели от элементов мозаики (подкроновая или межкроновая), а также от сочетания растительных доминант в напочвенном покрове (дриадовые, ерниковые, зеленомошные, копеечниковые, разнотравные, кустарничковые, голубичные, лиственничные, осоковые или присутствие камней). Значения микробного метаболического коэффициента (ММК) варьировали от 0.01 до 0.52. Основным паттерном распределения ММК было (i) – плавное градиентное возрастание вниз по почвенному профилю;

паттерны (ii) – равномерное распределение в почвенном профиле или (iii) – плавное градиентное снижение вниз по почвенному профилю встречались значительно реже. Такое распределение ММК позволяет судить о высокой потенциальной гетеротрофной активности нижележащих горизонтов исследуемых почв. Взаимосвязей ММК с элементами мозаики и сочетания растительных доминант в напочвенном покрове также выявлено не было.

Методом главных компонент показано, что гетеротрофные характеристики исследуемых карболитоземов не продемонстрировали зависимостей от мозаичности экосистемы и межучастковой изменчивости (рис. 1). Проведенные исследования позволяют сделать выводы о широком диапазоне адаптационных способностей микробоценозов исследуемых почв, активность которых, вероятно, в большей степени зависит от содержания и доступности почвенного органического вещества.

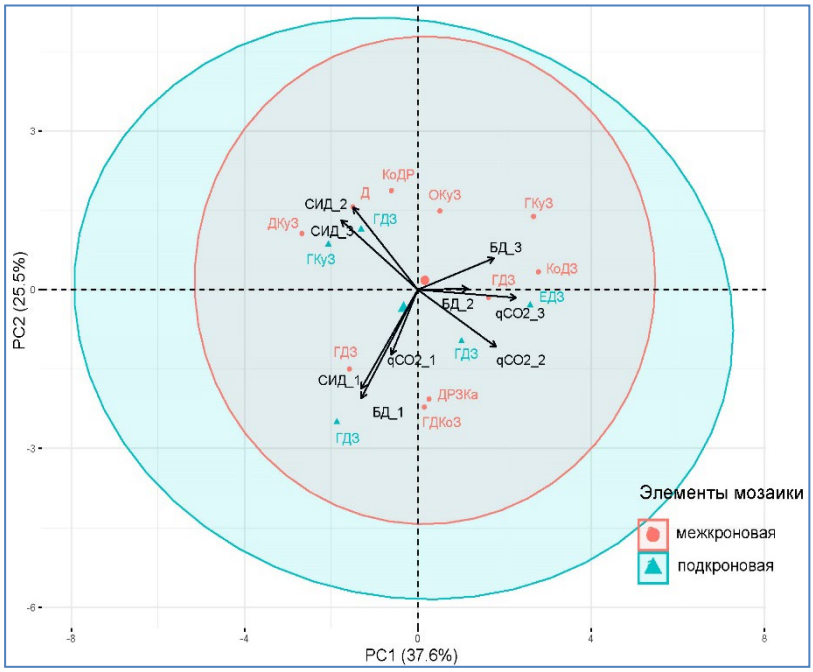


Рис. 1. Проекция двух первых главных компонент (PC1 и PC2) взаимосвязей базального дыхания (БД), субстрат-индуцированного дыхания (СИД) и микробного метаболического коэффициента (qCO_2) карболитоземов кустарничково-зеленомошных лиственничных редколесий лесотундровой зоны Средней Сибири (Таймырский Долгано-Ненецкий район Красноярского края). Цифры 1, 2, 3 обозначают горизонты минерального почвенного профиля, от верхнего к нижележащим соответственно. Буквами приведены доминанты в напочвенном покрове в местах исследований: Д – дриадовый; Е – ерниковый; З – зеленомошный; Ко – копеечниковый; Р – разнотравный; Ку – кустарничковый; Г – голубичный; Ка – каменистый; О – осоковый

ЛИТЕРАТУРА

1. *Anderson O.R.* Bacterial and heterotrophic nanoflagellate densities and C-biomass estimates along an Alaskan tundra transect with prediction of respiratory CO_2 efflux // Journal of Eukaryotic Microbiology. 2014. 61 (1): 11–16.
2. *Anderson J.P., Domsch K.H.* A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil biology and biochemistry. 1978. 10 (3): 215–221.
3. *Chen Q., Wang Q., Han X., Wan S., Li L.* Temporal and spatial variability and controls of soil respiration in a temperate steppe in northern China // Glob. Biogeochem. Cycle. 2010. 24. DOI: 10.1029/2009GB003538.
4. *Giardina C.P., Binkley D., Ryan M.G., Fownes J.H., Senock R.S.* Belowground carbon cycling in a humid tropical forest decreases with fertilization // Oecologia. 2004. 139: 545–550.
5. *Hanson P.J., Edwards N.T., Garten C.T., Andrews J.A.* Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations // Biogeochemistry. 2000. 48: 115–146.
6. *Hörberg E., Nordgren A., Buchmann N., Taylor F.S.A., Ekblad A., Hörberg M.N., Nyberg G., Ottosson-Löefvenius M., Readk D.J.* Photosynthesis drives soil respiration large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration // Nature. 2001. 411: 789–792.
7. *Kang S., Lee D., Lee J., Running S.W.* Topographic and climatic controls on soil environments and net primary production in a rugged temperate hardwood forest in Korea // Ecol. Res. 2006. 21: 64–74.
8. *Luo Y., Zhou X.* Soil respiration and the environment. Academic Press/Elsevier, San Diego, CA, 2006. P. 316.
9. *Martin J.G., Bolstad P.V.* Variation of soil respiration at three spatial scales: components within measurements, intra-site variation and patterns on the landscape // Soil Biol. Biochem. 2009. 41: 530–543.
10. *Raich J.W., Schlesinger W.H.* The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. Tellus. 1992. 44: 81–89.
11. *Ryan M.G., Law B.E.* Interpreting, measuring and modelling soil respiration // Biogeochemistry. 2005. 73: 3–27.
12. *Scott-Denton L.E., Rosenstiel T.N., Monson R.K.* Differential controls by climate and substrate over the heterotrophic and rhizospheric components of soil respiration. Global change biology. 2006. 12 (2): 205–216.
13. *Webster K.L., Creed I.F., Showronski M.D., Kaheil Y.H.* Comparison of the performance of statistical model that predict soil respiration from forests // Soil Sci. Soc. Am. J. 2009. 73: 1157–1167.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

ПРИРОДА ПОЖАРОВ В БАЙКАЛЬСКИХ ЛЕСАХ

М.Д. ЕВДОКИМЕНКО

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

Аннотация. Исследованы региональные особенности (специфика) возникновения и распространения лесных пожаров, а также их последствий. Байкальские леса своеобразны по природным условиям. Удаленность территории региона от морей и океанов неблагоприятно отражается на общем режиме ее атмосферного увлажнения. В то же время местная циркуляция воздушных масс, формирующихся над акваторией озера, смягчает засушливость климата в прибрежных районах, для которых характерен влажный тип вертикальной поясности. Рельеф варьирует от низкогорного до высокогорного, чем предопределяется пирологическая неоднородность лесов. В условиях засушливого климата экстремальная пожароопасность регулярно возникает в светлохвойных массивах байкальских лесов.

В бассейне оз. Байкал выделены три зоны атмосферного увлажнения с их дифференциацией на высотно-поясные комплексы (ВПК) растительности [4].

А. Зона недостаточного увлажнения:
– лугово-степной ВПК (с островными засушливыми лесами);
– подтаежно-лесостепной ВПК (преимущественно сосновый, со степями на южных и лиственничниками на северных склонах).

Б. Зона умеренного увлажнения:
– светлохвойный таежный ВПК (преимущественно лиственничный, с сосной по южным склонам, елью по долинам и логам, кедром по водоразделам).

В. Зона избыточного увлажнения:
– кедровый таежный ВПК (с участием производных лиственных, а также лиственничных насаждений);
– кедрово-пихтовый таежный ВПК (на северо-западных отрогах Хамар-Дабана);
– субальпийско-подгольцовый ВПК (кедрово-пихтовый узкими полосами в сочетании с горными лугами и кустарниками; кедровый и лиственничный в сочетании с зарослями кедрового стланика, ерников и горными тундрами).

Общая продолжительность пожароопасного сезона по высотным поясам зависит от длительности бесснежного периода, которая в верхних комплексах растительности (субальпийско-подгольцовом и тундрово-гольцовом) почти вдвое меньше, чем на лесостепных участках по долинам крупных рек. Специфическая особенность начала пожароопасного сезона на большей части региона, занятой первыми тремя ВПК, заключается в том, что незначительный снежный покров сходит без существенного увлажнения напочвенных горючих материалов. Отсюда раннее начало горимости лесов, а также ускоренный ход пожарного созревания светлохвойных насаждений после выпадения атмосферных осадков. Количественная характеристика основных параметров процесса пожарного созревания по ВПК и типам леса приведена в табл. 1 [1].

Пожароопасность лесостепных и подтаежных участков тесно связана с котинентальностью климата, достигающей в них крайних пределов. Амплитуда суточных колебаний температуры в приземном слое воздуха и на поверхности почвы весной и осенью выходит за пределы 30º. По этой причине средний максимум температуры воздуха удерживается на стабильно высоком уровне. Горючие материалы на инсолируемых местоположениях постоянно подвержены высокому нагреву. В мертвопокровных сосняках на крутых южных склонах они настолько быстро испаряют влагу, что горение лесного опада возможно в первый же день ясной погоды после дождя.

Пожарное созревание таежных лиственничников и сосняков отстает от насаждений в подтайге и лесостепи. Верхние пояса растительности наименее пожароопасны. Темнохвойные комплексы лучше обеспечены атмосферными осадками, поэтому их пожарное созревание происходит летом и растянуто во времени.

Лесопожарные аномалии, в результате которых горимость лесов более чем на порядок превышает среднее многолетнее значение, заметно нарушают гидрологический режим рек в регионе, аномально повышают поверхностный сток на пожарищах. Соответственно мутная вода приводит к загрязнению самого озера Байкал, что наблюдалось после катастрофических пожаров (1969, 1976, 1979, 2015 г.) [2, 3].

Таблица 1. Основные характеристики пожароопасного созревания байкальских лесов.
С. – сосняки, Л. – лиственничники, Б. – березняки, Е. – ельники, Ос. – осинники, К. – кедровники, П. – пихтарники

Группа типов леса	Метеопоказатель, соответствующий началу пожароопасного сезона		Продолжительность сухой погоды, дней	
	весна, осень	лето	весна, осень	лето
Лугово-степной ВПК				
С. остепненно-разнотравные	150	1200	1	4–5
Л. остепненно-разнотравные	700	2400	2–3	6–8
Подтаежно-лесостепной ВПК				
С. горно-каменистые и лишайниковые	100	200	1	1
С. сухоразнотравные	150	350	1	1–2
С. бруснично-разнотравные	250	600	1–2	2–3
С. разнотравно-рододендроновые	650	1350	2–3	4–6
Л. разнотравно-брусничные	750	2100	3–4	5–7
Л. рододендроновые	950	2200	4–6	6–8
Светлохвойный таежный ВПК				
С. рододендроново-брусничные	1050	1450	3–4	4–6
Л. приручьевые разнотравные	900	3200	3–4	6–8
Б. приручьевые разнотравные	900	4000	3–4	8–10
Заросли кустарниковых берез (ерники)	250	5000	1–2	15–18
Л. рододендроново-брусничные	1100	2100	3–5	5–7
Б. рододендроново-брусничные	1200	2900	4–6	7–10
С. зеленомошные	1800	1400	6–10	5–7
Л. ольховниково-рододендроновые	2300	2400	9–12	6–8
Л. багульниковые	3000	2250	10–15	5–8
Л. зеленомошные	3100	2550	11–16	7–9
Л. кустарничково-моховые	3200	2500	12–17	7–9
Е. приручьевые	3300	5000	13–18	15–18
Ос. разнотравные и рододендроновые	3350	4500	13–18	10–15
Кедровый таежный ВПК				
К. брусничные	3150	2450	11–16	6–9
К. и П. бадановые	5500	4500	22–27	10–15
К. крупнотравные	5000	5500	20–24	18–22
Кедрово-пихтовый таежный ВПК				
К. и П. чернично-зеленомошные	4300	2100	16–20	5–8
П. крупнотравные	5500	6000	22–27	20–25
Ос. крупнотравные	6000	6000	25–30	20–25
Субальпийско-подгольцовый ВПК				
Заросли кедрового стланика	4500	4000	18–20	8–12
К. подгольцовые	5000	4500	20–25	10–15
П. субальпийские	6000	6000	25–30	20–25
Л. подгольцовые	6000	6000	25–30	20–25

ЛИТЕРАТУРА

1. *Евдокименко М.Д.* Потенциальная пожароопасность лесов в бассейне оз. Байкал // Лесоведение. 1991. № 5. С. 14–25.
2. *Евдокименко М.Д.* Лесоэкологические последствия пожаров в светлохвойных лесах Забайкалья // Экология. 2011. № 3. С. 191–196.
3. *Евдокименко М.Д.* Пирогенные нарушения гидротермического режима мерзлотных почв в светлохвойных лесах на юго-востоке Сибири // Почвоведение. 2013. № 2. С. 1–11.
4. *Поликарпов Н.П., Бабинцева Р.М., Чередникова Ю.С.* Экологические основы ведения лесного хозяйства в бассейне оз. Байкал // Растительные ресурсы Забайкалья, их охрана и использование. Улан-Удэ, 1979. С. 52–57.

УДК 581.132

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УГЛЕРОДОДЕПОНИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БЫСТРОРАСТУЩИХ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД ТОПОЛЯ И БЕРЕЗЫ ЮВЕНИЛЬНОГО ВОЗРАСТА

П.М. ЕВЛАКОВ, Т.А. ГРОДЕЦКАЯ, К.В. ЖУЖУКИН

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж (peter.evlakov@yandex.ru, tatyana.pokusina@yandex.ru, kinkon18@yandex.ru)

Аннотация. Представлены результаты анализа газообмена листа в процессе фотосинтеза и расчета на его основе потенциальной способности к депонированию CO_2 у ювенильных растений тополя и березы в одно- и двухлетнем возрасте в условиях экспериментального калибровочного карбонового полигона Воронежской области.

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL CARBON-DEPOSITING ABILITY OF FAST-GROWING POPLAR AND BIRCH TREE SPECIES OF JUVENILE AGE

P.M. EVLAKOV, T.A. GRODETSKAYA, K.V. ZHUZHUKIN

G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh (peter.evlakov@yandex.ru, tatyana.pokusina@yandex.ru, kinkon18@yandex.ru)

Abstract. The results of the analysis of leaf gas exchange in the process of photosynthesis and calculation based on it of the potential ability to deposit CO_2 in juvenile poplar and birch plants at one and two years of age in the conditions of an experimental calibration carbon landfill of the Voronezh region are presented.

В качестве объекта исследования использовали культуры селекционно-ценных генотипов межсекционного гибрида тополя дельтовидного на бальзамический *P. deltoides* Marsh. × *P. balsamifera* L., ‘Элитный сеянец-38’ (‘Э.с.-38’), и березы повислой ‘Углянческой-1’ (‘Уг.-1’) ювенильного возраста, 2 лет (2022 г.) и 3 лет (2023 г.), заложенные в рамках калибровочного карбонового полигона ВГЛТУ (51.724215° с. ш., 39.212283° в. д.). При расчете депонирующей способности исследуемых культур учитывали густоту закладки 2500 саженцев с ЗКС (закрытой корневой системой) на гектар соответственно стандарту. Согласно данным Ю.Л. Цельникер, за три летних месяца среднее суточное время фотосинтеза составляло 14.6 часа, а темное время – 9.4 часа [1].

Параметры фотосинтеза, скорость газообмена CO_2 и транспирации измеряли на не отделенном от растения верхушечном хорошо освещенном листе с помощью портативного инфракрасного газового анализатора CI-340 (CID Bioscience, США). Измерение площади отдельного листа и суммарной ассимиляционной поверхности проводили с использованием лазерного измерителя CI-202 (CID Bioscience, США). Статистический анализ проводили с использованием VASSARSTAT (http://vassarstats.net/anova1u.html) для однофакторного дисперсионного анализа. Все данные выражены в средних значениях ±(CO) SE (стандартное отклонение).

Важное значение для смягчения последствий продолжающихся климатических изменений имеет ассимиляция углерода лесными культурами в связи с накоплением деревьями значительной части общего углерода [2]. Исследование скорости усвоения углекислоты (нетто-фотосинтеза) у ювенильных растений тополя и березы выявило рост этого показателя в период 2022–2023 гг. Так, в двухлетнем возрасте скорость фотосинтеза у тополя ‘Э.с.-38’ составляла 25.4 ± 0.72 мкмоль/м^2/с, а к третьему гому жизни она увеличилась на 13.6 % со значением 29.4 ± 0.98 мкмоль/м^2/с (рис. 1а).

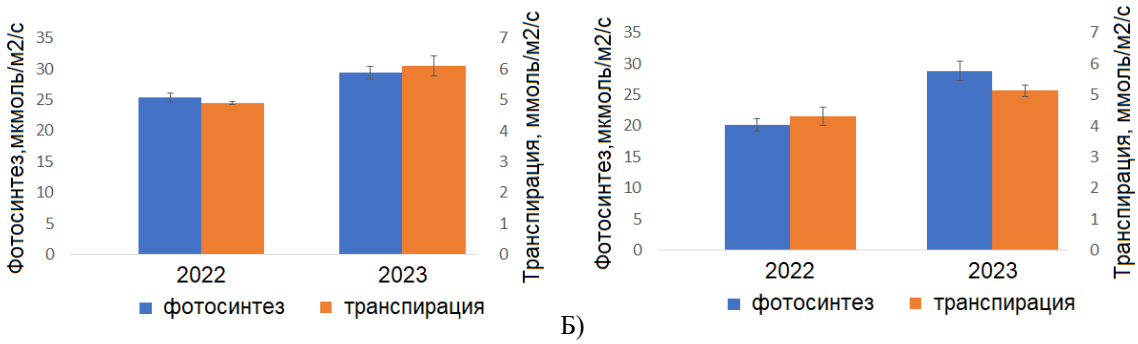


Рис. 1. Параметры фотосинтеза у ювенильных растений: а) тополя ‘Э.с.-38’, б) березы ‘Уг.-1’

Пропорционально фотосинтезу значения транспирации возросли на 19.7 % (рис. 1а). Для березы ‘Уг.-1’ также была выявлена тенденция к возрастанию параметров фотосинтеза и транспирации к третьему

году жизни. На втором году жизни интенсивность поглощения углекислого газа составляла 22.0 ± 1.03 мкмоль/м^2/с, а к третьему году она возросла до 31.5 ± 1.64 мкмоль/м^2/с, на 30.2 % (рис. 1б). Скорость транспирации увеличилась на 16.1 %. Увеличение показателей фотосинтетической ассимиляции CO_2 в процессе роста и развития ювенильных растений обусловлено активностью комплекса Рубиско, то есть балансом между фиксацией CO_2 посредством карбоксилирования и производством CO_2 при фотодыхании, а также посредством реакции «вспомогательного метаболизма» [3].

Расчет потенциальной депонирующей способности плантации показал, что во второй год жизни ювенильные растения тополя ‘Э.с.-38’ и березы ‘Уг.-1’ могут накапливать в своей биомассе до 55.5 ± 5.37 и 14.5 ± 1.72 т/га CO_2 соответственно (рис. 2).

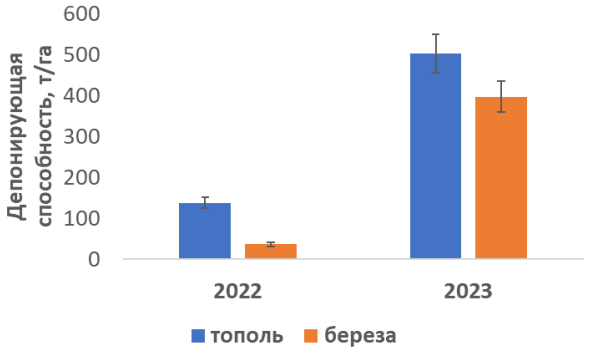


Рис. 2. Потенциальная депонирующая способность плантации, т/га

К третьему году жизни депонирующая способность CO_2 рассматриваемых древесных растений возрастала в 3.6 раза для тополя и в 11.0 раз для березы, составляя 503 ± 46.8 т/га и 397 ± 37.1 т/га соответственно.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой скорости роста депонирующей способности ювенильных растений тополя и березы первых лет жизни и необходимости включения этих древесных пород в климатические программы по созданию углерододепонирующих плантаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Цельникер Ю.Л.* Физиологические основы теневыносливости древесных растений. М.: Наука, 1978. 215 с.
2. *Mildrexler D.J., Berner L.T., Law B.E. et al.* Large trees dominate carbon storage in forests east of the cascade crest in the United States Pacific Northwest // Frontiers in Forests and Global Change. 2020. 3: 1–15.
3. *Tcherkez G., Limami A.M.* Net photosynthetic CO_2 assimilation: more than just CO_2 and O_2 reduction cycles // New Phytologist. 2019. 223 (2): 520–529.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование проводилось в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000020-6-4.1.2 «Отбор хозяйственно ценных и устойчивых к изменению климата древесных культур, отличающихся высокой биологической продуктивностью и потенциалом секвестрации углерода с учетом региональных почвенно-климатических особенностей для реализации лесоклиматических проектов (FZUR-2023-0002)».

УДК 630*

ДИНАМИКА ЗАПАСА ДРЕВОСТОЯ В СОСНЯКЕ АНДРОМЕДО-ПУШИЦЕВО-СФАГНОВОМ ЗА 50 ЛЕТ ПРИ ЭКСТЕНСИВНОМ ОСУШЕНИИ В УСЛОВИЯХ ПОДТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ (ЗАПАДНОДВИНСКИЙ ЛЕСОБОЛОТНЫЙ СТАЦИОНАР)

А.А. ЕГОРОВ, Т.В. ГЛУХОВА, А.А. ШИРОКОВСКАЯ

Институт лесоведения РАН, Успенское Московской обл. (egorovfta@yanex.ru)

Аннотация. В результате экстенсивного осушения в условиях подтайги Европейской России в *сосняке андромедо-пушицево-сфагновом* Vб класса бонитета запас древостоя составлял 14.3 м^3/га. Через 10 лет, в 1983 г., формируется сосняк того же бонитета, но с запасом в 1.7 раза больше, а через 50 лет − *сосняк багульниково-сфагновый осушенный* Va бонитета с запасом в 3.5 раза больше.

DYNAMICS OF THE STOCK OF STAND IN THE *PINETUM ANDROMEDO-ERIOPHOROSO-SPHAGNOSUM* OVER 50 YEARS WITH EXTENSIVE DRAINAGE IN THE CONDITIONS OF THE SUBTAIGA OF EUROPEAN RUSSIA (WEST DVINA PEATLAND-FOREST STATION)

A.A. EGOROV, T.V. GLUKHOVA, A.A. SHIROKOVSKAYA

Institute of Forest Science RAS, Uspenskoe, Moscow region (egorovfta@yanex.ru)

Abstract. As a result of extensive drainage in the conditions of the subtaiga of European Russia, in the *pinetum andromedo-eriophoroso-sphagnosum* of the Vb class productivity (bonitet), the stock of stand was 14.3 m^3/ha. 10 years later in 1983, a pine forest of the same bonitet was formed, but with a stock 1.7 times more, and 50 years later − *pinetum ledoso-sphagnosum drained* with Va bonitet with a stock is 3.5 times more.

Западнодвинский лесоболотный стационар Института лесоведения РАН был организован в 1972 г. с целью разработки практических рекомендаций для лесного хозяйства по эффективному осушению болотных земель. Среди прочих типов заболоченных земель было проведено осушение олиготрофного сосняка в 1973 г., в котором была заложена постоянная пробная площадь (ПП) под номером 5-74 [2] с координатами центра 56°9′17″ N, 32°10′10″ E. Административно объект расположен в Западнодвинском районе Тверской области, а по геоботаническому районированию относится к подтайге европейской части России [1]. Инвентаризация соснового древостоя на ПП 5-74 проводилась в 1974, 1983, 2023 г., таким образом давая возможность рассмотреть динамику его запаса за 50 лет после осушения. Мощность торфа больше 4 м [3]. ПП 5-74 закладывалась в середине 106-метрового межканавья с границами, расположенными на расстоянии 35 м от канав, что определило экстенсивный режим осушения на этой ПП. Площадь ее составляет 0.36 га.

Данные по древостою по годам имеют различный формат: за 1974 г. − обобщенные по 3 ярусам по результатам подеревной инвентаризации в публикации [2: таблица 18], за 1983 г. − архивные данные сплошного перечета древостоя и подроста. Методически в эти годы по каждому дереву проводились измерения диаметра, высоты и возраста. Возраст дерева измерялся инструментально или глазомерно. В 2023 г. на ПП 5-74 проводилась инвентаризация древостоя по методике ЦЭПЛ [4] с нашими уточнениями, которые заключались в увеличении учетных деревьев для измерения высоты и возраста. Для корректного сравнения таксационные показатели древостоя за прошлые годы наблюдений были уточнены: часть приведенных измерений за 1974 г. [2: таблица 18] и 1983 г. мы отнесли к подросту и поэтому исключили их из дальнейшего анализа. На основании имеющихся данных был вычислен запас древостоя (табл. 1).

Таблица 1. Таксационные показатели соснового древостоя при экстенсивном осушении по годам наблюдений

Год	Высота, м	Класс возраста	Класс бонитета	Запас, м^3/га
1974	5.6	V	Vб	**14.3**
1983	6.9	V	Vб	**24.4**
2023	8.3	V	Va	**50.0**

На момент инвентаризации в 1974, 1983 и 2023 г. сосновые древостои характеризовались V классом возраста. Анализ геоботанических и таксационных данных показал, что в 1974 г. был описан ***сосняк андромедо-пушицево-сфагновый*** Vб класса бонитета, в 1983 г. − сосняк такого же бонитета, но уже более продуктивный (табл. 1), а в 2023 г. − уже ***сосняк багульниково-сфагновый осушенный*** Va бонитета.

Подводя итог, отметим, что до осушения в ***сосняке андромедо-пушицево-сфагновом*** Vб класса бонитета запас древостоя составлял 14.3 м^3/га. В результате экстенсивного осушения через 10 лет в 1983 г. формируется сосняк того же бонитета, но с запасом в 1.7 раза больше, а через 50 лет − ***сосняк багульниково-сфагновый осушенный*** Va бонитета с запасом в 3.5 раза больше. Необходимо также отметить, что в результате экстенсивного осушения запас древостоя хоть и существенно увеличился, его величина не представляет лесоводственно-экономической ценности для лесной заготовительной

промышленности. Результаты этих исследований являются частью работ по изучению баланса углерода в болотных лесах под действием осушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР / В.Д. Александрова, С.А. Грибова, Т.И. Исаченко и др. Л.: Наука, 1989. 64 с. 1 л. карты.
2. Биогеоценологическое изучение болотных лесов в связи с опытной гидромелиорацией. М.: Наука, 1982. 208 с.
3. *Глухова Т.В.* Химический состав почвенно-грунтовых вод лесных болот и вынос веществ со стоком при гидролесомелиорации: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.27. Москва: МГУ, 1990. 18 с.
4. Методика полевых работ по таксации леса на постоянных пробных площадях тестовых полигонов интенсивного уровня в рамках реализации инновационного проекта государственного значения «Углерод в экосистемах: мониторинг». Консорциум № 4 (рукопись). М.: ЦЭПЛ РАН, 2023.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа частично выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 504.064.37:574.4

СВЯЗЬ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ И ЗАПАСОВ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ В ОЧАГАХ ИНВАЗИВНЫХ СТВОЛОВЫХ ВРЕДИТЕЛЕЙ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.О. ЕЛИСЕЕВ[1], Э.М. БИСИРОВА[1, 2], И.А. КЕРЧЕВ[1]

[1] Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск (kuzoller@gmail.com)
[2] Томский филиал Всероссийского центра карантина растений, ФГБУ «ВНИИКР»

Аннотация. Выполнено исследование связи вегетационных индексов по данным БПЛА с надземной фитомассой, полученной в ходе полевых измерений. В целом можно с достаточной степенью достоверности оценивать влияние инвазивных стволовых насекомых по вегетационным индексам.

THE RELATIONSHIP OF VEGETATION INDICES AND ABOVE-GROUND BIOMASS IN THE OUTBREAK AN INVASIVE STEM PEST IN WESTERN SIBERIA

A.O. ELISEEV[1], E. M. BISIROVA[1,2], I.A. KERCHEV[1]

[1] Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, Tomsk (kuzoller@gmail.com)
[2]All-Russian Plant Quarantine Center, Tomsk Branch

Abstract. A study of the relationship of vegetation indices according to UAV data with aboveground phytomass obtained during field measurements was performed. In general, it is possible to assess the impact of invasive stem insects with a sufficient degree of reliability by vegetation indices.

Лес играет важную роль в глобальном углеродном цикле, поскольку он содержит значительную часть земного углерода в своей биомассе. В свою очередь возможность определения надземной фитомассы из космоса является многообещающей альтернативой наземным методам [3]. В настоящее время существуют только косвенные методы дистанционной оценки фитомассы. В этом отношении спутниковое дистанционное зондирование является важным инструментом, поскольку оно обеспечивает наблюдения за всей поверхностью Земли с регулярными повторными обновлениями данных [1]. Однако проблематично отличить молодой лес от старого или выявить средние диаметр и высоту древостоев, поэтому спутниковые данные сами по себе недостаточны для надежной оценки фитомассы [2].

В данном исследовании были получены вегетационные индексы, а также выполнена их оценка с объемом фитомассы здоровой древесины на основе аллометрического моделирования [4]. Исследования проводились в лесных экосистемах южнотаежной подзоны Западной Сибири (Томская область). Ключевые участки приурочены к разным вариантам коренных темнохвойных лесов.

Первый участок – Ларинский ландшафтный заказник – включал пихтовые и темнохвойно-пихтовые древостои с разной степенью поврежденности уссурийским полиграфом (*Polygraphus proximus* Bland*.).* Заложено 4 постоянных пробных площади (ППП): в полностью разрушенном участке леса (ППП 1-12), сильно ослабленном (ППП 2-12, 3-12) и деградированном (ППП 4-12) [4]. Второй участок включал древостои кедра сибирского, в разной степени поврежденные союзным короедом *Ips amitinus* (Eichhoff, 1871), в припоселковых кедровниках Обь-Томского и Томь-Яйского междуречий. Здесь заложено 7 ППП в преимущественно чистых по составу древостоях кедра с разным состоянием, от здоровых (ППП 8-10), ослабленных в разной степени (ППП 1-06, 2-06, 3-06, 4-06, 10-21) до погибших (ППП 9-19).

Дистанционное зондирование модельных участков выполнялось с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom 4 Multispectral с пространственным разрешением ячейки до 8 см. В результате были определены вегетационные индексы NDVI, GNDVI, LCI, NDRE, OSAVI для 12 модельных участков, 8 из них непосредственно попадали в границу территории съемки БПЛА. Для 4 участков (10-21, 3-06, 3-12 и 4-12) индексы были определены по регрессионной зависимости с мультиспектральными данными спутника Sentinel 2. Для этой цели использовался спутниковый снимок за 11 июня 2023 г. с облачностью менее 5 %.

В результате для 5 участков, находившихся за пределами съемки БПЛА, коэффициент детерминации между данными по вегетационным индексам БПЛА и Sentinel 2 изменялся от 0.37 (GNDVI) до 0.58 (OSAVI), что в целом характеризует умеренную связь. В целом рассматриваемые спутниковые данные на 30 % занижают средние значения вегетационных индексов по сравнению с данными БПЛА.

В результате наибольшие значения индекса NDVI в диапазоне от 0.85 до 0.88 наблюдались для участков: Белоусово (8-10), Богашево (10-21) и Зоркальцево (4-06). Для данных участков характерна низкая доля поврежденной и мертвой фитомассы древостоя: менее 10 %. В целом коэффициент корреляции между долей живой фитомассы древостоя и индексом NDVI по модельным участкам достаточно высок и составляет r = 0.69. Наиболее низкие средние значения NDVI, от 0.76 до 0.78, наблюдаются на модельных участках Белоусово (1-06) и Лучаново-Ипатово (9-19), где велика доля поврежденных деревьев, от 56 % до 99 % соответственно.

Для участков 8-10, 10-21 и 4-06 характерно наибольшее значение всех вегетационных индексов, за исключением индекса NDRE. Аналогично наиболее низкие значения по всем вегетационным индексам характерны для участков с большой долей поврежденной растительности (9-19, 1-06). Наибольший коэффициент корреляции характерен для индекса NDVI, в свою очередь вегетационные индексы GNDVI, LCI и NDRE также имеют значительную корреляционную связь с объемом наземной фитомассы, от 0.59 до 0.62. При этом для индекса OSAVI, учитывающего почвенные условия увлажнения, корреляционная связь отсутствует ($r < 0.15$).

Поскольку вегетационные индексы рассчитывались для всей территории модельных участков, значительный вклад в увеличение средневзвешенных значений индексов вносило открытое пространство с травянистой растительностью, которое увеличивает среднее значение индексов.

С целью определения вегетационных индексов исключительно для древостоя в калькуляторе растров рассчитывалась разница между цифровой моделью поверхности (ЦМП) и цифровой моделью рельефа (ЦМР), которая в дальнейшем векторизовалась с использованием модуля Vectorising Grid Classes ГИС SAGA. В результате заметная разница по всем вегетационным индексам с учетом открытых участков местности и при их отсутствии наблюдалась только по 2 модельным участкам: Лучаново-Ипатово (9-19) и Ларинский заказник (1-12), в наибольшей степени пострадавшим от инвайдеров.

Так, для участка Лучаново-Ипатово среднее значение NDVI только для древесной растительности будет равным 0.70 (0.78 с учетом травянистой растительности), а GNDVI будет равным 0.60 (0.67 с учетом травянистой растительности), что более корректно отражает долю поврежденного древостоя на данном участке. На участке в Ларинском заказнике (1-12) среднее значение NDVI только для древесной растительности будет равным 0.80 (0.85 с учетом травянистой растительности), а GNDVI будет равным 0.68 (0.73 с учетом травянистой растительности). Расхождение остальных индексов по всем остальным участкам минимально и не превышает 0.02.

На рис. 1 представлены вегетационные индексы, полученные по данным БПЛА для модельных участков 9-19 и 8-10.

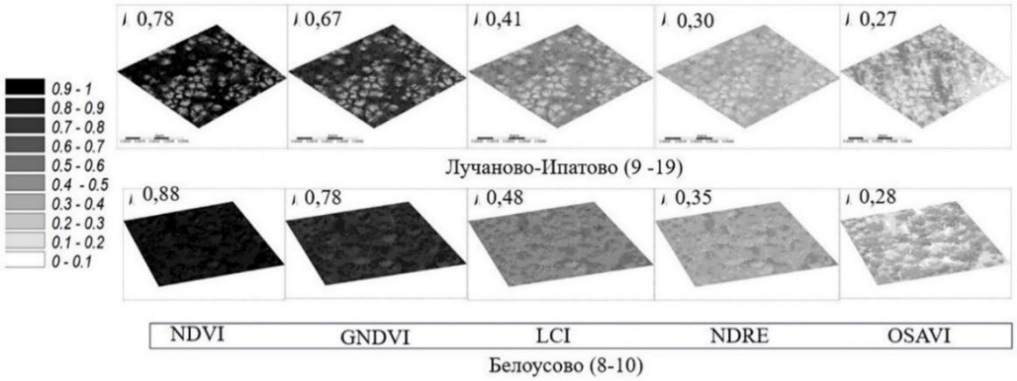


Рис. 1. Вегетационные индексы, полученные по данным БПЛА для модельных участков 9-19 и 8-10

Модельный участок 8-10 характеризуется наибольшими средними значениями вегетационных индексов, а 9-19 – наименьшими. Все индексы, за исключением OSAVI, позволяют визуально идентифицировать пораженный вредителями древостой, но наиболее четко это можно увидеть на индексах NDVI и GNDVI. В целом можно с достаточной степенью достоверности оценивать влияние инвазивных стволовых насекомых по вегетационным индексам, однако для наиболее качественной оценки необходимо иметь мультиспектральные снимки с наибольшим пространственным разрешением.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Макарова М.А., Владимирова Н.А.* Обзор ресурсов открытых пространственных данных о растительном покрове Земли в сети интернет // Ботанический журнал. 2020. 105 (4). С. 387–407.
2. *Щепащенко Д.Г., Швиденко А.З., Пергер К. и др*. Изучение фитомассы лесов: текущее состояние и перспективы // Сиб. лесной журн. 2017. № 4. С. 3–11.
3. *Hese S., Lucht W., Schmullius C. et al.* Global biomass mapping for an improved understanding of the CO_2 balance – the Earth observation mission carbon-3D // Remote Sensing of Environment. 2005. 94: 94–104.
4. *Kerchev I.A., Bisirova E.M., Smirnov N.A. et al.* Effects of an invasive bark beetle *Polygraphus proximus* Blandf. Outbreak on carbon pool dynamics in West Siberian dark coniferous forests // Forests. 2024. 15: 542. DOI: 10.3390/f15030542.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы № FWRG-2022-0001.

УДК 691.11

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ПОГИБШИХ ДРЕВОСТОЕВ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

С.Г. ЕЛИСЕЕВ, С.В. ЖИЛА, С.Н. КАЗИЦИН

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск (s-555s@yandex.ru)

Аннотация. Проблема использования древесины поврежденных и погибших древостоев является важным и актуальным вопросом современной науки и производства. Ежегодно лесные насаждения на значительной территории нашей страны гибнут от воздействия насекомых, болезней леса, лесных пожаров, изменения лесорастительных условий и ряда других причин. Воздействие данных неблагоприятных факторов увеличивается в условиях глобального изменения климата. В последние два десятилетия в результате массового размножения сибирского шелкопряда (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetw.), а также инвазии полиграфа уссурийского (*Polygraphus proximus* Blandford) площадь поврежденных древостоев составила более 1.2 млн га. В настоящее время эта территория, имеющая запас мертвой древесины более 300 млн м^3, подвержена риску катастрофических пожаров и вспышки вторичных вредителей с поражением сопредельных лесов. Вместе с тем процессы изменения физико-химических свойств древесины в связи с воздействием биодеструкторов изучены недостаточно; также недостаточно информации о закономерностях протекания биодеструкции древесины при массовой гибели насаждений в зависимости от биоэкологических факторов.

RESEARCH OF CHANGES IN THE PROPERTIES OF WOOD OF DEAD TREE STANDS ON THE TERRITORY OF THE KRASNOYARSK REGION

S.G. ELISEEV, S.V. ZHILA, S.N. KAZITSIN

M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk (s-555s@yandex.ru)

Abstract. The problem of using wood from damaged and dead forest stands is an important and pressing issue of modern science and production. Every year, insects, forest diseases, forest fires, changes in forest growth conditions and a number of other reasons destroy forest stands on a large territory of our country. The impact of these unfavorable factors is increasing under global climate change. In the last two decades, because of the mass reproduction of the Siberian silkworm (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetw.), as well as the invasion of four-eyed fir bark beetle (*Polygraphus proximus* Blandford) the area of damaged forest stands amounted to more than 1.2 million hectares. Currently, this territory, which has a stock of dead wood of more than 300 million m^3, is at risk of catastrophic fires and outbreaks of secondary pests affecting adjacent forests. At the same time, the processes of changing the physical and chemical properties of wood in connection with the impact of biodestructors have not been studied sufficiently, and there is also insufficient information on the patterns of wood biodestruction during mass death of plantations depending on bioecological factors.

Отмирание древесных растений является неотъемлемой частью кругооборота органических и минеральных веществ в лесных экосистемах. Древесина погибших деревьев является важным элементом питания для большого количества видов насекомых, грибов и бактерий. При этом многие виды насекомых, зверей и птиц, не являясь ксилофагами, используют погибшие деревья в качестве своего местообитания. На конечных этапах разложения древесина становится ценным удобрением, которое повышает плодородие почв и тем самым создает благоприятные условия для роста и развития нового поколения древесных растений [18, 20]. С учетом изложенного понятно, что древесина отмерших деревьев является ценным средообразующим фактором для лесных экосистем. Однако в условиях изменения и разбалансировки климата, а также антропогенного воздействия все чаще наблюдаются случаи массовой гибели древесных растений вследствие изменения лесорастительных условий [13, 16, 19, 22, 33], лесных пожаров [2, 12, 27, 31, 32], массовых вспышек вредителей и болезней [11, 17, 21, 25, 29], инвазии вредоносных видов [1, 6, 15, 23, 24, 26] и др.

Массовое размножение растительноядных насекомых способно вызвать гибель естественных и искусственных экосистем и поэтому может рассматриваться как одна из разновидностей экологических катастроф. В сибирской тайге наиболее вредоносными насекомыми-фитофагами являются сибирский шелкопряд (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetw.) и инвазивный вид – уссурийский полиграф (*Polygraphus proximus* Blandf). По данным Красноярского филиала Рослесозащиты, на территории Красноярского края вследствие вспышек массового размножения сибирского шелкопряда (*Dendrolimus superans sibiricus* Tschetw.) повреждено более 881 тыс. га лесных насаждений. Наиболее пострадавшими районами являются Енисейский, Северо-Енисейский, Ирбейский и Саянский [28]. Полиграфом уссурийским (*Polygraphus proximus* Blandf) повреждены насаждения, расположенные на территории 39 лесничеств на площади 571.5 тыс. га, но наибольшие повреждения сосредоточены в Таежинском (146.3 тыс. га) и Большемуртинском (68.3 тыс. га) лесничествах [28]. Прогнозируется дальнейшее расширение вторичного ареала полиграфа, в том числе формирование новых очагов вредителя [10].

Обширные территории с присутствием сухостойных древостоев становятся источником развития вспышек вторичных вредителей, а также являются причиной развития катастрофических лесных пожаров, после которых естественное возобновление леса может растянуться на десятилетия [2, 3].

В регионах, лесное хозяйство которых сталкивается с массовой гибелью деревьев, практикуется вырубка погибших насаждений в первые 2-3 года. Столь сжатые сроки заготовки древесины продиктованы в первую очередь стремлением избежать экономических потерь. Сухостойные деревья стараются вырубить, пока их стволовая древесина соответствует требованиям стандартов, предъявляемым к лесоматериалам [14]. При этом вырубка сухостойных деревьев в короткие сроки возможна далеко не всегда. Ей могут препятствовать как масштабы гибели древостоев, так и недостаточно развитая транспортная инфраструктура или отсутствие достаточных производственных мощностей лесоперерабатывающих компаний в регионе.

С момента гибели деревьев их стволовая древесина подвергается воздействию физических и биологических факторов, которое приводит к ее постепенному разрушению. Древесина активно заселяется стволовыми вредителями, вследствие высыхания в ней образуются глубокие трещины усушки, в заболонной части ствола развиваются деревоокрашивающие грибы, по мере развития дереворазрушающих грибов происходит резкое снижение физико-механических свойств.

Вопрос изменения характеристик сухостойной древесины в связи с давностью гибели достаточно масштабно изучался в работах североамериканских исследователей [14, 30]; также имеется ряд работ, выполненных в нашей стране [4, 7, 9] и странах ближнего зарубежья [5, 8]. При этом имеющиеся литературные данные по ряду аспектов противоречат друг другу, что затрудняет их использование для оценки изменений свойств древесины во времени, необходимой при планировании мероприятий по ее переработке.

Для решения проблемы прогнозирования состояния древесины в зависимости от давности гибели и разработки научно обоснованных подходов переработки сухостойной древесины в продукцию с высокой добавленной стоимостью Министерством науки и высшего образования в 2024 г. был поддержан проект «Исследование закономерностей процессов биодеструкции древесины погибших древостоев для разработки научнообоснованных подходов получения новых функциональных материалов». Объектом исследований в рамках проекта являются лесные насаждения на территории Красноярского края, погибшие в разные годы в связи со вспышками массового размножения сибирского шелкопряда и полиграфа уссурийского. В целях исследований заложены пробные площади в центральной, восточной и северной группах районов Красноярского края. На пробных площадях проведена таксация погибших насаждений и отобраны модельные деревья. Из модельных деревьев в ходе исследований производится отбор проб древесины. На отобранных образцах в зависимости от причин и давности гибели древостоя производится товароведческая оценка древесины, определяются ее основные физико-химические свойства, такие как влажность, плотность, прочность на сжатие, прочность при статическом изгибе, ударная вязкость, термогравиметрическим методом исследуются изменения химического состава древесины. Помимо этого в рамках исследований проводится идентификация доминирующих в сухостойной древесине видов биодеструкторов путем проведения молекулярно-генетического анализа. На основе полученных данных предполагается создать модели для прогнозирования изменения свойств сухостойной древесины во времени.

На втором этапе реализации проекта с учетом полученных данных по динамике биодеструкции древесины предполагается разработать новые и адаптировать ряд существующих технологий производства композиционных материалов для использования сухостойной древесины.

Реализация поставленных в рамках проекта целей и задач позволит заложить научно обоснованные подходы к планированию и организации процессов переработки сухостойных древесины при массовой гибели насаждений, а также обеспечит лесоперерабатывающие предприятия практическими рекомендациями по адаптации технологических процессов производства композиционных материалов к использованию сухостойной древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баранчиков Ю.Н., Петько В.М., Астапенко С.А.* Уссурийский полиграф – новый агрессивный вредитель пихты в Сибири // Вестник Московского гос. ун-та леса. Лесной вестник. 2011. № 4. С. 78–81.
2. *Ерицов А.М., Волков С.Н., Ломов В.Д.* Катастрофические лесные пожары последних лет // Вестник Московского гос. ун-та леса. 2016. Т. 20. № 5. С. 106–110.
3. *Исаев А.С., Суховольский В.Г., Овчинникова Т.М.* Экологический риск вспышек массового размножения лесных насекомых, моделирование и принятие решений в задачах лесозащиты // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. № 200. С. 173–184.
4. *Корчагов С.А., Грибов С.Е., Евдокимов И.В., Каптан Д.И.* Качество сухостойной древесины сосны и ели в лесных культурах // Polish Journal of Science. 2021. № 42. С. 4–8.
5. *Ларинина Ю.А., Блинцов А.И., Хвасько А.В., Ермохин М.В.* Изменение механических свойств древесины усыхающих и сухостойных деревьев ели европейской // Труды БГТУ. 2014. № 1. С. 221–224.
6. *Мельник М.А., Волкова Е.С., Бисирова Э. М., Кривец С.А.* Оценка эколого-экономического ущерба лесопользованию, вызванного инвазией уссурийского полиграфа в темнохвойные экосистемы Сибири // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. № 225. С. 58–75.

7. *Мухортова Л.В., Кирдянов А.В., Мыглан В.С., Гуггенбергер Г.* Трансформация древесины сухостойных деревьев в условиях лесотундры Средней Сибири // Известия РАН. Серия биологическая. 2009. № 1. С. 70–78.
8. *Пугачевский А.В., Жданович С.А.* Запасы, размерная структура и степень разложения древесных остатков в некоторых типах сосновых, еловых и березовых лесов // Труды БГТУ. Лесное хозяйство. 2007. № 1. С. 366–370.
9. *Пушкина Т.М., Мелехов В.И.* Исследование физико-механических свойств древесины из сухостойных насаждений // Форум молодых ученых. 2017. V. 12 (16). С. 1525–1537.
10. Центром защиты леса Красноярского края спрогнозирована санитарная и лесопатологическая ситуация на первое полугодие 2022 года. [Электронный ресурс]. URL: https://krasnoyarsk.rcfh.ru/presscenter/novosti/tsentrom-zashchity-lesa-krasnoyarskogo-kraya-sprognozirovana-sanitarnaya-i-lesopatologicheskaya-situ/.
11. *Черпаков В.В.* Бактериальные болезни лесных пород в патологии леса // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2012. № 200. С. 292–303.
12. *Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г.* Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61.
13. *Anderegg W.R.L., Plavcová L., Anderegg L.D.L., Hacke U.G., Berry J.A., Field C.B.* Drought's legacy: multiyear hydraulic deterioration underlies widespread aspen forest die-off and portends increased future risk // Global Change Biology. 2013. V. 19 (4). P. 1188–1196.
14. *Basham J.T.* Degradation and loss of wood fibre in spruce budworm-killed timber, and effects on utilization // The forestry chronicle. 1984. V. 60. P. 10–14.
15. *Baskin Y.* A plague of rats and rubbervines: The growing threat of species invasions // Electronic Green Journal. 2002. V. 1 (17). P. 377.
16. *Berdanier A.B., James S.C.* Multiyear drought-induced morbidity preceding tree death in southeastern U.S. forests // Ecological Applications. 2016. V. 26 (1). P. 17–23.
17. *Carroll A.L, Taylor S.W, Regniere J, Safranyik L.* Effects of climate change on range expansion by the mountain pine beetle in British Columbia // Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Information Report BC-X-399. 2003. P. 223–232.
18. *Dickinson C.H., Pugh G.J.F.* Biology of plant litter decomposition // London and New York: Academic Press, 1974. V. 2. P. 850.
19. *Dietze M.C., Moorcroft P.R.* Tree mortality in the eastern and central United States: patterns and drivers // Global Change Biology. 2011. V. 17. P. 3312–3326.
20. *Franklin J.F., Shugart H.H., Mark E.H.* Tree death as an ecological process: the causes, consequences, and variability of tree mortality // BioScience. 1987. V. 37. N 8. P. 550–556.
21. *Guarın A., Taylor A.H.* Drought-triggered tree mortality in mixed conifer forests in Yosemite National Park, California, USA // Forest Ecology and Management. 2005. 218 (1–3). P. 229–244.
22. *Mariano M.A., Daniels L.D., Villalba R., Cherubini P.* Does drought incite tree decline and death in Austrocedrus chilensis forests? // Journal of Vegetation Science. 2015. № 26. P. 1171–1183.
23. *Økland B., Schroeder M., Zach P., Cocos D., Martkainen P., Siitonen Ju., Mandelshtam M. Yu., Musolin D. L., Neuvonen S., Vakula J., Nikolov Ch., Lindelòw A., Voolma K.* Range expansion of the small bark beetle ips amitinus: a newcomer in Northern Europe // Agricultural and Forest Entomology. 2019. V. 21. P. 286–298.
24. *Pimentel D., Zuniga R., Morrison D.* Update on the environmental and economic costs associated with alien invasive species in the United States // Ecological Economics. 2005. V. 52 (3). P. 273–288.
25. *Rizzo D.M., Garbelotto. M.* Sudden oak death: endangering California and Oregon forest ecosystems // Front. Ecol. Environ. 2003. V. 1 (5). P. 197–204.
26. *Roques A., Auger-Rozenberg M.A., Blackburn T.M., Garnas J., Pyšek P., Rabitsch W., Richardson D.M., Wingfield M.J., Liebhold A.M., Duncan R.P.* Temporal and interspecific variation in rates of spread for insect species invading Europe during the last 200 years // Biological Invasions. 2016. V. 18 (4). P. 907–920.
27. *Soja A.J., Tchebakova N.M., French N.H.F., Flannigan M.D., Shugart H.H., Stocks B.J., Sukhinin A.I., Parfenova E.I., Chapin F.S., Stackhouse P.W.* Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations // Global and Planetary Change. 2007. V. 56. P. 274–296.
28. *Soldatov V.V, Golubev D.V., Ostroshinskaya E.M., Gninenko Y.I. Polygraphus proximus* in the Krasnoyarsk territory // Invasive dendrophilous organisms: challenges and protection operations. Pushkino: VNIILM, 2019. P. 104–109.
29. *Tatarintsev A.I., Aminev P.I., Mikhaylov P.V., Goroshko A.A.* Influence of forest conditions on the spread of scots pine blister rust and red ring rot in the Priangarye pine stands // Land. 2021. V. 10. N 6. P. 1–11.
30. *Thrower J., Webb J., Harrison D.* Field sampling for attributes related to the shelf life of mountain pine beetle-killed lodgepole pine in the sub-boreal spruce (SBS) biogeoclimatic zone // Natural Resources Canada. 2007. V. 3. P. 68.
31. *Wang X., Parisien M.A., Flannigan M.D., Parks S.A., Anderson K.R., Little J.M., Taylor S.W.* The potential and realized spread of wildfires across Canada // Global Change Biology. 2014. V. 20. P. 2518–2530.
32. *Westerling A.L., Hidalgo H.G., Cayan D.R., Swetnam T.W.* Warming and earlier spring increase western U.S. forest wildfire activity // Science. 2006. V. 313. P. 940–943.
33. *Williamson G.B., Laurance W.F., Oliveira A.A., Delamonica P., Gascon C., Lovejoy,T.E, Pohl L.* Amazonian tree mortality during the 1997 El Nino drought // Conservation Biology. 2000. V. 14. № 5. P. 1538–1542.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Биорефайнинг лесных ресурсов» проекта «Исследование закономерностей процессов биодеструкции древесины погибших древостоев для разработки научно-обоснованных подходов получения новых функциональных материалов» (номер темы FEFE-2024-0032).

УДК 630*2

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В ЗАЩИТНЫХ ЛЕСАХ И ИХ РЕГИОНАЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

В.И. ЖЕЛДАК

Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства, Пушкино (lesvig@yandex.ru)

Аннотация. Рассматриваются актуальные вопросы сохранения защитных лесов, поддержания их в состоянии, обеспечивающем постоянное эффективное выполнение целевых функций с учетом региональных природных и социально-эколого-экономических условий. Разработанные методические положения могут использоваться при постановке и осуществлении исследований в целях создания научно обоснованной нормативной базы дифференцированного применения систем лесоводственных мероприятий в защитных лесах, по лесным районам, а также субъектам РФ.

FOREST MANAGEMENT COMMON PRINCIPLES IN PROTECTIVE FORESTS AND ITS REGIONAL IMPLEMENTATION

V.I. GELDAK

All-Russian Scientific Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization, Pushkino (lesvig@yandex.ru)

Abstract. Reviewed are urgent points of protective forest conservation, its maintenance in condition providing its regular efficient target function implementation with regard to regional natural and social-environmental-economic conditions. The developed guidelines can be applied in design and implementation of studies for development of science-based background of differentiated silvicultiral operation applications in protective forests in forest districts as well as Russian Federation subjects.

Проблема сохранения, содержания (охраны, защиты, воспроизводства) защитных лесов возникла, по существу, с их появлением уже более чем столетие назад – с образованием первых заповедников, последующим выделением защитных лесов лесокультурной зоны в 30-х гг. XX в. и лесов первой группы (1943 г.), в которых были запрещены рубки главного пользования. Но несмотря на неоднократные попытки ученых начиная с М.Е. Ткаченко решить эту проблему непрерывным продолжением рубок ухода с обновлением насаждений и М.М. Орлова – применением системы в основном выборочных и при необходимости сплошных рубок, а также разработкой разных вариантов рубок в кедровых лесах Сибири и Дальнего Востока, оригинальных вариантов на Алтае и в других регионах страны и даже принятием в 80-х гг. XX в. специальной системы лесоводственных рубок ухода обновления насаждений, создание и применение эффективной системы ведения лесного хозяйства в этих лесах остается актуальной. Для достижения этой цели рассмотрены принципиальные положения существующей системы лесоводства для защитных лесов, направления ее совершенствования и реализации на региональном уровне.

1. Принципиальные положения существующей системы лесоводства для защитных лесов. Выделение в общей комплексной системе систем приоритетно-целевого лесоводства (КПЦСЛВ) особого комплекса обновительно-природоохранных лесоводственных систем (КПЦСЛВ.Обн) для защитных лесов базируется на ключевых принципах: формирования природно-целевой классификации лесов – объектов лесоводства – ПрдЦ ЛВО; разработки КПЦСЛВ.Обн с максимальным учетом закономерностей природных процессов динамики лесных насаждений при реализации конкретных целей ведения лесного хозяйства и лесопользования. При этом сохранение лесов всех категорий и особо защитных участков, за исключением тех, где не допускается любое вмешательство человека в природные процессы, обеспечивается не за счет строгих запретов и ограничений применения мероприятий содержания лесов и обеспечения лесопользования, в т. ч. сплошных рубок, заготовки древесины всех или отдельных пород (в частности, кедра), а путем разработки и использования КПЦСЛВ, позволяющих гарантированно поддерживать лесные экосистемы в целевом динамичном состоянии непрерывного эффективного выполнения приоритетных (согласно ЦНЛ) и других полезных функций. Разработка основной цепочки видов мероприятий осуществляется по стадиям цикла лесовоспроизводства в непротиворечивом соответствии естественным природным процессам, но не с копированием их вероятностного многовариантного проявления нередко в длительной деградации (разрушении) старых перестойных древостоев и постепенном восстановлении коренных лесных экосистем через множество промежуточных форм. Многие ограничения применения лесоводственных рубок в защитных лесах, в т. ч. в лесах орехово-промысловых зон, базируется на исторически закрепившемся подходе к их проведению исключительно в целях заготовки древесины соответственно и к рубкам ухода КПЦСЛВ.Обн, специально разработанных для сохранения защитных лесов в динамике.

2. Совершенствование комплекса систем лесоводственных мероприятий для содержания защитных лесов. Лесоводству наряду с задачами, закрепленными в целевом назначении лесов, в т. ч. не только по выделяемым законодательством видам ЦНЛ, но и по категориям защитных лесов, особо защитных участков лесов, необходимо решать множество других задач – как периодически

обновляющихся, так и связанных с относительно новыми экологическими проблемами и интенсификацией пользования лесом. В последние десятилетия резко обострилась глобальная проблема адаптации лесов и лесного комплекса к изменениям климата, повышения роли лесов в смягчении отрицательного влияния их на состояние окружающей природной среды [1, 3, 4]. Существенный вклад в решение этой проблемы может внести лесоводство путем совершенствования, адаптационного развития своих методов, приемов, мероприятий управляющего корректирующего воздействия на направленность динамики лесных экосистем, определяющего формирование их видов по породному составу, структуре наиболее устойчивых в новых меняющихся условиях, эффективно выполняющих приоритетные целевые функции, а также связывание и консервацию углерода. Это относится к адаптации всех имеющихся и разрабатываемых КПЦСЛВ, в т. ч. для защитных лесов без замены их базовой направленности, определяемой спецификой ЦНЛ [2]. Решение этой сложной задачи должно базироваться на результатах конкретных исследований, проведенных на региональных зонально-типологических объектах при возможном учете, проверке в опыте общих принципиальных положений систем лесоводственных мероприятий. Достижение целей увеличения вклада лесоводства в решение современных экологических проблем сохранения особо ценных лесных экосистем возможно не за счет расширения совокупной площади защитных лесов, а путем совершенствования ведения лесного хозяйства на основе использования приведенных принципов адаптационного подхода к созданию КПЦСЛВ для других видов ЦНЛ, выделенных Лесным кодексом, с безусловным исключением критерия выделения вида эксплуатационных лесов – замены принципа эксплуатации их на сбалансированное непрерывное неистощительное экологическое и ресурсное пользование лесом.

3. Региональная реализация основных принципов ведения лесного хозяйства в защитных лесах. Согласно исторически выработанным принципам лесоводства эффективность применения лесоводственных мероприятий обеспечивается соответствием их региональным зонально-лесотипологическим условиям с учетом специфики ЦНЛ, потребностей лесопользования, определяемых уровнем социально-экономического развития территорий. Законодательные основы нормативно-правового развития регламентирования разработки и применения лесоводственных мероприятий в соответствии с географическим разнообразием лесов, лесорастительными условиями согласно выделенным лесорастительным зонам и лесным районам заложены в Лесном кодексе (2006 г.). Системное решение проблемы может быть обеспечено на основе иерархически структурированного лесоводственного районирования территории страны, разработанного на базе лесохозяйственного для региональных систем лесохозяйственных мероприятий, обеспечивающего возможность формирования в развитии общей части правил их региональных частей по двенадцати лесоводственным областям, включающим более однородные территории (округа, районы), по которым можно конкретизировать методы и нормативы применяемых мероприятий. В соответствии с положением статьи 83 (п. 10) Лесного кодекса достижение цели возможно путем разработки методических документов, издаваемых уполномоченным федеральным органом исполнительной власти и обязательных для исполнения, в которых необходимо отразить детальные методические положения и нормативы, регламентирующие осуществление мероприятий по лесным (лесоводственным) районам, в т. ч. в границах субъектов РФ.

Заключение. В целях решения проблемы эффективного содержания защитных лесов на основе оценки существующей комплексной системы лесоводства определены направления ее совершенствования с учетом меняющихся глобальных природных и социально-эколого-экономических условий, выделены в рамках действующего лесного законодательства пути реализации общих лесоводственных положений ведения лесного хозяйства в защитных лесах на региональном уровне – разработки частей правил, методических документов по лесным районам, объединенным в лесоводственные округа и области, охватывающие территорию всей страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ваганов Е.А., Порфирьев Б.Н., Широв А.А., Колпаков А.Ю., Пыжев А.И.* Оценка вклада российских лесов в снижение рисков климатических изменений // Экономика региона. 2021. Т. 17. Вып. 4. С. 1096–1109.
2. Вопросы лесоводственного совершенствования системы сохранения и использования лесов в рамках решения проблемы адаптации лесов и лесного комплекса к изменениям климата / В.И. Желдак, Э.В. Дорощенкова, И.Ю. Прока и др. // Лесохозяйственная информация. 2023. № 2. С. 5-26. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.01.
3. Анализ комплекса адаптационных мер к ожидаемым изменениям климата в лесном секторе Российской Федерации / И.О. Торжков, Т.С. Королева, А.В. Константинов, Е.А. Кушнир // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. 2017. № 4. С. 64–77.
4. *Мартынюк А.А., Филипчук А.Н.* Изменения климата и леса: возможные последствия и план действий // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 1 (27). С. 276–279.

УДК 630*431

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ В НАРУШЕННЫХ ПОЛИГРАФОМ УССУРИЙСКИМ ТЕМНОХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

С.В. ЖИЛА, И.В. ФУРЯЕВ, Н.М. КОВАЛЕВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (getgain@mail.ru, furya_i@mail.ru, nk-75@mail.ru)

Аннотация. В работе проанализированы изменения запасов лесных горючих материалов в темнохвойных насаждениях с преобладанием пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) крупнотравно-зеленомошного типа леса, поврежденных полиграфом уссурийским (*Polygraphus proximus* Blandford). Проведена оценка запасов лесных горючих материалов (живого напочвенного покрова, упавших древесных горючих материалов, опада, подстилки). Установлено, что в темнохвойных насаждениях в зависимости от степени нарушенности увеличивается запас лесных горючих материалов (от 24.01 до 41.53 т/га). Увеличение запасов происходит в основном за счет упавших древесных горючих материалов (30.84 т/га).

ASSESSMENT OF STOCKS COMBUSTIBLE MATERIALS IN DARK CONIFEROUS PLANTATIONS DISTURBED BY POLYGRAPH USSURIYSKY IN THE KRASNOYARSK REGION

S.V. ZHILA, I.V. FURYAEV, N.M. KOVALEVA

V.N. Sukachev institute of forest SB RAS, Krasnoyarsk (getgain@mail.ru, furya_i@mail.ru, nk-75@mail.ru)

Abstract. Analysis of changes in the stocks of forest combustible materials in dark coniferous plantations with a predominance of Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.) of tall grass-green moss forest type, damaged by four-eyed fir bark beetle (*Polygraphus proximus* Blandford) was represented. An assessment of forest combustible materials stocks (living ground cover, fallen wood combustible materials and litter) was carried out. It was revealed that in dark coniferous plantations, depending on the degree of disturbance, the stocks of forest combustible materials increases (from 24.01 to 41.53 t/ha). The increase of the stocks is mainly due to fallen wood combustible materials (30.84 t/ha).

Проблема гибели темнохвойных лесов в результате инвазии полиграфа уссурийского (*Polygraphus proximus* Blandford) в России стала очень актуальной в последние 15-20 лет. По данным Красноярского филиала Рослесозащиты на 2018 г., поврежденные полиграфом уссурийским насаждения отмечены на площади 225.6 тыс. га [6], а к 2021 г. – уже на площади 571 тыс. га. Прогнозируется дальнейшее расширение вторичного ареала полиграфа, в том числе формирование новых очагов вредителя [4].

Под воздействием полиграфа уссурийского происходит деградация пихтовых лесов. Гибель древостоев ведет к изменению микроклиматических условий и, как следствие, к структурному изменению подроста, а также живого напочвенного покрова [2]. С учетом актуальности существующей проблемы целью данного исследования была оценка изменения запасов лесных горючих материалов в поврежденных пихтовых древостоях.

Объектом исследований являлись темнохвойные насаждения с преобладанием пихты сибирской крупнотравно-зеленомошного типа леса. Пробные площади были заложены в нарушенных полиграфом пихтовых насаждениях. Пробная площадь № 1 (ПП 1), которая характеризовалась 75–80%-м усыханием древостоя, и контроль к ней расположены в Мининском лесничестве (55º99′ с. ш. и 92º06′ в. д.). Пробная площадь № 3 (ПП 3), где усыхание пихты составило 45–50 %, и ее контроль расположены в Емельяновском лесничестве (56º13′ с. ш. и 91º59′ в. д.). По данным лесоустройства, повреждение пихты сибирской на ПП 1 началось в 2012–2013 гг., на ПП 3 – в 2020 году. Лесоводственно-таксационные показатели пробных площадей приведены в табл. 1.

Таблица 1. Лесоводственно-таксационные показатели древостоев на пробных площадях

№ ПП	Средние		Состав, возраст (лет)	Полнота	Бонитет	Густота древостоя, шт./га		Запас, м^3/га		Подрост, тыс. шт./га
	D, см	H, м				жив.	сух.	жив	сух.	
1	23.9	23.5	10 П (125), ед. Б	0.6	III	113	363	51	169	3.88
2	22.9	23.0	10 П (125), ед. Б	0.6	III	352	151	202	35	0.92
3	21.8	22.3	10 П (130), ед. Б, Е	0.6	III	181	322	69	153	5.55
4	26.3	24.9	10 П (130), ед. Б, Е	0.6	III	333	169	213	30	1.60

Контрольные насаждения одноярусные, с хорошо развитым подлеском из спиреи рябинолистной (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun) и рябины сибирской (*Sorbus sibirica* Hedl.). Средний возраст древостоев составляет 120–130 лет. Травяно-кустарничковый ярус представлен *Calamagrostis obtusata* Trin., *Aconitum septentrionale* Koelle., *Linnaea borealis* L.

Общее проективное покрытие мохового покрова составляет 30–40 %. Доминирует ритидиадельфус трехгранный (*Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst), содоминируют гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp.), плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.), птилиум гребенчатый (*Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not.).

Для изучения экологических последствий инвазии и процессов трансформации в нарушенных полиграфом уссурийским насаждениях была проведена оценка жизненного состояния поврежденных древостоев. Жизненное состояние деревьев на пробных площадях оценивали по методике В.А. Алексеева [1]. Отпад деревьев на пробных площадях с частичным и значительным повреждением полога был рассчитан по количеству свежего и старого сухостоя. Всего было обследовано 400 деревьев.

Образцы ЛГМ были собраны по методике Н.П. Курбатского [3]. В лабораторных условиях образцы сушили до абсолютно сухого состояния. Всего было отобрано 200 образцов живого напочвенного покрова, опада и подстилки.

Запас упавших древесных материалов (УДГМ) определяли методом пересеченных линий [5].

В ходе исследований установлено, что инвазия короеда полиграфа уссурийского (*P. proximus*) в исследуемых темнохвойных насаждениях привела к изреживанию древостоев. Сильная степень деградации пихтовых насаждений наблюдалась на ПП1. Значительная доля живых деревьев отнесена к категориям усыхающих и сильно ослабленных, данный показатель составил 45 % и 32 % соответственно от общего числа живых деревьев.

Запас УДГМ варьировал на ПП от 17 до 30 т/га в зависимости от степени нарушенности насаждения, что в 3–5 раз превышает данный показатель в ненарушенных насаждениях. Крупные древесные остатки, ветки и валеж, накапливаясь в больших количествах, создают захламленность, что в свою очередь увеличивает пожароопасность насаждений [3].

В результате исследований установлено, что наибольший запас лесных горючих материалов выявлен на пробной площади с 80%-м отпадом деревьев – 41.53 т/га, что в 3.7 раза превышает общий запас ЛГМ на контроле. На пробной площади с 50%-м отпадом деревьев данный показатель составляет более 24 т/га. Учитывая временной фактор и жизненное состояние древостоя на данном участке, можно спрогнозировать значительное увеличение общего запаса ЛГМ. В нарушенных полиграфом насаждениях накапливаются значительные запасы ЛГМ, которые в зависимости от степени нарушенности варьировали от 23 до 41 т/га, что превышает почти в 2-4 раза запасы в ненарушенных насаждениях. Таким образом, воздействие короеда не только приводит к усыханию пихтарников, но и способствует высокой вероятности возникновения в них катастрофических лесных пожаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев В.А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
2. *Керчев И.А.* Экология полиграфа уссурийского *Polygraphus Proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) в Западносибирском регионе инвазии // Российский журнал биологических инвазий. 2014. Т. 7. № 2. С. 80–95.
3. *Курбатский Н.П.* Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиД, 1970. С. 5–58.
4. Центром защиты леса Красноярского края спрогнозирована санитарная и лесопатологическая ситуация на первое полугодие 2022 года. [Электронный ресурс]. URL: https://krasnoyarsk.rcfh.ru/presscenter/novosti/tsentrom-zashchity-lesa-krasnoyarskogo-kraya-sprognozirovana-sanitarnaya-i-lesopatologicheskaya-situ/.
5. *McRae D.J., Alexander M.E., Stocks B.J.* Measurement of fuels and fire behavior on prescribed burns // A Handbook. Can. For. Serv. Great Lakes For. Res. Cent. Sault Ste. Marie. ON. Inf. Rep. 1979. V. 287. P. 44.
6. *Soldatov V.V, Golubev D.V., Ostroshinskaya E.M., Gninenko Yu.I.* Polygraphus proximus in the Krasnoyarsk territory // Invasive dendrophilous organisms: challenges and protection operations. Collective monograph / Yu.I. Gninenko. Pushkino: VNIILM, 2019. P. 104-109.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках госзадания ИЛ СО РАН КНЦ СО РАН № FWES -2021-0010, рег. НИОКТР № 121030900181-4.

УДК 630*43

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОЖАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДРЕВОСТОИ СИБИРИ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ ПО ДИСТАНЦИОННЫМ ДАННЫМ

А.Н. ЗАБРОДИН[2, 3], Е.И. ПОНОМАРЕВ[1, 2, 3]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (evg@ksc.krasn.ru)
[2] Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск (azabrodin@ksc.krasn.ru)
[3] Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация. В работе представлены результаты анализа пожаров в различных древостоях Сибири (50–75° с. ш., 60–150° в. д.) на основе спектральных индексов по данным дистанционного зондирования. Исследование выполнялось с использованием выборки послепожарных участков с привязкой к доминирующим вариантам растительных покровов Сибири: лиственничникам и редколесьям, насаждениям сосны, ели, сосны сибирской (кедра), а также тундровой растительности и кедровому стланику. На основе обработки дистанционных данных (пороговая классификация значений dNBR) выявлены статистические закономерности соотношения классов нарушенности для различных типов древостоя.

ASSESSMENT OF THE FIRE IMPACT ON SIBERIAN TREE STANDS BASED ON SPECTRAL INDICES FROM REMOTE SENSING

A.N. ZABRODIN[2, 3], E.I. PONOMAREV[1, 2, 3]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (evg@ksc.krasn.ru)
[2] Krasnoyarsk Science Center SB RAS, Krasnoyarsk (azabrodin@ksc.krasn.ru)
[3] Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Лесные пожары являются наиболее значимым природным фактором, определяющим состояние и сукцессионную динамику лесов Сибири [4]. В связи с вероятными климатическими изменениями влияние пожаров будет только усиливаться в ближайшей перспективе. В настоящие время регулярно получаемые дистанционные данные являются важнейшим инструментом сбора сведений о пожарах и проявлениях послепожарных процессов в лесах Сибири. Так, классификация послепожарных полигонов на снимках со спутников на основе спектрального нормализованного индекса NBR (Normalized Burn Ratio) и разностного нормализованного индекса гарей dNBR (The differenced of Normalized Burn Ratio) позволяет характеризовать степень нарушенности в зависимости от типа пожара и интенсивности горения [2].

При классификации степени повреждения древостоев при разных видах пожаров могут использоваться также измерения мощности теплоизлучения зон активного горения, фиксируемые дистанционными средствами [2, 6] и основанные на применении технологии Fire Radiative Power/Fire Radiative Energy (FRP/FRE) [5, 7]. Предварительные исследования подтверждают значимую связь между интенсивностью пожаров (в терминах FRP/FRE) и степенью нарушенности (в терминах dNBR), выявленную для пожаров во всех доминирующих вариантах растительности Сибири [1]. Кроме того, с помощью измерений FRP можно выполнять оценку интенсивности горения и, вероятно, ранжировать степень воздействия на компоненты растительного покрова на разных стадиях развития пожара.

В работе использовались спутниковые снимки Landsat–8/OLI/TIRS (Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor), полученные из открытых каталогов (https://earthexplorer.usgs.gov). Выборка составила 72 снимка для 7 типов растительности. Степень пожарного воздействия на растительные покровы оценивалась на основе анализа диапазонов значений спектрального индекса Normalized Burn Ratio (NBR/dNBR).

Используя диапазоны индекса dNBR, выполняли классификацию послепожарных участков по 4 категориям с категоризацией по степени нарушенности растительных покровов после пожара с привязкой к доминирующим древостоям Сибири. Сопряженно со степенью нарушенности рассматривали вариацию индекса радиационной мощности теплоизлучения пожаров FRP, исходя из предположения, что интенсивность горения пропорциональна [5, 7] количеству сгорающей биомассы, что также определяет степень послепожарной нарушенности растительности. Исходные материалы в формате векторных точечных покрытий (shape-файлы) были выбраны из открытого каталога базы данных FIRMS (Fire Information for Resource Management System, https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/). FRP зон активного горения регистрировались в режиме реального времени спутниковыми системами Aqua, Terra / MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

Получены данные пороговой классификации уровня пожарного воздействия в соответствии с диапазонами индекса dNBR. Показано, что при пожарах в светлохвойных насаждениях соотношение послепожарных площадей с заданной степенью нарушенности составляет в среднем 44 %, 29 % и 27 % для низкого, среднего и высокого уровня пожарного воздействия соответственно. На послепожарных участках в темнохвойных лесах – 63 %, 14 % и 23 %, а в случае тундровой растительности – 59 %, 26 % и 15 % соответственно.

Период развития пожаров в лиственничниках в рассмотренной выборке варьировал от 15 до 57 суток. Усреднение FRP посуточно для каждого дня регистрации активной зоны пожаров составило ~(10 ± 22) × 10^3 МВт. Выявлены максимальные значения теплоизлучения (FRP_{max}) для всех пожаров (12.7–263) × 10^3 МВт. Усреднения значений $FRP_{ср}$ в течение рассмотренного периода для каждого пожара варьировали в диапазоне до 31×10^3 МВт, а пределы интегрального $FRP_{инт}$ составили (21–1083) × 10^3 МВт.

Установлено, что интегральные значения $FRP_{инт}$ пожаров могут варьировать в широких пределах при средних значениях ~(350 ± 263) × 10^3 МВт в светлохвойных насаждениях, до (70.0 ± 26) × 10^3 МВт – в условиях тундровой растительности и в диапазоне до (19.0 ± 2.5) × 10^3 МВт – в темнохвойных насаждениях.

Присутствие высоких значений $FRP_{инт}$ прежде всего определяют значительные площади пожаров в лиственничниках Сибири. При этом состав и состояние запасов горючих материалов в разных древостоях также являются важными параметрами, влияющими на интенсивность пожара. Было установлено, что $FRP_{инт}$ в посуточном обобщении аппроксимируется линейной функцией с достоверностью не ниже $R^2 = 0.6$ ($p < 0.05$).

Зафиксирован значимый уровень корреляции (R^2 = 0.77–0.94, $p < 0.05$) между динамикой интенсивности FRP и категориями нарушенности растительности в терминах dNBR. Данный результат позволяет констатировать, что при соответствующем росте интенсивности горения следует прогнозировать увеличение количества сгорающей биомассы растительных материалов, что согласуется с закономерностями, описанными для многих вариантов растительного покрова [5, 7], включая леса Сибири [3]. Таким образом, показано, что характеристика FRP наряду с dNBR может быть дополнительным признаком категоризации степени пожарного воздействия на компоненты растительного покрова, который можно использовать в режиме, приближенном к реальному времени регистрации активных зон горения со спутника.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Забродин А.Н., Пономарев Е.И.* Оценка связи между степенью пожарного воздействия на растительность и мощностью теплоизлучения от пожара // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. 20. 5. С. 166–175. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-5-166-175.
2. *Лупян Е.А., Лозин Д.В., Балашов И.В., Барталев С.А. и др.* Исследование зависимости степени повреждений лесов пожарами от интенсивности горения по данным спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. 19. 3. С. 217–232. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-3-217-232.
3. *Пономарев Е.И., Швецов Е.Г., Усатая Ю.О.* Регистрация энергетических характеристик пожаров в лесах Сибири дистанционными средствами // Исследование Земли из космоса. 2017. 4. С. 3–11. DOI: 10.7868/S0205961417040017.
4. *Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г.* Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. 5. С. 50–61.
5. *Kumar S.S., Roy D.P., Boschetti L. et. al.* Exploiting the power law distribution properties of satellite fire radiative power retrievals: A method to estimate fire radiative energy and biomass burned from sparse satellite observations // J. Geophys. Res. 2011. 116 (D19): 1–18. DOI: 10.1029/2011JD015676.
6. *Ponomarev E., Zabrodin A., Ponomareva T.* Classification of fire damage to boreal forests of Siberia in 2021 based on the dNBR Index // Fire. 2022. 5 (1). 19. DOI: 10.3390/fire5010019.
7. *Wooster M.J., Zhukov B., Oertel D.* Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning. Derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products // Remote Sens. Environ. 2003. 86 (1): 83–107. DOI: 10.1016/S0034-4257(03)00070-1.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-14-20007, https://rscf.ru/project/23-14-20007/, Красноярского краевого фонда науки; разработка методики тематического анализа данных ДЗ выполнена в рамках государственных заданий № FWES-2024-0023 (ИЛ СО РАН) и FWES-2024-0027 (ФИЦ КНЦ СО РАН).

УДК 630.611

ПРОБЛЕМА ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

С.В. ЗАЛЕСОВ, И.В. БЕЗДЕНЕЖНЫХ, Н.П. БУНЬКОВА, А.Е. ОСИПЕНКО

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург (zalesovsv@m.usfeu.ru)

THE PROBLEM OF INTENSIFICATION OF FOREST MANAGEMENT AND WAYS TO SOLVE IT

S.V. ZALESOV, I.V. BEZDENEZHNYKH, N.P. BUNKOVA, A.E. OSIPENKO

Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg (zalesovsv@m.usfeu.ru)

Интенсификация лесопользования является велением времени. Собственники, планирующие и в будущем осуществлять глубокую переработку древесины, должны осознать, что уже в настоящее время основную ценность представляют не основные фонды, какими бы технически совершенными они ни были, а сырьевая база, обеспечивающая постоянство потребляемого сырья для переработки. Пора понять, что дополнительное расширение арендных участков резко ухудшает логистику транспортировки сырья. Кроме того, в большинстве субъектов РФ ресурс расширения арендных участков для заготовки древесины просто исчерпан. Не находящиеся в аренде участки представлены преимущественно низкотоварными, удаленными от центров переработки древостоями. Освоение данных участков, если только они имеются, потребует значительных финансовых затрат, связанных со строительством дорог.

Особо следует подчеркнуть низкую производительность древостоев на территории Уральского федерального округа. Так, средний прирост древесины по округу составляет 0.87 $м^3$/га. При этом указанный показатель составляет для лесов Челябинской области 2.6, Курганской – 2.5, Свердловской – 2.2, Тюменской – 1.22 $м^3$/га, а в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах – 0.6 и 0.3 $м^3$/га соответственно. Средний запас древостоев в УрФО составляет 72.5 $м^3$/га. В Курганской области указанный показатель равен 119.3, в Челябинской – 163.2, в Свердловской – 138.2, в Тюменской – 85.4 $м^3$/га. В Ханты-Мансийском автономном округе – Югре – 65.7, а в Ямало-Ненецком автономном округе – 36.5 $м^3$/га.

При игнорировании мероприятий, направленных на повышение продуктивности лесов, вполне логично ожидать истощения лесных ресурсов вблизи крупных лесоперерабатывающих предприятий. При этом переход к интенсивной модели ведения хозяйства, по мнению ученых, обеспечивает возрастание среднего объема заготовки древесины в течение цикла выращивания в условиях северной подзоны тайги до 3–4 $м^3$/га, средней и южной подзон – до 5–6 $м^3$/га [5]. Последнее достигается прежде всего за счет проведения лесоводственных мероприятий. Так, объем древесины, получаемой с единицы площади, увеличивается в 1.5 раза при систематическом проведении рубок ухода [3]. Кроме того, рубки ухода повышают устойчивость деревьев и товарную ценность выращиваемой древесины [1, 2]. Однако реализация рубок ухода и других лесоводственных мероприятий, включая ликвидацию внелесосечной захламленности, разработку ветровальников и пройденных лесными пожарами насаждений, невозможна из-за отсутствия сбыта низкотоварной древесины [8]. Необходимо создание предприятий-утилизаторов, которые могли бы производить востребованную как в нашей стране, так и за ее пределами продукцию. В частности, различные виды плит, аналогичных продукции холдинга «Кроношпан». Обязательным условием эффективной работы таких предприятий является ограниченный радиус подвоза сырья. По нашим расчетам, он не должен превышать 200 км.

Строительство указанных предприятий позволит не только обеспечить интенсификацию лесопользования и минимизировать горимость лесов, но и при выпуске плит обеспечит депонирование углерода, содержащегося в не востребованной в настоящее время древесине, поступающей в отпад.

Вторым не менее важным направлением интенсификации лесопользования является пересмотр подходов к выбору основных лесообразующих древесных пород и установлению возраста спелости. Так, непонятно установление возраста спелости на арендных участках крупных целлюлозно-бумажных комбинатов (ЦБК) по количественной спелости. В результате предприятия вынуждены выращивать еловые древостои до 81–101 года в зависимости от класса бонитета, а затем перетирать крупный пиловочник на целлюлозу.

На основании выполненных нами исследований на территории арендных участков ОАО «Соликамскбумпром» максимальный выход наиболее востребованных сортиментов-балансов зафиксирован в 55–60 лет. Снижение возраста спелости на один класс возраста при этом позволяет увеличить количество заготовляемой древесины с единицы площади в 1.3–1.5 раза. Кроме того, резко минимизируются риски потери устойчивости деревьев при шквальных ветрах, лесных пожарах и эпифитотиях вредных насекомых. Установлено [4, 7], что в Пермском крае такой опасный вредитель, как короед типограф (*Jps typograph*us. L.), не повреждает деревья тоньше 16 см на высоте 1.3 м. Следовательно, при выращивании балансов и своевременной уборке ветровальных и буреломных деревьев опасность формирования очагов данного вредителя будет минимальной.

Еще больший эффект будет обеспечен при установлении берез повислой (*Betula pendula* Roth.) и пушистой (*B. pubescens* Ehrh.) в качестве основных древесных пород в районах крупных ЦБК, перерабатывающих мягколиственные балансы. Последнее объясняется тем, что в настоящее время данные предприятия выращивают ель до 80–100 лет, а затем вынуждены реализовывать ее, закупая у других арендаторов мягколиственную древесину. Последнее противоречит логике и ухудшает экономические показатели предприятий.

Естественно, что при утверждении лиственных пород в качестве основных, а также установлении возраста технической спелости на наиболее востребованные сортименты речь идет о крупных предприятиях с объемом заготовки древесины более 500 тыс. м^3/год и размере арендного участка не менее лесничества.

Выводы

1. Состояние лесного фонда вызывает необходимость перехода с экстенсивной на интенсивную форму лесопользования.
2. Проблема интенсификации лесопользования может быть частично решена созданием системы предприятий-утилизаторов, использующих не востребованную в настоящее время древесину.
3. Необходимо предусмотреть переход к установлению возраста спелости и выбору основной лесообразующей породы на арендных участках крупных ЦБК.
4. Реализация указанных двух направлений позволит в 2 раза увеличить объем древесины, заготовляемой с единицы площади лесного фонда.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Данчева А.В., Залесов С.В.* Влияние рубок ухода на биологическую и пожарную устойчивость сосновых древостоев // Аграрный вестник Урала. 2016. № 3 (145). С. 56–61.
2. *Залесов С.В., Данчева А.В., Муканов Б.М., Эбель А.В., Эбель Е.И.* Роль рубок ухода в повышении пожароустойчивости сосняков Казахского мелкосопочника // Аграрный вестник Урала. 2013. № 6 (112). С. 64–67.
3. *Залесов С.В., Луганский Н.А.* Проходные рубки в сосняках Урала. Свердловск: Изд-во Урал. гос. ун-та, 1989. 128 с.
4. *Иванчина Л.А., Залесов С.В., Косенкова Е.И.* Влияние размера деревьев ели на их устойчивость в условиях Прикамья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1 (49). С. 147–153.
5. Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития: Сб. ст. / под общ. ред. Н. Шматкова. М., 2013. 214 с.
6. *Пирихалава-Карпова Н.Р., Карпов А.А., Козловский Е. Е., Грищенко М.Ю.* Защита еловых лесов от вспышек *Ips typographus* (обзор) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 4. С. 55–67. DOI: 10.37482|0536-1036-2021-4-55-67.
7. *Ivanchina L.A., Zalesov S.V.* The effect of spruce plantation density on resilienlce of mixed forests in the Perm region // Journal of Forest Science, 65. 2019 (7): 263–271. DOI: doi.org/10.17221/14/2019-JES.
8. *Vukovic N., Zalesov S., Vukovic D*. Bioenergy basrd on Woodchips as the development driver of non-urban forested areas – the case study of Ural region, Russia // Journal of Urban and regional Analysis. 2017. V. IX. 1. P. 73–85.

УДК 630.435

ПРОБЛЕМА ЛЕСНЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

С.В. ЗАЛЕСОВ, И.М. СЕКЕРИН, Л.Е. КУЗНЕЦОВ, Г.В. КУКСИН

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург (zalesovsv@m.usfeu.ru)

THE PROBLEM OF FOREST PEAT FIRES AND WAYS TO SOLVE IT

S.V. ZALESOV, I.M. SEKERIN, L.E. KUZNETSOV, G.V. KUKSIN

Ural State Forestry Engineering University, Yekaterinburg (zalesovsv@m.usfeu.ru)

Наблюдающиеся изменения климата обусловили необходимость пересмотра целого ряда устоявшихся лесоводственных положений. Так, в частности, возникла острая необходимость замены хвойных монокультур в лесостепных условиях на смешанные или мягколиственные с целью минимизации природной пожарной опасности выращиваемых насаждений.

Особенно актуальной становится проблема лесных торфяных пожаров. Если еще несколько лет назад последние возникали преимущественно в конце лета – начале осени от разведенных на торфяных почвах костров, то в настоящее время абсолютное большинство торфяных пожаров происходит в процессе развития низовых ландшафтных пожаров. При этом образуются многоочаговые торфяные пожары [1, 2], которые чрезвычайно сложно потушить.

Целью исследования являлось изучение динамики торфяных пожаров на территории лесного фонда Свердловской области, специфики их тушения, а также разработка предложений по минимизации ущерба от указанных пожаров.

Известно [3, 4], что торфяные пожары характеризуются специфическими особенностями. В отличие от низовых и верховых пожаров, горение при этих пожарах протекает внутри торфяной залежи и при недостатке кислорода, что обусловливает выброс в атмосферу большого количества продуктов неполного сгорания торфа, обладающих канцерогенными свойствами и представляющих реальную опасность для здоровья населения.

Основное количество тепла, выделяемого при тлении торфа, расходуется на нагрев его соседних слоев, что обусловливает возможность тления круглый год при влажности до 500 %. Неслучайно во многих зарубежных странах торфяные пожары носят название «зомби-пожары».

До недавнего времени доля торфяных пожаров в общем количестве лесных пожаров не превышала 1.5–2.0 %. Однако снижение количества осадков и связанное с этим падение уровня грунтовых вод привело к тому, что доля торфяных пожаров увеличилась до 9.81 % (табл. 1).

Таблица 1. Количество и площадь лесных (в том числе торфяных) пожаров на территории лесного фонда Свердловской области за период с 2012 по 2023 г.

Год	Количество пожаров			Пройденная огнем площадь		
	Общее, шт.	в том числе торфяных		Общая, га	в том числе торфяных	
		шт.	%		Га	%
2012	1093	3	0.27	2 199 116	0.82	0
2013	421	8	1.90	847 473	9.66	0.001
2014	480	4	0.83	966 720	20.7	0.002
2015	200	0	0	403 000	0	0
2016	607	9	1.48	1 223 712	6.51	0.001
2017	304	6	1.97	613 168	2.08	0
2018	378	5	1.32	762 804	33.16	0.004
2019	236	2	0.85	476 484	0.55	0
2020	423	7	1.65	854 460	154.72	0.018
2021	1185	79	6.67	2 394 885	582.99	0.024
2022	627	58	9.25	1 267 794	131.92	0.010
2023	1030	101	9.81	2 083 690	6387.97	0.307
Среднее	582.0	23.5	4.04	1 174 442	610.92	0.052

Увеличению количества торфяных лесных пожаров, помимо снижения уровня грунтовых вод, во многом способствовала большая площадь осушенных торфяников. Так, в Свердловской области указанная площадь превышает 80 тыс. га. При этом практически все предприятия, добывающие торф для удобрения полей и использования в качестве топлива, обанкротились и прекратили свое существование. Осушенные торфяники заросли травой и древесно-кустарниковой растительностью, при этом уровень осушения не регулируется, а противопожарные мероприятия на таких участках не проводятся. В конце апреля после высыхания прошлогодней травы на осушенных торфяниках возникают низовые пожары, которые

развиваются во многоочаговые торфяные. К сожалению, до настоящего времени как в нашей стране, так и за ее пределами нет эффективных средств ликвидации многоочаговых торфяных пожаров.

Многолетний опыт тушения торфяных пожаров позволил разработать эффективные способы их тушения. В частности, в летний период торфяные пожары наиболее эффективно тушить подтоплением очагов тления и поднятием уровня грунтовых вод. Указанный способ основан на использовании имеющейся воды в водоемах, находящихся выше очагов тления, или перебрасываемой из других водоемов с использованием насосных станций типа ПНС–110 и переносных мотопомп [5]. Высокая эффективность тушения торфяных пожаров подтоплением очагов тления и поднятием уровня грунтовых вод позволила включить данный способ в нормативные документы по тушению лесных пожаров.

Сложность и высокая трудоемкость тушения торфяных пожаров нередко приводит к тому, что они остаются непотушенными. Перезимовав под снегом, торфяные пожары нередко весной выходят на поверхность и развиваются в низовые пожары, создавая иллюзию самовозгорания.

За последние годы на Урале накоплен значительный опыт тушения торфяных пожаров в зимний период [6, 7, 8]. Суть способа заключается в том, что тлеющий торф извлекается на дневную поверхность бульдозером или экскаватором и размещается на поверхности слоем 20–25 см с перемешиванием тлеющего и нетлеющего торфа и снега. Желательно уплотнение слоя торфа для ускорения его остывания. В результате наблюдается снижение температуры торфа до 40 °С, при которой его тление прекращается.

Оптимальным временем для тушения торфяного пожара перемешиванием торфа является конец февраля – март, когда часть очагов потухла самостоятельно, а сохранившиеся имеют минимальную площадь. Десятки потушенных по данной технологии торфяных пожаров свидетельствуют, что за 1-2 дня можно ликвидировать пожары, которые не могли потушить с апреля по ноябрь. При этом затраты на тушение снижаются в десятки раз.

Выводы

1. Изменение климата привело к сокращению осадков и, как следствие этого, к снижению уровня грунтовых вод и увеличению количества многоочаговых торфяных пожаров.
2. Наиболее эффективным способом тушения торфяных пожаров в летний период является подтопление очагов тления и поднятие уровня грунтовых вод.
3. Все торфяные пожары, ушедшие непотушенными в зиму, должны быть потушены в конце февраля – апреле путем перемешивания тлеющего торфа с нетлеющим и снижением температуры до 40 °С.
4. Все осушенные торфяники должны быть известны, и в случае отсутствия планов по разработке торфа необходимо вернуть их в исходное состояние, то есть перекрыть осушительную сеть.
5. Учитывая важную роль торфяных пожаров для экологии и здоровья населения, необходимо в зимний период предусмотреть выделение средств на обнаружение зимующих пожаров и их ликвидацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Залесов С.В., Залесова Е.С.* Лесная пирология. Термины, понятия, определения: удобный справочник. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 54 с.
2. Анализ горимости лесов на территории Уральского федерального округа / Л.Е. Кузнецов, С.В. Залесов, А.А. Кректунов, И.М. Секерин, Г.В. Куксин // Междунар. научно-исследовательский журнал. 2023. № 11 (137). С. 1–8. DOI: 10.23670/IRJ.2023.137.43.
3. *Залесов С.В., Миронов М.П.* Обнаружение и тушение лесных пожаров. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2004. 138 с.
4. *Куксин Г.В., Секерин И.М., Залесов С.В.* Особенности развития очагов торфяных пожаров в зимний период // Междунар. научно-исследовательский журнал. 2024. № 3. DOI: 10.23670/IRJ. 2024.141.43
5. *Секерин И.М., Залесов С.В., Кректунов А.А.* Опыт тушения торфяных пожаров подтоплением // Сиб. лесной журн. 2023. № 6. С. 119–127. DOI: 10.15372/SJFS 2023 0612.
6. *Секерин И.М., Ерицов А.М., Кректунов А.А., Залесов С.В*. Опыт тушения торфяных пожаров на Среднем Урале // Междунар. научно-исследовательский журнал. 2022. № 5 (199). Ч. 2. С. 81–85. DOI: https://doi.org./10.23670/IRL. 2022. 119.5.014.
7. *Секерин И.М., Ерицов А.М., Кректунов А.А., Залесов С.В*. Эффективный способ тушения торфяных пожаров в зимний период // Изв. Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. Вып. 245. С. 23–35. DOI: 10.21266/2079-4304.2023. 245. 23–35.
8. *Секерин И.М., Годовалов Г.А., Ерицов А.М., Залесов С.В.* Специфика распространения и тушения торфяных пожаров в зимний период // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26. № 5. С. 64–70. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-64-70.

УДК 630*411:630*174.7:630*423

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ЗАЩИТЫ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ОТ КОРНЕВЫХ ГНИЛЕЙ

В.Б. ЗВЯГИНЦЕВ[1], С.А. ЖДАНОВИЧ[2]

[1] Белорусский государственный технологический университет, Минск (mycolog@tut.by)
[2] Учреждение «Беллесозащита», Минск (zhsa82@mail.ru)

Аннотация. В докладе рассматриваются вопросы обоснованности применения и эффективности биометода в системах мероприятий по повышению устойчивости, продуктивности и защиты хвойных лесов бореальной зоны от корневых гнилей. На примере опытного и производственного использования биопрепарата «Флебиопин» показана его высокая эффективность в сосновых древостоях и недостаточная в ельниках Беларуси. Сделан вывод о необходимости разработки специального средства для профилактики корневых гнилей в еловых насаждениях.

EFFECTIVENESS AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF BIOLOGICAL METHOD FOR PROTECTING CONIFEROUS FORESTS FROM ROOT ROT

V.B. ZVIAGINTSEV[1], S.A. ZHDANOVICH[2]

[1] Belarusian State Technological University, Minsk (mycolog@tut.by)
[2] Institution "Bellesozaschita", Minsk (zhsa82@mail.ru)

Abstract. The report examines the validity of the use and effectiveness of the biological method in systems of measures to increase the sustainability, productivity and protection of coniferous forests of the boreal zone from root rot. Using the example of experimental and production use of the biological product Phlebiopin, high efficiency in pine forests and insufficient efficiency in spruce forests of Belarus is shown. It was concluded that it is necessary to develop a special means for the prevention of root rot in spruce plantations.

В зоне бореальных лесов доминирующей патологией хвойных пород являются корневые и комлевые гнили, вызываемые многими базидиальными дереворазрушающими грибами, такими как еловая и сосновая корневые губки (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. и *H. parviporum* Niemelä & Korhonen), опенок северный и темный (*Armillaria borealis* Marxm. & Korhonen, *A. ostoyae* (Romagn.) Herink), комлевой еловый трутовик (*Onnia triquetra* (Pers.) Imazeki), смолистый трутовик (*Ischnoderma benzoinum* (Wahlenb.) P. Karst.), северный трутовик (*Climacocystis borealis* (Fr.) Kotl. & Pouzar) и другими [5]. При этом наибольшую распространенность и вредоносность имеет корневая губка, активизацию развития которой связывают с интенсификацией лесохозяйственной деятельности [3]. В странах Скандинавии подсчитано, что корневая губка является причиной безвозвратной потери из-за гниения более 2 млн м^3 в год только в еловых древостоях [6]. В условиях Беларуси считалось, что доминирует сосновая корневая губка, очаги которой распространены на площади не менее 120 тыс. га, а вызываемый болезнью ущерб оценивается в $175 млн [1]. Однако специалистами лесопатологической партии РУП «Белгослес» при проведении экспедиционных лесопатологических обследований выявлено, что зараженность ельников в различных лесхозах страны достигает 28.1–44.5 %. Кроме прямых потерь качества и выхода деловых лесоматериалов, корневые гнили способствуют повышению интенсивности ветровальных явлений и развитию очагов стволовых вредителей леса из-за хронического физиологического ослабления пораженных деревьев.

С целью ограничения вредоносности корневых гнилей в лесах рекомендуется система профилактических и санитарно-оздоровительных мероприятий, важным и необходимым звеном которой является использование биометода. Известно, что открытые поверхности свежесрубленных пней у хвойных являются воротами для проникновения инфекции в корневые системы. По контактам корней гниль передается соседним здоровым деревьям. Каждая рубка дает значительное количество доступного для колонизации субстрата в виде древесины пней и корней, совокупный объем которых составляет 20–30 % объема заготавливаемой лесопродукции. Этот субстрат, систематически появляющийся в насаждении при каждой рубке ухода или санрубке, идеально подходит для развития и накопления биомассы возбудителей гнилей. Следовательно, при проведении рубок в условиях, где болезнь способна наносить существенный ущерб лесному хозяйству, необходимы меры предотвращения первичного заражения древостоев и распространения инфекции. Биологические препараты на основе грибов-антагонистов корневой губки при внесении на поверхности свежесрубленных пней препятствуют развитию корневых патогенов, ограничивают доступность пищевых субстратов, снижают инфицированность, что в совокупности приводит к поддержанию высокой устойчивости и продуктивности насаждений, уменьшает потерю деловых качеств выращиваемой древесины. В странах Западной Европы для контроля патологии в процессе проведения рубок широко используются биологические препараты, преимущественно Rotstop (Финляндия), PGSuspension (Великобритания).

В Беларуси с 2019 г. производится и применяется в лесном хозяйстве отечественный биопрепарат «Флебиопин», который разработан для защиты от корневой губки сосновых насаждений. Препарат создан

на основе глубинной культуры штамма БИМ-752 гриба *Phlebiopsis gigantea* (Fries) Jülich, показавшего выдающиеся свойства по биодеструкции сосновой древесины и антагонизму по отношению к *H. annosum*. Опытные работы и результаты внедрения в производство показывают высокую эффективность биологического метода, которая проявляется на протяжении не менее 5 лет после внесения средства защиты. Например, при проведении выборочной санитарной рубки в очагах корневой губки биообработка позволяет снизить интенсивность развития патологического процесса и отпада деревьев более чем в 2 раза [2]. В то же время в еловых древостоях работоспособность «Флебиопина» существенно ниже, что требует пересмотра его состава и, возможно, регламента применения для защиты ельников [4].

Таким образом, актуальным вопросом является подбор эффективных местных штаммов дереворазрушающих грибов-антагонистов корневой губки ели, разработка технологии производства биопрепарата на их основе и подбор результативных способов его применения в комплексе лесоводственных и лесозащитных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Волченкова Г.А., Звягинцев В.Б., Дашкевич Е.А.* Лесное хозяйство: тезисы 78-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 3–13 февраля 2014 г. [Электронный ресурс]. Минск: БГТУ, 2014 г. С. 68.
2. *Звягинцев В.Б., Волченкова Г.А., Савицкий А.В.* Эффективность защиты сосновых насаждений от корневой губки с применением препарата «Флебиопин» на основе ксилотрофного гриба *Phlebiopsis gigantea* // Микология и альгология России. XX–XXI в.: смена парадигм: Матер. Всеросс. конф. с междунар. уч. М.: Изд-во «Перо», 2018. С. 159–160.
3. *Павлов И.Н. и др.* Закономерности образования очагов *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s. str. в географических культурах сосны обыкновенной (Минусинская котловина) //Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25. № 1–2. С. 28–37.
4. Первый опыт применения биологического препарата «Флебиопин» в еловых насаждениях / В.Б. Звягинцев, А.В. Савицкий, В.А. Тапчевская и др. // Лесное хозяйство. Матер. докладов 85-й НТК. Минск, 2021. С. 122–124.
5. *Стороженко В.Г.* Гнилевые фауты коренных лесов Русской равнины. 2002. 156 с.
6. *Bendz-Hellgren M., Lipponen K., Solheim H., Thomsen I.M. Heterobasidion annosum*: Biology, Ecology, Impact and Control. 1998. 589 p.

УДК 630*8

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

А.А. ЗЛОБИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (anzlobin999999@mail.ru)

Аннотация. В кризисный период наиболее актуален вопрос эффективного использования лесных ресурсов и роста производительности предприятий лесного комплекса. В современных социально-экономических условиях лесной сектор России подвержен структурной трансформации. Актуализируются вопросы многоцелевого лесопользования. Предприятия лесного комплекса находятся в поиске новых источников роста и путей снижения издержек. В данной работе проводится оценка эффективности использования лесных ресурсов на примере Красноярского края.

EFFICIENCY OF USE OF FOREST RESOURCES OF KRASNOYARSK TERRITORY IN THE CONTEXT OF GLOBAL CHANGE

A.A. ZLOBIN

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (anzlobin999999@mail.ru)

Abstract. The most pressing issue during the crisis period was the efficient use of forest resources and the growth of the productivity of forest enterprises. In today's socio-economic conditions, the Russian forest sector is undergoing a structural transformation. Issues of multi-purpose forest management are being updated. Forest enterprises looks for new sources of growth and ways of reducing costs. In this research, an assessment of the efficiency of the use of forest resources on the example of the Krasnoyarsk region.

Лесной сектор, в том числе и лесное хозяйство, представляет собой важную сферу экономики страны. Ключевым компонентом его эффективности является объем и доступность необходимых ресурсов. Последние кризисные периоды в мировой экономике оказали значительное влияние на лесной сектор России, парадигма развития которого ориентирована на древесное сырье как на основной ресурс леса. Исходя из этого деятельность предприятий лесного комплекса была направлена на реализацию продукции переработки древесины преимущественно на внешнем рынке. Современные социально-экономические условия не позволяют лесному сектору России сохранять свою прежнюю модель развития. Древесные ресурсы действительно занимают главенствующую роль среди всех полезностей леса, а экспортная выручка в условиях высокого спроса останется для предприятий более предпочтительной. Тем не менее игнорирование возможностей многоцелевого лесопользования, а также потенциала развития внутреннего рынка наносит очевидный вред лесному сектору страны.

Рассмотрим эффективность использования лесных ресурсов в рамках лесопромышленного комплекса (далее ЛПК). Основным сырьем для производства продукции ЛПК Красноярского края являются хвойные породы: лиственница, сосна, ель, пихта. Общий запас хвойных насаждений по Красноярскому краю оценивается специалистами в 9534.77 млн м^3 [5]. Действующая ежегодная расчетная лесосека также значительна, однако в научной среде существует мнение о том, что экономически доступная ее часть составляет не более трети от официально действующей [6]. В рамках исследуемой темы актуален вопрос о динамике и фактическом объеме использования расчетной лесосеки предприятиями, а также об экономических результатах их деятельности. Рассмотрим основные показатели, характеризующие деятельность предприятий Красноярского края по виду экономической деятельности «Лесозаготовки».

Таблица 1. Основные показатели деятельности предприятий ЛПК Красноярского края

Показатель	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год	2022 год
Расчетная лесосека, млн м^3	103.2	119.8	117.6	106.3	97.8
Производство лесоматериалов необработанных, тыс. плотных м^3	15 774.6	15 040.1	12 482.8	13 818.2	12 317.2
Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток), млн руб.	-1 524.7	-21.7	241.9	732.1	596.0

Исходя из данных Красноярскстата [2], 2018 и 2019 годы для лесозаготовительных организаций Красноярского края были финансово неудачными, а за счет доходов в следующие три года без учета инфляции предприятия смогли только компенсировать эти убытки. Объем рубок за этот же период

снизился на 21.9 %. Эти два показателя косвенно свидетельствуют о низкой интенсивности работы лесозаготовительных предприятий и о низких показателях оборачиваемости запасов. Хотя непосредственно перерабатывающие предприятия ЛПК демонстрировали большую рентабельность, приведенные данные показывают, что лесной сектор Красноярского края имел ряд проблем, ограничивающих его потенциал.

В то же время действующая с 2022 г. санкционная политика первоначально повлияла на лесной сектор Сибирского федерального округа в меньшей степени, чем на лесной сектор других регионов, ориентированных на западные рынки. Предприятиями края был принят ряд мер по адаптации к новым условиям, и за прошедшие несколько лет уже можно говорить, что ряд решений были успешными. Например, предприятия Красноярского края активно развивают направление биотопливного производства, реализуются программы перехода котельных региона на пеллеты [3, 4].

Развитие биоэнергетики в крае может выступать в качестве компоненты программы перехода к многоцелевому лесопользованию. Леса региона характеризуются значительными площадями насаждений ценных хвойных пород деревьев, имеющих сравнительно низкую продуктивность. При осуществлении лесозаготовительных работ потери древесины на корню (мы показывали, что лесозаготовители зачастую получают убыток) могут быть крайне велики [5]. Задействование отходов производства в дальнейшем цикле глубокой переработки позволяет повысить эффективность лесного комплекса и снизить захламление вырубок.

Важно отметить, что вопросы использования ключевого ресурса леса – древесного сырья – касаются преимущественно ЛПК края, но важную роль играют и другие компоненты лесного сектора. Здесь укажем, что площадь эксплуатационных лесов Красноярского края на 01.01.2023 составляет 59 916.115 тыс. га, или 37 % всей площади лесов. Примерно столько же, 54 643.082 тыс. га, или 34 %, занимают защитные леса [1]. Защитные леса с их полезными функциями можно отнести к экологической группе лесных ресурсов. На территории защитных лесов действуют различные режимы лесопользования, и в зависимости от категории защитного леса он предоставляет разные экосистемные услуги. Леса на территории заповедников (на особо охраняемых природных территориях) осуществляют экологические функции сохранения биологического разнообразия, а также часто могут выполнять рекреационную и эстетическую функции. Похожую роль играют городские леса.

В этом ключе важно отметить, что действующая стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. практически полностью посвящена сектору ЛПК. Например, в стратегии указано, что рекреационная деятельность должна являться ключевой в регионах с высокой плотностью населения; кроме того, 77 % лесных участков, переданных в бессрочное пользование, предназначены для осуществления рекреационной деятельности. Однако ни целей, ни путей достижения каких-либо показателей в области использования рекреационных функций лесов в стратегии не указано. То есть не совсем ясно, какие планы имеются по развитию этих весьма значительных площадей.

Существует устойчивое представление о том, что Россия, являясь крупнейшей лесной державой, никогда не будет испытывать недостатка в лесных ресурсах. Однако в научной среде неоднократно демонстрировалось, что в действительности ежегодная расчетная лесосека значительно завышена и не учитывает экономическую доступность многих лесных территорий. Кроме того, в условиях рыночной экономики доступ к значительным ресурсам – это только одно из конкурентных преимуществ, не снимающих с бизнеса необходимости работать эффективнее конкурентов. Лесной сектор Красноярского края в последние несколько лет находится в кризисе и осуществляет различные адаптационные мероприятия. Значительные успехи уже были достигнуты, однако данные последних лет демонстрируют как нехватку лесных ресурсов, так и низкую эффективность их использования. При этом государственная политика сохраняет свою ориентированность на лесопромышленный комплекс и слабо стимулирует переход к многоцелевому лесопользованию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2022 году». Красноярск, 2023.
2. Красноярский край в цифрах. 2022: Стат. сб. / Красноярскстат. Красноярск, 2023. 184 с.
3. Красноярский край и группа компаний «Сегежа» будут сотрудничать в сфере биоэнергетики / Официальный портал Красноярского края. URL: http://www.krskstate.ru/ (дата обращения: 22.04.2024).
4. *Медведев С.О., Саханов В.В., Фитчин А.А.* Эффективность предприятий лесной промышленности Красноярского края // Креативная экономика. 2023. Т. 17. № 1. С. 183–204.
5. Оценка лесов Сибири в условиях глобальных изменений / В.А. Соколов, С.К. Фарбер, Д.Г. Щепащенко и др. СПб.Наукоемкие технологии, 2023. 326 с.
6. *Соколов В.А.* Лесные ресурсы Красноярского края: перспективы и ограничения использования / В.А. Соколов, О.П. Втюрина, Н.В. Соколова // Сиб. лесной журн. 2021. № 4. С. 24–33.

УДК

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ ПОЖАРООПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

А.М. ЗУБАРЕВА, В.А. ГЛАГОЛЕВ

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан (anna-doroshenko@yandx.ru)

Аннотация. В работе оценено влияние антропогенного воздействия на пожароопасность территории. Оценка проводилась по следующим показателям: количество пожаров по дням недели, удаленность возгораний от населенных пунктов, дорог, плотность населения и населенных пунктов.

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC FIRE HAZARD IN THE TERRITORY OF THE FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT

A.M. ZUBAREVA, V.A. GLAGOLEV

Institute for Comprehensive Analysis of regional Problems, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Birobidzhan (anna-doroshenko@yandx.ru)

Abstract. The work evaluates the influence of anthropogenic impact on the fire hazard of the territory. The assessment was carried out based on the following indicators: the number of fires by day of the week, the distance of fires from populated areas, roads, population density and settlements.

В современном мире человек стал мощным фактором воздействия на природу. Антропогенным влиянием, максимально распространенным по площади и вносящим наиболее глубокие изменения в растительный комплекс на территории Дальнего Востока в целом и в Еврейской автономной области (ЕАО) в частности, являются пожары растительности [3]. Они наносят значительный экологический [1, 4] и экономический ущерб [5], а также существенно ухудшают здоровье населения [2], поэтому изучение данной проблемы имеет первостепенное значение и привлекает всеобщее внимание, особенно в местах, где отмечается значительная горимость.

В настоящее время структура и облик лесов ДФО определяются лесными пожарами. В основном преобладает пирогенный тип трансформации, который всегда связан со снижением биоразнообразия. Лесной фонд Дальневосточного федерального округа (ДФО) отличается высокой пожарной опасностью и горимостью, что обусловлено как природными особенностями региона, так и антропогенным влиянием, поскольку большая часть пожаров имеет антропогенные причины возникновения. Поэтому изучение современной горимости и антропогенного воздействия на пожароопасность территории требует повышенного внимания, проработки и учета региональных особенностей.

Так как исследуемые субъекты федерации имеют разную площадь, они были унифицированы и переведены на 100 тыс. га. Это позволяет сравнивать региональное распределение пожаров и выгоревших площадей. Сравнив территории, мы увидели, что Еврейская автономная область (ЕАО) занимает лидирующие позиции в Дальневосточном федеральном округе (ДФО) по относительному количеству возгораний и прогоревшей площади на 100 тыс. га.

Около 90 % возгораний происходят по причине воздействия антропогенного фактора. Оценка пожарной опасности региона является составной частью организации и реализации мероприятий по оперативному обнаружению и тушению очагов возгорания. Дополнительные показатели этой оценки – не только численность и плотность населения и дорог, но и распределение возгораний по дням недели и удаленность возгораний от населенных пунктов – конкретизируют антропогенные источники возгораний, которые в настоящее время являются основными причинами пожаров и вносят вклад в общую пожарную опасность, возрастающую по мере освоения территорий.

Исходя из этого целью нашего исследования является оценка пространственного распределения антропогенной пожароопасности растительности на территории регионов Дальнего Востока России в зависимости от размещения населения и дорожной сети.

Основой для расчетов и демонстрации карт послужили:

- база данных с официального сайта NASA (2007–2016 гг.) [6],
- данные федеральной службы государственной статистики [7, 8],
- веб-картографический сервис открытых данных [9].

Оценка динамики появления пожаров растительности на исследуемой территории в течение недели показывает их равномерное распределение в течение этого периода, однако в Чукотском АО и Магаданской области выделяются своей динамикой понедельник, вторник, воскресенье. Наблюдается резкое увеличение числа пожаров в воскресенье и понедельник: на 15–20 %.

Анализируя распределение пожаров в зависимости от положения населенных пунктов на территории Дальнего Востока, в ГИС мы рассчитали расстояние от пожара до ближайшего населенного пункта. Кратчайшее расстояние до возгорания определяло принадлежность населенного пункта. Видно,

что в основном пожары группируются в окрестностях населенных пунктов с численностью от 200–1000 человек, в Бурятии это 1000–5000 человек. И мы можем отметить, что в субъектах, где отсутствуют сельскохозяйственные районы, пожары возле населенных пунктов группируются незначительно.

Наибольшее количество пожаров во всех субъектах федерации ДВ происходит на расстоянии до 9 км от населенного пункта, в Бурятии этот показатель сдвигается до 15 км, а в Республике Саха (Якутия) утверждение, что пожары привязаны к населенным пунктам, неправомерно: распределение проходит весьма равномерно. Данный факт является региональной особенностью, на которую следует обращать внимание, работая с населением в противопожарном направлении.

На юге Дальневосточного региона радиусы антропогенного воздействия в основном можно объединить в зоны, так как плотность населенных пунктов велика.

При изучении влияния дорожной сети на количество и пространственное распространение возгораний отмечается, что максимальное скопление пожаров наблюдается при удаленности около 5 км от дороги, и наибольшее количество возгораний происходит вдоль дорог в Амурской области и Приморском крае.

Таким образом, при изучении антропогенной пожарной опасности в субъектах с наибольшим количеством пожаров можно заключить, что внутри ДФО имеются региональные особенности влияния антропогенного фактора на пожароопасность. В Амурской области и Приморском крае отмечается наибольшая приуроченность возгораний к дорогам и населенным пунктам, что следует учитывать при планировании стратегии управления пожарами и оптимизации организации противопожарной службы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заключение общественной комиссии по расследованию причин и последствий природных пожаров в России в 2010 г. СПб.–М., 2010. С. 42.
2. *Рябкова В.А*. Воздействие лесных пожаров на здоровье населения Хабаровского края // Матер. I Междунар. конф. по лесным пожарам в Северо-Восточной Азии. Хабаровск, 28–30 сентября 2006 г. [сб. докл.]. Хабаровск, 2006. С. 125–134.
3. Управление пожарами в биологически особо ценных лесах Амуро-Сихоте-Алиньского экорегиона: Научно-техническое обоснование проекта / под ред. А.С. Шейнгауз. Хабаровск: Типография «ЖАСО-Амур», 2004. 130 с.
4. *Фуряев В.В*. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.
5. *Фуряев В.В*., *Киреев Д.М.* Изучение послепожарной динамики лесов на ландшафтной основе. Новосибирск: Наука, 1979. 160 с.
6. [Электронный ресурс]. URL:http://www.globalfiredata.org/fireatlas.html.
7. [Электронный ресурс]. URL:http://www.gks.ru.
8. [Электронный ресурс]. URL:http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statisti.
9. [Электронный ресурс]. URL:https://openstreetmap.org.

УДК 630*181.43:630*182.2:633.877.2:630x43:630x182.47

ПИРОГЕННЫЕ СУКЦЕССИИ В ФОРМАЦИИ *LARIX GMELINII* (RUPR.) RUPR. (ОСНОВНЫЕ СЦЕНАРИИ, РАЗНООБРАЗИЕ ВИДОВ И ПОСЛЕПОЖАРНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ)

О.А. ЗЫРЯНОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (zyryanova-oa@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Рассмотрены некоторые особенности трансформации видового состава и структуры лиственничных экосистем после воздействия низовых пожаров разной интенсивности в различных частях ареала лиственницы Гмелина, охарактеризованы стадии пирогенной восстановительной сукцессии.

PYROGENIC SUCCESSIONS IN *LARIX GMELINII* (RUPR.) RUPR. FORMATION (THE MAIN TRENDS, SPECIES DIVERSITY AND ITS POSTFIRE TRANSFORMATION)

O.A. ZYRYANOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (zyryanova-oa@ksc.krasn.ru)

Abstract. Some features in species composition changes and in structure of larch ecosystems after different intensity ground fires are considered for various parts of *Larix gmelinii* area. The main stages of postfire progressive succession are described.

Лиственница Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. – одна из самых распространенных древесных пород Северной Евразии с площадью ареала около 1.9 млн км^2 [1]. Насаждения с преобладанием этого вида занимают 35 % площади всех лиственничных лесов России. Его ареал простирается от равнинной лесотундры на севере Средней Сибири до широколиственно-хвойнотаежных лесов в континентальной части Дальнего Востока, захватывая северо-восток Китая. Такой характер распространения позволяет позиционировать лиственницу Гмелина как гипоаркто-бореальный вид.

Большая часть ареала вида находится в пределах области сплошной криолитозоны, захватывая на юге и юго-востоке районы прерывистой и островной многолетней мерзлоты. Благодаря холодостойкости и нетребовательности к почвенно-грунтовым условиям лиственница Гмелина формирует разнообразные растительные ассоциации, в которых ее кодоминантами могут быть ели сибирская и аянская, сосны лесная и сибирская кедровая, березы повислая и плосколистная.

Пожары в лиственничных лесах являются ведущим экологическим фактором, циклически воздействующим на растительность и влияющим на характер восстановительных сукцессий в зависимости от интенсивности воздействия и условий микротопографии. Пирогенные сукцессии в различных частях ареала *Larix gmelinii* могут протекать по различным сценариям [8]. Механизмы перестроек растительности в ходе сукцессий в формации лиственницы Гмелина изучены крайне слабо, и их исследование является актуальной задачей вследствие важной роли, которую лиственничные леса криолитозоны Сибири играют в регуляции глобальных биосферных процессов [5 и др.].

Высокоинтенсивные низовые пожары в лиственничных лесах Эвенкии (центральная часть ареала) повторяются с интервалами 40–100 и более лет. Трансформация видового состава ассоциаций на гарях сопровождается значительным уменьшением числа видов в первые годы восстановительных сукцессий (в 1.4 раза через 2 года) и последующим увеличением этого показателя по сравнению с исходным сообществом (в 1.2 раза через 9 лет после пожара). Процесс появления новых видов на гари преобладает в течение первых 9 лет, снижаясь в последующие годы. Восстановление исходного видового состава – долговременный процесс, охватывающий 9 сукцессионных стадий (около 90 лет) (табл. 1). Через 21 год после пожара восстанавливается 48 %, а через 50 лет – 71 % видов допожарной ассоциации.

В ходе пирогенной демутации развиваются группы инициальных, серийных и климаксовых ценопопуляций. Механизмы их появления, особенности роста и развития специфичны для каждой группы, а динамика численности на гарях имеет выраженный затухающий волнообразный характер. Представители родов *Calamagrostis*, *Carex*, *Chamaerion* и специализированные послепожарные виды мхов (*Marchantia polymorpha, Ceratodon purpureus*) являются общими для сибирских и североамериканских гарей [6]. Это обстоятельство позволяет говорить о сходстве восстановления лесной растительности после пожаров в пределах циркумбореальной зоны.

Сохранившиеся на гари живые деревья лиственницы допожарной генерации играют важную роль в возобновлении вида-эдификатора послепожарного сообщества. Благодаря своему фитогенному полю эти лиственницы формируют микрогруппировки подроста, определяя их хорологию на гари [4]. Развивающиеся вокруг жизнеспособных деревьев зеленомошные микрогруппировки, в которых ведущая роль принадлежит видам растений допожарного сообщества, являются «островками» восстановления после пожара исходной растительности нижних ярусов, существенно ускоряя демутационный процесс.

Таблица 1. Стадии пирогенной восстановительной сукцессии в эвенкийском секторе формации *Larix gmelinii*

Стадия	Годы после пожара	Характеристика растительности
I	1	Пожарище с отдельными пятнами *Marchantia polymorpha*
II	2	Бесструктурная травяно-моховая группировка видов с доминированием *Calamagrostis lapponica*, *Corydalis sibirica*, *Marchantia polymorpha*
III	3	Ассоциация *Calamagrostis lapponica – Ceratodon purpureus + Marchantia polymorpha*
IV	4	Ассоциация *Carex media + Calamagrostis lapponica – Marchantia polymorpha + Ceratodon purpureus*
V	5	Ассоциация *Carex media + Calamagrostis lapponica - Ceratodon purpureus*
VI	6–13	Травяно-моховые ассоциации деградируют, увеличивают обилие и занимаемые площади *Larix gmelinii*, *Duschekia fruticosa*, *Vaccinium vitis-idaea*, начиная формирование соответствующих ярусов. В напочвенном покрове травяно-мшистые микрогруппировки сменяются бруснично-мшистыми
VII	14–21	К 21 году формируется вертикальная структура послепожарной ассоциации *Betula pendula + Larix gmelinii + Salix phylicifolia + Duschekia fruticosa – Vaccinium vitis-idaea – Ceratodon purpureus + Pleurozium schreberi*. Во всех ярусах содоминируют допожарные и послепожарные виды
VIII	22–50	Восстановление позиций допожарных (за исключением березы) доминантов соответствующих ярусов ассоциации: *Betula pendula + Larix gmelinii – Duschekia fruticosa – Ledum palustre + Vaccinium vitis-idaea – Pleurozium schreberi + Hylocomium splendens + Aulacomnium turgidum*
IX	50–90	Восстановление допожарного видового состава и проективного покрытия видов вследствие изреживания древостоя за счет отпада лиственницы и перераспределения роли видов в сообществе

Различные формы микрорельефа, характерные для местообитаний криолитозоны, существенно изменяют характер и скорость послепожарных трансформаций растительности [2, 7, 8].

На юго-восточной окраине ареала лиственницы Гмелина (Амурская область) беглые низовые пожары низкой и средней интенсивности, повторяющиеся каждые 3-5 (10) лет, приводят к снижению бонитета лиственничных насаждений и формированию травяных типов леса с хорошо развитым подлеском. Густой травяно-кустарниковый покров, препятствующий естественному возобновлению лиственницы, пожары, периодически уничтожающие немногочисленный лиственничный самосев, поселение березы плосколистной и ее высокая порослевая способность ведут к постепенной замене высокопродуктивных лиственничников белоберезовыми лесами [8]. Пожары в дальневосточных лиственничниках являются фактором, препятствующим процессу естественного воспроизводства лесов формации.

В юго-западной Якутии после низовых пожаров низкой и средней интенсивности восстановление допожарного облика лиственничных фитоценозов начинается в первый год после пожара [3]. После трехлетнего господства *Vaccinium vitis-idaea* начинают интенсивно отрастать зеленые мхи.

Таким образом, пирогенные сукцессии в лиственничных лесах, произрастающих в разных частях ареала лиственницы Гмелина, протекают по различным сценариям. В эвенкийском и якутском секторах зоны сплошного распространения многолетней мерзлоты восстановительные процессы происходят без смены пород и ведут, как правило, к формированию одновозрастных древостоев. В зоне распространения островной мерзлоты в Приамурье пирогенная динамика связана со сменой древесных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абаимов А.П.* Лиственницы Гмелина и Каяндера (систематика, география, изменчивость, естественная гибридизация): Автореф. дисс. … канд. биол. наук: 03.00.05. Красноярск: ИЛиД СО РАН, 1980. 24 с.
2. *Зырянова О.А., Бугаенко Т.Н., Абаимов А.П., Бугаенко Н.Н.* Пирогенная трансформация видового разнообразия в лиственничных лесах криолитозоны // Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. С. 135–146.
3. Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука, 1979. 226 с.
4. *Прокушкин С.Г., Зырянова О.А.* О влиянии деревьев лиственницы Гмелина на послепожарное восстановление лесного фитоценоза в криолитозоне Средней Сибири // Сиб. экол. ж. 2013. 5. С. 645–652.
5. *Raupach M.R., Canadell J.G.* Observing a vulnerable carbon cycle // The continental-scale greenhouse gas balance of Europe / H. Dolman, R. Valentini, A. Freibauer, eds. Berlin: Springer, 2008. P. 5–32.
6. *Rees D.C., Juday G.P.* Plant species diversity on logged versus burned sites in Central Alaska // For. Ecol. Manag. 2002. 155 (1–3): 291–302.
7. *Zyryanova O.A.*, *Abaimov A.P.*, *Bugaenko T.N., Bugaenko N.N.* Recovery of forest vegetation after fire disturbance // Permafrost ecosystems: Siberian larch forests / A. Osawa, O.A. Zyryanova, Y. Matsuura, T. Kajimoto, R.W. Wein, eds. Ecological studies. 209. Dordrecht Heidelberg London New York: Springer, 2010. DOI: 10.1007/978-1-4020-9693-8.
8. *Zyryanova O.A., Yaborov V.T., Tchikhacheva T.L. et al.* The structure and biodiversity after fire disturbance in *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. forests, Northeastern Asia // Eur. J. For. Res. 2007. 10–1: 19–29.

УДК 630*43

ИЗМЕНЕНИЕ НАДЗЕМНЫХ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОЖАРОВ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

А.В. ИВАНОВ, Ю.А. МАСЮТИНА, С.В. БРЯНИН

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск (aleksandrgg86@mail.ru, ellada308@mail.ru, fesau@mail.ru)

Аннотация. Представлены натурно-полевые оценки надземных запасов углерода для сорока девяти пробных площадей на территории Якутии и Амурской области. Запасы углерода живой биомассы изменялись в диапазоне 0–33.5 т С/га, с трендом уменьшения на 1.6 т С/га на каждый градус широты. В сухостое содержалось 0–12.5 т С/га. Средний запас подстилок достигал 3.9 т С/га, валежа – 2.3 т С/га. Средний запас углерода в пуле живого напочвенного покрова составил 2.0 т С/га. Индекс dNBR проявляет связь с надземными пулами углерода (за исключением биомассы живого напочвенного покрова). При этом dNBR имеет прямую корреляцию с пулами мертвой древесины и обратную – с запасом живой древесной массы.

CHANGES IN ABOVEGROUND CARBON STOCKS IN LARCH FORESTS OF THE FAR EAST UNDER THE INFLUENCE OF FIRES OF DIFFERENT INTENSITIES

A.V. IVANOV, YU.A. MASYUTINA, S.V. BRYANIN

Institute of Geology and Nature Management, FEB RAS, Blagoveshchensk (aleksandrgg86@mail.ru, ellada308@mail.ru, fesau@mail.ru)

Abstract. Field estimates of aboveground carbon stocks for forty-nine sample plots in Yakutia and Amur Oblast are presented. Carbon stocks of living biomass varied in the range 0-33.5 t C/ha, with a decreasing trend of 1.6 t C/ha for each degree of latitude. Dry litter contained 0-12.5 t C/ha. Average litter stock was 3.9 t C/ha and dead wood was 2.3 t C/ha. The average carbon stock in the pool of living ground cover was 2.0 t C/ha. The dNBR index shows a relationship with aboveground carbon pools (excluding biomass of living ground cover). At the same time dNBR has a direct correlation with dead wood pools, and an inverse correlation with live wood stock. of live woody mass.

Для Дальнего Востока характерна максимальная в бореальном биоме горимость лесов: площадь лесных пожаров здесь доходит до 4 млн га/год и составляет в среднем половину суммарной площади гарей в России [1]. С точки зрения лесоуправления большая часть лесной площади Сибири и Дальнего Востока находится в зоне «контроля лесных пожаров». Это означает, что фактически территория не охраняется от пожаров, которые здесь распространяются стихийно [2]. Накопление и потери углерода находятся в лесах Дальнего Востока под контролем шести главных факторов: годичный прирост биомассы, темпы естественной деструкции биомассы, формирование/деградация мерзлоты, частота, интенсивность и площадь лесных пожаров [1]. Натурно-полевые оценки состояния основных элементов лесных экосистем дальневосточного региона все еще единичны.

Цель исследования – выявить закономерности изменения структуры надземных запасов углерода в лесах Дальнего Востока России на основе натурных оценок и дистанционных данных о пирогенном нарушении этих лесов. Результаты нашего исследования базируются на анализе данных полевых работ, выполненных на 147 круговых (49 участков) реласкопических площадках с отдельным измерением живых деревьев, сухостоя и валежа, а также с отбором образцов подстилки и живого напочвенного покрова.

Исследование выполнено в южной части Дальнего Востока России, по линии Благовещенск – Тында – Якутск. Участки наземных наблюдений расположены на линии, вытянутой вдоль 124–125 меридианов в интервале северной широты 52–61º. Таким образом, длина трансекты полевых измерений составила 1200 км. Древостой (включая мертвые стоящие деревья) описывался на круговых реласкопических площадках. В трех повторностях собирались укосы травяно-кустарничкового яруса и образцы лесных подстилок рамкой 20 × 20 см. На линии 100 м учитывались фрагменты валежа, которые затем переводились в запас углерода на единицу площади (1 га). Конверсия запасов по элементам леса в запасы углерода выполнялась с использованием следующих коэффициентов: древесина – 0.5, подстилка – 0.38, травяно-кустарничковый ярус – 0.40.

Степень тяжести пожаров оценивалась с использованием космических снимков. Мы использовали архив Landsat, охватывающий период с 1986 до 2022 г. Предварительная обработка и работа со снимками проводилась в QGIS 3.28.0. В качестве характеристики пожарного нарушения был выбран нормализованный индекс гарей (Normalized Burn Ratio) NBR. Разность индексов, полученных после и до пожара (dNBR), дает оценку абсолютных изменений, которые могут быть использованы для оценки изменений конкретных натурных величин.

В зависимости от степени пожарного воздействия и стадии восстановительного процесса запасы углерода живой биомассы колебались в диапазоне 0–33.5 т С/га, а сухостоя – в диапазоне 0–12.5 т С/га. Несмотря на пожарные нарушения (которые, вероятно, обеспечивают большую часть дисперсии запасов углерода древостоя), получен слабый значимый линейный тренд ($R^2 = 0.46$, $p < 0.001$), характеризующий

уменьшение продуктивности лесов в меридиональном направлении с темпом 1.6 т С/га на каждый градус широты. Подстилки на участках исследования имели среднюю мощность 7.3 см (в некоторых лесах – до 26 см) и средний запас в пределах 0.6–10.6 т С/га, среднее значение составило 3.9 т С/га. Во фракционном составе подстилок преобладает опад лиственницы. Запасы углерода в древесном дебрисе оцениваются в 0–8.7 т С/га со средним значением 2.3 т С/га. В CWD содержится в среднем на 41 % меньше углерода, чем в подстилках. Живой напочвенный покров играет важную роль в функционировании лиственничных лесов, поскольку запасы углерода в этом пуле доходят до 4.7 т С/га; среднее значение составило 1.2 т С/га. Биомасса яруса травянистых растений, кустарничков и мхов зависит от доминирующего вида и его проективного покрытия.

В естественных условиях подстилки и запасы валежа в лесах формируются под действием двух противоположно направленных процессов – поступления из живого древостоя и разложения. Фактор пожара непредсказуемо изменяет запасы валежа и подстилки, создавая прямой поток углерода в атмосферу. Влияние пожара на запасы органической массы определяется типом (верховой, низовой) и силой самого пожара, сезоном года (весна или осень), особенностями климата и погоды. Так, беглый весенний низовой пожар может сопровождаться незначительным горением сухих частей травянистых растений, в то время как устойчивый пожар в сухих условиях может полностью уничтожить лесную подстилку и значительную часть валежа.

Индекс dNBR проявляет связь с надземными пулами углерода (за исключением биомассы живого напочвенного покрова). При этом, как и ожидалось, dNBR имеет прямую корреляцию с пулами мертвой древесины и обратную – с запасом живой древесной массы. Массив данных был использован для построения линейной модели, в которой предиктором является dNBR, а функцией – запас живой фитомассы. Индекс гарей и широта местности являются хорошими предикторами запаса углерода фитомассы ($R^2 = 0.65$). Несмотря на то, что в ходе пожара часть мертвой древесной массы полностью сгорает, объем оставшегося после пожара валежа и сухостоя может указывать на силу пожарного воздействия. Мы построили линейную функцию, связывающую долю углерода мертвой древесины в общем запасе углерода биомассы деревьев ($R^2 = 0.65$).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Zhang Y.-H., Wooster M.J. et al.* Monthly burned area and forest fire carbon emission estimates for the Russian Federation from SPOT VGT // Remote Sensing of Environment. 2003. 87 (1): 1–15.
2. *Romanov A.A., Tamarovskaya A.N., Gloor E. et al.* Reassessment of carbon emissions from fires and a new estimate of net carbon uptake in Russian forests in 2001–2021 // Science of The Total Environment. 2022. 846: 157322.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00346, https://rscf.ru/project/23-27-00346/.

УДК 630*431.5

ГРОЗОАКТИВНОСТЬ И ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

В.А. ИВАНОВ[1, 2], Е.И. ПОНОМАРЁВ[1, 3]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
[2] Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск
[3] Сибирский федеральный университет, Красноярск (ivanovv53@yandex.ru, evg@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Приведены результаты анализа горимости лесов Средней Сибири. Выявлен рост числа пожаров от молний в связи с увеличением продолжительности грозовой активности.

THUNDERSTORM ACTIVITY AND FOREST FIRES ON CENTRAL SIBERIA

V.A. IVANOV[1, 2], E.I. PONOMAREV[1, 3]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk
[2] M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk
[3] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (ivanovv53@yandex.ru, evg@ksc.krasn.ru)

Abstract. The results of an analysis of forest fires in Central Siberia are presented. An increase in the number of fires caused by lightning has been identified due to an increase in the duration of thunderstorm activity.

Одним из условий повышения уровня охраны лесов от пожаров является установление причин пожаров, характера и возможных закономерностей в распределении пожаров во времени и пространстве, определение степени влияния природных и экономических условий на уровень горимости лесов. Гроза – основной природный источник огня в лесу.

На территории Средней Сибири за период 1987–2020 гг., по данным «ИСДМ-Рослесхоз», было зарегистрировано более 38.5 тыс. пожаров растительности, которыми было пройдено более 7564 тыс. га. Продолжительность пожароопасного сезона составляет на юге около 130 ± 32 дн и снижается до 29 ± 10 дней с продвижением на север, тесно коррелируя с широтной вариацией уровня инсоляции [3, 7].

В Средней Сибири динамика числа лесных пожаров от гроз характеризуется значимым трендом роста: так, в 1987–1989 гг. в среднем регистрировалось 23 % пожаров от гроз, а в период 2020–2022 гг. произошло увеличение до 38 % пожаров от гроз. Статистические открытые данные «ИСДМ-Рослесхоза» о причинах возникновения пожаров позволяют констатировать, что в годы с небольшим количеством пожаров, такие как 1988, 1998, 2005, 2008, 2009, 2010, от молнии регистрировалось от 18.8 до 50 % пожаров. В экстремальные пожароопасные сезоны, такие как 1989, 1996, 2006, 2012, 2016, 2018, 2019, 2020 г., от молний возникало от 24.6 до 68 % пожаров.

Среднемноголетнее значение количества пожаров от гроз на территории района исследований, рассчитанное нами за 33-летний период по шкале фактической горимости М.А. Софронова [5], составляет 0.47 пож./100 тыс. га. Частота пожаров от гроз изменилась от 0.34 пож./100 тыс. га (низкая) в конце 1980-х годов до 0.72 пож./100 тыс. га (высокая) в последнее десятилетие. Площадь пожаров от гроз за сезон возросла от 2 га на 100 тыс. га лесной территории (низкая) в конце 1980-х до 64.2 га/100 тыс. га (повышенная) в 2000–2009 гг. и до 175.9 га/100 тыс. га (высокая) в период 2010–2019 гг.

Наивысший уровень грозовой пожарной опасности зафиксирован на территории Приангарского лесного района, в котором ежегодно от гроз регистрируется до 1.4 пожара на 100 тыс. га охраняемой площади. Количество пожаров от гроз возросло с 1987 по 2020 г. с 0.39 пож./100 тыс. га до 2.2 пож./100 тыс. га. Также прослеживается возрастание количества пожаров от гроз в Среднесибирском плоскогорном таежном лесном районе – с 0.05 пож./100 тыс. га до 0.3 пож./100 тыс. га и в Алтае-Саянском горно-лесостепном районе – от 0.01 пож./100 тыс. га до 0.86 пож./100 тыс. га. В Западно-Сибирском средне-таежном равнинном, Среднесибирском плоскогорном таежном и Нижнеангарском лесных районах за весь исследуемый период стабильно наблюдалось увеличение частоты пожаров от гроз. При этом в Алтае-Саянском горно-таежном районе в последнее десятилетие горимость снизилась на 60 %, а в Алтае-Саянском горно-лесостепном районе впервые с 2010 по 2019 г. были зарегистрированы пожары от гроз.

Увеличение числа пожаров от гроз в большинстве лесных районов следует связывать прежде всего с изменениями циркуляции атмосферы, локальным перераспределением осадков, а также с увеличением продолжительности сроков грозовой активности в сезоне, что особенно актуально для Приангарского лесного района и горных районов юга Средней Сибири. При этом даже относительно низкий рост грозовой активности на севере Средней Сибири может способствовать увеличению числа пожаров на территориях Среднесибирского плоскогорно-таежного района и района притундровых лесов, так как здесь грозы выступают основной причиной возгораний (до 80 % всех случаев пожаров) [4].

Одним из условий возникновения пожара от грозы является совмещение во времени и пространстве грозовой активности и пожарной зрелости лесных горючих материалов [3]. Совпадение двух этих факторов в лесных районах севера наблюдается в середине лета (конец июня – июль). В лесных районах,

расположенных на юге, регистрируется меньшее количество пожаров от гроз. Здесь грозовая активность начинается раньше, чем на севере (в конце мая – начале июня). Однако интенсивность грозовой активности и пожарная зрелость лесных горючих материалов (ЛГМ) не совпадают по времени в весенний период, с момента схода снега до появления зеленой травы весной, и в период увядания травы до выпадения снега в осенний период. Таким образом, фазовое совпадение пожарной зрелости ЛГМ и грозовой активности наблюдается в течение относительно небольшого периода.

Для определения динамики грозовой активности были обобщены данные по материалам открытого каталога «Специализированные массивы для климатических исследований» (http://aisori-m.meteo.ru/waisori, дата обращения: 11.08.2023) Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации за период 1966–2020 гг. [1]. Были восстановлены и обработаны многолетние ряды данных о грозовых событиях для 36 метеостанций.

Анализ числа дней с грозой для периодов 1966–2000 гг. и 2011–2020 гг. показал, что для всей территории Средней Сибири характерно постепенное увеличение грозовой активности в условиях изменения климата. Так, на юге в Среднесибирском плоскогорно-таежном лесном районе число дней с грозами увеличилось к 2020 г. в 2 раза (с 5–10 до 10–15 ед./год). На территории Приангарского лесного района число гроз увеличилось в среднем на 25 % (с 10–15 до 20 ед./год); также наблюдается увеличение числа дней с грозой на территории Алтае-Саянского лесного района (с 16–18 до 20–24 ед./год). В то же время в юго-западной части Средней Сибири существенной грозовой активности не зафиксировано.

Приведенная оценка относительного изменения числа дней с грозой в сравнении для периодов 1966–2000 гг. и 2011–2020 гг. позволяет констатировать, что для всей территории Средней Сибири характерно постепенное увеличение грозовой активности в этот период. При этом детализация в границах рассматриваемых лесных районов позволяет отметить, что этот рост значителен и составляет 29–42 % относительно среднестатистической нормы конца XX в. Относительно низкий рост (на уровне 29–31 %) характерен для севера региона (Среднесибирский район притундровых лесов) и западной части (Западно-Сибирской равнинно-таежный район). Наиболее значительный рост грозовой активности относительно среднемноголетней нормы 1966–2000 гг. отмечен в Приангарском (42.2 ± 13.2 %) и в Алтае-Саянском (35.1 ± 9.4 %) лесных районах. Результаты позволяют констатировать, что с 2001 г. скорость прироста числа дней с грозами составляет от 0.1 ± 0.05 дн./год на севере и до 0.4 ± 0.1 дн./год в лесных районах центра и юга. Учитывая это, при сохранении современных темпов климатических изменений в регионе можно экстраполировать, что к 2100 г. можно прогнозировать увеличение числа пожаров от гроз на 10–40 %.

Совокупность погодных условий пожароопасного периода наряду с типом лесной растительности и лесохозяйственными факторами определяют уровень горимости лесов. В ближайшей перспективе грозовая активность может выступать одним из значимых факторов ужесточения пожарных режимов Средней Сибири. Необходимо отметить, что горимость лесов определяется не только метеорологическими характеристиками, но и эффективностью системы предупреждения и тушения. Так, в период 1990–1999 гг. в условиях реформирования лесной системы и снижения финансирования наблюдалось значительное повышение уровня горимости во всех лесных районах Сибири. За этот период от гроз возникло более 14 тыс. пожаров, что составило 35.7 % от общего числа пожаров на землях лесного фонда. Своевременное обнаружение пожаров и предотвращение их распространения на больших площадях – основная задача эффективной противопожарной системы страны, которая должна основываться на достоверных региональных прогнозах возникновения пожаров растительности, в том числе от гроз.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В*. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России. Св-во о гос. регистрации базы данных № 2015620394. 2014.
2. ИСДМ-Рослесхоз. Открытые данные. [Электронный ресурс]. URL: https://public.aviales.ru/main_pages/public.shtml (дата обращения: 11.04.2024).
3. *Иванов В.А. Иванова Г.А.* Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск: Наука, 2010. 164 с.
4. *Иванов В.А., Пономарев Е.И., Иванова Г.А., Малькановa А.В.* Грозы и лесные пожары в современных климатических условиях Средней Сибири // Гидрология и климатология. 2023. № 7. С. 102–113.
5. *Софронов М.А., Волокитина А.В.* Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука, 1990. 204 с.
6. *Федоров В.М.* Широтные соответствия в распределении приходящей солнечной радиации и общей циркуляции атмосферы. Солнечная радиация и климат Земли // Сложные системы. 2015. № 1 (14). С. 39–55.
7. *Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Dvinskaya M.L., Coogan S.C.P., Flannigan M.D.* Wildfires in the Siberian taiga // Ambio. 2021. V. 50. N. 11. Pp. 1953–1974.

УДК 630*43: 630.431

ЗОНАЛЬНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ В СОСНЯКАХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Г.А. ИВАНОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (gaivanova@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Структура и запасы напочвенных лесных горючих материалов в сосняках связаны с географической широтой и определяются типом растительности, условиями увлажнения и периодичностью воздействия лесных пожаров.

ZONAL-GEOGRAPHICAL FEATURES OF FUEL IN SCOTS PINE FORESTS OF CENTRAL SIBERIA

G.A. IVANOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (gaivanova@ksc.krasn.ru)

Abstract. The structure and loads of surface and ground forest fuel in the pine forests are associated with geographic latitude and are determined by the type of vegetation, moisture conditions and the frequency of impact of forest fires.

В лесах Средней Сибири пожары возникают ежегодно и наносят огромный экологический и экономический ущерб. Возникновение и распространение лесных пожаров определяется не только благоприятными погодными условиями и наличием антропогенных или природных источников огня, но также типом и структурой горючих материалов (ЛГМ) и их влагосодержанием. Лесные горючие материалы различаются по своим пирогенным свойствам, местоположению в биогеоценозе и по их функции при пожаре: проводники горения, поддерживающие горение, задерживающие распространение горения [6]. В каждом биогеоценозе формируется свой комплекс ЛГМ. На формирование запасов ЛГМ оказывает влияние целый ряд экологических факторов [6, 3, 7, 2, 1, 8, 5]. Запасы определяются не только типом растительности и условиями увлажнения, но также лесными пожарами.

Исследования, проведенные с целью выявления зонально-географических особенностей формирования запасов ЛГМ в сосняках Средней Сибири, произрастающих вдоль Енисейского меридиана, выявили, что запасы напочвенных (ЛГМ) уменьшаются при продвижении с севера на юг от северной и средней тайги к лесостепи и связаны с географической широтой (коэффициент корреляции 0.59). Наибольшие запасы напочвенных ЛГМ выявлены в сосняках северной и средней тайги, где они составляют 40 т/га и более (табл. 1). Во всех случаях в составе напочвенных ЛГМ преобладают запасы подстилки, доля которой от запаса напочвенных ЛГМ увеличивается от зоны лесостепи (57.4 %) к зоне северной тайги (71.3 %).

Таблица 1. Запасы напочвенных ЛГМ в сосняках разных лесорастительных зон, т/га

Зона, подзона	Средний запас ЛГМ				
	$M \pm m$, т/га	$\sigma \pm m_\sigma$, т/га	$V \pm m_V$, %	$P \pm m_p$, %	в том числе подстилка, в % от запаса
Северная тайга	38.3 ± 2.6	3.6 ± 1.0	9.4 ± 2.7	3.9 ± 1.1	71.3
Средняя тайга	38.1 ± 2.1	7.1 ± 2.0	18.6 ± 3.8	5.6 ± 1.1	69.9
Южная тайга	29.2 ± 1.6	7.5 ± 1.2	25.7 ± 3.2	5.5 ± 0.7	62.6
Лесостепь	23.0 ± 1.7	7.0 ± 1.2	30.0 ± 5.5	7.4 ± 1.8	57.4

Существенность различий между средними запасами напочвенных ЛГМ в сосняках северной и средней тайги и их запасами в сосняках южной тайги и лесостепи равна 3.29 и 5.49 соответственно, то есть достоверна.

В пределах однородных лесных участков запасы ЛГМ варьируют по площади в связи с синузиальностью напочвенного покрова, обусловленной неоднородностью полога древостоя. Запасы отдельных видов ЛГМ меняются в течение сезона, как изменяется и их роль в возникновении и распространении лесного пожара. Поступление опада и его преобразование в подстилку, а также скорость разложения подстилки сбалансированны, что обусловливает относительную стабильность запаса подстилки в течение вегетационного периода [7].

Лесные пожары влияют на формирование запасов напочвенных ЛГМ в сосняках. Интенсивность пожаров определяет не только количество сгоревших лесных горючих материалов, но и послепожарные процессы и накопление напочвенных ЛГМ независимо от зонально-экологических условий. В результате сгорания при пожаре запас напочвенных ЛГМ уменьшается, но послепожарный отпад деревьев способствует его последующему накоплению. Интенсивность горения влияет на величину послепожарного отпада деревьев и, следовательно, на количество и состав древесного опада. Если до

горения все фракции (хвоя, кора, шишки, веточки) в опаде были представлены равномерно, то через 2 года после пожара в его составе увеличилось количество хвои: до 84 %, а в последующие годы наблюдалось отмирание коры и увеличение ее доли в опаде до 40 %, что согласуется с выводами М.Д. Евдокименко [3] о послепожарном увеличении доли хвои в напочвенных ЛГМ.

Послепожарное накопление напочвенных ЛГМ определяется не только интенсивностью пожара, но и давностью его воздействия. Наиболее интенсивное накопление ЛГМ в сосняках после пожаров наблюдается в первые 3-5 лет, когда происходит отпад деревьев. Через 10 лет после высокоинтенсивного пожара вследствие вывала сухостоя увеличилось количество валежа – в 2 раза в южнотаежном сосняке лишайниково-зеленомошном и в 4 раза по сравнению с допожарным запасом в среднетаежном сосняке этого же типа леса [4]. Уже через 2-3 года после пожара запасы напочвенных ЛГМ достигают такого количества, при котором возможно возникновение и распространение по ним повторных пожаров, что и наблюдается довольно часто. После пожаров низкой интенсивности через 5 лет запас напочвенных ЛГМ в среднетаежных и южнотаежных сосняках достигает допожарного уровня. В последующие годы накопление ЛГМ снижается и регулируется лишь разложением опада и подстилки и разрастанием растительности. При длительном отсутствии пожаров в напочвенном покрове сосняков наряду со сменой доминантов происходит снижение продуктивности травяно-кустарничкового яруса. Изменяется ботанический состав опада, а образование мохового покрова способствует повышению биогенности подстилок и снижению их запасов.

Таким образом, проведенные исследования показали, что запасы и структура напочвенных лесных горючих материалов в сосновых насаждениях определяются не только типом растительности и условиями увлажнения, но также периодичностью лесных пожаров. Установлено, что запасы ЛГМ связаны с географической широтой и возрастают от зоны лесостепи к подзоне северной тайги. Во всех случаях преобладает запас подстилки, которая является аккумулятором влаги и заметно влияет на скорость пожарного созревания лесных участков. Полученные данные о запасах и структуре ЛГМ, их динамике могут быть использованы для оценки риска возникновения и распространения лесного пожара, пожарной эмиссии и интенсивности пожара, а также для расчета сил и средств, необходимых для тушения пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Буряк Л.В., Лузганов А.Г., Матвеев П.М., Каленская О.П.* Влияние низовых пожаров на формирование светлохвойных насаждений юга Средней Сибири. Красноярск: Сиб ГТУ, 2003. 195 с.
2. *Диченков Н.А.* Географичность запасов лесных горючих материалов // Лесохозяйственная информация. 1992. Вып. 257. С. 156–160.
3. *Евдокименко М.Д.* Динамика лесной подстилки в сосняках Забайкалья после низовых пожаров // Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1983. С. 62.
4. *Иванова Г.А., Конард С.Г., Макрае Д.Д., Безкоровайная И.Н., Богородская А.В., Жила С.В., Иванов В.А., Иванов А.В., Ковалева Н.М., Краснощекова Е.Н., Кукавская Е.А., Орешков Д.Н., Перевозникова В.Д., Самсонов Ю.Н., Сорокин Н.Д., Тарасов П.А., Цветков П.А., Шишикин А.С.* Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.
5. *Иванова Г.А., Иванов А.В.* Пожары в сосновых лесах Сибири. Новосибирск: Наука, 2015. 240 с.
6. *Курбатский Н.П.* Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск, 1970. С. 5–58.
7. *Курбатский Н.П., Иванова Г.А.* Пожароопасность сосняков лесостепи и пути ее снижения. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1987. 113 с.
8. *Ottmar R.D., Sandberg D.V., Riccardi C.L., Prichard S.J.* An overview of the fuel characteristic classification system-quantifying, classifying, and creating fuelbeds for resource planning // Canadian Journal of Forest Research. 2007. N 37. Pp. 2383–2393.

УДК 551.506.8 (075.8)

ИЗУЧЕНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ФЕНОЛОГИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Ю.Р. ИВАНОВА[1], Н.В. СКОК[2]

[1] Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург (miss.nocentra@list.ru)
[2] Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург (skok-nv-gbf@mail.ru)

Аннотация. Статья посвящена фенологическим методам, которые являются эффективным инструментом для изучения сезонной динамики лесных экосистем. В тексте рассматриваются различные подходы к применению этих методов в зависимости от составов лесных насаждений. Интегральный описательный рассматривается как наиболее подходящий для территорий с широким распространением одного вида, в то время как метод суммированных фенологических характеристик рекомендуется для территорий со значительной разнородностью видового состава.

THE STUDY OF SEASONAL DYNAMICS OF FOREST ECOSYSTEMS USING PHENOLOGICAL METHODS

U.R. IVANOVA[1], N.V. SKOK[2]

[1] Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg (miss.nocentra@list.ru)
[2] Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg (skok-nv-gbf@mail.ru)

Abstract. The article discusses the use of phenological methods as an effective tool for studying the seasonal dynamics of forest ecosystems. It explores various approaches to applying these methods, considering the composition of forest stands. The authors recommend the use of the integral descriptive approach for territories with widespread distribution of a single species and the method of summarizing phenological characteristics for areas with significant variability in species composition.

Лесные экосистемы являются одними из самых богатых и разнообразных в мире. Они обладают сложной структурой и взаимосвязями между компонентами. Изучение сезонной динамики экосистем имеет большое значение для понимания изменений, происходящих в природной среде. Выдающиеся отечественные лесоводы всегда придавали фенологическим наблюдениям в лесу большое значение [3]. Изучение сезонного развития лесных сообществ началось в 20-е годы прошлого столетия с исследований широколиственных лесов умеренного пояса. Первые масштабные исследования хвойных лесов проводились И.Г. Серебряковым с начала 40-х годов XX столетия.

В последние годы все больше внимания уделяется изучению фенологических процессов в лесных экосистемах, так как они играют важную роль в функционировании природных комплексов. С помощью фенологических методов можно изучать сроки наступления тех или иных сезонных явлений в фитоценозах, их вариабельность и взаимосвязь с другими компонентами природных комплексов. Безусловно, сезонные процессы напрямую зависят от климатических условий и их изменения. Перемены в климате приводят к сдвигам во времени этих процессов, что может иметь серьезные последствия для лесных экосистем. Современные исследования этих проблем говорят в основном об изменениях границ ареалов многих видов растительного покрова [2]. Смещение границы лесной зоны на север, а в горах – верхней границы лесов в альпийский пояс также обусловлено климатогенными факторами [4].

Как правило, фенологические наблюдения за растительными сообществами проводятся стационарно классическим методом – исследователь регулярно отмечает даты наступления тех или иных фенологических событий. При накоплении многолетних рядов данных появляется возможность составить календарь природы определенной территории. В Свердловской области силами последователей идей В.А. Батманова о необходимости математического обоснования фенологических методов вот уже несколько десятилетий проводится фенологический мониторинг более точными, чем классический, методами – описательным интегральным и методом комплексных фенологических показателей. Интегральным описательным методом регистрируется сезонное состояние какого-либо вида, широко распространенного на изучаемой территории. В условиях низкогорий Среднего Урала это березы *(Betula pendula* Roth. и *Betula pubescens*). В процессе подсчетов их видовые особенности не учитываются, так как данные виды при совместном произрастании мало различаются по срокам наступления фенологических событий.

Затем, в камеральных условиях, проводится последующая статистическая обработка данных [1]. При проведении ежегодных наблюдений становится возможным расчет средних многолетних дат наступления сезонных процессов, а вместе с этим и погодичных отклонений в сезонном развитии. Наблюдения группируются по принципу общности условий – в пределах одной наименьшей единицы районирования выбирается такое местоположение, где произрастает статистически значимое количество обследуемых объектов. Затем при необходимости результаты объединяются по более крупным единицам районирования. Главное преимущество интегрального описательного метода перед другими заключается в нивелировании микроэкологических различий и внутрипопуляционной генетической разнородности на

исследуемой территории [5]. Данный метод успешно применяется в исследованиях сезонной динамики лесных экосистем Среднего и Северного Урала на протяжении более чем 60 лет.

Зачастую при изучении обширных территорий возникает необходимость сопоставления сезонной динамики лесных экосистем, значительно различающихся по видовому составу. Для этих целей представителями уральской фенологической школы был разработан другой метод – суммированных фенологических показателей. Главное его отличие от интегрального описательного заключается в том, что изучается не один вид: проводится оценка фенологического состояния представителей всех видов, произрастающих на изучаемой площадке. По результатам выводятся средние фенологические коэффициенты и составляются диаграммы суммированных характеристик. Все это позволяет сравнивать фенологическое состояние кардинально различных по видовому составу природных комплексов. Методом суммированных фенологических характеристик нами проводились исследования сезонной динамики низкогорий Среднего Урала в течение десяти лет.

Наши результаты показывают, что оба метода – интегральный описательный и суммированных фенологических характеристик – хорошо применимы для изучения в том числе удаленных и малоизученных территорий с редкой сетью метеорологических станций. Интегральный описательный метод имеет ограничения по наличию достаточного количества наблюдаемых объектов – для объектов с небольшой индивидуальной изменчивостью достаточно 25–50 единиц на единицу дифференциации, а для видов, сильно варьирующих по своим фенологическим показателям, – не менее 100. Однако бесспорным преимуществом является простота этого метода и возможность получить статистически значимый и сравнимый результат при однократном исследовании территорий. При повторных исследованиях можно в динамике отслеживать сроки наступления сезонных процессов. Таким образом, интегральный описательный метод позволяет относительно нетрудоемким путем за короткий промежуток времени получить значительный массив данных, хорошо поддающийся дальнейшей статистической обработке.

Особенность метода суммированных фенологических характеристик заключается в сжатом представлении большого массива данных в цифровом и графическом форматах и сокращении количества повторных наблюдений – вплоть до единичных посещений. Это особенно важно для отдаленных районов. Несомненным преимуществом этого метода является также возможность описания фенологического состояния всех растительных форм в удобное для исследователя время в пределах вегетационного периода.

Сдвиги в сроках наступления сезонных событий могут указывать на долгосрочные климатические изменения. Фенологические даты отражают тенденции изменения климата и являются важной характеристикой многолетних изменений в состоянии и функционировании экосистем. Анализ таких данных позволяет прогнозировать, как лесные экосистемы будут реагировать на происходящие климатические изменения. Кроме того, данные фенологических наблюдений могут использоваться для создания моделей, описывающих адаптационные стратегии лесных экосистем в условиях изменяющегося климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванова Ю.Р., Скок Н.В.* Применение экспедиционных методов в ландшафтно-фенологических исследованиях // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития: Матер. XII Междунар. ландшафтной конф., Тюмень – Тобольск, 22–25 августа 2017 г. 2017. Т. 1. С. 274–278.
2. Изменение климата / А.О. Кокорин, Е.В. Смирнова, Д.Г. Замолодчиков. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. 220 с.
3. *Мерзленко М.Д.* Ценность фенологических наблюдений для лесохозяйственного производства. Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2006 (1): 37–40.
4. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления климата XXI века / А.В. Кислов, В.М. Евстигнеев, С.М. Малхазова [и др.]. М.: МАКС Пресс, 2008. 292 с.
5. *Шульц Г.Э.* Общая фенология: учебник. Л.: Наука, 1981. 188 с.

УДК 504.062 / 502.08

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА

Ю.Р. ИВАНОВА, Г.А. СУХИХ

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург (miss.nocentra@list.ru)

Аннотация. Представлено применение индекса нормализованной растительности (NDVI) для характеристики растительного покрова карбонового полигона «Урал-Карбон». В рамках исследования проведен анализ спутниковых снимков и данных полевых замеров. Особое внимание уделено анализу цикличности роста и влиянию климатических факторов. Полученные результаты демонстрируют возможности NDVI для мониторинга растительных сообществ на участках карбонового полигона.

APPLICATION OF THE VEGETATION INDEX TO CHARACTERIZE THE VEGETATION COVER OF A CARBON LANDFILL

U.R. IVANOVA, G.A. SUKHIKH

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg (miss.nocentra@list.ru)

Abstract. The article presents the application of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for characterizing the vegetation cover of the Ural Carbon Polygon. The study includes analyses of satellite images and field survey data. Special attention is given to the analysis of growth cycles and the impact of climatic factors. The obtained results demonstrate the capabilities of NDVI for monitoring plant communities in areas of the carbon polygon.

Вегетационные индексы представляют собой один из ключевых инструментов в исследовании растительного покрова, особенно в условиях климатических изменений. Карбоновые полигоны – зоны, выделенные для изучения углеродных потоков и их связи с растительностью, – являются объектами пристального внимания ученых. Применение вегетационных индексов для характеристики растительного покрова карбонового полигона позволяет получить важные данные о состоянии и динамике экосистем, что является крайне актуальным в контексте глобального потепления и деградации природных ресурсов.

В настоящее время активно ведется работа в этом направлении, признается важность региональных оценок потоков, пулов и запасов углерода с использованием данных по фитомассе насаждений. При оценке фитомассы насаждений основное внимание уделяется древостою как основному ее компоненту. Нижние ярусы растительности изучены крайне слабо. Между тем продукционная деятельность насаждения в полном объеме может быть определена лишь при исследовании всех его компонентов. Основными характеристиками любого растительного сообщества являются состав и структура. Состав, или видовое богатство, – это прежде всего набор видов в растительном сообществе. В состав лесного фитоценоза входят растения, которые относятся к различным жизненным формам. Для лесной растительности наиболее подходит система жизненных форм с выделением деревьев, кустарников, кустарничков, полукустарников и травянистых растений [3]. Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, которая характеризуется большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Информация о связи структуры и состояния растительности с ее отражательными способностями позволяет использовать космические снимки для идентификации типов растительности и их состояния. В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов, которые подбираются эмпирическим путем исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв [4]. В настоящее время наиболее известные и используемые индексы – это NDVI и LAI. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), нормализованный относительный индекс растительности, – это простой показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Это один из самых распространенных индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова [1]. Данный индекс имеет как преимущества, так и ряд недостатков.

В ходе исследования изучались насаждения карбонового полигона «Урал-Карбон», расположенного в Свердловской области. Данный полигон состоит из двух отдельных участков. Первый расположен вблизи поселка Коуровка (кв. 23 Кузинского участкового лесничества Билимбаевского лесничества), площадь его – около 150 га. Второй, площадью 150 га, находится на территории Уральского учебно-опытного лесхоза Уральского государственного лесотехнического университета (кварталы 35. 36, 40, 41, 42 Северского участкового лесничества Билимбаевского лесхоза) на удалении 2 км от поселка Северка. Удаленность участков друг от друга составляет около 50 км. Согласно схеме лесных районов Свердловской области, предложенной Г.А. Годоваловым с соавторами, территория первого и второго участков относится к горному подрайону Средне-Уральского таежного лесного района [2].

При планировании исследования на участках карбонового полигона были заложены по шесть пробных площадей для верификации данных лесоустройства и проведения наземных исследований. На каждой из них проведены геоботанические описания по общепринятой методике. Для каждой пробной площади выявлялись флористический состав, обилие видов, общее проективное покрытие почвы (в %), состав древостоя и сомкнутость, возобновление древесных и кустарниковых пород, состав и характер подлеска, наличие и проективное покрытие мохового покрова, наличие лишайников. Для наблюдения за показателями индекса NDVI участков карбонового полигона использовались данные индекса, полученные со спутника Sentinel-2 в период с 2014 по 2023 г. с помощью спутникового сервиса Вега-Science.

Анализ полученных картографических материалов показал, что на участке «Коуровка» преобладают формации темнохвойных лесов, а на участке «Северка» – светлохвойные и смешанные формации леса. При наземных наблюдениях на 12 пробных площадях выявлено, что эти лесные сообщества являются малонарушенными и близки к зональным типам. Многолетняя динамика NDVI показывает, что колебание значений индекса вызвано в первую очередь колебанием температуры, а влияние количества осадков на обоих участках полигона проявляется в различные периоды вегетационного сезона. Максимальные значения индекса NDVI за вегетационный сезон приходятся на обоих участках на июль. Эти значения смещены относительно сезонных температурных максимумов. Период максимальных значений индекса на участке «Коуровка» более растянут. По данным, полученным по спутниковым снимкам, минимальные показатели индекса NDVI наблюдались в 2023 г., чего не было в течение 7 предыдущих лет. Это могло быть вызвано недостаточной увлажненностью почвы в связи с неравномерными осадками и неблагоприятной температурой воздуха.

Таким образом, вегетационные индексы играют важную роль в изучении и мониторинге растительного покрова карбоновых полигонов. Они предоставляют исследователям ценные данные о состоянии экосистем и позволяют оперативно реагировать на изменения, вызванные климатическими и антропогенными факторами. Продолжение исследований в данном направлении представляется необходимым для глубокого понимания климатических процессов и разработки эффективных мер по сохранению природных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Глухов А.З., Сафонов А.И.* Перспективы проведения фито-индикационного мониторинга техногенно трансформированных экотопов // Промышленная ботаника. 2002. С. 7–9.
2. *Годовалов Г.А., Залесов С.В., Залесова Е.С., Чермных А.И.* К вопросу о необходимости уточнения перечня лесных районов Свердловской области // Леса России и хозяйство в них. 2016. № 3 (58). С. 12–19.
3. *Серебряков И.Г.* Экологическая морфология растений. М.: Высшая школа, 1962. 378 с.
4. *Черепанов А.С., Дружинина Е.Г.* Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. 2009. № 3. С. 71–73.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках госзадания на 2024–2026 гг. FEUZ-2024-0011.

УДК 630*4:630*5

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ УСЫХАЮЩИХ ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ОСИНСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ПЕРМСКОГО КРАЯ ПО ДИАМЕТРУ

Л.А. ИВАНЧИНА[1], Е.А. ИГОШЕВА[2]

[1] Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь (ivanchina.ludmila@yandex.ru)
[2] Общество с ограниченной ответственностью «Проектно-строительное предприятие «Автомост», Пермь (igosevae@gmail.com)

Аннотация. На территории Осинского лесничества Пермского края исследовано строение еловых древостоев по диаметру до усыхания части деревьев и после. Установлено, что строение еловых древостоев по диаметру описывается логнормальным и гамма-распределением. После усыхания части деревьев вид функции распределения древостоев по диаметру не изменяется: это свидетельствует о том, что усыхание деревьев происходит во всех ступенях толщины.

STRUCTURE FEATURES OF DRYING SPRUCE TREE STANDS OF OSINSKY FORESTRY OF THE PERM REGION BY DIAMETER

L.A. IVANCHINA[1], E.A. IGOSHEVA[2]

[1] Natural Science Institute of Perm State University, Perm (ivanchina.ludmila@yandex.ru)
[2] Limited liability company "Project and construction engineering agency "Automost", Perm (igosevae@gmail.com)

Abstract. On the territory of the Osinsky forestry of the Perm Territory, the structure of spruce stands in diameter before and after the drying out of some of the trees was studied. It has been established that the diameter structure of spruce tree stands is described by lognormal and gamma distributions. After some trees dry out, the shape of the diameter distribution function of tree stands does not change, which indicates that trees dry out at all thickness levels.

В последние десятилетия в нашей стране наблюдается массовое усыхание еловых насаждений [2]. Не являются исключением в этом отношении и ельники, произрастающие в зоне хвойно-широколиственных лесов Пермского края [4]. Усыхание части деревьев ели в насаждении приводит к изменению таксационных показателей [1] и, как следствие, может привести к изменению распределения количества стволов деревьев по ступеням толщины.

При использовании данных о строении еловых древостоев, подверженных усыханию, следует учитывать возможность изменения модели распределения древостоев по диаметру после усыхания части деревьев.

Целью исследования явилось выявление закономерностей строения еловых древостоев по диаметру до усыхания и после усыхания части деревьев ели.

Объектом исследования служили еловые насаждения, произрастающие в Осинском лесничестве Пермского края. На территории указанного лесничества в летний период 2011 г. было заложено 7 пробных площадей (далее ПП) прямоугольной формы, на которых был проведен сплошной перечет [3]. Усыхания деревьев в 2011 г. не происходило. В последующие годы в границах данных ПП произошло усыхание части деревьев ели. Повторный перечет деревьев был выполнен на всех ПП в летний период 2017–2018 гг. По результатам повторного перечета произведен расчет запаса погибших деревьев ели. Это позволило вывести закон распределения древостоев ели по диаметру после усыхания. Вид функции распределения, наилучшим образом описывающей строение еловых древостоев по диаметру до усыхания и после усыхания части деревьев ели, был определен в программе STATISTICA 12. Для проверки гипотезы о распределении применялся критерий хи-квадрат Пирсона.

В табл. 1 представлена таксационная характеристика насаждений ПП.

Таблица 1. Таксационная характеристика древостоев пробных площадей

№ ПП	Тип леса	Состав древостоя после усыхания	Класс возраста елового древостоя	Класс бонитета	Густота елового древостоя, шт./га		Запас елового древостоя, $м^3$/га	
					до усыхания	после усыхания	до усыхания	после усыхания
1	Е. тр.	3Е3П2С2Б	4	2	118	59	94	52
2	Е. к.	3Е3С2Б2Ос	4	2	144	55	81	30
3	С. к.	5С4Е1Б	5	1	126	92	96	61
4	Е. к.	5Е3С2П	4	2	189	82	120	51
5	Е. зм.	4Е4С2П	3	2	105	53	57	24
6	Е. зм.	5Е5С + Б + Ос	5	2	249	126	134	56
7	Е. лп.	3Е2С1П3Ос1Б	4	2	76	27	37	16

Согласно материалам табл. 1, по две ПП заложены в насаждениях ельников кисличного и зеленомошного. По одной ПП заложено в условиях ельника травяного, ельника липнякового и сосняка кисличного. Все насаждения пробных площадей являются смешанными по составу древостоев. Доля деревьев ели в составе древостоев варьирует от 30 до 50 %. Класс возраста елового древостоя варьирует от 3 (средневозрастные насаждения) до 5 (спелые насаждения).

При этом среди объектов исследования более половины еловых древостоев характеризуется 4 классом возраста (приспевающие насаждения). Большинство исследуемых насаждений являются продуктивными: преобладают насаждения, имеющие 2 класс бонитета. Сведения о густоте и запасе елового древостоя представлены до усыхания части деревьев и после усыхания. Представленные данные свидетельствуют, что усыхает значительная часть деревьев: густота и запас еловых древостоев уменьшились в 1.4 и более раза!

В табл. 2 представлены модели строения древостоев до усыхания части деревьев породы ель и после, а также значения критерия хи-квадрат для уровня значимости $\alpha = 0.05$.

Таблица 2. Виды функции распределения, описывающей строение еловых древостоев по диаметру

№ ПП	До усыхания				После усыхания			
	Вид распределения	Число степеней свободы	Значение критерия		Вид распределения	Число степеней свободы	Значение критерия	
			Эмпирическое	Критическое			Эмпирическое	Критическое
1	Гамма	4	3.448	9.488	Гамма	1	1.010	3.841
2	Гамма	5	5.075	11.070	Гамма	2	0.544	5.991
3	Логнормальное	9	13.094	16.919	Логнормальное	7	6.116	14.067
4	Логнормальное	6	5.817	12.592	Логнормальное	4	4.157	9.488
5	Гамма	4	9.332	9.488	Гамма	3	1.979	7.815
6	Гамма	7	7.365	14.067	Гамма	4	8.571	9.488
7	Логнормальное	5	4.318	11.070	Логнормальное	2	4.754	5.991

Согласно материалам табл. 2, строение исследуемых древостоев по диаметру описывается двумя видами функций: логнормальным и гамма-распределением, при этом преобладают еловые древостои, строение которых описывается гамма-распределением.

Материалы исследований свидетельствуют, что после усыхания части деревьев ели вид строения еловых древостоев по диаметру не изменяется: на всех ПП после частичного усыхания деревьев вид распределения древостоев по диаметру остался прежний. Указанное свидетельствует, что усыхание деревьев ели происходит во всех ступенях толщины. Усыхают деревья различных диаметров.

Таким образом, строение еловых древостоев по диаметру на территории Осинского лесничества Пермского края описывается логнормальным и гамма-распределением. После усыхания части деревьев вид функции распределения древостоев по диаметру не изменяется, что свидетельствует о том, что усыхание деревьев происходит во всех ступенях толщины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванчина Л.А., Залесов С.В.* Влияние усыхания на таксационные показатели одновозрастных еловых древостоев // Лесн. журн. 2018. 6. С. 48–56.
2. *Максимова В.Ф., Майорова Л.А., Петропавловский Б.С.* Основные факторы среды, влияющие на усыхание пихтово-еловых лесов Дальнего Востока // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2019. 1. С. 61–66.
3. ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки».
4. *Ivanchina L., Kovalev V., Makurin D. et al.* The influence of the type of forest and the type of forest growing conditions on the stability of spruce stands in the zone of coniferous-deciduous forests of the Perm region // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. 15 (4): 92–111.

УДК 528.88, 630

ДИНАМИКА ГОРНО-ТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ ХРЕБТА ТАННУ-ОЛА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С.Т. ИМ[1, 2, 3], М.Л. ДВИНСКАЯ[1], И.А. ПЕТРОВ[1, 2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (stim@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск
[3] Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск

Аннотация. Данные дистанционного зондирования показали, что на хребте Танну-Ола (Тува) за 2001–2022 гг. площадь сомкнутых лесов возросла на ~20 %; сомкнутость увеличилась на 5 %. С 2010 по 2020 г. биомасса древостоев возросла на 1.3 %. Прирост биомассы преимущественно наблюдался на северных склонах, а уменьшение – на южных. Скорость продвижения верхней границы сомкнутых лесов составляет ~0.3 м в год.

DYNAMICS OF THE MOUNTAIN FOREST OF THE TANNU-OLA RIDGE BASED ON THE REMOTE SENSING DATA

S.T. IM[1, 2, 3], M.L. DVINSKAYA[1], I.A. PETROV[1, 2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (stim@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk
[3] M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

Abstract. Remote sensing data revealed that on the Tannu-Ola ridge (Tuva), during 2001–2022, the area of closed forest stands increased by ~20 %; closure increased by 5 %. From 2010 to 2020, the biomass of forest stands increased by 1.3 %. Biomass mainly increased on the northern slopes and decreased on the southern ones. The upper timberline shifted up by the elevation gradient at ~0.3 m/year.

Современный климат оказывает существенное влияние на лесные экосистемы юга Сибири. В целом наблюдается рост сомкнутости древостоев и их продвижение по градиенту высоты в результате потепления климата [5, 7]. Однако на части территории юга Сибири выявлены деградация и усыхание темнохвойных древостоев [6]. Данные дистанционного зондирования позволяют проводить анализ динамики лесных территорий на обширных площадях и выявлять связи с климатом [4]. Цель данной работы заключалась в анализе пространственно-временной динамики лесов хребта Танну-Ола в начале XXI в. по данным дистанционного зондирования Земли.

Объект исследования. Анализировались лесные территории хребта Танну-Ола (Тува; 50.5°–51.5° с. ш., 93°–95° в. д.). Высоты варьируются от ~1000 до 3056 м над ур. м. Средняя температура –1.9 ± 0.4 °C.

Материалы и методика. В работе использованы данные спектрорадиометрической съемки Landsat, продукты MODIS (MOD12Q1 [10], MOD44B [2], MOD17A3HGF [8], MCD64A1 [3]), топографические карты (М 1:100 000), данные полевых исследований, цифровая модель рельефа (Copernicus DEM GLO30) [1], карты надземной биомассы (Biomass CCI) [9]. Методика включала анализ динамики наземного покрова и проективного покрытия деревьями, оценки первичной продуктивности и надземной биомассы. Территории гарей удалены из анализа. Для ключевого участка (51° с. ш., 94.2° в. д.; Восточный Танну-Ола) по данным съемки Landsat (1988, 2023) анализировалась динамика наземного покрова.

Результаты. С 2001 по 2022 г. площадь сомкнутых древостоев возросла на ~20 %. В среднем сомкнутость деревьев увеличилась на ~5 %. Площадь сомкнутых древостоев с преобладанием кедра уменьшилась на 12 %, трансформировавшись в смешанные древостои, площадь которых возросла на 15 % (табл. 1). Площадь лиственничных и лиственных древостоев возросла в 1.2–1.4 раза, а кустарников и травяных сообществ сократилась на 13 %. Съемка Landsat показала, что с конца XX в. в горах Восточного Танну-Ола верхняя граница сомкнутых лесов поднималась по градиенту высоты со скоростью ~0.3 м/год.

С 2001 по 2023 г. преобладал рост первичной продуктивности, который наблюдался на 56–66 % растительного покрова. В среднем чистая первичная продуктивность (NPP) увеличивалась на 20 кг/га в год. С 2010 по 2020 г. надземная биомасса деревьев возросла на 1.3 %. Такие изменения были неоднородными относительно рельефа местности. Выше 1800 м над ур. м. надземная биомасса деревьев возросла, а ниже – уменьшилась (рис. 1а). Биомасса преимущественно уменьшилась на южных относительно пологих склонах, а на северных крутых склонах – возросла (рис. 1б, 1в). Индексы прироста ширины годичного кольца кедра сибирского и лиственницы достоверно коррелировали с GPP и NPP, причем для лиственницы эта связь сильнее (r^2 = 0.40–0.49), чем для кедра (r^2 = 0.25).

Таблица 1. Трансформация классов наземного покрова за период с 2001 по 2022 г. в пределах хребта Танну-Ола по данным карт MODIS MCD12Q1 LCCS

№	Класс	Площадь 2001–2003 гг. (кв. км)	Площадь 2020–2022 гг. (кв. км)	Δ (кв. км)	Δ (% от 2001–2003)
1	Сомкнутые древостои с преобладанием кедра	1234.3	1086.0	-148.3	-12
2	Сомкнутые древостои с преобладанием лиственницы	555.6	1362.5	+806.9	+145
3	Сомкнутые древостои с преобладанием березы	23.6	51.9	+28.3	+120
4	Сомкнутые смешанные древостои	5332.4	6132.9	+800.5	+15
5	Кустарниковые и травяные сообщества	11 186.8	9696.6	-1490.3	-13
6	Фон	2.6	5.6	+3.0	+117

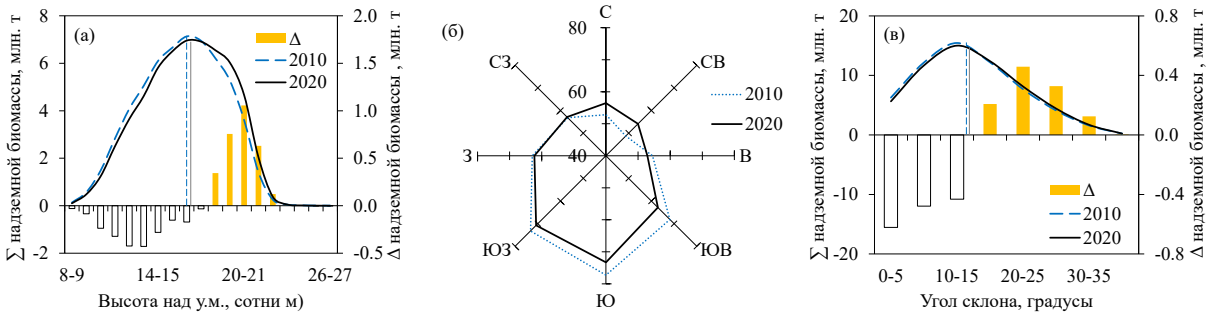


Рис. 1. Пространственное распределение надземной биомассы и ее изменение за период с 2010 по 2020 г. в пределах хребта Танну-Ола относительно (а) высоты над уровнем моря, (б) азимутального направления склона, (в) величины угла склона. Вертикальные линии показывают медианные значения

Заключение. Анализ данных дистанционного зондирования показал, что современный климат оказал значимое влияние на динамику лесных экосистем, произрастающих в горах хребта Танну-Ола. В целом с начала XXI столетия климат способствовал росту площади древостоев, их сомкнутости и биомассы на высотах более 1800 м над ур. м. В горах Восточного Танну-Ола с конца XX в. верхняя граница сомкнутых лесов поднималась по градиенту высоты на ~0.3 м в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Copernicus Global Digital Elevation Model // European Space Agency, Sinergise, 2021. DOI: 10.5069/G9028PQB.
2. *DiMiceli C.M., Carroll M.L., Sohlberg R.A. et al.* Annual global automated MODIS vegetation continuous fields (MOD44B) at 250 m spatial resolution for data years beginning day 65, 2000–2014, collection 5 percent tree cover, version 6 // University of Maryland, College Park, MD, USA, 2017. [Электронный ресурс]. URL: https://lpdaac.usgs.gov/documents/1322/MOD44B_User_Guide_V6.pdf.
3. *Giglio L., Humber M., Hall J.V. et al.* Collection 6.1 MODIS burned area product user's guide. Version 1.1 // NASA, USA, 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://modis-fire.umd.edu/files/MODIS_C61_BA_User_Guide_1.1.pdf.
4. *Im S.* Spatial analysis of vegetation cover response to climate trends in Khakassia (South Siberia) // J. Mt. Sci. 2023. 20 (10): 2869–2884.
5. *Kharuk V.I., Petrov I.A., Golyukov A.S. et al.* Mountain taiga in a warming climate: Contrast of Siberian pine growth along an elevation gradient // Forests. 2024. 15 (1): 50.
6. *Kharuk V.I., Im S.T., Petrov I.A. et al.* Climate-driven conifer mortality in Siberia // Glob. Ecol. Biogeogr. 2020. 30 (2): 543–556.
7. *Petrov I.A., Kharuk V.I., Golyukov A.S. et al.* Siberian pine and larch response to warming-drying climate in the southern boundary of their range // Forests. 2024. 15: 1054.
8. *Running S.W., Zhao M.* User's guide daily GPP and annual NPP (MOD17A2H/A3H) and year-end gap-filled (MOD17A2HGF/A3HGF) products NASA Earth observing system MODIS land algorithm (for collection 6.1). 2021. [Электронный ресурс]. URL: https://lpdaac.usgs.gov/documents/972/MOD17_User_Guide_V61.pdf.
9. *Santoro M., Cartus O., Friendship-Kay H. et al.* CCI BIOMASS product user guide v4. ESA climate change initiative – BIOMASS project 2023 // Aberystwyth University and GAMMA Remote Sensing, 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://climate.esa.int/media/documents/D4.3_CCI_PUG_V4.0_20230605.pdf.
10. *Sulla-Menashe D., Gray J.M., Abercrombie S.P. et al.* Hierarchical mapping of annual global land cover 2001 to present: The MODIS Collection 6 Land Cover product // Remote Sens. Environ. 2019. 222: 183–194.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке базовых проектов ФИЦ КНЦ № FWES-2024-0023.

УДК 674.87/66.092–997

ХВОЯ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) И ЕЛИ (*PICEA OBOVATA* L.) КАК ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ РЕСУРС ДЛЯ ПИРОЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Л.К. КАЗАРЯН, С.Р. ЛОСКУТОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (kazaryan.lk@ksc.kras.ru)

Аннотация. В работе представлены сравнительные результаты термогравиметрического анализа (ТГ/ДТГ) хвои сосны (*Pinus sylvestris* L.) и ели (*Picea obovata* L.), а также рассчитаны зависимости энергии активации от степени конверсии вещества послеэкстракционного остатка хвои сосны и ели.

PINE NEEDLES (*PINUS SYLVESTRIS* L.) AND SPRUCE (*PICEA OBOVATA* L.) AS A RENEWABLE RESOURCE FOR PYROLYTIC PROCESSING

L.K. KAZARYAN, S.R. LOSKUTOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (kazaryan.lk@ksc.kras.ru)

Abstract. The work presents comparative results of thermogravimetric analysis (TG/DTG) of pine (*Pinus sylvestris* L.) and spruce (*Picea obovata* L.) needles, and also calculates the dependence of the activation energy on the degree of conversion of the substance of the post-extraction residue of pine and spruce needles.

Глубокая конверсия биомассы дерева по-прежнему остается актуальной проблемой. В частности, это относится к древесной зелени (ДЗ). Экстракционной переработкой ДЗ деревьев хвойных видов (сосны, ели, пихты) получают продукты, используемые для производства товаров сельскохозяйственного, медицинского, пищевого, парфюмерно-косметического и другого назначения. При этом послеэстракционный остаток (ПЭО) хвои, являясь специфическим лигноцеллюлозным сырьем, пока не находит должного (эффективного) использования в Российской Федерации для получения инновационных продуктов.

В настоящем сообщении кратко представлены результаты термогравиметрического анализа (ТГ/ДТГ – TG 209 F1, NETZSCH, ФРГ) по одному из интенсивно развивающихся направлений в Китае, Индии, Африке, Юго-Восточной Азии и ряде других стран и регионов – пиролизу древесной зелени (в частности, хвои), отходов переработки сельскохозяйственных растений, птицеводства и т. п.

На основе этих результатов рассчитаны важнейшие параметры пиролиза ПЭО хвои, пригодные для создания соответствующей технологии: определен профиль потери массы при пиролизе, рассчитаны содержание контура ДТГ (деконволюция, отражающая «микростадийность» процесса), кинетические показатели (энергия активации и константы скорости термической конверсии для соответствующих температурных интервалов); определены тепловые эффекты превращений и термодинамические параметры всего процесса; установлен наиболее вероятный механизм реакций пиролиза ПЭО хвои сосны и ели. Некоторые из наиболее важных характеристик для технологического проектирования приводятся в данном сообщении.

На рис. 1 представлены термограммы пиролиза ПЭО хвои сосны и ели в атмосфере азота при скорости нагрева 20 °С/мин. и четвертая производная ДТГ ПЭО хвои ели.

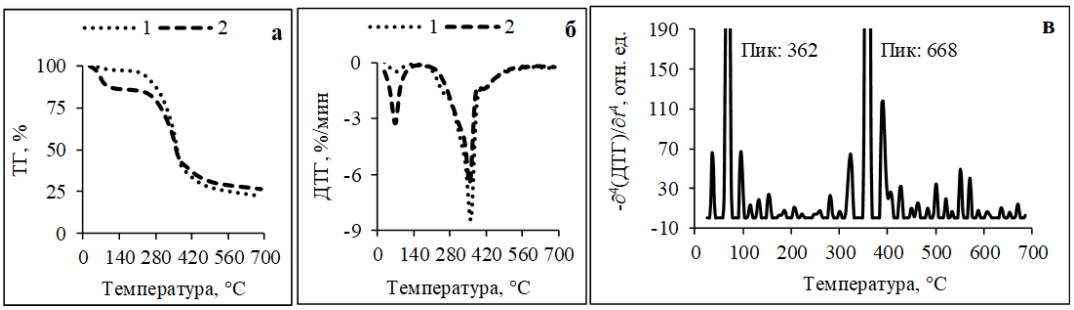


Рис. 1. Результаты термогравиметрии (а и б) ПЭО хвои сосны (1) и ели (2); деконволюция ДТГ ПЭО хвои ели (в)

Из этого рисунка видно, что ход термодеструкции образцов ПЭО хвои сосны и ели сходен. Существенные отличия отмечаются по количеству гигроскопической влаги и остаточной массе: 2.7 и 22.19 % – ПЭО хвои сосны, 13.06 и 26.24 % – ПЭО хвои ели. Графики деконволюции ДТГ исследованных образцов также сходны по расположению пиков на температурной шкале, но отличаются по их интенсивности во всех характеристических интервалах температуры: испарения влаги, термодеструкции полимерного углеводного комплекса и конденсированной ароматической компоненты.

По ТГ-кривым рассчитаны зависимости энергии активации от степени конверсии вещества ПЭО хвои сосны и ели с использованием изоконверсионного метода Озавы – Флинна – Уолла. Эти зависимости были применены для определения механизма реакций пиролиза по методу Криадо [1] (рис. 2, где показан пример расчета для ПЭО хвои ели). При изменении степени конверсии от 0.10 до 0.28 преимущественно происходит пиролиз гемицеллюлоз. Затем после небольшого (по температурному интервалу) переходного процесса разлагается преимущественно целлюлоза ($0.39 < \alpha < 0.52$) и, наконец, при $\alpha > 0.60$ происходит деструкция полифенольного комплекса, включающего лигнин. Такой характер термодеструкции отражается и на механизме реакций термического разложения (рис. 2в): до степени конверсии около 0.28 механизм реакции A2 – нуклеация и рост по Колмогорову – Ерофееву – Авраами; затем наблюдается переходный процесс до величины α, равной 0.38–0.40. После этого механизм реакции преимущественного разложения целлюлозы определяется довольно четко: R1 – реакция, контролируемая границей раздела фаз, одномерное движение [1]. После переходного процесса при $\alpha > 0.60$ реакция термодеструкции полифенольного комплекса протекает по механизму A2.

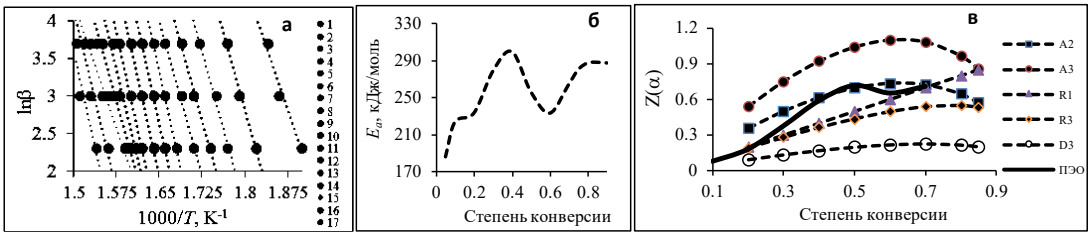


Рис. 2. Графики ОФУ (а), зависимость энергии активации реакций от температуры (б) и определение механизма реакций термодеструкции ПЭО хвои ели при пиролизе (в)

Примечание. Кривые A2 … D3 – эталонные зависимости Z(α) Криадо; ПЭО – (рис. 2в) – функция $Z_{ПЭО}(\alpha)$, рассчитанная по экспериментальным данным.

В табл. 1 представлены термодинамические параметры пиролиза ПЭО хвои сосны и ели, рассчитанные по методу [2] с использованием функции $E_a = f(\alpha)$ (рис. 2б). Комментарии относительно зависимостей Log$A$, с$^{-1}$ от E_a; ΔH, ΔG, ΔS от степени конверсии представлены нами в [3].

Таблица 1. Термодинамические показатели пиролиза ПЭО хвои сосны и ели

Степень конверсии	Log$A$, с$^{-1}$	ΔH, кДж/моль	ΔG, кДж/моль	ΔS, Дж/(моль×К)
	ПЭО хвои сосны/ПЭО хвои ели			
0.1	13.2/18.7	158.2/222.1	162.5/158.7	-6.9/248.4
0.2	18.6/18.7	222.1/222.1	160.8/158.7	96.9/248.4
0.3	23.7/23.8	282.7/282.7	159.5/157.4	194.7/246.4
0.4	23.7/23.8	282.7/282.7	159.5/157.4	194.7/246.4
0.5	18.6/22.0	222.1/260.5	160.8/157.8	96.9/247.1
0.6	23.7/18.7	282.7/222.1	159.5/158.7	194.7/248.4
0.7	17.6/22.0	209.6/260.5	161.1/157.8	76.7/247.1
0.8	27.4/14.4	326.7/170.8	158.7/160.1	265.3/250.6
Среднее:		**246.2/240.4**	**160.3/158.3**	**135.7/247.9**

О практическом значении параметров A, ΔH, ΔG и ΔS на примере пиролиза скорлупы *Arachis* исчерпывающе говорится в работе [1]. Относительно термодинамических параметров пиролиза ПЭО хвои отметим лишь следующее: изменение энтальпии термического разложения хвои положительно при всех значениях степени конверсии, что отвечает улетучиванию продуктов деструкции.

ΔG представляет собой изменение общей энергии для реакционной системы в процессе термической конверсии образца и характеризует сложность и направление реакций. Положительные значения ΔG указывают на протекание непроизвольных реакций, «запускаемых» нагревом ПЭО хвои. В течение нагрева, после «запуска» термодеструкции, изменение энергии Гиббса остается практически постоянным (табл. 1).

Степень беспорядка реакций в процессе термической деградации ПЭО хвои оценена величиной и знаком ΔS. Зависимость ΔS от α во всем интервале степени конверсии симбатна зависимости E_a от α и принимает положительные значения, свидетельствуя об увеличении степени беспорядка реакций и улетучивании продуктов пиролиза. Высокие значения ΔS указывают на далекое от равновесия состояние системы и повышенную реакционную способность.

Резюмируя изложенное, следует отметить новизну полученных результатов, их востребованность для создания соответствующей технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Guid M.Y., Lanaya S., Rbih Z., Hannioui A.* Thermal degradation behaviors of sawdust wood waste: pyrolysis kinetic and mechanism // J. Mater. Environ. Sci. 2019. V. 10. I. 8. Pp. 742–755.
2. *Dave A., Gupta G.K., Mondal M.K.* Study on thermal degradation characteristics, kinetics, thermodynamic, and reaction mechanism analysis of *Arachis hypogaea* shell pyrolysis for its bioenergy potential // Biomass Convers. Biorefin. 2021. (Published online: 14 July 2021).
3. *Loskutov S.R., Kazaryan L.K., Petrunina E.A., Aniskina A.A.* Thermal analysis and pyrolysis of pine needles (*Pinus sylvestris* Ledeb.) // Chemistry for Sustainable Development. 2023. 31. 1–11.

УДК 574.24

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЛИПИДОВ И ИХ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА В ХВОЕ *LARIX SIBIRICA* ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЭМИССИЙ

О.В. КАЛУГИНА[1], Л.В. АФАНАСЬЕВА[2]

[1] Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск (olignat32@inbox.ru)
[2] Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ (afanl@mail.ru)

Аннотация. Методом тонкослойной и газожидкостной хроматографии масс-спектрометрии изучены состав суммарных липидов и изменение их жирнокислотного состава в хвое *Larix sibirica* при разном уровне загрязнения эмиссиями Братского алюминиевого завода в сравнении с фоновыми древостоями. Выявлено, что с ростом техногенной нагрузки увеличивается содержание большинства индивидуальных компонентов нейтральных липидов, фосфо-, глико-, сфинголипидов, суммарных жирных кислот и Δ5-полиметиленовых жирных кислот. Это, вероятно, является одной из адаптационных реакций *L. sibirica* в ответ на воздействие выбросов алюминиевого производства.

CHANGES IN LIPID CONTENT AND THEIR FATTY ACID COMPOSITION IN *LARIX SIBIRICA* NEEDLES UNDER THE INFLUENCE OF TECHNOGENIC EMISSIONS

O.V. KALUGINA[1], L.V. AFANASYEVA[2]

[1] Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk (olignat32@inbox.ru)
[2] Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude (afanl@mail.ru)

Abstract. The composition of total lipids and changes in their fatty acid composition in *Larix sibirica* needles at different pollution levels by emissions from the Bratsk aluminum smelter in comparison with background tree-stands were studied by thin-layer and gas-liquid chromatography mass-spectrometry. The content of most individual components of neutral lipids, phospho-, glyco-, sphingolipids, total fatty acids and Δ5-polymethylene fatty acids increased with the increased technogenic load. This is probably one of the adaptive reactions of *L. sibirica* in response to the impact of aluminum production emissions.

Для Иркутской области проблема загрязнения окружающей среды техногенными эмиссиями не перестает быть актуальной уже долгие годы. Здесь сосредоточены предприятия, относящиеся к разным отраслям промышленности, при этом ведущей является металлургическая отрасль, в частности, алюминиевая промышленность. Алюминиевые заводы поставляют в атмосферу большое количество поллютантов I–IV классов опасности, в том числе высокотоксичные фторсодержащие и органические соединения [1]. Известно, что у растений основной мишенью воздействия поллютантов являются клеточные мембраны. От особенностей их липидного и жирнокислотного состава во многом зависит целостность и физиологическая активность мембраны в целом. В литературе приводится достаточно много информации о биохимических процессах, обеспечивающих адаптивные изменения состава и содержания липидного комплекса мембран отдельных видов растений при действии поллютантов, в частности, тяжелых металлов и ПАУ [2]. Большинство этих исследований выполнено на травянистых растениях в контролируемых экспериментальных условиях. В естественной среде сложный комплекс загрязняющих веществ в сочетании с климатическими факторами приводит к несопоставимым с экспериментами результатам. В связи с этим цель данной работы – изучить изменения в содержании липидов, их фракционном и жирнокислотном составе в хвое лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) при разном уровне загрязнения выбросами Братского алюминиевого завода (БрАЗа). Известно, что лиственница раньше других хвойных видов реагирует на повреждающее действие фтора, но при этом быстро адаптируется, перестраивает метаболизм и может оказывать длительное сопротивление сильному воздействию поллютантов [3].

Для изучения в хвое *L. sibirica* фракционного состава суммарных липидов и содержания в них жирных кислот при разном уровне загрязнения эмиссиями использовали метод тонкослойной и газожидкостной хроматографии масс-спектрометрии. Показано, что поллютанты инициируют развитие в растениях окислительного стресса и избыточное образование активных форм кислорода. Об этом свидетельствует увеличение в хвое концентрации H_2O_2 в 1.3–4.5 раза и малонового диальдегида в 1.2–1.5 раза по сравнению с фоновыми значениями. Одновременно в хвое загрязненных деревьев происходит перестройка липидного метаболизма (табл. 1). Концентрация суммарных липидов в хвое достоверно возрастает (в 1.3–1.8 раза по сравнению с фоном) при усилении техногенной нагрузки. Значительно изменяется и количественное содержание отдельных компонентов доминирующей фракции нейтральных липидов: уровень свободных жирных кислот увеличивается в 1.7 раза, моноглицеридов – в 1.8 раза, триглицеридов – в 2.1 раза, 1,2-диглицеридов – в 2.3 раза, высших алифатических спиртов – в 2.6 раза, углеводородов – в 3.1 раза, эфиров стеринов – в 4.3 раза, 1,3-диглицеридов – в 10 раз в сравнении с фоновым уровнем; содержание стеринов и восков, наоборот, снижается максимально в 1.6 и 1.5 раза соответственно. Существенные изменения происходят и во фракции полярных липидов, сумма фосфолипидов увеличивается в 1.9 раза, гликолипидов – в 2.3 раза, сфинголипидов – в 7.3 раза, при этом максимальные концентрации фосфолипидов выявляются при среднем уровне загрязнения, а глико- и сфинголипидов – при сильном уровне загрязнения.

Таблица 1. Содержание суммарных липидов и распределение их по классам (M ± δ) в хвое *Larix sibirica* при разных уровнях ее загрязнения эмиссиями БрАЗа

Показатели, мкг/г сырой массы	Уровни техногенного загрязнения				
	Фоновые древостои	Слабый	Средний	Сильный	Критический
Содержание нейтральных липидов	$4.60 \pm 0.11^{c*}$	5.71 ± 0.98^{b}	6.46 ± 0.24^{b}	6.88 ± 0.94^{ab}	7.71 ± 0.37^{a}
Содержание полярных липидов:					
Фосфолипиды	0.93 ± 0.36^{c}	1.32 ± 0.30^{b}	1.77 ± 0.33^{a}	1.38 ± 0.10^{ab}	1.35 ± 0.06^{b}
Гликолипиды	0.71 ± 0.07^{c}	0.79 ± 0.06^{c}	1.24 ± 0.08^{b}	1.64 ± 0.13^{a}	1.23 ± 0.05^{b}
Сфинголипиды	0.09 ± 0.01^{c}	0.10 ± 0.02^{c}	0.54 ± 0.01^{b}	0.66 ± 0.05^{a}	0.56 ± 0.01^{b}
Неидентифицированные липиды	0.44 ± 0.05^{c}	0.47 ± 0.05^{c}	0.75 ± 0.10^{b}	1.01 ± 0.11^{a}	1.05 ± 0.03^{a}
Содержание суммарных липидов	$\mathbf{6.77 \pm 0.10^{c}}$	$\mathbf{8.39 \pm 0.60^{b}}$	$\mathbf{10.76 \pm 0.64^{a}}$	$\mathbf{11.57 \pm 1.22^{a}}$	$\mathbf{11.90 \pm 0.05^{a}}$

** Разные буквы в одном ряду обозначают статистически значимые различия ($P < 0.05$), где a > b > c.*

Анализ содержания индивидуальных компонентов этих фракций показал их разнонаправленное изменение в зависимости от уровня загрязнения. Концентрации фосфатидилхолина, фосфатидилэтаноламина, фосфатидилглицерина, фосфатидилинозита в хвое *L. sibirica* возрастают вплоть до критического уровня загрязнения, фосфатидной кислоты и дифосфатидилглицерина – увеличиваются при слабом и среднем загрязнении и снижаются при сильном и критическом; моно- и дигалактозилглицеридов достигают максимальных значений при сильном загрязнении, при критическом – падают.

Анализ качественного состава жирных кислот (ЖК) суммарных липидов хвои *L. sibirica* как на фоновых, так и на загрязненных территориях показывает доминирование (66–80 % от суммы ЖК) ненасыщенных ЖК (ННЖК), из которых преобладают олеиновая, линолевая и α-линоленовая кислоты. Меньшая доля – 20–34 % от суммы ЖК – приходится на фракцию насыщенных ЖК (НЖК). С ростом техногенной нагрузки увеличивается доля НЖК и уменьшается количество ННЖК, прежде всего за счет падения уровня ЖК типа C_{18} (рис. 1). В составе ЖК липидов хвои обнаруживается также высокое содержание видоспецифических для хвойных «реликтовых» ненасыщенных Δ5-полиметиленовых ЖК. На фоновых территориях сумма их концентраций составляет 222.70 мг/г, по мере усиления техногенного загрязнения до критического она достигает 368.17 мг/г сырой массы. Вероятно, эти ЖК также осуществляют защиту мембран от воздействия техногенных выбросов.

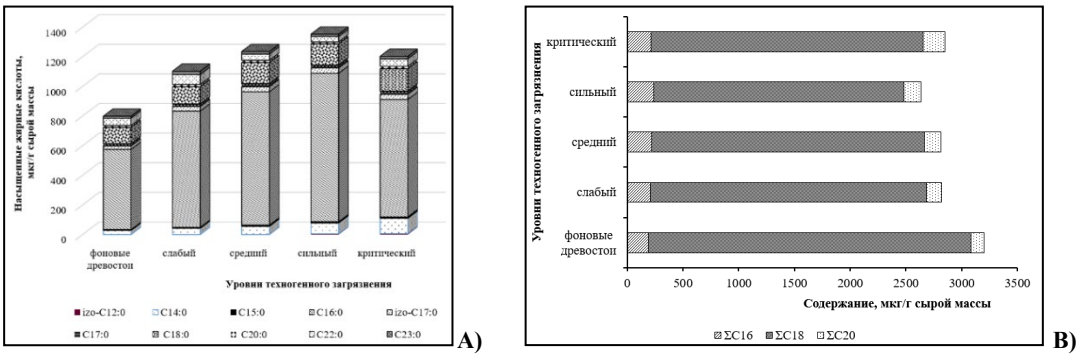


Рис. 1. Содержание А) насыщенных ЖК и В) основных групп ненасыщенных ЖК в составе суммарных липидов хвои *Larix sibirica* при разных уровнях ее загрязнения эмиссиями БрАЗа

В целом изменения, выявленные в количественном и качественном составе липидов и ЖК хвои, свидетельствуют об активации механизмов стабилизации мембранных липидов за счет их плотной упаковки в бислое, что является одной из адаптационных реакций *L. sibirica* к выбросам алюминиевого производства. Эти изменения обнаруживаются при слабом, среднем и особенно при сильном уровне загрязнения деревьев, а при критическом уровне происходит подавление защитных свойств мембранных липидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2022 году». Иркутск: ООО «Максима», 2023. 285 с.
2. *Chaffai R., Elhammadi M.A., Seybou T.N., Tekitek A., Marzouk B., Ferjani E.* Altered fatty acid profile of polar lipids in maize seedlings in response to excess copper // J. Agron. Crop. Sci. 2007. 193 (3). P. 207–217.
3. *Rozhkov A.S., Mikhailova T.A.* The effects of fluorine-containing emissions on conifers. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1993.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены в рамках госзаданий FWSS-2022-0002 № 122041100045-2 (СИФИБР СО РАН) и FWSM-2021-0001 № 121030900138-8 (ИОЭБ СО РАН).

УДК 581.93+581.55+502.4 (470.13)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФЛОРЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЛЕСНОГО ЗАКАЗНИКА «ЛЯЛЬСКИЙ» (ПОДЗОНА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)

В.А. КАНЕВ, Н.Н. ГОНЧАРОВА, Ю.А. ДУБРОВСКИЙ

Институт биологии КНЦ УрО РАН, Сыктывкар (kanev@ib.komisc.ru)

Аннотация. Были проведены флористические и геоботанические исследования современного состояния растительности в лесном заказнике «Ляльский» республиканского значения, расположенном в подзоне средней тайги Республики Коми. Были выявлены основные черты флоры при проведении систематического и географического анализов и основные типы лесных сообществ.

CURRENT STATE OF FLORA AND VEGETATION OF THE LYALSKY FOREST RESERVE (SUBZONE OF THE MIDDLE TAIGA OF THE KOMI REPUBLIC)

V.A. KANEV, N.N. GONCHAROVA, YU.A. DUBROVSKY

Institute of Biology KSC Ural Branch RAS, Syktyvkar (kanev@ib.komisc.ru)

Abstract. Floristic and geobotanical studies were carried out on the current state of flora and vegetation in the Lyalsky forest reserve of republican significance, located in the middle taiga subzone of the Komi Republic. The main features of the flora were identified during systematic and geographical analyzes and the main types of forest communities.

Республика Коми (РК), расположенная на европейском северо-востоке России, отличается от сопредельных регионов значительным разнообразием природных комплексов. Исследование и мониторинг биоты особо охраняемых природных территорий (ООПТ), которые имеют ключевое значение для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия как основы биосферы, рассматриваются в мире в качестве важнейшего приоритета. Республика Коми, где ландшафты мало трансформированы деятельностью человека, представляет собой уникальный полигон для сохранения и изучения биологического разнообразия. В регионе созданы 244 ООПТ, четыре из которых имеют федеральный статус, 238 – региональное (республиканское) подчинение и 2 – местное значение. Общая площадь природно-заповедного фонда составляет 5.7 млн га – примерно 13.7 % от общей площади республики, из которых почти половина – 2.69 млн га (6.5 % от территории республики) – приходится на четыре федеральные ООПТ [1].

Несмотря на расположение Республики Коми в европейской части России, с ботанической точки зрения территория региона до сих пор остается малоизученной, многие районы так и не посещались ботаниками. Со второй половины 1980-х гг. специалисты Института биологии Коми НЦ УрО РАН начали планомерную инвентаризацию флор сосудистых растений крупнейших особо охраняемых природных территорий федерального значения, расположенных в предгорьях и горах Северного и Приполярного Урала, а инвентаризация резерватов республиканского значения началась только с 2000 г. и на данный момент почти завершена. Но, как оказалось, не во всех резерватах проведены исследования по выявлению видового состава определенных таксономических групп и фиторазнообразия. Например, в большинстве лесных заказников нашего региона отсутствуют данные о флористическом и ценотическом разнообразии [1]. Одним из таких объектов оказался лесной заказник «Ляльский», на территории которого находится Ляльский лесоэкологический стационар Института биологии – с 1986 г. и до настоящего времени он является базой для выполнения комплексных биогеоценологических исследований среднетаежных лесов. На территории заказника в 1990–2000 гг. геоботанические работы были выполнены только на пробных площадях, но полная характеристика растительности и видового состава высших сосудистых растений отсутствовала. Заказник и стационар находятся в 80 км к северу от г. Сыктывкара.

Лесной заказник «Ляльский» был учрежден постановлением СМ Коми АССР от 26.06.1989 № 193 по инициативе Ю.А. Паутова, сотрудника Института биологии Коми НЦ УрО РАН, с целью проведения стационарных лесобиологических и гидрологических исследований в подзоне средней тайги; площадь его составляет 700 га. По геоботаническому районированию территория заказника входит в евроазиатскую таежную провинцию, Кольско-Печорскую подпровинцию [2]. Средняя лесистость – 96 %, доминируют леса с преобладанием хвойных пород. Насаждения представлены как типично коренными хвойными, так и вторичными древостоями, образовавшимися в результате сплошных рубок леса. Сосново-лиственные и лиственно-еловые молодняки составляют 38 % лесопокрытой площади заказника [1].

В результате полевых исследований в лесном заказнике «Ляльский» было выявлено, что здесь произрастает 210 видов сосудистых растений (споровые, голосеменные, покрытосеменные), относящихся к 136 родам и 51 семейству. Почти все выявленные виды являются характерными для таежной зоны и встречены в типичных для них местообитаниях – это леса, небольшие лесные болота, зарастающие пашни и луга. К споровым растениям относятся 12 видов, которые представлены папоротниковидными, хвощевидными и плауновидными. Четыре вида относятся к папоротникообразным, пять видов – к

хвощевидным, три вида – к плауновидным. Пять видов принадлежат к голосеменным растениям, которые представлены хвойными *Abies sibirica* Ledeb., *Larix sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb. Остальные виды (193) относится к покрытосеменным или цветковым растениям, из которых 52 вида – это однодольные, а 141 вид – двудольные. Наибольшим разнообразием отличаются семейства Poaceae и Asteraceae с 22 видами каждое, Cyperaceae и Rosaceae с 14 видами каждое, Ranunculaceae с 11, Caryophyllaceae с 9, Salicaceae и Fabaceae с 8 видами каждое, Ericaceae, Scrophulariaceae, Orchidaceae с 7 видами каждое. Остальные семейства включают от 1 до 6 видов. В целом всего десяток ведущих семейств включает более половины всех видов флоры.

Географический анализ флоры по составу широтных групп показал преобладание бореальных видов, к числу которых относится 78.1 % выявленных сосудистых растений. Суммарное участие северных широтных групп составило 7.2 %. Арктических видов нет. Южные широтные группы представлены неморально-бореальными (5.7 %) и неморальными видами (1.4 %). Виды с полизональным распространением составляют 7.6 % флоры. В составе флоры среди долготных групп преобладают виды с широкими евразиатскими и голарктическими ареалами (45.7 % и 33.3 % соответственно), которые обычны во всех сообществах и нередко являются доминантами и содоминантами. К азиатским видам относятся 5.3 %, а на виды с европейскими ареалами приходится 13.3 % исследованной флоры. Космополитных видов пять.

В результате исследований и последующих анализов было выявлено, что флора лесного заказника «Ляльский» имеет типичные бореальные черты, большинство показателей систематического, географического и биологического анализов характерны для среднетаежных флор, а кроме того, присутствуют некоторые сорные виды, которые были занесены из соседних ценозов, что говорит о небольшом антропогенном воздействии на флору. Чужеродные, заносные и карантинные виды растений в нашей флоре отсутствуют. В результате исследований было выявлено произрастание пяти видов, которые нуждаются в биологическом надзоре и включены в приложение к Красной книге Республики Коми [3] – *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo, *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Viola mirabilis* L.

В 2023 г. геоботанические работы в заказнике «Ляльский» проводили в два основных этапа. В июне на 347 модельных площадках была выполнена экспресс-оценка разнообразия и структуры растительных сообществ согласно утвержденной единой методике описания лесной растительности на пробных площадях планируемых объектов наземного и дистанционного мониторинга. А на втором этапе в августе на 30 постоянных пробных площадях (ППП) прошли работы по исследованию разнообразия и структуры растительных сообществ (полные флористические и геоботанические исследования). На каждой пробной площади выполняли два геоботанических описания. Общее количество описаний составило 60.

По итогам геоботанических исследований в составе травяно-кустарничкового яруса на пробных площадях отмечено 76 видов растений. В составе мохово-лишайникового яруса отмечено 49 видов споровых растений. Средний показатель видового богатства составил 15 видов на ППП для травяно-кустарничкового яруса и 8 видов на ППП для мохово-лишайникового покрова. На 59 из 60 ПП растительность представлена лесными сообществами, одно описание выполнено на лугу вторичного происхождения. Большая часть лесных сообществ постоянных пробных площадей – это еловые леса (35 описаний), на втором месте сосняки (18). Четыре описания сделаны в осинниках, два – в березовых лесах. Наибольшее число сообществ относится к зеленомошному и сфагновому типам (по 22 описания). Два описания были сделаны в сообществах переходного зеленомошно-сфагнового типа. Травяной тип сообществ отмечен в девяти описаниях, долгомошный — в пяти. Наибольшим ценотическим разнообразием характеризуются еловые леса, в составе которых отмечено 13 растительных ассоциаций. Наиболее распространенными в заказнике «Ляльский» ассоциациями являются ельник чернично-сфагновый (11 описаний), сосняк чернично-зеленомошный (8 описаний), ельник чернично-зеленомошный и сосняк чернично-сфагновый (по 4 описания).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кадастр особо охраняемых природных территорий Республики Коми / под ред. С.В. Дёгтевой, В.И. Пономарева. Сыктывкар: Кировская обл. тип., 2014. 428 с.
2. *Исаченко Т.И., Лавренко Е.М.* Ботанико-географическое районирование // Растительность европейской части СССР. Л.: Наука, 1980. С. 10–20.
3. Красная книга Республики Коми: 3-е издание, официальное. Сыктывкар: ООО «Коми республиканская типография», 2019. 768 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования проведены в ходе выполнения важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах». Рег. № 123030300031-6.

УДК 581.5:595.799:630

НОВЫЕ НАХОДКИ КИПАРИСОВОЙ РАДУЖНОЙ ЗЛАТКИ *LAMPRODILA FESTIVA* (Linnaeus, 1767) (COLEOPTERA: BUPRESTIDAE) НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Н.Н. КАРПУН

Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр РАН», Сочи (nkolem@mail.ru)

Аннотация. Формирование инвазионного ареала кипарисовой радужной златки *Lamprodila festiva* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera: Buprestidae) на территории России началось с 2013 г. Указаны новые места находки этого вредителя – г. Махачкала (Республика Дагестан) и г. Грозный (Чеченская Республика). Таким образом, ареал кипарисовой радужной златки расширился в восточном направлении на 320 км. На территории Краснодарского края усилилась экспансия вида в естественные можжевеловые насаждения.

NEW RECORDS OF THE CYPRESS JEWEL BEETLE *LAMPRODILA FESTIVA* (Linnaeus, 1767) (COLEOPTERA: BUPRESTIDAE) IN THE SOUTH OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

N.N. KARPUN

Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi (nkolem@mail.ru)

Abstract. The formation of the invasive range of the cypress jewel beetle *Lamprodila festiva* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera: Buprestidae) in Russia began in 2013. New sites of this pest are recorded – Makhachkala (Republic of Dagestan) and Grozny (Chechen Republic). Thus, the area of the cypress jewel beetle has expanded eastward by 320 km. The expansion of this phytophage into natural juniper plantations has increased in the Krasnodar region.

Кипарисовая радужная златка *Lamprodila festiva* (Linnaeus, 1767) – средиземноморский вид златок (Coleoptera: Buprestidae). Вредит представителям семейства кипарисовые Cupressaceae [6]. В настоящее время *L. festiva* стремительно расширяет свой ареал в Европе благодаря скрытному образу жизни и высокой популярности кормовых пород (туи и можжевельников) в ландшафтном строительстве. В настоящее время кипарисовая радужная златка регистрируется в северных районах Болгарии, Венгрии и Румынии далеко за пределами своего естественного ареала; обнаружена в Люксембурге, Бельгии, Чехии, Нидерландах, Словакии, Сербии, Германии [4], а также в Донецкой Республике [1] и в Абхазии (Гагра, Гудаута, Сухум) [3].

В России первые симптомы повреждения кипарисовой радужной златкой были выявлены в Сочи в 2013 г., а идентифицирован вид был только в 2016 г. [2]. Впоследствии златка была обнаружена в 2017 г. в г. Геленджике, в 2018 г. – в г. Краснодаре, в 2019 г. – в г. Севастополе и на южном берегу Крыма, в 2020 г. – в г. Черкесске и пос. Домбай (Карачаево-Черкесия), в г. Невинномысске (Ставропольский край), в г. Нальчике (Кабардино-Балкария), в 2021 г. – в г. Ростове-на-Дону [3]. С 2021 г. можно говорить о повсеместном распространении кипарисовой радужной златки по территории Краснодарского края и Республики Адыгея [3].

Цель исследований – выявить расширение инвазионного ареала кипарисовой радужной златки на юге европейской части России.

Исследования проводились в 2023–2024 гг. методом маршрутных обследований декоративных и естественных насаждений в пределах инвазионного ареала на юге европейской части России и в пограничных регионах. Идентификация вредителя велась по личинкам и имаго.

Характерное усыхание деревьев туи западной ‘Смарагд’ *Thuja occidentalis* L. ‘Smaragd’ было обнаружено на пл. Ленина в г. Махачкале, Республика Дагестан (координаты места обнаружения – 42.982812° с. ш., 47.504073° в. д.) в марте 2023 г. На усыхающих деревьях под корой были найдены ходы, заполненные буровой мукой, и личинки златки. На стволах выявлены летные отверстия, что является свидетельством вылета жуков в вегетационный сезон 2022 года. Таким образом, можно утверждать, что кипарисовая радужная златка появилась в г. Махачкале не позднее 2022 г.

В марте 2024 г. очаг усыхания туи западной ‘Смарагд’ был выявлен в Чеченской Республике, г. Грозном (пер. Киевский, координаты места обнаружения – 43.332860° с. ш., 45.707773° в. д.). Посадки 2023 г., посадочный материал был привезен из Краснодарского края. Под корой обнаружились ходы, заполненные буровой мукой, и личинки златки. Летных отверстий не обнаружено. Таким образом, в Чеченской Республике *L. festiva* появилась не позднее 2023 г.

До вышеперечисленных находок самой восточной точкой обнаружения кипарисовой радужной златки являлся г. Нальчик, где вид был выявлен в 2020 г. [3]. Новые находки расширили инвазионный ареал вредителя на восток на 320 км. Такая скорость распространения вредителя связана с тем, что основным поставщиком посадочного материала туи западной для ландшафтного строительства является Краснодарский край, где *L. festiva* распространена повсеместно, в том числе выявлена на посадочном материале в ряде декоративных питомников.

Помимо стремительного распространения кипарисовой радужной златки в восточном направлении, большие опасения вызывает ее расселение в естественных можжевеловых насаждениях на западе Краснодарского края. Первые находки были сделаны нами на можжевельнике высоком *Juniperus excelsa* M. Bieb. и можжевельнике колючем *J. oxycedrus* L. на склоне Маркотхского хребта (окрестности г. Геленджика) еще в 2020 г. [3]. В 2021 г. вследствие заселения кипарисовой радужной златкой было отмечено усыхание *J. oxycedrus* в пос. Сукко, а также *J. excelsa* и можжевельника вонючего *J. foetidissima* Willd. в пос. Большой Утриш [5]. Весной 2024 г. масштабы усыхания можжевельников в естественных насаждениях в окрестностях пос. Сукко значительно увеличились. Особую тревогу вызывает то, что *J. excelsa* занесен в Красную книгу Российской Федерации и в Красную книгу Краснодарского края, а *J. foetidissima* – в Красную книгу Краснодарского края.

Таким образом, установлено, что ареал кипарисовой радужной златки расширился в восточном направлении на 320 км, охватив населенные пункты в Чеченской Республике и в Республике Дагестан. На территории Краснодарского края усилилась экспансия вида в естественные можжевеловые насаждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Губин А.И., Мартынов В.В., Никулина Т.В.* Первая находка кипарисовой радужной златки *Lamprodila (Palmar) festiva* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera: Buprestidae) в Донбассе // Субтропическое и декоративное садоводство. 2020. 75. С. 96–107. DOI: 10.31360/2225-3068-2020-75-96-107.
2. *Карпун Н.Н., Волкович М.Г.* Кипарисовая радужная златка *Lamprodila (Palmar) festiva* (L.) (Coleoptera: Buprestidae) – новый инвазивный вредитель на Черноморском побережье Кавказа // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах: Матер. междунар. конф., 23–25 ноября 2016 г., Санкт-Петербург. СПб.: СПбГЛТУ, 2016. С. 45–46. DOI: 10.21266/SPBFTU.2016.9.
3. *Карпун Н.Н., Журавлева Е.Н.* Расширение инвазионного ареала и трофические связи кипарисовой радужной златки *Lamprodila festiva* L. (Buprestidae: Coleoptera) в России // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. 244. С. 42–55. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.244.42-55.
4. *Keszthelyi S., Somfalvi-Tóth K.* A story of becoming a horticultural threat, cypress jewel beetle *Lamprodila festiva* (Coleoptera, Buprestidae): analytical approach of its European escalation based on bibliographical sources // Ecologica Montenegrina. 2024. 73. P. 54–71. DOI: 10.37828/em.2024.73.6.
5. *Khachikov E.A., Kazeev K.Sh., Poushkova S.V.* The cypress jewel beetle *Lamprodila festiva* (Linnaeus, 1767) (Coleoptera: Buprestidae) – a real threat to the relict juniper forests of the Black sea coast of the Caucasus // Russian Journal of Biological Invasions. 2023. 14 (1). P. 93–96. DOI: 10.35885/1996-1499-15-4-101-101.
6. *Volkovitsh M.G., Karpun N.N.* A new invasive species of buprestid beetles in the Russian fauna: *Lamprodila (Palmar) festiva* (L.) (Coleoptera, Buprestidae), a pest of Cupressaceae // Entomological Review. 2017. 97 (4). P. 425–437. DOI: 10.1134/S0013873817040042.

БЛАГОДАРНОСТИ. Публикация подготовлена по результатам исследований, проведенных в рамках реализации государственного задания ФИЦ СНЦ РАН FGRW-2022-0006 (№ госрегистрации 122042600092-8).

УДК 630*181:581.52:574.24

ЦЕНОПОПУЛЯЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

П.Н. КАТЮТИН[1, 2], Н.И. СТАВРОВА[1], И.В. ЛЯНГУЗОВА[1]

[1] Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург (PauRussia@ binran.ru, NStavrova@binran.ru, ILyanguzova@binran.ru)
[2] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Аннотация. В работе проведено сравнение размерной структуры ценопопуляций *Pinus sylvestris* L. в средневозрастных лесах Кольского полуострова, произрастающих на разном удалении от предприятия цветной металлургии (10, 30, 60 км). Установлено, что для всех ценопопуляций распределения особей по ступеням толщины являются непрерывными и минимальные значения диаметра ствола у корневой шейки совпадают. Выявленные различия между фоновым районом, буферной и импактной зонами связаны с характером распределения, который зависит от доли участия особей разной толщины, и их рангом.

SCOTS PINE COENOPOPULATIONS IN NATURAL AND ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED FOREST ECOSYSTEMS

P.N. KATJUTIN[1, 2], N.I. STAVROVA[1], I.V. LYANGUZOVA[1]

[1] V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg (PauRussia@ binran.ru, NStavrova@binran.ru, ILyanguzova@binran.ru)
[2] Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

Abstract. The paper compares the size structure of Scots pine coenopopulations in middle-aged forests of the Kola Peninsula growing at different distances from a non-ferrous metallurgy plant (10, 30, 60 km). It has been established that for all cases the distributions of individuals by diameter-class are continuous and the minimum values of diameter at the root collar are same. The differences between the background region, buffer and impact zones are associated with the type of the distribution, which depends on the proportion of individuals of different thickness and their rank.

Леса произрастают на площади 4 млрд га [3] и играют важнейшую роль в биосфере, выполняя климаторегулирующую, водоохранную, почвозащитную и противоэрозионную функции. Начиная с последней трети XX века бореальные леса подвергаются мощному воздействию газообразных и твердых поллютантов, что уже привело к усыханию хвойных лесов на территории Европы [5, 7]. Особое внимание и бережное отношение необходимы хвойным лесам, произрастающим в суровых климатических условиях, что делает их наиболее уязвимыми к стрессовым факторам. Одним из таких факторов является техногенное загрязнение, в результате которого на огромных территориях происходит трансформация естественных сообществ [8, 9]. При этом центральным и наиболее актуальным вопросом остается оценка состояния популяций видов-лесообразователей, которые являются основным ядром лесных биогеоценозов. Сравнительный анализ структурной организации ценопопуляций лесообразующих видов дает возможность объективно определить степень их устойчивости в условиях загрязнения, выявить общие закономерности и направленность развития и дать прогноз состояния лесной растительности.

Целью данной работы было исследование ценопопуляций сосны обыкновенной *Pinus sylvesrtris* L., которые подвержены различной степени воздействия промышленного предприятия по выпуску тяжелых металлов в г. Мончегорске (Мурманская область).

В основу работы был положен эмпирический материал, собранный в средневозрастных сосновых лесах Кольского полуострова, расположенных на разном расстоянии от основного источника загрязнения и отличающихся уровнем техногенной нагрузки. Учет и измерение параметров сосны проводились по квадратам 5 × 5 м на пробных площадях размером 0.04–0.10 га. Пробные площади были заложены на расстоянии 10, 30 и 60 км от г. Мончегорска, что соответствует импактной, буферной и фоновой зоне [6]. В учет принимались живые и сухие особи сосны обыкновенной высотой 10 см и более. На площадках 1 × 1 м, которые закладывались регулярно в пределах пробной площади, измерялись параметры особей меньшего размера.

Во всех исследованных сообществах минимальные значения диаметра основания ствола совпадают и не зависят ни от плотности ценопопуляции сосны обыкновенной, ни от уровня аэротехногенной нагрузки. Наличие самых маленьких особей в различных условиях свидетельствует о высокой пластичности вида и его приспособленности к существованию в жесткой экологической обстановке. Это связано со способностью сосны к образованию жизнеспособных семян и наличием в биоценозе пространства и условий для существования вновь появляющихся особей несмотря на высокую степень контроля потоков веществ на всей территории сообществ со стороны древесного яруса [4]. Поскольку значения минимального диаметра идентичны, диапазон диаметров определяется наличием крупных особей в составе ценопопуляций. Было установлено, что в буферной зоне диаметр основания ствола

варьирует от 0.1–0.2 до 33–35 см, что соответствует значениям для фоновых зеленомошных лесов. В импактной зоне диапазон распределения диаметров оказался меньше, чем в фоне.

Распределение числа особей сосны в зависимости от толщины ствола характеризуется непрерывностью как в фоновом районе, так и в условиях промышленного загрязнения. В фоновых условиях для распределения характерна незначительная или умеренная асимметричность (коэффициент асимметрии *As* = |0.09–0.39|) либо выраженная асимметричность (*As* = |0.85–1.65|).

В буферной зоне распределения отличаются выраженной положительной асимметрией (*As* = |2.25–2.85|) и островершинностью (коэффициент эксцесса *E* = |4.46–8.69|). Эта закономерность связана с тем, что в ценопопуляции абсолютно доминируют особи с диаметром ствола до 5 см (на эту группу приходится 70–75 % особей). Несмотря на то, что остальные классы не выражены (по числу стволов на каждый из них приходится не более 10 %), для распределения характерно отсутствие дискретности, которая отмечалась исследователями как для размерной, так и для возрастной структуры сосновых лесов и связана с повторяемостью пожаров [1].

В импактной зоне для распределений особей по ступеням толщины характерны умеренно выраженная асимметрия (*As* = |0.2 –1.24|) и туповершинность (*E* = |0.41–0.98|). Это обусловлено тем, что, в отличие от буферной зоны, доминирование особей небольшого размера не выражено. На долю сосны с диаметром ствола до 5 см приходится не более 45 % от их общего числа. А в одном из сообществ асимметрия имеет отрицательное значение в связи с тем, что ценопопуляция сосны характеризуется преобладанием деревьев с диаметром ствола 10–15 см. На их долю приходится 25 % от общего числа особей.

Проведенная аппроксимация распределений особей в зависимости от толщины диаметра ствола у основания с помощью кривой Вейбулла выявила отличия между ценопопуляциями, произрастающими в фоновых районах и в условиях аэротехногенного загрязнения. В условиях фона эмпирические распределения соответствуют теоретической кривой (коэффициент Колмогорова – Смирнова *KC* = 0.05–0.11, *p* = 0.18–0.98), в отличие от зоны загрязнения. Было установлено, что в импактной и буферной зонах это соответствие является недостоверным (*KC* = 0.12–0.33, *p* = 0.0000–0.0005). Несоответствие частотного распределения по диаметру уравнению Вейбулла уже было установлено на Кольском полуострове для сосновых редин и редколесий, сформировавшихся после рубок и пожаров [2]. Вероятно, это обусловлено менее выраженным влиянием фитоценотической среды и низким уровнем внутрипопуляционных взаимодействий между древесными растениями.

Проведенное исследование позволило установить ряд общих закономерностей и отличия в размерной структуре ценопопуляций сосны обыкновенной, являющейся основным компонентом лесных экосистем в фоновых районах и на территориях с разной степенью загрязнения промышленным предприятием.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Горшков В.В., Ставрова Н.И.* Возрастная структура популяций *Pinus sylvestris* L. в северотаежных сосновых лесах с различной давностью пожара // Растительные ресурсы. 2002. Т. 38. Вып. 1. С. 3–24.
2. *Ставрова Н.И., Горшков В.В., Катютин П.Н.* Разнообразие размерной структуры средневозрастных сосновых (*Pinus sylvestris* L.) древостоев в условиях северной тайги (Мурманская обл.) // Труды Кольского научного центра РАН. 2021. Т. 12. № 6 (9). С. 51–59.
3. FAO. 2020. Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome. DOI: 10.4060/ca9825en.
4. *Kuuluvainen T. et al.* Factors related to seedling growth in a boreal Scots pine stand: a spatial analysis of a vegetation-soil system // Can. J. For. Res. 1993. 23: 2101–2109.
5. *Lorenz et al.* Air pollution impacts on forests in a changing climate // Forest and society: responding to global drivers of change. V. 25. Ch. 4. Vienna, Austria. IUFRO World Series. 2010. Pp. 55–74.
6. *Lyanguzova I.V., Katjutin P.N.* Effects of high and low aerotechnogenic emissions of heavy metals on wild plants // Forests. 2023. 14 (8): 1650.
7. *McLaughlin S.B.* Effects of air pollution on forests // J. APCA (Air Pollution Control Association). 1985. V. 35: 512–534.
8. *Myking T., Aarrestad P.A., Derome J.* et al. Effects of air pollution from a nickel-copper industrial complex on boreal forest vegetation in the joint Russian – Norwegian – Finnish border area // Boreal Environ. Res. 2009. V. 14: 279.
9. *Salemaa M., Vanha-Majamaa I., Derome J.* Understory vegetation along a heavy-metal pollution gradient in SW Finland // Environmental Pollution. 2001. V. 112 (3): 339.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа проведена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-26-00193).

УДК 581.5*52

ПОТЕРЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА ЛИСТВЕННИЦЫ К ИЗМЕНЕНИЯМ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОДЗОНЕ ЮЖНОЙ ТАЙГИ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

А.В. КИРДЯНОВ[1], А. АРЗАК[2], А.С. ПРОКУШКИН[1], Д.В. ОВЧИННИКОВ[1], А.И. БОНДАРЕВ[1], О.В. СЕРГЕЕВА[2], В.В. ШИШОВ [2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (kirdyanov@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск (aarzac@gmail.com)

Аннотация. На основе анализа данных по ширине и максимальной плотности поздней древесины годичных колец лиственницы, произрастающей в лесотундре и южной тайге Средней Сибири, выявлено ослабление связи параметров радиального прироста с температурой летнего периода на юге изучаемого региона, что является проявлением «проблемы дивергенции» в дендроклиматологии. Рост лиственницы на севере по-прежнему во многом зависит от изменчивости температуры.

REDUCED SENSITIVITY OF LARCH RADIAL GROWTH TO TEMPERATURE VARIABILITY IN SOUTHERN TAIGA OF CENTRAL SIBERIA

A.V. KIRDYANOV[1], A. ARZAC[2], A.S. PROKUSHKIN[1], D.V. OVCHINNIKOV[1], A.I. BONDAREV[1], O.V. SERGEEVA[2], V.V. SHISHOV [2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (kirdyanov@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (aarzac@gmail.com)

Abstract. We analyzed data on tree-ring width and maximum latewood density for larch growing in the forest-tundra and southern taiga of Central Siberia, and detected a reduction in sensitivity tree radial growth parameters to summer temperature in the south the region, the so-called “Divergence Problem” in dendroclimatology. Larch growth in the north remains largely dependent on temperature variability.

Темпы текущего потепления в Арктике и Субарктике в последние десятилетия существенно превосходят средние значения повышения температуры в мире [1]. Это потепление оказывает непосредственное влияние на функционирование растительных сообществ в крупнейшем в мире наземном биоме – зоне северных хвойных лесов, что выражается в том числе в ослаблении зависимости роста древесных растений от температуры вегетационного периода [2]. Несмотря на то, что изучение так называемой проблемы дивергенции проводится на протяжении последних 30 лет, причины и пространственные закономерности этого явления до конца не выявлены.

В работе представлены данные об изменчивости и климатическом отклике параметров древесных колец лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii*), произрастающей в пределах самого северного в мире лесного участка на полуострове Таймыр, и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) из подзоны южной тайги в Средней Сибири. Анализ климатического сигнала, содержащегося в хронологиях по ширине годичных колец деревьев (ШГК), и максимальной плотности поздней древесины (МАКС) показывает, что МАКС по сравнению с ШГК является более чувствительным к изменениям температуры летних месяцев параметром и охватывает более длительный интервал вегетационного периода: с июня по август для участков в лесотундре ($r = 0.66$, $P < 0.01$) и с мая по август в южной тайге ($r = 0.47$, $P < 0.01$). «Проблема дивергенции» выражена существенно сильнее для южных регионов. В то время как скользящие корреляции с окном в 31 год для МАКС в лесотундре варьируют от $r = 0.6$ до 0.8 ($P < 0.001$) на протяжении всего анализируемого периода с 1929 г., в южной тайге статистически значимые коэффициенты корреляции для этого параметра колец наблюдаются в основном только по 1933 г. (r рассчитан для периода с 1918 по 1948 г.). Нестабильность связей параметров древесных колец лиственницы для южного региона подтверждается и пространственными корреляциями и может быть связана с достижением летней температурой порога чувствительности роста деревьев в условиях более теплого климата в первой половине XX столетия. Кроме того, на росте деревьев в южной тайге может сказываться влияние низкоинтенсивных лесных пожаров, вспышек размножения насекомых, изменения гидрологического режима территории вследствие рубок и т. д. На севере изучаемого региона влияние температуры остается сильным и стабильным во времени, что свидетельствует о правомерности использования древесно-кольцевых хронологий для реконструкции летней температуры [3].

Полученные результаты подчеркивают пространственную неоднородность реакции роста деревьев в зоне бореальных лесов в условиях потепления, из-за чего следует ожидать пространственно различающихся последствий для динамики цикла углерода. Наше исследование показывает важность обновления хронологий годичных колец в отдаленных регионах зоны бореальных лесов, которое будет способствовать пониманию пространственно-временных закономерностей в распределении биомассы, темпов деградации вечной мерзлоты и проявлений «проблемы дивергенции» в биоме.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rantanen M., Karpechko A.Y., Lipponen A. et al.* The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979 // Commun. Earth Environ. 2022. 3: 168.
2. *Briffa K.R., Schweingruber F.H., Jones P.D. et al.* Reduced sensitivity of recent tree-growth to temperature at high northern latitudes // Nature. 1998. 391: 678–682.
3. *Büntgen U., Allen K., Anchukaitis K. et al.* The influence of decision-making in tree ring-based climate reconstructions // Nat. Commun. 2021. 12: 3411.

БЛАГОДАРНОСТИ. Данное исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и образования Российской Федерации (проект FWES-2024-0023).

УДК 581.5*52

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИСТВЕННИЧНЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПРИ ОТСТУПЛЕНИИ ЛЕДНИКОВ В УСЛОВИЯХ АЛТАЯ (ЮЖНО-ЧУЙСКИЙ ХРЕБЕТ)

А.А. КИРДЯНОВА[1], П.Н. КАТЮТИН[1, 2], Д.А. ГАНЮШКИН[1]

[1] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург (st097048@student.spbu.ru; d.ganyushkin@spbu.ru)
[2] Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург (paurussia@yandex.ru)

Аннотация. Работа посвящена рассмотрению процессов заселения морены Большого Талдуринского ледника лиственницей сибирской (*Larix sibirica*) после освобождения территории ото льда. Установлено, что биологический возраст деревьев составляет от 23 до 117 лет. Средний радиальный прирост – от 0.5 до 2.5 мм в год. Сравнение значений радиального прироста и возраста в районе исследования с параметрами модальных лиственничных древостоев позволило установить, что практически сразу после отступания ледника создаются благоприятные экологические условия для произрастания и развития деревьев, которые в дальнейшем сформируют лиственничное сообщество со ступенчатой возрастной структурой.

INITIAL STAGES OF SPREADING OF LARCH STANDS AFTER THE RETREAT OF GLACIERS IN THE ALTAI (YUZHNO-CHUISKY RIDGE)

A.A. KIRDYANOVA[1], P.N. KATJUTIN[1, 2], D.A. GANYUSHKIN[1]

[1] Saint Petersburg State University, Saint Petersburg (st097048@student.spbu.ru; d.ganyushkin@spbu.ru)
[2] V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg (paurussia@yandex.ru)

Abstract. The paper is devoted to the consideration of the processes of spreading of Siberian larch (*Larix sibirica*) on the moraine of the Bolshoy Taldurinsky glacier after the liberation of the territory from ice. It has been established that the biological age of the trees ranges from 23 to 117 years. The average radial growth varies from 0.5 to 2.5 mm per year. A comparison of the values of radial increment and age in the explored area with the parameters of modal larch stands allowed us to find out that almost immediately after the retreat of the glacier, favorable environmental conditions are created for the growth and development of trees. These trees will later form a larch community with a stepwise age structure.

В условиях глобального потепления и отступания ледников в горных регионах особое значение приобретает изучение темпов лесовосстановительных процессов на освободившихся ото льда территориях. В работе представлены данные по скорости заселения морены лиственницей сибирской (*Larix sibirica*) и формированию древесного яруса после отступания Большого Талдуринского ледника.

Сбор полевого материала осуществлялся в 2023 г. на Южно-Чуйском хребте в Кош-Агачском районе Республики Алтай между 49°50′ и 49°51′ с. ш., 87°42′ и 87°43′ в. д. на высоте 2400–2500 м над ур. м. Горный Алтай имеет умеренно-континентальный климат с холодной зимой и теплым летом. Для территории исследования среднегодовая температура составляет 5.5 °C, количество осадков – около 600 мм в год. Большое влияние на климат оказывают рельеф местности и наличие ледников, что сказывается на распространении растительности. При реконструкции контура ледника было установлено, что в середине XIX в. территория участков, где проводилось исследование, была полностью покрыта льдом и освободилась лишь к 80-м годам прошлого столетия [5].

Для анализа отбирались деревья, произрастающие на разном удалении от современной границы ледника. Древесные керны собирались для 58 деревьев, каждое из которых было пробурено на двух уровнях: на 0.3 м и 1.3 м. В камеральных условиях на полуавтоматической установке LINTAB-6 определялись число годичных колец и радиальный прирост лиственницы. Окончательный возраст деревьев, у которых керны не прошли через сердцевину, устанавливался индивидуально для каждой особи при помощи калибровочных уравнений с учетом измеренного числа годичных колец и величины среднего «начального» прироста за 5 лет [3, 4, 6, 9].

Согласно проведенному анализу, возраст исследованных деревьев, определенный у корневой шейки (на уровне 0.3 м), находится в пределах от 23 до 117 лет и в среднем составляет 61 ± 27 год. На высоте 1.3 м возраст лиственницы достигает 53 ± 24 года с диапазоном от 18 до 106 лет.

На расстоянии 2.7–3.0 км от края ледника произрастают только молодые лиственницы возрастом до 44 лет, что коррелирует с оценкой времени отступления языков ледника, выполненной на основании данных дистанционного зондирования (сопоставление космических снимков за разные годы) и описаний территории П.А. Окишева [2, 5]. На участке, который раньше освободился от ледяного покрова, то есть на расстоянии, превышающем 3.8 км, встречаются как молодые деревья, так и деревья старшего возраста (до 117 лет). Кроме того, отсутствие сомкнутого полога, поступление семян и наличие благоприятных микроместообитаний дают возможность для появления яруса подроста (не анализировался). Это позволяет сделать заключение, что происходит активно продолжающийся процесс формирования древесного яруса на территории, полностью освободившейся от ледника несколько десятков лет назад. Однако в

высокогорных лесах в условиях северного макросклона Южно-Чуйского хребта подрост представлен единичными особями разного возраста [1].

Средний радиальный прирост лиственницы сибирской в исследованном районе колеблется в пределах 0.5–2.5 мм в год. При этом для более молодой группы деревьев характерен наибольший средний прирост (до 2.4–2.5 мм/год), а для деревьев старшего возраста – наименьший (~ 0.9 мм/год). Для сомкнутых модальных лиственничников средний прирост древостоев в возрасте 20–50 лет составляет 0.66–0.97 мм в год, а в возрасте 60–100 лет – 0.59–0.73 мм в год [7, 8]. Эти величины прироста меньше, чем были установлены в нашем исследовании. Сравнение полученных данных с результатами других авторов, изучавших возрастную и размерную структуру лиственничных древостоев в условиях равнинных и низкогорных лесов, показало, что при отступании Большого Талдуринского ледника складываются благоприятные экологические условия для формирования и развития лиственницы сибирской.

Выполненное исследование позволяет сделать заключение, что после освобождения территории ото льда Большого Талдуринского ледника заселение морены лиственницей в период с 1900 г. и по настоящее время происходит довольно быстро. В дальнейшем при отсутствии внешних катастрофических нарушений будет сформирован сомкнутый древостой со ступенчатой возрастной структурой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бочаров А.Ю.* Возрастная структура высокогорных насаждений Южно-Чуйского хребта (Горный Алтай) // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. С. 95–98.
2. *Ганюшкин Д.А.* Современное сокращение ледников Южно-Чуйского хребта / Д.А. Ганюшкин, Д.В. Банцев, Ю.А. Горбунова и др. // Сб. тезисов гляциологической конференции «Прошлые, текущие и будущие изменения климата и гляциосферы». М., 2023. С. 22–23.
3. *Катютин П.Н., Ставрова Н.И., Горшков В.В. и др.* Начальный радиальный прирост разных поколений сосны обыкновенной в средневозрастных лесах Кольского полуострова // Лесоведение. 2021. № 5. С. 472–493.
4. *Катютин П.Н., Ставрова Н.И.* Взаимосвязь возраста и величины диаметра особей в ценопопуляциях ели сибирской на разных стадиях послепожарных сукцессий // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1 (5).
5. *Окишев П.А*. Рельеф и оледенения Русского Алтая // Томск: Изд-во Том. ун-та, 2011.
6. *Румянцев Д.Е., Черакшев А.В.* Методические подходы для определения возраста деревьев // Принципы экологии. 2020. № 4. С. 104–117.
7. *Усольцев В.А.* Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург, 2001.
8. *Усольцев В.А.* Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург, 2002. С. 141–157.
9. *Шиятов С.Г.* К методике определения возраста деревьев, произрастающих на верхней границе леса // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 1963. № 3. С. 166–167.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работы проводились в рамках проекта РНФ22-67-00020.

УДК 581.9 (497.2)

ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГ В ФЕДЕРАЛЬНОМ ЗАКАЗНИКЕ «ЦАСУЧЕЙСКИЙ БОР»

Л.И. КЛОЧИХИНА

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный природный заповедник «Даурский» (bagul72@mail.ru)

Аннотация. В федеральном заказнике «Цасучейский бор» проведены лесопатологические исследования в 11 кварталах и на лесостепном участке заповедника «Даурский». Среди вредителей бора выявлены пилильщик-ткач звездчатый, побеговьюн-смолевщик и смолевка шишковая, поедающие сосну и осину, особенно в кварталах 200 и 170 заказника. Мониторинг позволяет вовремя обнаруживать очаги заражения и вредителей и составлять прогноз развития очагов в заказнике.

FOREST PATHOLOGICAL RESEARCH AND MONITORING IN THE FEDERAL RESERVE “TSASUCHEYSKY BOR”

L.I. KLOCHIKHINA

Federal State Budgetary Institution “State Natural Reserve “Daursky” (bagul72@mail.ru)

Abstract. In the federal reserve “Tsasucheysky Bor” forest pathological studies were carried out in 11 blocks and in the Forest-Steppe section of the “Daursky” nature reserve. Among the pests of the pine forest, the star weaver sawfly, pitchweed, and conical gumweed, which eat pine and aspen, were identified, especially in quarters 200 and 170 of the reserve. The monitoring allows us to detect foci of infection and pests in a timely manner and make a forecast for the development of foci in the reserve.

Государственный природный заказник федерального значения «Цасучейский бор» площадью 58 881 га расположен на территории Ононского района Забайкальского края. Он образован в 1964 г. как государственный комплексный заказник областного значения, предназначенный для сохранения экосистемы островного соснового лесного массива. С 1987 г. заказник федерального значения передан в подведомственное подчинение Даурскому заповеднику. Заказник расположен на территории ленточного соснового Цасучейского бора, вытянувшегося в субширотном направлении на 40 км вдоль правобережья высокой боровой террасы р. Онон.

Орографически бор расположен на относительно равнинной местности, с абсолютными высотами от 600 до 800 м над ур. м. Почвы бора разнообразны, имеют смешанный характер – от супесчаных до серых лесных. Климат района заказника резко континентальный, с холодной малоснежной зимой и жарким летом. Особенностью климата на юге Забайкалья является чередование засушливого и влажного климатических периодов. В течение года выпадает от 150–300 мм осадков, причем максимум осадков (около 80 %) приходится на вторую половину лета (июль – август). Выделяются малые (около 30 лет) циклы, которые проходят в рамках более крупных 120–150-летних. В это время часто наблюдаются продолжительные засухи, высокие летние температуры (свыше +45 °С). В сухие фазы возрастает количество пожаров в бору, которые значительно нарушают природные лесные местообитания [1].

Пожары – это основной лимитирующий фактор, который приводит к изменению биогеоценозов бора. В засуху резко возрастает количество и площадь выгорания в бору. Среди серии катастрофических пожаров с большой площадью можно выделить: 2000 г. – 18 433 га, 2003 г. – 13 220 га, 2012 г. – 33 070 га. После пожаров лесовосстановление затруднено. Пожары и засуха – это основные причины возникновения очаговых вспышек численности вредителей в лесу.

Цасучейский бор – это южный лесной форпост границы лесостепной зоны на юге Забайкалья. Географическое расположение Цасучейского бора на стыке границ лесостепной и степной природных зон определяет своеобразие видового состава флоры. Основу древостоя в Цасучейском бору формируют сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и отчасти реликтовый вид – сосна Крылова (*Pinus krylovii).* Возраст сосны в бору в среднем достигает от 80–100 лет, максимальный – до 350 лет. По структуре древесного полога в бору выделены чистые сосновые и смешанные лиственично-сосновые (*Pinus sylvestris – Larix gmelinii),* осиновые (*Populus tremula*) и березово-осиновые (*Populus tremula – Betula pendula*) леса. К наиболее распространенным сосновым лесным ассоциациям бора относятся: сосновый разнотравный лес (*Pinus sylvestris – Artemisia tanacetifolia),* сосновый остепненный лес (*Pinus sylvestris + Pinus krylovii – Pulsatilla spp.+ Carex korszinskyi),* сосновый остепненный редкотравно-мертвопокровный лес *(Pinus sylvestris + Pinus krylovii – Pulsatilla turchaninovii + Calamagrostis epigeios).* Бор характеризуется практически полным отсутствием кустарникового яруса. В зрелых древостоях имеются разреженные кустарниковые заросли. В остепненном бору видовой состав травянистого яруса сходен с видовым составом растительности в степях, окружающих бор. К доминантам травостоя в бору относятся: ковыли *Achnatherum sibiricum* (особенно на гарях), *Stipa krylovii*, нителистник сибирский *(Filifolium sibiricum),* вострец китайский (*Leymus chinensis)*, вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), ксерофильные осоки

(*Carex korshinskyi, Carex pediformis)*. Мохово-лишайниковый ярус бора развит слабо, произрастают бриум серебристый (*Bryum argenteum*), дикранум буроватый (*Dicranum fuscescens*), дикранум многоножковый (*Dicranum polysetum*), цератодон пурпурный (*Ceratodon purpureus*), энтодон Шлейхера (*Entodon schleicheri*), политрихиум можжевельниковый (*Polytrichum juniperinum*), пилезия многоцветковая (*Pylaisia polyantha*) [3, 4]. В заказнике произрастает 12 редких видов растений, внесенных в Красные книги РФ и Забайкальского края [2].

Лесопатологические исследования проводятся в федеральном заказнике «Цасучейский бор» лесниками «Центра защиты леса Забайкальского края» и Ононского лесничества. В 2020 г. проводились работы по учету численности вредных организмов в очаге пилильщика-ткача звездчатого на территории Ононского лесничества Забайкальского края. Пилильщик-ткач звездчатый хорошо знаком работникам лесного хозяйства Ононского района, так как периодические вспышки этого опасного вредителя регистрируются на территории Цасучейского бора с 1949 г. Сосновый звездчатый пилильщик-ткач принадлежит к весенне-летней фенологической группе хвоегрызущих насекомых. Время обследования нами леса в июне совпало с его летом, который в бору отмечен со второй декады мая до середины июня. Массовый лет пилильщика совпадает с фенофазой пыления мужских «цветков» сосны. Яйца располагаются на хвоинках сосен, на одной до пяти яиц. Плодовитость от 20 до 120 штук. Отложив половину запаса яиц, самки восстанавливают способность к перелетам, что приводит к образованию новых очагов. После выхода личинка готовит себе паутинное гнездо. Первоначально она обматывает только хвоинку, где находилось яйцо, а впоследствии и соседние хвоинки. В это время хвоя поедается мало. Повзрослев, личинка покидает гнездо и питается уже открыто, уничтожая старую хвою. Личинка питается около месяца и проходит шесть возрастов развития. В жаркую погоду развитие ускоряется до 16–18 дней. В начале июля личинка уходит в почву. В верхних слоях она устраивает колыбельку с уплотненными стенками и, согнувшись серповидно, превращается в пронимфу. В этой фазе вредитель зимует. Окукливание – в мае. Вредят личинки. Приуроченность вида к данной территории объясняется его экологией (зимовка ложногусениц вредителя в легких по составу песчаных и супесчаных почвах) и пищевой специализацией – пилильщик питается хвоей сосны. Чаще всего он образует очаги в чистых сосняках различного возраста и сомкнутости. В результате сильного объедания хвои нередко наблюдается массовое отмирание деревьев. В 2020 г. Ононским лесхозом была зарегистрирована очередная вспышка пилильщика на площади 9.6 га. Очаг получил развитие на небольших по площади участках сосновых насаждений бора, сохранившихся после сильного пожара 2012 г. и изолированных от соседних лесных массивов безлесным пространством [5]. По результатам проведенных весенних контрольных учетов в 2020 г. зимующих в почве ложногусениц пилильщика отмечается снижение их средней численности и сокращение площади очага на 7.2 га. На сегодняшний день площадь очага составляет 2.4 га. Вспышка численности пилильщика в заказнике отмечена в 2022 году, очаг лесных карантинных организмов выявлен и закрыт в районе оз. Байн-Цаган лесопатологами Центра охраны, очаг сформирован вредителем – пилильщиком-ткачом звездчатым.

В июне 2024 г. в бору нами отмечены случаи объедания соснового и осинового леса вредителями. Исследования проведены на машине и на пешем маршруте в 11 кварталах заказника: в кв. 15 в окрестностях с. Нижний Цасучей, в кв. 22, 200, 53, 112, 170 и в 10, 11, 12, 13, 25 пешим маршрутом. Пристальное внимание уделено при проведении лесопатологических исследований лесостепному участку заповедника. В кв. 15 зарегистрировано поедание старовозрастных сосен, объеденность – до 10 %, найден вредитель – побеговьюн-смолевщик из семейства листоверток. В кв. 22 объедания отмечены в сосновом лесу молодого возраста от 7 до 10 лет, объедания отмечены у основания веток и в верхушках деревьев побеговьюном-смолевщиком и пилильщиком, объеденность – от 5 до 8 %. В кв. 200 отмечена наибольшая вспышка по объедаемости пилильщиком верхней части кроны отдельных старовозрастных деревьев: хвоя съедена пилильщиком наполовину. На деревьях и под ними найдены созревающие кривые по форме и опавшие шишки с прогрызенными смолевкой шишковой ходами. Поэтому лесхозу второй год не удается собрать в заказнике здоровый, незараженный семенной материал для искусственных посадок леса. Семенная продуктивность соснового леса снижается в естественной природе, возобновление бора затруднено. В кварталах 170 и 53 нами обследованы осинники возрастом от 7 до 10 лет, в них найден малый осиновый скрипун из семейства усачей, степень объедаемости осинника – до 4 % в кв. 170, в кв. 53 – до 2 %. В кварталах в окрестностях с. Нижний Цасучей от линии ЛЭП в направлении к отвороту на с. Новая Заря объедаемость сосен – до 5–7 %, из вредителей жук-усач не обнаружен, зафиксированы повреждения и поедания леса двумя вредителями, побеговьюном-смолевщиком и смолевкой шишковой. Лесопатологический мониторинг, проведенный нами в этом году, выделяет кв. 200 для сосны и кв. 170 для осины как кварталы, в которых отмечена наибольшая степень объедаемости. В кв. 200 основным вредителем на обследованных соснах был пилильщик-ткач звездчатый. На лесостепном участке заповедника лесопатологическая ситуация в норме, усача нет, объедания отмечены небольшие по южной границе участка побеговьюном-смолевщиком и смолевкой шишковой.

Лесопатологический мониторинг в федеральном заказнике «Цасучейский бор» и на участке Даурского заповедника, который позволяет вовремя обнаруживать очаги заражения и вредителей в заказнике и составлять прогноз развития очагов, проводился нами впервые и будет продолжен. Полученные данные будут использованы при составлении реестров лесных участков, на которых

действуют очаги вредных организмов, составлении карты очагов и планировании природоохранных практических решений, направленных на сохранение сосновых лесов заказника.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кирилюк В.Е., Ткачук Т.Е., Кирилюк О.К.* Влияние изменений климата на местообитания и биоту в Даурии. Проблемы адаптации к изменению климата в бассейнах рек Даурии: экологические и водохозяйственные аспекты. Чита: Экспресс-издательство, 2012. Вып. 5. С. 46–62.
2. Красная книга Забайкальского края. Растения / ред. О.А. Поляков, О.А. Попова, О.М. Афонина и др. Новосибирск: ООО «Дом мира», 2017. 384 с.
3. *Сараева Л.И., Казановский С.Г.* Изучение мхов в заповеднике «Даурский» и в заказнике «Цасучейский бор». Ботанические исследования в Даурском заповеднике. Вып. 4. Чита: Поиск, 2007. С. 190–194.
4. *Сараева Л.И.* Флора сосудистых растений федерального заказника «Цасучейский бор» (Забайкальский край) // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2022. 16 (4): 35–58.

УДК 630*23

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРИУРОЧЕННОСТЬ КЕДРА (*PINUS SIBIRICA*) В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «КРАСНОЯРСКИЕ СТОЛБЫ»

А.А. КНОРРЕ[1], М.Г. ЕРУНОВА[1, 2], Д.И. НАЗИМОВА[3]

[1] Национальный парк «Красноярские Столбы», Красноярск (nau-stolby@yandex.ru)
[2] Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск (marina.erunova@gmail.com)
[3] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (inpol@mail.ru)

Абстракт. В работе рассмотрено состояние кедра (*Pinus sibirica* Du Tour) на заповедной территории в условиях длительного отсутствия хозяйственной деятельности по данным лесоустройств разных лет (1977, 2007), успешность произрастания вида в зависимости от серий типов леса, а также дальнейшие перспективы увеличения доли кедра в древостоях при современной их трансформации вследствие массового усыхания пихты.

LANDSCAPE-ECOLOGYCAL PECILIARITY OF SIBERIAN CEDAR (*PINUS SIBIRICA*) IN THE NATIONAL PARK “KRASNOYARSK STOLBY”

A.A. KNORRE[1], M.G. ERUNOVA[1, 2], D.I. NAZIMOVA[3]

[1] National Park Krasnoyarsk Stolby, Krasnoyarsk (nau-stolby@yandex.ru)
[2] Krasnoyarsk Science Center SB RAS, Krasnoyarsk (marina.erunova@gmail.com)
[3] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (inpol@mail.ru)

Abstract. The paper provides data on the position of cedar (*Pinus sibirica* Du Tour) in a protected area in conditions of a long absence of economic activity according to forest management data of different years (1977, 2007), the success of the growth of the species depending on the series of forest types, as well as further prospects for increasing the share of cedar in forest stands during their modern transformation due to the massive drying out of fir.

Кедровые насаждения национального парка «Красноярские Столбы» за последние 100 лет существования территории с особым режимом охраны (федеральная ООПТ) не претерпели каких-либо значимых изменений. На основе материалов лесоустройств разных лет (1948, 1959, 1977, 2007) можно проследить незначительную динамику участия кедра (*Pinus sibirica* Du Tour) в составе основных типов леса (от 0.1 до ~ 2 %) при минимальных значениях, что ставит эту породу на последнее место по сравнению с другими хвойными. Доля темнохвойной формации в целом (как и светлохвойной) за эти годы только укрепила свое положение на фоне снижения почти в 2 раза доли мелколиственных пород на всей территории. Основной причиной малозначимого положения кедровых насаждений на рассматриваемой территории является низкая конкурентная способность естественного возобновления вида в условиях высокой конкуренции с такими быстрорастущими видами, как *Pinus sylvestris* L. и *Abies sibirica* L., доминантами среди всех лесообразующих видов нацпарка на протяжении последних 100 лет. Значительные изменения природного и антропогенного характера, включающие изменение климата территории [1] и катастрофические усыхания, связанные с инвазией короеда *Polygraphus proximus* Blandford [2, 3], являются причиной неизбежного изменения состояния растительного покрова с дальнейшими разнообразными сценариями сукцесионных процессов.

Основой для дальнейшей оценки изменений растительного покрова служат созданные серии карт ГИС на ландшафтной основе (геоморфология, рельеф, гидрографическая сеть), в том числе оригинальные карты ландшафтно-лесотипологической структуры территории среднего масштаба (1:50000) на основе выделения ландшафтных местностей [4] с использованием классификаций типов леса, принятых в ходе прежних туров лесоустройства (автор Т.Н. Буторина) с изменениями. Это позволяет более подробно оценить особенности пространственного размещения кедра на территории ООПТ и возможности его распространения. Несмотря на особый режим охраны территории нацпарка, высокую долю в трансформации лесов играют пожары, влияние которых начиная с 1942 г. рассматривалось с привязкой к площадям, породному составу и времени (повторяемость) в специальной работе [5].

По результатам анализа данных лесоустройства 2007 г., кедр как доминант-лесообразователь занимает лишь 5 место после сосны, пихты, ели и лиственницы (рис. 1). В основном он приурочен к горно-таежному ВПК (высотно-поясному комплексу), где к 2007 г. усилилась позиция пихты (на водоразделах и склонах северо-восточной экспозиции), в то время как в условиях низкогорий (подтаежный ВПК) увеличилась доля сосны и лиственницы.

Однако изменилось положение кедра в роли содоминантной породы (2 место по запасу в выделе): в верхнем ВПК и ниже, на склонах южной экспозиции и в придолинных комплексах с более пологими и плоскими формами рельефа, доля его участия в составе возросла на 72 % участков, тогда как на теневых склонах – всего на 18 %. Такое же соотношение эффекта роста кедра на световых и затененных участках отмечается и в выделах иных формаций (сосняки, ельники, пихтарники, березняки, осинники), где кедр занимает последнюю позицию в составе древостоя (не более 2 единиц либо единично), т. е. наблюдается

накопление кедра в древостое за счет перехода подроста в основной полог. Данная тенденция к расширению имеет еще большую амплитуду рассеяния у подроста кедра среднего и крупного размера, хотя он остается традиционно немногочисленным (<12 тыс./га).

Дополнительную информацию по особенностям роста кедра в последние десятилетия представляют данные многолетней динамики радиального прироста деревьев, полученные для спелых насаждений, в которых отмечается увеличение радиального прироста (ширины годичного кольца) на участках водораздельных хребтов после 1960-х гг., что тесно связано с изменением температурного режима начала вегетации [6].

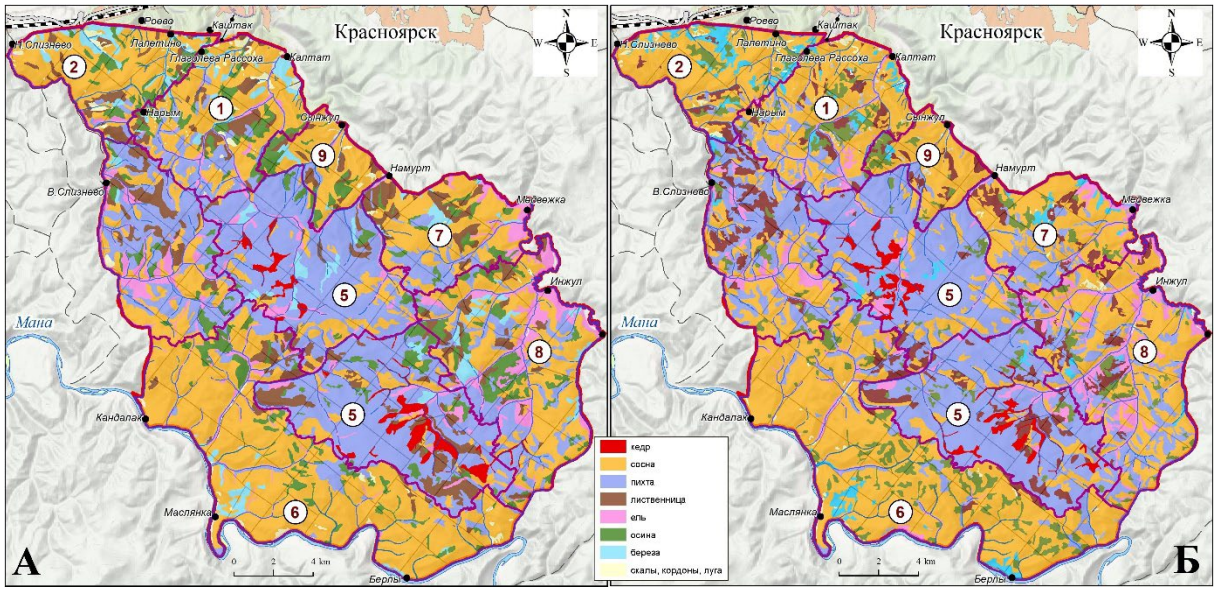


Рис. 1. Представленность кедра (красный цвет) и других пород на территории нацпарка «Красноярские Столбы» по материалам лесоустройств 1977 г. (А) и 2007 г. (Б). Цифрами обозначены ландшафтные местности [4]

Данные по динамике площадей, занимаемых кедром на разных стадиях развития (от подроста до стадии спелости и выше), свидетельствуют о том, что кедр на данной территории, особенно на высотах более 400–450 м над ур. м., устойчив и жизнеспособен. Как показал анализ карт типов леса, сохранность его лучше в сериях приручейной, хвощово-вейниковой, мелкотравно- и осочково-зеленомошной (занимает доминирующее и кодоминирующее положение в древостое), а рост наилучший там, где нет жесткой конкуренции с пихтой и крупнотравьем.

В 2020–2023 гг. проведен эксперимент с искусственными посадками сосны сибирской (кедра) в условиях 1) естественного конкурентного роста на участке горно-таежного ВПК после полного усыхания пихтового древостоя и 2) в условиях подтаежного ВПК на участках антропогенных полян, где нет конкуренции со стороны кустарников и других древесных пород. В первом случае кедры высажены биогруппами (более 100 саженцев) на наиболее подходящих открытых участках в оставшемся после усыхания пихты естественном древостое, с единичным участием сосны, березы, осины с быстро развивающимся подлеском. Во втором – созданы культуры кедра общей численностью более 250 саженцев. Все высаженные кедры – возрастом 5-7 лет с закрытой корневой системой. По данным послепосадочных инвентаризаций, выживаемость саженцев в первом и во втором случае составила более 90 %. Средняя высота саженцев 5-7 лет, выращенных в питомнике, составила от 45 до 83 см, что превышает значения для молодого подроста в природе. Так, по многолетним данным М.Н. Ширской, проводившей исследования по естественному возобновлению кедра в разных типах леса заповедника «Столбы» в 1950–1960 гг., подрост возрастом 5-7 лет достигает высоты не более 15–25 см, а высоты 50 см – лишь к 30 годам. Экспериментальные посадки позволят оценить особенности влияния разных условий посадки на приживаемость и скорость роста деревьев.

На фоне современных тенденций активного усыхания пихтовых древостоев у кедра появляется возможность усилить свои позиции. При благоприятных условиях и в отсутствие разрушительных пожаров, которые могут быть спровоцированы существенным накоплением лесных горючих материалов (сухой древесины пихты), нынешний подрост сосны сибирской (кедровой) может занять в дальнейшем освободившееся пространство, выйти в I ярус древостоя и даже сформировать потенциальные кедрачи с участием других хвойных пород – пихты, ели, сосны, лиственницы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гончарова Н.В., Кнорре А.А.* Основные тенденции изменений климата в заповеднике «Столбы» по данным собственной метеостанции за непрерывный период наблюдений 1947–2016 // Научные исследования в заповедниках и национальных парках Южной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. Вып. 8. С. 15–19.

2. *Кнорре А.А., Разнобарский В.Г., Вагнорюс П.А., Шайдуров Р.Л., Лесников Е.М., Астапенко С.А., Акулов Е.Н.* Угроза исчезновения пихтовых древостоев в заповеднике «Столбы» в результате инвазии полиграфа уссурийского (*Polygraphus proximus* Blandf.) // Труды гос. заповедника «Столбы». 2015. Вып. 20. С. 211–221.
3. *Харук В.И., Шушпанов А.С., Петров И.А., Демидко Д.А., Им С.Т., Кнорре А.А.* Усыхание *Abies sibirica* Ledeb. в горных лесах Восточного Саяна // Сибирский экологический журнал. 2019. 4. С. 369–382.
4. *Назимова Д.И., Первунин В.А., Тропина Е.Ф., Ерунова М.Г.* Ландшафтно-лесотипологическая структура заповедника // Труды гос. заповедника «Столбы». 2010. Вып. 19. С. 16–38.
5. *Ерунова М.Г., Кнорре А.А.* Ретроспективный анализ лесных пожаров на территории национального парка «Красноярские Столбы» // Сибирский лесной журнал. 2022. 5. С. 22–33.
6. *Кнорре А.А.* Интеграционные подходы и методы дендрохронологии в изучении динамических процессов наземных экосистем разного типа: Автореф. дисс. … докт. биол. наук: 1.5.15. Красноярск: СФУ, 2023. 45 с.

УДК 595.7:591.53

ОЦЕНКА РИСКА ПОВРЕЖДЕНИЯ СИБИРСКИХ ТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ НАСЕКОМЫМИ-ВРЕДИТЕЛЯМИ ПО ДАННЫМ ДЗЗ

А.В. КОВАЛЕВ[1], В.Г. СУХОВОЛЬСКИЙ[2]

[1] Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск (sunhi.prime@gmail.com)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (soukhovolsky@yandex.ru)

Аннотация. В качестве индикатора риска повреждения насаждений вредителями предложено использовать показатель восприимчивости вегетативного индекса растительности в течение сезона (NDVI) к изменению радиационной температуры территории (LST), получаемый по спутниковым данным. На примере полевых наблюдений показано, что показатель восприимчивости на изучаемых пробных площадях значимо изменился за 2-3 года до начала вспышки массового размножения вредителя.

ASSESSING THE RISK OF DAMAGE TO SIBERIAN TAIGA FORESTS BY INSECT PESTS USING REMOTE SENSING DATA

A.V. KOVALEV[1], V.G. SOUKHOVOLSKY[2]

[1] Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Krasnoyarsk (sunhi.prime@gmail.com)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (soukhovolsky@yandex.ru)

Abstract. The susceptibility indicator of vegetation index during the season (NDVI) to changes in the radiation temperature of the territory (LST), obtained from satellite data, was proposed to be used as an indicator of the risk of pest damage to stands. On the example of field observations, it is shown that the susceptibility indicator on the studied sample areas changed significantly 2-3 years before the population outbreak of the pest.

Одной из основных причин гибели лесных насаждений в Средней Сибири являются вспышки массового размножения насекомых. Значительный экономический и экологический ущерб от усыхания и гибели лесов, вызванных насекомыми, делает необходимым оценку устойчивости насаждений к нападению вредителей и прогноз развития ситуации на ближайшие годы. Однако наземные учеты численности вредителей и оценка риска вспышек массового размножения насекомых в лесах Сибири на основе текущей плотности их популяций крайне затруднены из-за огромных площадей сибирских лесов (до 2.5 млн км²) и труднодоступности лесных территорий. Визуальные признаки ослабления деревьев (состояние кроны, повреждение ствола) могут быть обнаружены с помощью беспилотных летательных аппаратов, но только на поздних стадиях повреждения. Это делает практически невозможным управление состоянием таких древостоев и снижение численности вредителей.

Единственной реальной возможностью оценки состояния насаждений на больших площадях (таких как таежные территории) является использование данных дистанционного зондирования Земли. В настоящий момент такие исследования используются в основном для определения нанесенного насекомыми ущерба. При этом одним из основных методов, используемых при анализе, является измерение различных вариантов вегетационного индекса растительности NDVI, основанного на разнице отражения красного и ближнего инфракрасного излучения [3]. Такой индекс достоверно и оперативно показывает деградацию кроны деревьев в ходе развития вспышки массового размножения насекомых. В то же время ослабление деревьев, уменьшение интенсивности защитных реакций и противодействия дерева нападению насекомых развивается в течение нескольких лет до начала резкого подъема численности вредителя, но не регистрируется по показателям NDVI, и попытки использовать данные дистанционного зондирования для оценки устойчивости лесных насаждений к внешним воздействиям не приводят к успеху [1, 2].

Разработка методов заблаговременной оценки устойчивости деревьев к нападению насекомых необходима, так как важно определить районы будущих вспышек насекомых по крайней мере за один или два сезона до начала повреждения. Такая информация может улучшить прогнозы будущих воздействий и позволит заблаговременно разработать эффективные профилактические меры по снижению потерь в насаждениях. В настоящей работе рассмотрена возможность использования оригинального метода обработки данных дистанционного зондирования для прогнозирования зон вспышек массового размножения лесных насекомых в лесах Сибири.

В настоящей работе предложены методы анализа восприимчивости насаждений к нападению лесных насекомых на основе данных дистанционного зондирования Земли. В качестве индикатора состояния насаждений предложено использовать показатель восприимчивости вегетативного индекса растительности в течение сезона (NDVI) к изменению радиационной температуры территории (LST), получаемый по спутниковым данным системы Terra/Aqua. Показатель рассчитывался как спектр функции отклика в интегральном уравнении [4], связывающем изменения NDVI и LST.

Анализ проводился по ретроспективным данным двух вспышек сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* Tschetv, вспышек черного пихтового усача *Monochamus urussovi* Fischer. и уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandford в таежных лесах на территории Красноярского края. Также рассматривалось состояние пихтовых лесов в 2023 г., когда повреждения насаждений еще не наблюдались, но в феромонных ловушках были найдены имаго сибирского шелкопряда.

По итогам работы показано, что восприимчивость характеристик фотосинтетического аппарата дерева к изменению температуры среды в течение сезона может быть описана интегральным уравнением свертки и рассчитана по данным дистанционного зондирования. Это открывает возможность оценок таких показателей для любого участка планеты, покрытого растительностью. Для лесных насаждений Сибири предложенный показатель восприимчивости насаждений в зонах очагов изученных видов насекомых значимо изменился за 2-3 года до начала вспышки массового размножения вредителя. Используя данную методику оценки устойчивости насаждений, можно прогнозировать реализацию вспышки размножения насекомых на определенной территории и оптимизировать лесозащитные мероприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Olsson P.O., Lindstrom J., Eldundh L.* Near real-time monitoring of insect induced defoliation in subalpine birch forests with MODIS derived NDVI // Remote Sens. Environ. 2016. 181. 42–53.
2. *Spruce J.P., Sader S., Ryan R.E., Smoot J., Kuper P., Ross K., Prados D., Russell J., Gasser G., McKellip R.* Assessment of MODIS NDVI time series data products for detecting forest defoliation by gypsy moth outbreaks // Remote Sens. Environ. 2011. 115. 427–437.
3. *Tucker C.J., Sellers P.J.* Satellite remote sensing of primary production // Int. J. Remote Sens. 1986. 7. 1395–1416.
4. *Wei W.W.S.* Time series Analysis. Boston, San Francisco, N.Y., London: Addison Wesley, 2008. 614 p.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РНФ (грант 23-66-10015).

УДК 630*43: 630.431.2

ПИРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В СВЕТЛОХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ НИЖНЕГО ПРИАНГАРЬЯ

Н.М. КОВАЛЕВА, Г.А. ИВАНОВА, С.В. ЖИЛА

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (nk-75@mail.ru)

Аннотация. Рассмотрено влияние пожаров разной интенсивности на живой напочвенный покров в южнотаежных сосняках Нижнего Приангарья. На 13-й год пирогенной сукцессии травяно-кустарничковый ярус на 60–75 % представлен видами допожарного сообщества. Проективное покрытие доминанта (*Vaccinium vitis-idaea*) составляло 66–84 % от допожарного значения. Проективное покрытие допожарных мхов (*Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum*) варьировало от 3.3 % (пожар высокой интенсивности) до 20.5 % (пожар низкой интенсивности). Допожарные лишайники (*Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*) в напочвенном покрове встречались единично (2 %). В лишайниковом покрове преобладали виды с шиловидными и бокальчатыми формами слоевищ – *Cladonia botrytes*, *C. cenotea*, *C. cornuta*, *C. deformis*, *C. gracilis* (10 %).

FIRE TRANSFORMATION OF GROUND LAYER IN LIGHT CONIFEROUS FORESTS OF LOWER ANGARA REGION

N.M. KOVALEVA, G.A. IVANOVA, S.V. ZHILA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (nk-75@mail.ru)

Пожар – экологический фактор, который влияет на лесные экосистемы, изменяя структуру и видовой состав нижних ярусов растительности [2, 3, 4, 5, 6]. На начальной стадии пирогенной сукцессии видовое богатство возрастает за счет пионерных видов и восстановления видов допожарного сообщества [5, 7, 9]. Ранние сукцессионные виды поселяются на гарях на 1-3-й год пирогенной сукцессии, восстановление трав и кустарничков, доминирующих в допожарном сообществе, отмечается через 5-6 лет [5]. Экспериментальные пожары разной интенсивности проведены в 2002–2015 гг. в сосняках брусничнo-разнотравно-зеленомошных и кустарничково-лишайниково-зеленомошных (58º42′ с. ш., 98º25′ в. д.) [1]. Цель нашего исследования – оценка влияния пожаров разной интенсивности на живой напочвенный покров в южнотаежных сосняках.

До проведения пожарных экспериментов в травяно-кустарничковом ярусе исследуемых сосновых насаждений выявлен 21 вид, относящийся к 18 родам и 15 семействам. В мохово-лишайниковом покрове обнаружено 13 видов (5 лишайников, 8 мхов). Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляло 31–59 %. В травяно-кустарничковом покрове доминировал вид *Vaccinium vitis-idaea* L. с проективным покрытием 15–35 %, встречаемость вида составляла 92–100 %. Проективное покрытие мохово-лишайникового покрова составляло 82–98 %, где доминировал *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.



а б в

Рис. 1. Влияние пожаров разной интенсивности на травяно-кустарничковый ярус
Примечание: 1 – пожар низкой, 2 – средней, 3 – высокой интенсивности.

На 13-й год пирогенной сукцессии видовое богатство травяно-кустарничкового яруса на 60–75 % состояло из видов допожарного сообщества. Пожары средней и высокой интенсивности привели к гибели мохово-лишайникового яруса, при низкой интенсивности пожаров произошла частичная деградация мхов. Пирогенно-минерализованные участки, образовавшиеся на месте погибшего лишайникового покрова, заняли пионерные виды мхов (*Polytrichum commune* Hedw., *P. strictum* Menzies ex Brid.). На 13-й год пирогенной сукцессии в лишайниковом покрове преобладали виды с бокальчатыми и шиловидными формами слоевищ (*Cladonia botrytes*, *C. cenotea*, *C. cornuta*, *C. deformis*, *C. gracilis*).

В зависимости от интенсивности пожары привели к снижению проективного покрытия травяно-кустарничкового яруса (в 1.7–2 раза от допожарного показателя). На 13-й год пирогенной сукцессии общее

проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса варьировало от 17 до 32 %. После низовых пожаров проективное покрытие видов рода *Vaccinium* восстанавливается на 2–4 год [8]. На 13-й год пирогенной сукцессии проективное покрытие доминанта травяно-кустарничкового яруса – *Vaccinium vitis-idaea* – после низкоинтенсивного пожара составило 66 % от допожарного значения, после пожара средней и высокой интенсивности – 84 и 78 % соответственно. Встречаемость вида составляла 88–97 %.

На 13-й год пирогенной сукцессии проективное покрытие мохово-лишайникового покрова соствляло 15–26 % от допожарного значения. Проективное покрытие допожарных мхов составило: 20.5 % – после пожара низкой интенсивности, 5.5 % – средней интенсивности, 3.3 % – высокой интенсивности. Встречаемость допожарного мха *Pleurozium schreberi* составила: 60 % – после пожара низкой интенсивности, 19 % – после пожара средней интенсивности и 12 % – после пожара высокой интенсивности. Проективное покрытие допожарных лишайников (*Cladonia arbuscula* (Wallr.) Flot., *C. rangiferina* (L.) F. H. Wigg.) не превышало 2 %. После высокоинтенсивного пожара в напочвенном покрове отмечено увеличение доли мхов рода *Polytrichum* (15 %) и лишайников с бокальчатыми и шиловидными формами слоевищ (10 %).

До пожаров сосновые насаждения характеризовались низкой видовой насыщенностью (от 1 до 11 видов/м^2) (рис. 1а). Через 13 лет после экспериментальных пожаров видовая насыщенность была ниже, чем до пожаров, и варьировала от 1 до 7 видов/м^2. После низового пожара низкой интенсивности средняя видовая насыщенность составила 3 вида/м^2, средней интенсивности – 1.5 вида/м^2, высокой интенсивности – 2 вида/м^2.

До пожаров надземная фитомасса травяно-кустарничкового яруса в сосняках варьировала от 32.3 ± 7.3 до 55.4 ± 11.7 г/м^2 (рис. 1в). Основная доля приходилась на *Vaccinium vitis-idaea* (85 %). Через 13 лет после пожара низкой интенсивности фитомасса травяно-кустарничкового яруса составляла 55 %, при пожарах средней и высокой интенсивности – 43 % и 68 % от допожарного значения (рис. 1в). Допожарная фитомасса мохово-лишайникового покрова варьировала от 827 ± 113 до 1666 ± 310 г/м^2, где доля мхов составляла от 55 до 90 %. На 13-й год после пожара низкой интенсивности фитомасса мхов составила 50 % от допожарного значения и состояла из допожарных видов (*Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum*). После пожаров средней и высокой интенсивности фитомасса мхов составляла 1 % от допожарного значения, где основная доля приходилась на мхи рода *Polytrichum*.

Таким образом, на 13-й год пирогенной сукцессии травяно-кустарничковый ярус на 60–75 % состоял из видов допожарного сообщества. Проективное покрытие доминанта (*Vaccinium vitis-idaea*) составляло 66–84 % от допожарного значения. Проективное покрытие и фитомасса живого напочвенного покрова имели более низкие значения, чем до пожаров. В мохово-лишайниковом покрове допожарные виды лишайников (*Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*) встречались единично, проективное покрытие мхов *Pleurozium schreberi*, *Dicranum polysetum* варьировало в зависимости от интенсивности пожаров (от 3.3 % до 20.5 %). Пирогенная сукцессия характеризовалась доминированием мхов рода *Polytrichum* и лишайников рода *Cladonia* с шиловидными и бокальчатыми формами слоевищ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья / Г.А. Иванова, Е.А. Кукавская, И.Н. Безкоровайная и др. Новосибирск: Изд-во «Наука», 2022. 204 с.
2. *Franklin J.F., Spies T.A., Pelt R.V., Carey A.B., Thornburgh D.A., Berg D.R., Lindenmayer D.B., Harmon M.E., Keeton W.S., Shaw D.C., Bible K., Chen J.* Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example // For. Ecol. Manag. 2002. 155: 399–423.
3. *Jean M., Alexander H.D., Mack M.C., Johnstone J.F.* Patterns of bryophyte succession in a 160-year chronosequence in deciduous and coniferous forests of boreal Alaska // Can. J. Forest Res. 2017. 47: 1021–1032.
4. *Liu B., Biswas S.R, Yang J., Liu Z., He H.S., Liang Y., Lau M.K., Fang Y., Han S.* Strong influences of stand age and topography on post-fire understory recovery in a Chinese boreal forest // For. Ecol. Manag. 2020. 473: 118307.
5. *Marozas V., Racinskas J., Bartkevicius E.* Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemiboreal *Pinus sylvestris* forests // For. Ecol Manag. 2007. 250: 47–55.
6. *Parro K., Köster K., Jõgiste K., Vodde F.* Vegetation dynamics in a fire damaged forest area: the response of major ground vegetation species // Balt For. 2009. 15: 206–215.
7. *Ruokolainen L., Salo K.* The effect of fire intensity on vegetation succession on a sub-xeric heath during ten years after wildfire // Ann. Bot. Fenn. 2009. 46: 30–42.
8. *Schimmel J., Granström A.* Fire severity and vegetation response in the boreal Swedish forest // Journal of Ecology. 1996. 77: 1436–1450.
9. *Wang G.G., Kemball K.J.* Effects of fire severity on early development of understory vegetation // Can. J. Forest Res. 2005. 35: 254–262.

УДК 630*561.24

ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛИСТВЕННИЦЫ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

А.И. КОЛМОГОРОВ[1, 3], А.В. КИРДЯНОВ[2, 3], А.Н. НИКОЛАЕВ[1], А. АРСАК[3]

[1] Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
[3] Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация. В работе предоставлены результаты дендроклиматического анализа деревьев лиственницы (*Larix cajanderi* и *Larix gmelinii*), произрастающих в Арктических регионах северо-востока России. Проведен сравнительный анализ дендрохронологических параметров и климатического отклика обобщенных региональных хронологий. Результаты дендроклиматического анализа показали, что для разных районов характерны свои особенности реакции радиального прироста.

DENDROCLIMATIC ANALYSIS OF LARCH IN THE NORTH-EAST OF RUSSIA

A.I. KOLMOGOROV[1, 3], A.V. KIRDYANOV[2, 3], A.N. NIKOLAEV[1], A. ARZAC[3]

[1] M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RASc, Krasnoyarsk
[3] Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Abstract. The paper presents the results of a dendroclimatic analysis of larch (*Larix cajanderi* and *Larix gmelinii*) trees growing in the Arctic regions of northeast Russia. A comparative analysis of dendrochronological parameters and climatic response of generalized regional chronologies was carried out. The results of dendroclimatic analysis showed that different areas have their own characteristics of the radial growth reaction.

Изучению реакции древесной растительности в Арктических регионах России в настоящее время уделяется повышенное внимание в связи с увеличением температуры воздуха, которое в данных регионах в разы превышает средние глобальные значения [1]. Потепление в зоне бореальных лесов приводит к расширению ареалов древесной растительности на север и способствует сдвигам в начале и длительности вегетационного периода, ведет к деградации вечной мерзлоты. Экосистемы, расположенные в арктических районах, наиболее чувствительны к изменению климатических условий, и оценка скорости этих изменений в пространстве является важной задачей.

Известно, что рост и развитие лесных экосистем вдоль циркумполярного пояса в высоких широтах в основном зависит от температуры воздуха во время вегетационного периода [2, 3]. Сбор дендрохронологического материала для дендроклиматических исследований проводился в экстремальных для роста деревьев условиях, где температурный сигнал в хронологиях наиболее сильный, что обычно позволяет получить схожие хронологии в пределах каждого дендроклиматического района.

Целью работы являются получение репрезентативных обобщенных хронологий по ширине древесных колец лиственницы на северо-востоке России, пространственный анализ климатического отклика радиального прироста деревьев и оценка потенциала полученных древесно-кольцевых хронологий для реконструкций климата.

Район исследования с запада ограничен восточной оконечностью п-ва Таймыр и доходит до п. Черский Нижнеколымского улуса Республики Саха (Якутия). Изучаемый трансект протяженностью 2100 км располагается между 72–68 широтами и 101–161 долготой. Материалы исследования были собраны в период с 2012 по 2021 г. на 23 участках. Для дендроклиматического анализа использовался период с 1960 по 2012 г. Выбор связан с длительностью полученных хронологий, а также качеством климатических данных для метеорологических станций Хатанга, Депутатский, Кюсюр, Юбилейный, Чокурдах и Черский.

Для выполнения районирования и сравнения участков был проведен корреляционный анализ между данными из всех анализируемых местообитаний. Исходя из тесноты корреляционных связей участки были разделены на 5 отдельных групп по территории принадлежности – Таймырская группа (TY), район бассейна рек Лена и Омолой (LO), Усть-Янская группа (UY), район бассейна реки Индигирка (IND), район бассейна реки Колыма (CH). Показано, что для каждого из дендроклиматических районов характерны свои особенности реакции радиального прироста деревьев на влияние климатических факторов. Так, в пределах TY радиальный прирост показывает значимую положительную корреляционную связь с температурой июня и июля, тогда как на участках на территории Якутии – только июня.

Расчет скользящих коэффициентов корреляции между хронологиями ширины древесных колец и климатическими данными с окном в 25 лет показал, что отклик радиального прироста на температуру воздуха и выпавших осадков за вегетационный период меняется по времени. Для Таймырской группы участков наблюдается постепенное увеличение связи с температурой воздуха в последние десятилетия. Также зафиксировано увеличение негативного влияния атмосферных осадков июня до значимых значений ($p < 0.05$) начиная с периода 1975–1999 гг. Для региона LO наблюдается уменьшение связи с температурой воздуха июня и увеличение до значимых значений ($p < 0.05$) – с температурой воздуха мая начиная с 1970–

1994 гг. Для группы UY влияние температуры воздуха июня в конце изучаемого периода уменьшается, а негативное влияние выпавших осадков в этом районе значимо ($p < 0.05$) увеличивается для июня с 1979–2003 гг. и для мая с периода 1977–2001 гг. Для района IND влияние температуры воздуха июня уменьшается к концу изучаемого периода и увеличивается негативное влияние выпавших осадков в мае начиная с 1967–1991 гг. Для колымской группы участков CH наблюдается значимое ($p < 0.05$) влияние температуры воздуха в июне с 1986–2011 гг., а также в августе для отдельных периодов.

Данная работа показывает перспективность проведения дендроклиматических и дендроэкологических исследований на северо-востоке России, нацеленных на понимание особенностей динамики роста древесных растений для различных местообитаний в условиях меняющегося климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rantanen M., Karpechko A.Y., Lipponen A. et al.* The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979 // Commun. Earth Environ. 2022. 3 (168).
2. *Schweingruber F.H., Briffa K.R.* Tree-ring density networks for climate reconstruction // Springer. 1996.
3. *Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике / Новосибирск: Изд-во «Наука», 1996. 246 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации [FSRG-2020-0014] и [FSRG-2023-0027].

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ПОГЛОЩЕНИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ И В АДАПТАЦИИ К ГЛОБАЛЬНОМУ ПОТЕПЛЕНИЮ

Э.Г. КОЛОМЫЦ

Пущинский научный центр РАН, Институт фундаментальных проблем биологии, Пущино (egk2000@mail.ru)

Аннотация. Представлен прогнозный ландшафтно-экологический анализ лесного покрова Волжского бассейна, в котором освещена двуединая проблема адсорбции и адаптации, входящая в перечень задач, поставленных Парижским (2015) соглашением по изменению климата. Эмпирически обоснованы известные концептуальные положения об экологических ресурсах лесного покрова, таких как его способности дополнительно поглощать парниковые газы с помощью механизмов регуляции углеродного цикла при изменениях климата. Установлен адсорбционный потенциал коренных и производных бореальных и неморальных лесов, оценена их способность смягчать климатические изменения, в том числе снижать антропогенное потепление. Проведены оценки адаптивного потенциала лесов и его роли в адсорбции и консервации углерода. В качестве показателя адаптации использован предложенный индекс упруго-пластичной функциональной устойчивости лесных экосистем. Статистически установлена роль устойчивости лесов как прямого экологического фактора поглощения парниковых газов. Получена однозначная картина существенного роста экологических ресурсов бореальных и неморальных лесов – их адсорбционной способности при повышении адаптивного потенциала. Полученные результаты регионального прогнозного моделирования демонстрируют эффективность сопряженного исследования адсорбционной способности лесных биомов и их адаптации к меняющемуся климату.

RESOURCE POTENTIAL OF BOREAL FORESTS IN THE ABSORPTION OF GREENHOUSE EMISSIONS GASES AND IN ADAPTATION TO GLOBAL WARMING

E.G. KOLOMYTS

Pushchino Science Center of RAN, Institute of Basic Biological Problem, Pushchino (egk2000@mail.ru)

Abstract. A predictive landscape-ecological analysis of the forest cover of the Volga basin is presented, which highlights the dual problem of adsorption and adaptation, which is included in the list of tasks set by the Paris (2015) Agreement on Climate Change. The well-known conceptual provisions about the ecological resources of forest cover as its ability to additionally absorb greenhouse gases through the mechanisms of regulation of the carbon cycle during climate change are empirically substantiated. The adsorption potential of primary and derived boreal and nemoral forests has been established, and their ability to mitigate climate change, including reducing anthropogenic warming, has been assessed. Forest sustainability as a direct environmental factor in greenhouse gas absorption was estimated in statistical terms. An unambiguous idea of the significant increase in the ecological resources of boreal and nemoral forests was obtained: their adsorption capacity increased with an increase in the adaptation potential. Due to this fact, a significant increase in the ability of boreal and, to a lesser extent, nemoral forests to absorb greenhouse gases should also be expected. Based on the obtained results of regional prediction modeling, coupled study of the adsorption capacity of forest biomes and their adaptation to the changing climate is effective.

В Парижском соглашении об изменении климата [1], направленном на борьбу с современным глобальным потеплением, определена необходимость решения двуединой задачи – поглощения парниковых газов естественными (на суше лесными) экосистемами и их адаптации к меняющемуся климату, обеспечивающей выполнение ими адсорбционных функций. В данном сообщении изложен опыт регионального решения данной задачи на примере Окского бассейна (площадью около 250 тыс. кв. км) с интерпретацией на весь Окско-Волжский бассейн. Проведен *численный прогнозный эксперимент* по оценке влияния упруго-пластичной устойчивости лесных экосистем как показателя их адаптационного потенциала, а также прогнозируемых климатических условий на углеродный баланс лесов, т. е. на их адсорбционную способность. Климатические параметры взяты из прогнозных сценариев двух глобальных моделей: 1) умеренной GISS-93 – ранней версии модели E GISS [2], отвечающей целям Парижского соглашения; 2) экстремальной HadCM3, версия A2 [3]. Согласно первой модели потепление к середине XXI в. составит в Среднем Поволжье от 0.2–0.6° зимой до 0.8–1.1° летом, что допускается Парижским соглашением. Экстремальная же модель дает общегодовое повышение температуры к этому сроку на 2.5–4.0°, которое может быть достигнуто при современных высоких темпах глобального потепления.

В эксперименте использованы материалы крупномасштабных ландшафтных съемок, проведенных ранее на восьми экспериментальных полигонах Среднего и Верхнего Поволжья [4]. Каждый полигон характеризовал определенный экорегион. Базовое содержание и климатогенная динамика углерода оценивались по дискретным параметрам малого биологического круговорота: 1) скелетной древесно-кустарниковая фитомассе – *BS*; 2) массе корней – *BR;* 3) общей зеленой массе – *BV*; 4) массе лесной подстилки – *ML*; 4) мертвой скелетной фитомассе (валеж и сухостой) – W*D*; 6) массе гумуса в органоминеральном горизонте почвы – *HU*. Переход от самих биомасс к содержанию в них углерода осуществлялся с помощью известных углеродных коэффициентов.

Изменение массы потока углерода $\Delta C(Fa)$ в системе почва – растительность – атмосфера, т. е. углеродный баланс лесного биогеоценоза, на данный прогнозный срок рассчитывали по формуле:

$$\Delta C(Fa) = \Delta C(WD) + \Delta C(ML) + \Delta C(HU) - \Delta C(BS) - \Delta C(BV) - \Delta C(BR). \quad (1)$$

При положительных величинах первые три слагаемые правой части уравнения дают прибавку эмиссии CO_2 из почвенно-растительного покрова в атмосферу, а вторые – убыль этого потока. При отрицательных же значениях указанных слагаемых картина обратная. Переход от локального уровня (масштабы 1:50 000–1:100 000) к региональному (в масштабах 1:2 000 000–1:4 000 000) осуществлялся с использованием *метода индуктивно-иерархической экстраполяции*, подробно описанного в работе [4], а также мелкомасштабных геоботанических карт [5, 6], созданных примерно в то же время, когда нами проводились ландшафтные съемки.

Количественная оценка адаптивного потенциала лесных экосистем проведена по их *функциональной фитоценотической устойчивости* [4], которая выражена двумя дискретными параметрами метаболизма – коэффициентом годового оборота надземной фитомассы ($KR = PV/BL$) и подстилочно-опадным индексом ($KY = PV/ML$). Здесь PV – годичная продукция зеленой массы, BL – общая живая надземная фитомасса, ML – масса лесной подстилки. С помощью метрики евклидового расстояния вычислялся индекс упруго-пластичной устойчивости I(упр) как функция указанных коэффициентов:

$$I(\text{упр}) = 1 - [\sqrt{(\Delta\text{KR})^2 + (\Delta\text{KY})^2}\,] / \sqrt{2}\,, \qquad (2)$$

где $(\Delta KR) = (KR_{max} - KR_i) / (KR_{ma} - KR_{min})$, $(\Delta KY) = (KY_i - KY_{min}) / (KY_{max} - KY_{min})$.
Параметр I(упр) оценивается в безразмерных единицах; он указывает на определенную долю устойчивости изучаемой экосистемы от максимально возможной в данной статистической выборке.

Индекс устойчивости можно рассчитать по следующим эмпирическим формулам с достаточно высокими коэффициентами детерминации R^2:

$$I(\text{упр}) = 0.715 - 0.0555 \cdot KY; \quad R^2 = 0.90; \qquad (3)$$

$$KY = 0.993 \cdot t_{\text{янв}} - 0.5365 \cdot t_{\text{июля}} + 0.003508 \cdot r_{\text{год}}; \; R^2 = 0.61; \qquad (4)$$

$$KY = \exp(6.453 - 0.2993 \cdot t_{\text{июля}}); \; R^2 = 0.76 \qquad (5)$$

Здесь $t_{\text{янв}}$ и $t_{\text{июля}}$ – соответственно средние температуры января и июля (в °С), $r_{\text{год}}$ – годовое количество осадков (в мм). По каждой растительной формации проведена процедура присвоения ее мезокатенам значений I(упр) и $\Delta C(F_a)$, в результате чего был сформирован пул картографически привязанных данных (более 52 000 точек). В табл. 1 приведены рассчитанные Л.С. Шарой статистические взаимосвязи показателей адсорбции $\Delta C(F_a)$ и адаптации I(упр) зональных/подзональных типов/подтипов лесных формаций с достаточно высоким уровнем значимости Пирсона ($P < 10^{-6}$). Здесь $\Delta C(F_a)$ – изменение удельного потока CO_2 (т/га·год) в системе земная поверхность – атмосфера, $t_{\text{июля}}$ и $r_{\text{год}}$ – нормированные значения (в долях 1) средней температуры июля и годового количества осадков.

Таблица 1. Уравнения, описывающие связи изменения содержания углерода в лесных формациях Окского бассейна с их упруго-пластичной функциональной устойчивостью и климатическими характеристиками

Растительные формации	Регрессионные уравнения	Статистика*	
		R_s	P
А. Темнохвойные и широколиственно-темнохвойные леса	$\Delta C(F_a) = 62.4 \cdot I(\text{уст}) + 22.7 \cdot r_{\text{year}} + 10.2 \cdot t_{\text{Jul}} - 49.3$	0.50	$<10^{-6}$
Б. Сосновые леса	$\Delta C(F_a) = 38.6 \cdot r_{\text{year}} + 29.4 \cdot t_{\text{Jul}} - 16.0 \cdot I(\text{уст}) - 24.8$	0.46	$<10^{-6}$
В. Широколиственно-сосновые леса	$\Delta C(F_a) = 217.4 \cdot I(\text{уст}) + 78.0 \cdot t_{\text{Jul}} + 55.3\, r_{\text{ye}} - 165.6$	0.64	$<10^{-6}$
Г$_1$. Северные широколиственные леса с примесью ели	$\Delta C(F_a) = 6.23 \cdot I(\text{уст}) - 4.65 \cdot t_{\text{Jul}} + 4.30 \cdot r_{\text{year}} - 5.63$	0.46	$<10^{-6}$
Г$_2$. Южные остепненные широколиственные леса	$\Delta C(F_a) = 32.9 \cdot t_{\text{Jul}} + 24.1 \cdot r_{\text{year}} - 54.3 \cdot I(\text{уст}) - 19.6$	0.38	$<10^{-6}$
Д. Все производные лесные формации	$\Delta C(F_a) = 123.5 \cdot I(\text{уст}) + 22.8 \cdot r_{\text{year}} + 18.7 \cdot t_{\text{Jul}} - 64.6$	0.30	$<10^{-6}$
Е. Вторичные мелколиственные леса на месте сосновых	$\Delta C(F_a) = 221.8 \cdot I(\text{уст}) - 68.5 \cdot t_{\text{июля}} + 33.9\, r_{\text{год}} - 83.2$	0.45	$<10^{-6}$
Ж. Вторичные мелколиственные леса на месте широколиственных	$\Delta C(F_a) = 10.7 \cdot I(\text{уст}) + 6.0 \cdot r_{\text{год}} - 4.6 \cdot t_{\text{июля}} - 12.2$	0.13	$<10^{-6}$
И. Леса южной лесостепи и северной степи	$\Delta C(F_a) = 95.4 \cdot t_{\text{июля}} - 78.3 \cdot I(\text{уст}) + 47.5\, r_{\text{год}} - 22.6$	0.54	$<10^{-6}$

Примечание. * R_s – ранговый коэффициент корреляции Спирмана; P – уровень значимости Пирсона.

В табл. 2 приведены результаты расчетов (по формулам **А–Г$_2$** в табл. 1) прогнозируемых значений углеродного баланса лесных формаций всего Окско-Волжского бассейна по базовым и прогнозируемым величинам Iупр, а также по параметрам $t_{\text{июля}}$ и $r_{\text{год}}$, которые заданы двумя различными глобальными климатическими моделями (см. выше). В течение всего 100-летнего прогнозного периода общая упруго-пластичная устойчивость лесных формаций должна увеличиваться, причем в наибольшей мере при экстремальном потеплении. За счет этого следует ожидать и значительного повышения способности бореальных лесов поглощать парниковые газы. Сопоставление значений углеродного баланса лесных формаций, полученных при начальных (базовых) и конечных (итоговых) индексах функциональной устойчивости, дает однозначную картину существенного роста адсорбционной способности хвойных и смешанных лесов с повышением их адаптивного потенциала.

Таблица 2. Удельные и суммарные значения углеродных балансов лесных формаций на выборочной территории Волжского бассейна, прогнозируемые на 2100 г. при их базовой и конечной лабильной упругой устойчивости и по климатическим сценариям, согласно двум глобальным прогнозным моделям

Лесные формации, (см. табл. 1)	Средневзвешенный индекс упруго-пластичной устойчивости, *I*упр			Прогнозируемые климатические параметры на 2100 г.				Лесопокрытая площадь, кв. км	Суммарный углеродный баланс, млн т	
	Базовый	Прогнозный		Модель GISS		Модель HadCM3				
		Модель GISS	Модель HadCM3	$t_{июля}$, °C	$r_{год}$, мм	$t_{июля}$, °C	$r_{год}$, мм		Модель GISS	Модель HadCM3
А	0.554	0.630	0.670	20.1	950	22.2	725	75 706	73.435 109.319	67.151 121.432
Б	0.430	0.630	0.675	20.1	930	22.6	710	48 506	44.771 29.249	62.185 43.170
В	0.531	0.664	0.684	21.6	830	23.0	705	37 841	70.763 218.835	160.430 313.172
$Г_1$	0.547	0.667	0.689	22.2	780	23.8	685	18 350	–10.239 –4.257	–9.652 –6.624
$Г_2$	0.547	0.667	0.689	23.8	700	24.0	650	7 544	–10.562 –13.434	–8.170 –14.009
Заболоченные леса	0.549	0.630	0.672	20.1	940	22.4	720	7 052	5.726 9.287	4.661 10.000
Неморальные поймы	0.559	0.642	0.685	22.5	770	23.6	680	16 267	5.482 5.092	7.676 18.871
Средневзвешенное /Сумма	**0.517**	**0.634**	**0.673**	**20.4**	**921**	**21.0**	**717**	**211 266**	**179.376 354.091**	**284.281 486.012**

Примечание. $t_{июля}$ – средняя температура июля; $r_{год}$ – годовое количество осадков. В столбцах суммарного углеродного баланса первая строка характеризует баланс при базовом значении индекса устойчивости растительных формаций, а вторая – при его конечном значении (на прогнозный срок 2100 г.). Безлесные верховые и переходные болота не учитываются.

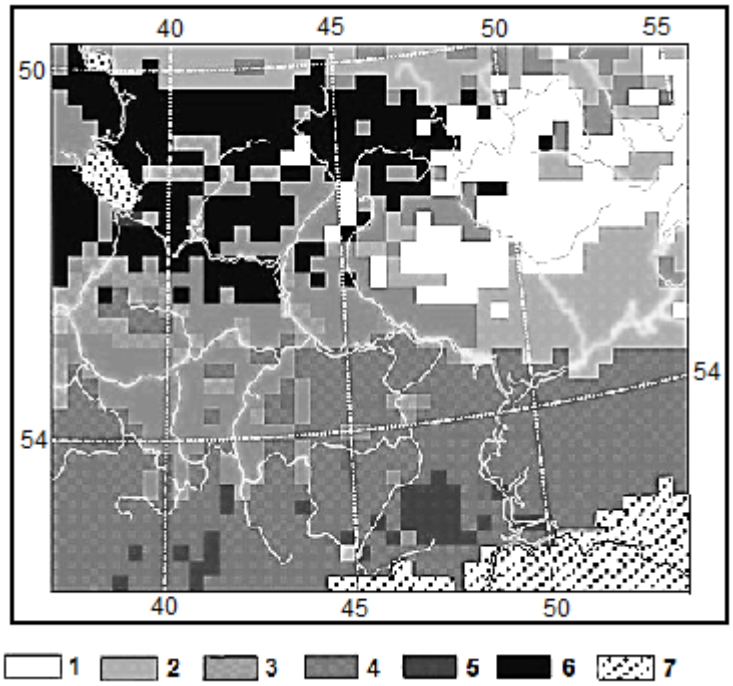


Рис. 1. Распределение удельного углеродного баланса реального лесного покрова Окско-Волжского бассейна (коренных + вторичных лесов) для сценария экстремального потепления согласно модели HadCM3 на срок 2100 г. Растровая карта рассчитана и составлена Л.С. Шарой [4]

Углеродный баланс (т/га): 1 – 24.0 ÷ 20.0; 2 – 19.9 ÷ 15.0; 3 – 14.9 ÷ 7.0; 4 – 6.9 ÷ 3.0; 5 – 2.9 ÷ (– 4.0); 6 – (-4.1) ÷ (–10.5). 7 – территория с отсутствием лесной растительности

При экстремальном потеплении леса Окско-Волжского бассейна могут приобрести преимущественно положительный углеродный баланс. Максимум адсорбционной способности приходится на подтаежные сосново-широколиственные леса. Широколиственно-еловые леса, показывающие по сценарию GISS (умеренного потепления) слабую отрицательную регуляцию углеродного цикла ($\Delta C(Fa)$ = –7.12 т/га), при более мощном термо-аридном сигнале (по модели HadCM3) переходят в разряд существенной положительной регуляции: ($\Delta C(Fa)$ = +20.01 т/га). Аналогично меняется углеродный баланс камско-печерских коренных подтаежных лесов – с –18.24 до +15.59 т/га. В березняках и осинниках этот баланс значительно возрастает ($\Delta C(Fa)$ = 8.37 → 22.69 т/га). По обеим моделям прослеживается отрицательная регуляция углеродного цикла со стороны многих коренных и производных формаций подзоны широколиственных лесов, а также островных лесов типичной лесостепи.

Приведенные материалы указывают на существенный рост адсорбционной способности лесного покрова средней полосы Русской равнины при усилении самого сигнала глобального потепления и при соответствующем повышении упруго-пластичной устойчивости экосистем. *Решающий вклад в повышение адсорбции лесами парниковых газов будет вносить рост их адаптивного потенциала*, играющий роль прямого экологического фактора.

В заключение приведем резонное замечание А.З. Швиденко: «численные предсказания прогнозных моделей должны рассматриваться… скорее как информация к размышлению о вероятных будущих траекториях лесов …, принимая во внимание значительную неопределенность прогнозов» [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Paris Agreement. Conference of the Parties Twenty-first session. Paris, 30 Nov. to 11. Dec., 2015. 19 p.
2. *Hansen J,. Sato M., Ruedy R.* et al. Climate simulations for 1880–2003 with GISS model E // Climate Dynamics. 2007. 29: 661–696.
3. *Pope V.D., Gallani M.L., Rowntree P.R. and Stratton R.A.* The impact of new physical parametrizations in Hadley Centre climate model – Had-CM3 // Climate Dynamics. 2000. 16: 123–146.
4. *Коломыц Э.Г.* Экспериментальная географическая экология. Записки географа-натуралиста. Москва: КМК, 2018. 716 с.
5. *Грибова С.А., Исаченко Т.И., Лавренко Е.М.* Растительность Европейской части СССР. Ленинград: Наука, 1980. 429 с.
6. *Котова Т.В.* Растительность Европейской части СССР и Кавказа. Масштаб 1:2 000 000. Москва: ГУГК, 1987. 4 л.
7. *Швиденко А.З.* Глобальные изменения и российская лесная таксация // Лесная таксация и лесоустройство. 2012. Т. 47. № 1. С. 32–75.

УДК 630*

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ОЧАГОВ И ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ СТВОЛОВЫХ ВРЕДИТЕЛЕЙ

И.А. КОМАРОВА, Н.И. ЛЯМЦЕВ

Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства, Пушкино (irakomarowa@mail.ru, nilyamtsev@yandex.ru)

Аннотация. Анализ существующих методов оперативного выявления очагов стволовых вредителей показал, что на современном этапе необходима интеграция способов осуществления лесопатологического мониторинга наземными и дистанционными средствами, данных выборочных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов, популяциями вредных организмов и инвентаризации их очагов.

METHODS FOR DETECTING FOCI AND ESTIMATING THE NUMBER OF STEM PESTS

I.A. KOMAROVA, N.I. LYAMTSEV

All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Pushkino (irakomarowa@mail.ru, nilyamtsev@yandex.ru)

Abstract. An analysis of existing methods for the rapid identification of foci of stem pests has shown that at the present stage it is necessary to integrate methods for carrying out forest pathology monitoring by ground and remote means, data from selective observations of the sanitary and forest pathology state of forests, populations of harmful organisms and inventory of their foci.

Основными критериями для определения действующего очага стволовых вредителей являются: ослабление древостоя; наличие усыхающих и заселенных деревьев в количестве, превышающем норму естественного отпада не менее чем в 2-3 раза; размеры усыхающих деревьев, близкие к средним для данного насаждения; групповое, куртинное или сплошное расположение усыхающих деревьев. По действующим нормативным документам очагом стволовых вредителей является лесной участок или его часть, в котором доля заселенных стволовыми вредителями деревьев превышает 10 % запаса насаждения [7].

Для обеспечения раннего выявления массового размножения вредных организмов планирование работ по выборочным наблюдениям за популяциями вредных организмов должно быть основано на прогнозных картах, в том числе цифровых, характеризующих угрозу образования очагов наиболее опасных видов вредных организмов. Основой для построения таких карт должны стать данные по экологическим оптимумам вредных организмов (резервациям, местам возникновения первичных очагов). Например, для короеда-типографа участки наблюдения закладывают в еловых насаждениях свежих типов леса сложной группы (зеленомошники, кисличники, разнотравные, приручьевые и т. п.) в возрасте от 50…60 лет и старше, зараженных корневыми и комлевыми гнилями, ослабленных иными причинами, где часто проводятся или необходимо проводить выборочные санитарные рубки.

Обследование мест экологических оптимумов и оценка популяционных показателей должны осуществляться регулярно в соответствии с биологией вредителей, а не только в период скопления вредных организмов. Технической основой прогнозных карт могут служить актуальные данные материалов лесоустройства и государственной инвентаризации лесов. Использование прогнозных карт позволит оптимальным образом организовать работы по выборочным наблюдениям за популяциями вредных организмов, целевым образом посещать участки, являющиеся потенциальными очагами вредных организмов. В итоге это приведет к более объективной оценке санитарного и лесопатологического состояния лесов с минимальными затратами ресурсов и своевременному обеспечению мер санитарной безопасности [4].

Обследование очагов стволовых насекомых, образующихся под влиянием различных факторов ослабления, имеют свою специфику. Так, при лесопатологических обследованиях в очагах на гарях обязательно учитывают время пожара, от которого зависит складывающийся фенологический комплекс стволовых вредителей, определяют высоту нагара на стволах и долю деревьев с прогаром корневых лап, с чем связана степень ослабленности деревьев. В насаждениях, пострадавших от ветра, определяют соотношение ветровальных и буреломных деревьев, обращают внимание на степень отрыва корней ветровальных деревьев от почвы, от которой часто зависит скорость заселения их стволовыми вредителями, и др. [5].

Для выявления очагов наземными методами достаточно эффективным считается феромонный мониторинг. Использование феромонных ловушек позволяет по численности отловленных насекомых, и особенно по ее изменению во времени и пространстве, характеризовать угрозу образования очагов (в том числе в первом приближении – величину патологического отпада, короедный запас) [8].

Учеты численности вредных организмов заключаются в определении плотности популяции вредителя (заселения насаждений вредителем) на части участков лесных насаждений. Методы учетов

выбираются в зависимости от вида вредителя и фазы его развития. Используемые в современной практике способы и методы учета насекомых при всем своем разнообразии не являются универсальными и не могут обладать высокой точностью по ряду причин (изменчивость устойчивости древостоев по фазам очага и условиям среды, численность насекомых, их миграции и проч.). Объемы работ определяются на основе предварительных данных по численности и встречаемости вредных организмов на заселенной территории. Также для проведения таких работ необходимы специальные навыки и знание экологических и биологических особенностей основных хозяйственно значимых видов стволовых вредителей.

Развитие программного обеспечения позволяет существенно повысить оперативность и масштабность выявления очагов стволовых вредителей, дает реальную возможность обеспечить систематическую и максимально полную оценку санитарного состояния лесов. Обнаружение повреждений лесов, а также оценка степени ослабления, повреждения или усыхания древостоев позволяют более целенаправленно и качественно осуществлять последующие наземные работы в выявленных дистанционным способом (или ранее известных) очагах [6].

При наземных учетах корректируют данные дистанционной оценки степени ослабления (повреждения) или усыхания лесов. Состояние деревьев определяется по сумме таких морфологических показателей, как густота и цвет крон, определяемых по четырем или пяти градациям. При этом необходимо учитывать поврежденность хвои (листвы), относительный прирост побегов и ствола, возраст сохраняющейся на побегах хвои (средний и предельный), наличие сухих ветвей, состояние коры и луба. На основании всех этих показателей устанавливается категория состояния дерева, являющаяся его интегральной характеристикой. Таким образом, наземная проверка и учет деятельности стволовых вредителей в очагах патологии леса являются обязательными [1].

Космические изображения сверхвысокого пространственного разрешения и снимки с БПЛА дают возможность дистанционной оценки основных характеристик деревьев (биометрических и морфоструктурных параметров). Использование БПЛА позволяет оперативно выявлять не только микроочаги вредных насекомых, но и отдельные поврежденные ими деревья и участки крон [3]. В сравнении с наземными методами вероятность выявления очагов усыхания при аэровизуальном обследовании повышается на 20–30 %, производительность труда – многократно. Выборочная наземная проверка однотипных очагов, оцененных с воздуха, также будет содействовать сокращению трудовых и материальных затрат. При этом оптимальные сроки для проведения аэрофотосъемки с использованием БПЛА должны совпадать с периодами наземных обследований очагов стволовых вредителей с середины апреля до начала октября.

Проведенный анализ существующих методов оперативного выявления очагов стволовых вредителей показал, что на современном этапе необходима интеграция способов осуществления государственного лесопатологического мониторинга наземными и дистанционными средствами [2, 9], а также информации, получаемой в результате регулярных и выборочных наблюдений за санитарным и лесопатологическим состоянием лесов, популяциями вредных организмов, и инвентаризации их очагов. Для сокращения затрат и обеспечения необходимой достоверности результатов мониторинга стволовых вредителей приоритетными должны быть маршрутные ходы наблюдений за санитарным состоянием лесов, на части которых осуществляются и рекогносцировочные наблюдения за популяциями насекомых с закладкой временных пробных площадей. Совмещение этих маршрутов сокращает затраты на переезды и повышает репрезентативность оценок основных параметров популяций стволовых вредителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Князева С.В., Никитина А.Д., Белова Е.И.* Методические подходы к оценке характеристик лесов по данным спутниковой съемки сверхвысокого пространственного разрешения в оптическом диапазоне // Лесоведение. 2021. 6. С. 645–672.
2. *Крылов А.М.* Выявление очагов короеда-типографа в Московской области с использованием снимков Landsat // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2011. 4. С. 54–60.
3. *Кривец С.А., Керчев И.А., Бисирова Э.М., Смирнов Н.А., Пац Е.Н.* Союзный короед – новый вызов для лесозащиты в Сибири // Сибирский лесной журнал. 2021. 1. С. 43–57.
4. *Лямцев Н.И., Комарова И.А.* Угрозы санитарной безопасности в лесах и опыт их оценки // Лесохозяйственная информация. 2021. 4. С. 83–96.
5. Методические рекомендации по надзору, учету и прогнозу массовых размножений стволовых вредителей и санитарного состояния лесов. МПР РФ, ФАЛХ. Пушкино: ВНИИЛМ, 2006. 108 с.
6. Методы мониторинга вредителей и болезней леса / под общ. ред. В.К. Тузова. М.: ВНИИЛМ, 2004. 56 с.
7. Порядок осуществления государственного лесопатологического мониторинга. Утв. приказом Минприроды России от 5 апреля 2017 г. № 156.
8. Применение феромонов важнейших вредителей леса при ведении лесопатологического мониторинга / А.Д. Маслов, Н.И. Лямцев, И.А. Комарова, Ю.А. Сергеева и др. Пушкино: ВНИИЛМ, 2013. 36 с.
9. Технология мониторинга пихтовых лесов в зоне инвазии уссурийского полиграфа в Сибири / Методическое пособие. Томск: УМИУМ, 2018. 74 с.

УДК 631.468

ВЛИЯНИЕ ПОСТПИРОГЕННОГО УГЛЯ НА РАЗЛОЖЕНИЕ ОПАДА ПРИ УСЛОЖНЕНИИ ФАУНИСТИЧЕСКОГО СООБЩЕСТВА

А.В. КОНДРАТОВА

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск (kondratova.ava@gmail.com)

Аннотация. В этом исследовании было изучено влияние постпирогенного древесного угля на раннее разложение листьев дуба в условиях усложнения фаунистического сообщества. Установлено, что присутствие постпирогенного угля может изменять эффект, который оказывает усложнение фаунистического сообщества на разложение опада. Показано, что уголь может замедлять разложение опада, если оно происходит с доступом только микрофауны. Усложнение фаунистического сообщества за счет присутствия мезофауны компенсирует отрицательный эффект угля, который установлен при разложении с участием только микрофауны. Взаимосвязь макрофауны и угля при раннем разложении листьев дуба не установлена.

EFFECT OF FIRE-DERIVED CHARCOAL ON THE LITTER DECOMPOSITION WITH THE COMPLICATION OF THE FAUNAL COMMUNITY

A.V. KONDRATOVA

Institute of Geology and Nature Management FEB RAS, Blagoveshchensk (kondratova.ava@gmail.com)

Abstract. In this study, the effect of post-pyrogenic charcoal on the early decomposition of oak leaves under conditions of increasing complexity of the faunal community was studied. It has been established that the presence of post-pyrogenic charcoal can change the effect of the complication of the faunal community on the decomposition of litter. It is shown that charcoal can slow down the decomposition of litter if it occurs with access of only microfauna. Complication of the faunal community due to the presence of mesofauna compensates for the negative effect of charcoal, which is established when decomposition with the participation of microfauna only. The relationship between macrofauna and charcoal during early decomposition of oak leaves has not been established.

Вопрос о влиянии постпирогенного древесного угля на потерю массы органического вещества в лесных экосистемах до сих пор остается дискуссионным. Показано, что влияние угля на скорость разложения может зависеть от свойств органического вещества [1]. В полевом эксперименте уголь не влиял на скорость разложения древесины ели, но изменял бактериальное сообщество, обитающее в древесине [2]. Положительный эффект угля для потери массы лесной подстилки даже на ранних сроках разложения установлен в полевом эксперименте в лесах на севере Швеции [3]. Видоспецифичное влияние угля из древесины лиственницы на ускорение потери массы опада различного качества показано в полевом эксперименте в северном лиственничнике [4].

Большая часть разложения органического вещества осуществляется почвенными микроорганизмами, тем не менее многие исследования признали, что почвенная фауна существенно влияет на скорость разложения, в основном вследствие воздействия на микробную активность [5]. Полученный при сжигании древесный уголь может изменять биологические процессы в бореальных лиственничных лесах, влияя на фаунистическое сообщество в разлагающемся опаде. Однако исследования по установлению взаимодействия почвенной фауны с продуктами пиролиза представляют собой либо лабораторные эксперименты, либо эксперименты в сельскохозяйственных системах [6, 7] и очень редко – полевые эксперименты по разложению опада. Мы исследовали влияние угля на потерю массы опада при усложнении почвенного фаунистического сообщества в дубовом лесу.

Для изучения влияния угля на разложение опада при усложнении фаунистического сообщества проведен полевой эксперимент по разложению листьев дуба в пакетах. Исследование проведено в дубняке (*Quercus mongolica* Fisch.) на территории Амурского филиала Ботанического сада-института ДВО РАН. В зависимости от доступа фауны были изготовлены пакеты с тремя размерами ячеек: 35 мкм (доступ микробов и микрофауны), 2 мм (доступ микробов, микро- и мезофауны) и 5 мм (доступ микробов, микро-, мезо- и макрофауны). В зависимости от наполнения пакеты были следующих типов: в пакет «контроль» помещали 12 г опада, в пакете «уголь» опад (12 г) располагался на слое угля (8 г). Уголь изготовлен из древесины дуба монгольского (*Quercus mongolica* Fisch.) при температуре 450 °C. Пакеты были помещены на поверхность лесной подстилки в мае 2023 г. и собраны в октябре 2023 г.

Потеря массы опада между вариантами «контроль» и «уголь» при всех уровнях фаунистической активности (ячейки 35 мкм, 2 мм, 5 мм) статистически значимо не различалась ($p > 0.05$), при этом наблюдалась тенденция к снижению потери массы в присутствии угля при доступе микрофауны (табл. 1). Замедление разложения в присутствии угля при доступе микрофауны по сравнению с контролем может быть связано с подавлением микробного сообщества за счет изменения структуры сообщества микрофауны. Показано, что древесный уголь способствовал увеличению доли грибоядных нематод, что свидетельствует о развитии грибов, а не бактерий в микробном сообществе лесной подстилки [8].

Таблица 1. Потеря массы опада в зависимости от присутствия угля и сложности фаунистического сообщества (среднее ±1 SE, n = 9)

Вариант	Размер ячейки пакета*					
	35 мкм		2 мм		5 мм	
	%	±1 SE	%	±1 SE	%	±1 SE
«Контроль»	30.5	2.37	30.9	1.27	28.7	1.62
«Уголь»	26.1	1.42	30.6	1.04	31.3	1.47

Примечание. * 35 мкм – доступ микробов и микрофауны; 2 мм – доступ микробов, микро- и мезофауны; 5 мм – доступ микробов, микро-, мезо- и макрофауны.

Усложнение фаунистического сообщества в контрольном варианте не изменяло потерю массы на раннем этапе разложения листьев дуба ($p > 0.05$). В присутствии угля потеря массы была статистически значимо выше в пакетах с доступом микро- и мезофауны (2 мм) ($p = 0.061$) и пакетах с доступом микро-, мезо- и макрофауны (5 мм) ($p = 0.0278$) по сравнению с доступом только микрофауны (35 мкм). При этом различий между пакетами с размером ячеек 2 мм и 5 мм не было ($p = 0.929$). Доступ мезофауны в разлагающийся опад компенсировал отрицательное влияние угля, которое проявилось при доступе только микрофауны. Положительный эффект мезофауны на фоне угля может быть вызван несколькими причинами. Показано, что уголь может стимулировать рост сообщества мезофауны [6, 9, 10], которая регулирует микробное и микрофаунистическое сообщество. За счет горизонтального и вертикального транспорта угля мезофауной опад больше заселяется микроорганизмами [11]. Также поры угля служат местом обитания микроорганизмов, защищая их от хищной мезофауны [12]. Наше исследование не показало увеличения потери массы при усложнении фаунистического сообщества за счет доступа макрофауны, что свидетельствует о ее меньшей роли на ранней стадии разложения по сравнению с мезофауной [13]. Также уголь мог снизить численность макрофауны, как, например, показано в лабораторном эксперименте с дождевыми червями [6]. Таким образом, установлено, что присутствие постпирогенного угля может изменять эффект, который оказывает усложнение фаунистического сообщества на разложение опада. Усложнение фаунистического сообщества за счет присутствия мезофауны компенсирует отрицательный эффект угля, который установлен при разложении с участием только микрофауны. Взаимосвязь макрофауны и угля при раннем разложении листьев дуба не установлена.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Abiven S., Andreoli R.* Charcoal does not change the decomposition rate of mixed litters in a mineral cambisol: A controlled conditions study // Biol. Fertil. Soils. 2011. 47: 111–114.
2. *Qu Zl., Li Xl., Ge Y. et al.* The impact of biochar on wood-inhabiting bacterial community and its function in a boreal pine forest // Environmental Microbiome. 2022. 17 (1): 45.
3. *Wardle D.A., Nilsson M.C., Zackrisson O.* Fire-derived charcoal causes loss of forest humus // Science. 2008. 320 (5876): 629.
4. *Bryanin S.V., Kondratova A.V., Danilov A.V. et al.* Season-dependent effect of fire-derived charcoal on the above- and belowground litter decomposition in boreal forests // Eurasian Soil Sc. 2024. 57: 513–523.
5. *Frouz J.* Effects of soil macro- and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization // Geoderma. 2018. 332: 161–172.
6. *Briones M.J.I., Panzacchi P., Davies C.A. et al.* Contrasting responses of macro- and mesofauna to biochar additions in a bioenergy cropping system // Soil Biology and Biochemistry. 2020. 145: 107803.
7. *Pingree M.R.A., Kardol P., Nilsson M.C. et al.* No evidence that conifer biochar impacts soil functioning by serving as microbial refugia in boreal soils // GCB Bioenergy. 2022. 14 (8): 972–988.
8. *Gießelmann U.C., Borchard N., Traunspurger W. et al.* Long-term effects of charcoal on nematodes and other soil meso- and microfaunal groups at historical kiln-sites – a pilot study // European Journal of Soil Biology. 2019. 93: 103095.
9. *Marks E.A.N., Mattana S., Alcañiz J.M. et al.* Biochars provoke diverse soil mesofauna reproductive responses in laboratory bioassays // European Journal of Soil Biology. 2014. 60: 104–111.
10. *Kondratova A., Bryanin S.* Fire-derived charcoal attracts microarthropods in the litter of boreal deciduous forest // Forests. 2023. 14 (7): 1432.
11. *Maaß S., Hückelheim R., Rillig M.C.* Collembola laterally move biochar particles // PLoS One. 2019. 14 (11).
12. *Crowther T., Boddy L., Hefin J.T.* Functional and ecological consequences of saprotrophic fungus-grazer interactions // ISME J. 2012. 6: 1992–2001.
13. *Zaitsev A.S., Gongalsky K.B., Malmström A. et al.* Why are forest fires generally neglected in soil fauna research? A mini-review // Applied Soil Ecology. 2016. 98: 261–271.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 630*574.9+581.526.426.2+ 581.555+581.552

МНОГОЛЕТНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНЫХ ЛЕСОВ НА ЕРМАКОВСКОМ ОЭП ИНСТИТУТА ЛЕСА: МЕТОДЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

М.Е. КОНОВАЛОВА, Д.М. ДАНИЛИНА, Д.И. НАЗИМОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (markonovalova@mail.ru, dismailova@mail.ru, inpol@mail.ru)

Аннотация. В работе проанализированы история и принципы организации комплексных научных исследований, проводимых на базе Ермаковского стационара Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН с 1960 г. Приведены основные результаты изучения горных лесных экосистем и перспективные направления дальнейшей работы.

LONG-TERM RESEARCH OF MOUNTAIN FORESTS AT THE FOREST INSTITUTE ERMAKOVSKY RESEARCH STATION: METHODS, RESULTS, PROSPECTS

M.E. KONOVALOVA, D.M. DANILINA, D.I. NAZIMOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (markonovalova@mail.ru, dismailova@mail.ru, inpol@mail.ru)

Abstract. The history and principles of the organization of complex scientific research conducted on the basis of Ermakovsky research station of the V.N. Sukachev Institute of Forestry SB RAS since 1960 are analyzed. The main results of the study of mountain forest ecosystems and promising directions for further work are presented.

Долговременные стационарные исследования являются наиболее трудоемкой формой организации изучения лесов, однако именно они обеспечивают получение неоспоримых данных о структурно-функциональной организации, динамике и устойчивости биогеоценозов в целом и их компонентов в частности. Примером таких многолетних комплексных работ являются исследования, в которых реализован системный и комплексный подход, проводимые на базе Ермаковского стационара Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Ермаковский ОЭП) на протяжении более полувека.

Объекты Ермаковского ОЭП расположены в широком диапазоне лесорастительных условий в различных высотно-поясных комплексах (ВПК) Западного Саяна начиная с низкогорной части северного до южного макросклонов в диапазоне высот от 300 до 1900 м над ур. м., а также в предгорной части Минусинской котловины. Начало работ на Ермаковском ОЭП (1960 г.) связано с проведением первых комплексных исследований кедровых лесов Западного Саяна, создавших теоретическую основу комплексного использования, восстановления и выращивания кедровых лесов, что отражено в ряде рекомендаций и руководств Института леса [2]. Исследования имели два основных направления: лесоводственно-географическое и стационарное биогеоценотическое.

Изучение общих географических и эколого-географических закономерностей формирования и распространения растительного покрова Западного Саяна осуществлялось маршрутно-ключевым методом под руководством Н.П. Поликарпова и Д.И. Назимовой. Разработанные в результате теория секторно-зональных закономерностей структуры лесного покрова горных лесов и лесорастительное районирование составляют основу многих экологических исследований и практико-ориентированных работ в горах Южной Сибири.

С 1960-х гг. проводились исследования высотно-поясных различий климата на Западном Саяне (Н.П. Поликарпов, В.В. Протопопов, А.В. Лебедев, П.М. Ермоленко, Т.О. Буренина и др.). Впервые для Сибири на основе инструментальных наблюдений на высотном горном профиле получены количественные характеристики энергетического, теплового и водного баланса в разных ВПК Западного Саяна (Е.Г. Садовничая, Н.М. Чебакова, Е.И. Парфенова). Эти работы дали основу для уточнения районирования и классификации горных лесов всей Южной Сибири, а также моделирования [5, 9].

С использованием методов палеокарпологии и палинологии под руководством В.Л. Кошкаровой реконструирована история лесов Западного Саяна, оценены многовековые климатические тренды, предложены методы расшифровки палеокарпологических спектров, уточняющие ландшафтные характеристики местообитаний.

На базе стационара решаются задачи ландшафтного картирования с использованием ГИС И ДДЗ. Выполнена идентификация основных классификационных единиц схемы лесорастительного районирования северного макросклона Западного Саяна [1, 6].

Флористические, геоботанические и фенологические исследования, проводимые Д.И. Назимовой, Н.В. Степановым, Н.И. Молоковой, Н.Б. Ермаковым, Д.М. Данилиной и другими специалистами, показали, что растительный покров северного макросклона Западного Саяна включает уникальные, свойственные только барьерно-дождевым ландшафтам виды и сообщества с высочайшими биоразнообразием [5, 7].

Специалистами Института леса и Института общей генетики РАН (А.И. Ирошников, Г.В. Кузнецова, К.В. Крутовский, И.Н. Третьякова, Е.В. Бажина и др.) проведена работа по изучению морфологических и биохимических признаков популяций черневого кедра. В результате многолетних исследований дано обоснование высокого научного и практического значения этих уникальных популяций и их охраны.

Выявленные пространственно-экологические закономерности распространения и структуры горных лесов послужили основой для изучения взаимодействия и взаимовлияния различных компонентов лесных сообществ и среды на объектах постоянного мониторинга. На сети постоянных пробных площадей в различных ВПК (на высотном профиле от подтаежных лесов до подгольцово-субальпийских редколесий и горных тундр) специалисты разных профилей изучали процессы биологического круговорота (Н.В. Орловский, Е.Г. Чагина, К.С. Зуева, З.В. Вишнякова, Т.С. Кузнецова), средообразующую роль древесного и травяного ярусов, взаимоотношения различных древесных пород, механизмы восстановления и развития древостоя, послепожарной динамики лесов (П.М. Ермоленко, Л.Г. Ермоленко, Н.Ф. Овчинникова, Р.М. Бабинцева, Р. И. Лоскутов, М.А. Софронов и др.) [3, 4].

В самые трудные для страны годы (1990–2000 гг.) работа в стационаре продолжалась благодаря энтузиазму сотрудников П.М. Ермоленко, Л.Г. Ермоленко, Р.А. Коловского, Л.Р. Мичуриной, Д.И. Назимовой, Н.И. Молоковой, Н.Ф. Овчинниковой и новому поколению исследователей (Н.В. Степанов, И.Е. Ямских, Д.М. Данилина, О.В. Дробушевская, М.Е. Коновалова и др.). Продолжались трудоемкие исследования возобновления и формирования лесов, средообразующей роли древостоя и нижних ярусов на объектах постоянного мониторинга, в том числе повторные картирования растительных ярусов сообществ; решался вопрос о пространственно-временной изменчивости сообществ в ходе сукцессии [8].

Накопленный многолетний и многоплановый материал позволяет продолжить и развить исследования на базе Ермаковского ОЭП по нескольким ключевым направлениям:

1. Мониторинг биоразнообразия и динамики коренных и производных лесов на горном профиле в ежегодно пополняемых Базах данных с применением ГИС-технологий.
2. Оценка трансформации и прогноз изменения фитоценотической структуры лесов, параметров цикла углерода (запасы и интенсивность основных потоков) в органическом веществе почвы на многолетних объектах в условиях современных климатических изменений и антропогенных воздействий.
3. Анализ вариантов восстановительно-возрастной динамики лесных экосистем в различных природно-климатических условиях. Совершенствование мер по восстановлению кедровых лесов и рациональному природопользованию на базе концепции экосистемного управления лесами.
4. Генетико-селекционные исследования ценопопуляций хвойных древесных видов, популяционные исследования эндемичных и реликтовых видов растений.
5. Выявление особенностей формирования сообществ фитопатогенных микромицетов и эпифитных микроорганизмов на различных видах древесных растений в условиях избыточно влажного климата.
6. Изучение экологии и взаимоотношения лесообразующих пород.
7. Исследования состава, структуры и экологии сообществ наземных животных.
8. Оценка рекреационного потенциала горных лесных экосистем Западного Саяна и предгорий Минусинской котловины.
9. Оценка природной пожарной опасности на ландшафтно-экологической основе, с привязкой к ГИС с акцентом на более уязвимые подтаежные леса, лесостепные боры и высокогорья.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Данилина Д.М., Назимова Д.И., Гостева А.А., Степанов Н.В., Бабой С.Д.* Выявление потенциальных ареалов охраняемых видов растений на эколого-географической основе // География и природные ресурсы. 2018. № 1. С. 42–51.
2. Кедровые леса Сибири / отв. ред. А.С. Исаев. Новосибирск: Наука, 1985. 258 с.
3. *Назимова Д.И., Дробушевская О.В., Данилина Д.М., Коновалова М.Е., Кофман Г.Б., Бугаева К.С.* Биоразнообразие и динамика низкогорных лесов Саян: региональный и локальный уровни // Разнообразие и динамика лесных экосистем России. М.: ООО «Тов-во научных изданий КМК», 2012. Т. 1. С. 131–172.
4. *Овчинникова Н.Ф., Ермоленко П.М.* Фитоценотические особенности роста кедра (*Pinus sibirica*) в черневом поясе Западного Саяна // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2006. № 15.
5. *Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М., Назимова Д.И.* Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 226 с.
6. *Пономарёв Е.И., Исмаилова Д.М., Назимова Д.И.* Спутниковый мониторинг горных лесных экосистем Саян // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2011. Т. 4. № 1. С. 75–85.
7. *Nazimova D.I., Danilina D.M., Stepanov N.V.* Rain-barrier forest ecosystems of the Sayan Mountains // Botanica Pacifica. 2014. N 3 (1). P. 39–47.
8. *Konovalova M.E., Danilina D.M.* Cenopopulation structure of key species in climax Siberian pine chern forests of the Western Sayan Mountains (Article) // Russian J. of Ecology. 2019. V. 50. I. 3. P. 234–240.
9. *Tchebakova N.M., Parfenova E.I., Bazhina E.V., Soja A.J., Groisman P.Y.* Droughts are not the likely primary cause for *Abies sibirica* and *Pinus sibirica* Forest Dieback in the South Siberian Mountains // Forests. 2022. V. 13. I. 9. 1378.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке проекта «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» FWES-2024.

УДК 574.42

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАГИ ЛЕСНЫМИ БИОГЕОЦЕНОЗАМИ НА ТОМЬ-ЯЙСКОМ МЕЖДУРЕЧЬЕ

С.Г. КОПЫСОВ, А.О. ЕЛИСЕЕВ

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск (wosypok@mail.ru)

Аннотация. В докладе показаны результаты мониторинга перераспределения влаги лесными биогеоценозами и продемонстрировано, как это отражается на латеральных потоках растворенного в воде углерода.

FEATURES OF MOISTURE REDISTRIBUTION BY FOREST BIOGEOCENOSES IN THE TOM-YAYSKIY INTERFLUVE

S.G. KOPYSOV, A.O. ELISEEV

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk (wosypok@mail.ru)

Abstract. The report shows the results of monitoring the redistribution of moisture by forest biogeocenoses and how this affects the lateral flows of carbon dissolved in water.

Задержание лесами дождевых осадков и связанные с этим закономерности традиционно изучаются путем непосредственных измерений количества осадков под пологом леса. Для получения таким методом надежных данных требуются очень длительные наблюдения и большая дождемерная сеть. Очень важно различать насыщенные и ненасыщенные части кронового пространства, так как насыщенные части полностью пропускают выпадающие над ними осадки, а ненасыщенные части полностью их задерживают. Чем обильнее дождь, тем больше доля осадков, пропущенных кронами деревьев. Из-за особенностей выпадения дождевых осадков годовые колебания количества осадков, проникающих в почву, в лесу больше, чем на открытом месте. Особенно сильно ограничивают проникновение в почву выпадающих над ними осадков ельники [3].

Непременным условием комплексного мониторинга в лесных экосистемах является исследование климатической системы. В типичных биогеоценозах полигона «Аркашево» организованы наблюдения за термическим режимом почв с использованием автоматических измерителей почвенной температуры (АИПТ), разработанных в ИМКЭС СО РАН под руководством С.А. Куракова. С периодичностью в 1 час температура почвогрунта измеряется на глубине 0, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 и 240 см. Дополнительно организованы наблюдения, дающие характеристику поступления углерода с атмосферными осадками и его выноса с внутрипочвенным стоком. Для этого с учетом горизонтальной структуры древостоя (в межкроновом и в подкроновом пространстве) установлены осадкомеры и лизиметры. Зимние осадки оцениваются по данным снегомерной съемки в конце периода снегонакопления. Для изучения латерального стока на ручье, являющемся коллектором стока углерода с поверхностными и грунтовыми водами из исследуемых экосистем, установлена система автоматического мониторинга уровня воды САМУВ. Данные передаются по каналам сотовой связи и служат для определения сроков сбора атмосферных вод и стока воды. Воды отбираются для определения углерода и других химических параметров.

Даже короткий ряд наблюдений позволил выявить микроклиматические различия условий местообитания, вызванные особенностями инсоляции под древесным пологом, которые проявляются в термическом режиме почв. Так, в 2023 г. период с активными температурами ($\Sigma_{>10\,^{\circ}C}$) в почве на глубине 20 см в осиннике разнотравном лишь на 1 сутки оказался меньше периода с активными температурами воздуха, отмеченными на ближайшей метеостанции. В темнохвойных лесах этот период меньше на 3–5 недель. Самые холодные почвы свойственны пихтово-еловым биоценозам: в них сумма активных температур ($\Sigma_{>10\,^{\circ}C}$) на глубине 20 см составила всего 925 °С. В осиннике разнотравном сумма активных температур в 1.5 раза больше (1410 °С), что делает почву более продуктивной, влияет на накопление тепла в почве и состояние древостоя. По мере распада темнохвойного полога почвы начинают лучше прогреваться. Например, под кронами здорового кедра сумма $\Sigma_{>10\,^{\circ}C}$ в почве на глубине 20 см составляет 980 °С, а под кедром (свежий сухостой), погибшим в результате поражения вредителями, – на 215 °С больше, т. е. 1195 °С.

На термический режим почвы влияет не только инсоляция, но и особенности пространственно-временного распределения снежного покрова. По результатам снегомерной съемки в марте 2023 г. установлено, что запас воды в снежном покрове на открытых участках – 104–154 (в среднем 130) мм, в пихтарнике – 78–147 (в среднем 110) мм, а в кедровнике – 54–160 (в среднем 98) мм. Различия объясняются особенностями ветрового переноса и усиленным испарением снега из-за отепляющего воздействия крон и стволов темнохвойных деревьев, более эффективно поглощающих солнечную радиацию, а также увеличением испаряющей поверхности в лесу. Наблюдения показали пространственное распределение атмосферных осадков в структуре древостоя. В период с 2.09 по 19.10.2023 в среднем под кронами

зарегистрировано 57 % от осадков в межкроновых пространствах. Задержанные кронами осадки пошли на испарение, снизив затраты влаги из корнеобитаемого слоя на транспирацию и прогрев почвы.

Многочисленные исследования влияния леса на водный баланс за последние полтора века не позволили получить однозначного ответа. Это привело А.А. Онучина [2] к созданию концепции географически детерминированной гидрологической роли лесов. Более того, наши исследования указывают на то, что в годы с разными природно-климатическими условиями роль леса будет существенно меняться. Например, в табл. 1 приведены данные, показывающие, что максимальный запас воды в снежном покрове для одних и тех же типов биогеоценозов сильно изменяется год от года. Это говорит о многофакторном влиянии на накопление снега в экосистемах различных сочетаний твердых осадков, температур воздуха и ветровых характеристик.

Таблица 1. Динамика характеристик снежного покрова на водосборе ручья Корольковского за 2015–2022 гг.

	2015			2016			2017			2018		
	H, см	W, мм	кг/м^3	H, см	W, мм	кг/м^3	H, см	W, мм	кг/м^3	H, см	W, мм	кг/м^3
поле	100	124	128	55	112	207	85	197	231	64	96	153
темнохвойный лес	63	70	111	30	51	179	68	194	298	44	98	222
лиственный лес	102	165	159	63	103	163	86	175	203	49	87	134
	2019			2020			2021			2022		
	H, см	W, мм	кг/м^3	H, см	W, мм	кг/м^3	H, см	W, мм	кг/м^3	H, см	W, мм	кг/м^3
поле	83	212	257	60	156	257	80	128	161	84	165	196
темнохвойный лес	54	98	177	42	86	207	54	109	201	-	-	-
лиственный лес	76	182	238	77	192	252	86	133	155	85	135	159

По результатам снегомерной съемки от 21.03.2024 установлено, что на открытых участках средняя высота снега составила 61 см, плотность – 197 кг/м^3, запас воды в снежном покрове – 119 мм. В кедровнике средняя высота снега – 38 см, плотность – 196 кг/м^3, запас воды в снежном покрове – 75 мм. В пихтарнике средняя высота снега – 48 см, плотность – 194 кг/м^3, запас воды в снежном покрове – 93 мм. В осиннике средняя высота снега – 66 см, плотность – 201 кг/м^3, запас воды в снежном покрове – 132 мм. Запас воды в снеге за зиму 2023–2024 г. меньше, чем за зиму 2022–2023 г., на открытой территории – на 8.0 %, в кедровнике – на 23 %, а в пихтарнике – на 16 %.

Поступление углерода со снегом по данным, полученным на анализаторе «Топаз-NC», за зиму 2022–2023 г. составило: на открытой территории – 1,7 кг/га, для кедровника – 1.3 кг/га, а для пихтарника – 1.5 кг/га. За зиму 2023–2024 года: на открытой территории – 1.7 кг/га, для кедровника – 1.2 кг/га, для пихтарника – 1.5 кг/га, а для осинника – 2.3 кг/га. Таким образом, темнохвойный лес удерживает не только снег, но и углерод, необходимый ему для роста. Причем углерод удерживается хвойным лесным пологом более интенсивно, чем снег. В лиственных лесах ситуация противоположная.

Изменение инсоляционного и термического режима насаждения в связи с распадом и сменой древостоя также приводит к значительному варьированию продуктивности фитоценоза как в его надземной, так и в подземной части, и активности гумусово-аккумулятивного процесса, как это показано на примере сукцессионного ряда пихтовых биогеоценозов Томь-Яйского междуречья [1]. Основная часть минеральных частиц, обогащенных органическим веществом, выносится по поверхности плотного иллювиального горизонта поверхностным и внутрипочвенным стоком в понижения рельефа и гидрографическую сеть. Это подтверждается увеличением содержания в водотоках растворенного органического углерода с 1 мг/л в осеннюю межень до 6 мг/л в период зимней межени, а также постепенным снижением концентрации в период половодья за счет промывания почвогрунтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дюкарев А.Г., Климова Н.В., Никифоров А.Н., Чернова Н.А., Копысов С.Г.* Устойчивость лесных экосистем к изменениям климата // Сибирский экологический журнал. 2022. Т. 29. № 3. С. 304–314.
2. *Онучин А.А*. Причины концептуальных противоречий при оценке гидрологической роли бореальных лесов // Сиб. лес. журн. 2015. № 2. С. 41–54.
3. *Хильми Г.Ф.* Теоретическая биогеофизика леса. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1957. 208 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены при поддержке ВИП ГЗ (регистрационный номер № 123030300031-6).

УДК 577.2

ВЛИЯНИЕ ВОДНОГО ДЕФИЦИТА НА ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ ДЕГИДРИНОВ КАЛЛУСНОЙ КУЛЬТУРЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Н.Е. КОРОТАЕВА, В.Н. ШМАКОВ, В.И. БЕЛЬКОВ, И.В. ГОРБЕНКО, Д.В. ПЯТРИКАС

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск (knev73@yandex.ru)

Аннотация. В клетках каллусных культур побегов и почек сосны обыкновенной, отличающихся по уровням жизнеспособности и экспрессии шести генов дегидринов, небольшой водный дефицит вызвал изменения в уровнях транскриптов этих генов. Изменения уровней транскриптов отличались в зависимости от происхождения культуры (побеги или почки) и генотипических различий между исходными деревьями.

THE EFFECT OF WATER DEFICIENCY ON THE EXPRESSION OF SCOTS PINE CALLUS CULTURE DEHYDRIN GENES

N.E. KOROTAEVA, V.N. SHMAKOV, V.I. BELKOV, I.V. GORBENKO, D.V. PYATRIKAS

Siberian institute of plant physiology and biochemistry SB RAS, Irkutsk (knev73@yanex.ru)

Abstract. In the cells of callus cultures of Scots pine, differing in the levels of viability and expression of six dehydrin genes, a small water deficiency caused changes in the transcript levels of these genes. Changes in the transcript levels differed depending on the tissue type for culture (shoots or buds) and on genotypic differences between the donor trees.

В формировании толерантности растений к водному дефициту (ВД) важная роль принадлежит защитным белкам дегидринам (ДГ), которые относятся ко II группе семейства LEA-белков (late embryogenesis abundant protein family). Имея изменчивую молекулярную конформацию, ДГ становятся «молекулярным щитом» белков и мембран, снижая вероятность их неспецифических взаимодействий [4]. Одни и те же ДГ могут участвовать в защитных ответах на разные стрессоры, поэтому выявить специфическую связь между воздействием и накоплением определенного ДГ довольно сложно. ДГ вида *Pinus sylvestris* L. менее изучены среди ДГ видов этого рода. Культура клеток позволяет исследовать факторы защиты и адаптации на клеточном уровне и при этом строго задавать условия стрессового воздействия, что особенно актуально для исследования древесных растений. Задачей исследования стало выявление экспрессии генов ДГ в ответ на ВД у *P. sylvestris* с использованием каллусной культуры *in vitro*. В работе использовали пять деревьев (д1–д5) *P. sylvestris*, произрастающих на экспериментальном участке СИФИБР СО РАН, заложенном в 1985 г. из однолетних саженцев лесного питомника пос. Мегет Иркутской области [1]. Жизнеспособность каллусных культур (ЖК), полученных на эксплантах побегов и почек, оценивали по срокам появления первых признаков некротизации и гибели культуры в течение 4 мес. инкубирования [2]. Действие ВД создавали, помещая каллусы на 10 суток на среду культивирования, содержащую 5 или 8 % ПЭГ 2000. Жизнеспособность клеток каллусной культуры (ЖККК) определяли по восстановлению ТТХ, содержание общей воды (ОВ) – весовым методом. Экстракцию общей РНК проводили аналогично [9], синтез кДНК и ОТ-кПЦР – аналогично [3].

Таблица 1. Последовательности использованных праймеров

Идентификатор	ген	Левый праймер	Правый праймер
GQ339779.1	*ACT-1*	ACGGAGGCACCACTTAACCC	ATCCGTCAGATCACGCCCAG
JQ969658.1	*DHN1*	TGCCTGAGAGCATTGATGGGA	TTGACCGAACACTCAGGACCC
EU394116.1	*DHN2*	CAATGCCCAGGTTACGGC	AGCTGTTTGTGCGGTGAAGC
FJ201358.1	*DHN3*	AAAGCAGTGTTTGCGGTCAGC	TCCATGCTCCTCACCCAAGC
FJ201392.1	*DHN4*	GGGAAGAAGCCGGGAATGGTA	CTGACCGCCACACTGCTTTC
AJ512366.1	*DHN7*	ATGGCGGAAGAGCAACAGGA	GCTGACCGCAACACTGCTTT
FJ201521.1	*DHN9*	AAGCACCTGAGCACCAGGAC	GCTTGCTTTCCCTCCTCTTCCT

Для всех каллусов были характерны участки некротизации. Их наиболее ранние появления выявлены в культурах д1 (почки и побеги) и д2 (почки), для которых была характерна полная гибель в течение 4 мес. культивирования. Наивысшие показатели ЖККК были у клеток каллусов д3, д4 и д5 (почки) и д3 (побеги), наименьшие – у клеток каллусов д2 любого происхождения. Потемнение тканей в системе *in vitro* свидетельствует о процессах, приводящих к гибели культуры. Содержание воды в каллусах д1 и д2 было ниже, чем в остальных каллусных клетках. Оценка приведенных показателей позволяет сделать вывод об их высокой вариативности среди каллусов разных генотипов и различного происхождения и о пониженной метаболической активности культур д2. Известно, что первичные экспланты, взятые от растений одного вида, выращиваемые в одинаковых условиях, отличаются в зависимости от исходного генотипа (сорта, линии) по частоте каллусообразования и интенсивности роста клеточной культуры [5], что определяется генотипическими особенностями исходного растения. ВД привел к дозозависимому

снижению содержания ОВ у всех исследованных каллусов, не превышающему 7 %. Выраженного снижения ЖККК у большинства культур в ответ на такой слабый ВД не произошло. Наименьшее ОВ при действии ВД также было в клетках каллусов д1 и д2 (почки) и д1 (побеги). ЖККК в условиях ВД изменилась только у каллусов побегов д3 (снижение) и д4 (увеличение). При ВД низшие значения ЖККК из всех исследованных культур были у культуры д2 (побеги и почки).

Уровень транскриптов гена *DHN9* относительно референсного гена (*ACT-1*) был повышен в клетках всех исследованных культур в контроле (рис. 1). Наличие у этого гена сегментов K- (KKAGLLDKIKEKIPG) и E- (GHGHEGQFASEEAEQQKH) с небольшими заменами, а также наличие сегментов A- (EAASYYP) гена Ppnea_dhn_AESK3a2 (ID: KM033829) *P. pinea* и S- из 8 последовательностей серина позволяет отнести его к группе генов AESK [8], которые имеют слабую индукцию экспрессии в ответ на ВД или даже ее снижение. Уровни исследуемых транскриптов ДГ (нормализованные по *ACT-1*) в контроле и в условиях ВД отличались между культурами, полученными от разных деревьев. Это может быть связано как с особенностями генотипа, так и с разной степенью их физиологической активности. Повышенный уровень транскриптов всех исследуемых генов относительно *ACT-1* был обнаружен в контроле в каллусных клетках побегов и почек д2, что, вероятно, объясняется сильным развитием в них стрессового состояния, которое усилилось при ВД, поскольку в ответ на ВД любой степени у культуры д2 (особенно почек) произошло снижение уровней транскриптов всех генов ДГ (кроме гена *DHN1* при 5 % ПЭГ у культуры побегов). Вероятно, использованные концентрации ПЭГ оказывали слишком сильное воздействие на культуру д2 и вызывали жесткий стресс, приведший к некрозу и разрушению клеток. В контроле в клетках культур д3 и д1 (побеги) была повышена экспрессия генов *DHN1, DHN4* и *DHN7*. Для клеток д3 характерны повышенные ЖК и ЖККК, что указывает на низкий уровень стресса. Устойчивость к ВД связана с конститутивной экспрессией генов защитных белков до наступления стресса [6]. Вероятно, повышенная экспрессия генов ДГ культуры д3 (почки) указывает на потенциальную устойчивость клеток данного генотипа к абиотическим стрессам и может быть генетически закрепленной. У культуры д1 ЖК была снижена, а ЖККК – нет, поэтому трудно предполагать, вызвана ли повышенная экспрессия генов ДГ в ней в большей степени проявлением стресса или вероятным генетически закрепленным конститутивным характером экспрессии этих генов. Уровень транскриптов генов в условиях ВД определяли относительно экспрессии этих генов в контрольных условиях, нормализуя данные на *ACT-1*. Как видно, у культур д4 и д5 экспрессия генов ДГ оказалась более чувствительной к ВД в клетках побегов, а не в клетках почек, где активизация экспрессии произошла при 8 % ПЭГ, а не при 5 %. В тканях хвойных адаптация проявляется за разное время воздействия стресса [7]. Отсутствие активации экспрессии генов ДГ в культурах побегов после более сильного воздействия (8 % ПЭГ) может быть следствием их адаптации к ВД за время эксперимента. Экспрессия генов ДГ группы ESK всегда индуцировалась в условиях ВД [8]. В исследуемом нами гене *DHN2* присутствуют сегменты K- (KKKGLKDKIKEKLPG) и, с небольшими заменами, E- (GHGHAGQFTAAEAEKQQHT) гена Ppnea_dhn_ESK2 (ID: KM033827) *P. pinea,* а также S-сегмент из 10 остатков серина, что позволяет отнести ген *DHN2* к группе ESK [8]. Снижение экспрессии этого гена в побегах каллусов, обработанных 8 % ПЭГ, говорит в пользу идеи об адаптации этих каллусов к ВД или о компенсационном действии других ДГ в защите от засухи.

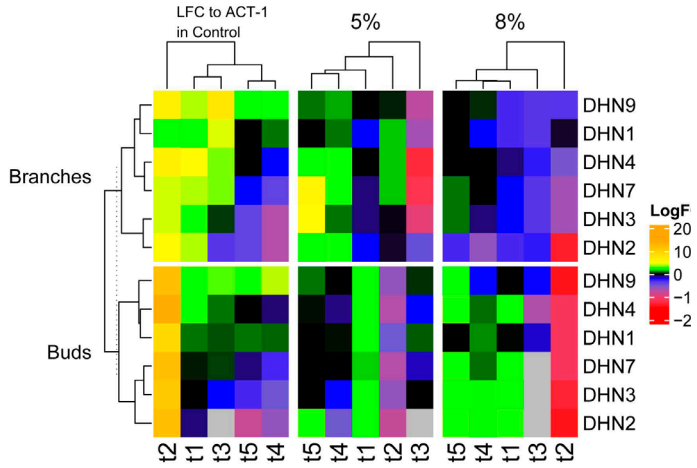


Рис. 1. Влияние ВД на экспрессию генов ДГ в клетках каллусных культур. LFC to ACT-1 in Control – логарифмическая кратность экспрессии генов в контрольных условиях относительно *ACT-1;* 5 % и 8 % – логарифмическая кратность изменения экспрессии генов относительно уровней этих же генов в контрольных условиях (нормализованные по *ACT-1*)

Проведенное исследование позволяет заключить, что на экспрессию генов ДГ каллусной культуры *P. sylvestris* в условиях ВД оказывает влияние как происхождение культуры (побеги или почки), так и возможные генотипические различия между исходными деревьями.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Коротаева Н.Е., Шмаков В.Н., Молдавская С.Э.* Влияние водного дефицита на накопление дегидринов в клетках каллусной культуры сосны обыкновенной // Известия вузов. Прикл. хим. и биотехнология. 2023. 13. С. 579–588.

2. *Amineva E.Y., Gureev A., Tabatskaya T. et al.* Genotypic variability of *Pinus sylvestris* L. on the drought-resistance attribute // Vavilov J. of Gen. and Breed. 2019. 23: 15–23.
3. *Garnik E.Y., Belkov V.I., Tarasenko V.I. et al.* Expression of glutamate dehydrogenase genes in *Arabidopsis thaliana* depends on the redox state of plastoquinone pool // Plant Cell Tiss. Organ Cult. 2021. 147: 107–116.
4. *Riyazuddin R., Nisha N., Singh K. et al.* Involvement of dehydrin proteins in mitigating the negative effects of drought stress in plants // Plant Cell Rep. 2022. 41: 519–533.
5. *Mostafa H.H.A., Wang H., Song J. et al.* Effects of genotypes and explants on garlic callus production and endogenous hormones // Sci. Rep. 2020. 10: 4867.
6. *De María N., Guevara M.Á., Perdiguero P. et al.* Molecular study of drought response in the Mediterranean conifer *Pinus pinaster* Ait.: Differential transcriptomic profiling reveals constitutive water deficit-independent drought tolerance mechanisms // Ecol. Evol. 2020. 10: 9788–9807.
7. *Perdiguero P., Barbero Mdel C., Cervera M.T. et al.* Molecular response to water stress in two contrasting Mediterranean pines (*Pinus pinaster* and *Pinus pinea*) // Plant Physiol. Biochem. 2013. 67: 199–208.
8. *Perdiguero P., Venturas M., Cervera M.T. et al.* Massive sequencing of *Ulmus minor's* transcriptome provides new molecular tools for a genus under the constant threat of Dutch elm disease // Front. Plant. Sci. 2015. 6: 541.
9. *Verwoerd T.C., Dekker B.M., Hoekema A.* A small-scape procedure for the rapid isolation of plant RNAs // Nucl. Acids Res. 1989. 17: 2362.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-10035, https://rscf.ru/project/23-24-10035. Для выполнения работы было использовано оборудование Центра коллективного пользования «Биоаналитика» СИФИБР СО РАН.

УДК 630*2

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПЛОШНЫХ РУБОК С СОХРАНЕНИЕМ КЛЮЧЕВЫХ БИОТОПОВ

С.А. КОРЧАГОВ, О.А. КОНЮШАТОВ, Д.В. БЕЛЯКОВ

Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Архангельск (korchagov@sevniilh-arh.ru, konyushatov_oa@sevniilh-arh.ru, belyakovdima09111995@yandex.ru)

Аннотация. На примере лесосек с сохраненными ключевыми биотопами с избыточным увлажнением, пройденных сплошными рубками, рассчитаны показатели экономической эффективности проведения лесозаготовительных работ. Выявлено, что выделение и сохранение в ходе сплошных рубок ключевых биотопов не снижает рентабельности лесозаготовительных работ.

ECONOMIC EFFECTIVENESS OF CLEAR LOGGING WITH PRESERVATION OF KEY BIOTOPES

S.A. KORCHAGOV, O.A. KONYUSHATOV, D.V. BELYAKOV

Northern Research Institute of Forestry, Arkhangelsk (korchagov@sevniilh-arh.ru, konyushatov_oa@sevniilh-arh.ru, belyakovdima09111995@yandex.ru)

Для таежных лесных экосистем характерно относительное разнообразие растительных условий, лесообразующих пород, вариантов пространственного и возрастного строения древостоев. При вырубке леса естественные местообитания лесных видов подвергаются негативному воздействию. Одним из способов сохранения биологического разнообразия при сплошных рубках является выделение локальных ключевых биотопов, в которых не проводятся хозяйственные мероприятия. При принятии решений по их сохранению важное значение имеет экономическая оценка эффективности проведения таких мероприятий. При этом должны учитываться выгоды от сохранения ключевых биотопов, связанные с прямой потребительной стоимостью, а также со стоимостью «неиспользования» материальных природных ресурсов.

Исследования проведены в границах Вологодской области. В качестве объектов рассмотрены лесосеки, пройденные сплошными рубками, с наличием сохраненных ключевых биотопов с избыточным увлажнением в их центральной части – ядре (заболоченные участки леса в бессточных понижениях, участки леса вдоль временных водных объектов, участки леса на окраинах болот). Методика работ включала общеизвестные таксационные [1, 3, 4] и экономические методы оценки древесных ресурсов [2, 5, 6]. Результаты расчета товарно-сортиментной структуры представлены в табл. 1.

Таблица 1. Товарно-сортиментная структура древостоев (%) на лесосеках (числитель) и в ключевых биотопах (знаменатель)

Номер объекта	Деловая древесина				Дровяная древесина	Ликвидная древесина	Отходы
	пиловочник	фанерный кряж	балансы	итого			
1	1.7 1.7	25.8 17.8	37.6 19.7	65.1 39.2	25.3 49.0	90.4 88.2	9.6 11.8
2	17.2 7.1	7.6 11.4	13.7 15.0	38.5 33.5	51.2 54.2	89.7 87.7	10.3 12.3
3	12.1 11.7	21.9 18.1	32.4 12.2	66.4 42.0	26.6 45.8	93.0 87.8	7.0 12.2
4	48.4 29.2	3.8 6.8	10.0 8.3	62.2 44.3	28.5 45.3	90.7 89.6	9.3 10.4
5	33.7 23.1	15.4 14.9	18.4 21.2	67.5 59.2	24.8 30.0	92.3 89.2	7.7 10.8
6	31.5 22.8	8.6 13.6	21.3 9.7	61.4 46.1	31.6 46.4	93.0 92.5	7.0 7.5
7	25.6 44.5	11.2 3.7	15.2 8.0	52.0 56.2	38.9 34.9	90.9 91.1	9.1 8.8
8	29.8 7.1	5.6 14.7	16.7 15.5	52.1 37.3	38.1 51.1	90.2 88.4	9.8 11.6
В среднем	25.0 18.4	12.5 12.6	20.7 13.7	58.2 44.7	33.1 44.6	91.3 89.3	8.7 10.7

В возрасте спелости древостоев запас ликвидной древесины в ключевых биотопах составляет в среднем 89.3 % от общего запаса, на прилегающих лесосеках – в среднем 91.3 %. Различия в запасе ликвидной древесины несущественны и не превышают уровень погрешности, допустимый при определении показателя. В настоящее время как в ключевых биотопах, так и на примыкающих лесосеках

возможно получение хвойного пиловочника, березового фанерного кряжа, хвойных и лиственных балансов. Средний выход деловой древесины на лесосеках составляет 58.2 % от общего запаса, что на 13.5 % больше, чем в ключевых биотопах.

Проведение сплошных рубок комплексом многооперационной лесозаготовительной техники (харвестер и форвардер) при сценарии с сохранением и без сохранения ключевых биотопов обеспечивает получение прибыли (табл. 2).

Таблица 2. Экономические показатели проведения сплошных рубок без сохранения (числитель) и с сохранением (знаменатель) ключевых биотопов

Номер объекта	Стоимость, тыс. руб.		Прибыль, тыс. руб.	Рентабельность	
	реализации древесины	затрат		%	Δ
1	8238.5 7749.1	5550.3 5168.4	2688.2 2580.7	32.6 33.3	+0.7
2	7599.5 7267.9	5110.3 4851.5	2489.2 2416.4	32.8 33.2	+0.4
3	8492.9 8214.5	5084.2 4913.3	3408.7 3301.2	40.1 40.2	+0.1
4	8722.6 7725.1	3412.8 2898.0	5309.8 4827.1	60.9 62.5	+1.6
5	7114.4 6980.3	3287.7 3219.4	3826.7 3760.9	53.8 53.9	+0.1
6	11411.9 11334.9	5738.9 5696.6	5673.0 5638.3	49.7 49.7	0.0
7	3993.1 3410.9	2066.3 1830.4	1926.8 1580.5	48.3 46.3	-2.0
8	5550.3 5404.9	2897.3 2793.6	2653.0 2611.3	47.8 48.3	+0.5

Примечание. Расчеты затрат на отвод, таксацию лесосек под сплошные рубки и заготовку древесины, а также стоимости реализации древесины (франко-лесосека) выполнены на основании усредненных данных для 25 лесозаготовительных предприятий Вологодской области на 01.02.2024.

При реализации сценария проведения сплошных рубок с выделением и сохранением древесного запаса в ключевых биотопах рентабельность лесозаготовительных работ (франко-лесосека) составит в среднем 45.8 %, при реализации сценария с заготовкой древесины в ключевых биотопах – 45.9 %. При проведении рубок с выделением и сохранением ключевых биотопов на рассматриваемых объектах отмечается равенство или незначительное увеличение рентабельности производства (до +1.6 %), за исключением объекта 7, где рентабельность снизилась на незначительную величину (-2 %).

Таким образом, с экономической точки зрения проведение сплошных рубок с сохранением ключевых биотопов не является убыточным мероприятием. Кроме того, заготовка древесины в ключевых биотопах будет являться нарушением требований национального законодательства. При этом также высока вероятность аварийных ситуаций для работников лесозаготовительных бригад и применяемой техники из-за сложности рельефа и переувлажненности лесных почв с низкой несущей способностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гусев И.И.* Моделирование экосистем: Учеб. пособие. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2002. 112 с.
2. *Данченко М.А.* Экономика природных комплексов: Учеб. пособие. Томск: Томский государственный университет, 2009. 120 с.
3. Лесотаксационный справочник по северо-востоку европейской части Российской Федерации: нормативные материалы для Ненецкого автономного округа, Архангельской, Вологодской областей и Республики Коми. Федер. агентство лесного хоз-ва, Федер. бюджет. учреждение «Сев. науч.-исслед. ин-т лесного хоз-ва». Архангельск: ОАО ИПП «Правда Севера», 2012. 672 с.
4. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. Введ. 1984-01-01. М.: ЦБМТлесхоз, 1983. 59 с.
5. *Петров А.П., Ильин В.А., Николаева Г.Н.* Экономика лесного хозяйства: Уч. для сред. проф. учеб. зав. лесного хоз-ва. М.: Экология, 1993. 317 с.
6. *Шимова О.С., Лопачук О.Н., В.М. Байчоров.* Экономическая эффективность мероприятий по сохранению биологического разнообразия. Минск: Беларус. наука, 2010. 123 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Публикация подготовлена по результатам НИР, выполненных в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства. Регистрационный номер темы: 123030200023-2.

УДК 630*

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРООПАСНОГО СЕЗОНА В ЛЕСАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Р.В. КОТЕЛЬНИКОВ

Филиал ФБУ ВНИИЛМ «Центр лесной пирологии», Красноярск (center@firescience.ru)

LONG-TERM FORECAST OF THE MAIN PARAMETERS OF THE FIRE SEASON IN THE FOREDTD OF RUSSIAN FEDERATION

R.V. KOTELNIKOV

The Branch of FBU VNIILM “Center of the forest pyrology”, Krasnoyarsk (center@firescience.ru)

Проблема лесных пожаров существенно усложняется на фоне текущих климатических изменений [1]. Одним из ключевых факторов, влияющих на прохождение пожароопасного сезона в лесах, является погода. Для различных организационных вопросов стратегического планирования охраны лесов от пожаров, например, сроков проведения тренировок работников лесопожарных формирований, сроков заключения договоров на привлечение воздушных судов и т. д., важно заблаговременно иметь прогноз основных показателей, таких как сроки начала и завершения сезона, его продолжительность, а также напряженность (доля дней с повышенным классом пожарной опасности в лесах по условиям погоды).

Хотя долгосрочный прогноз метеопараметров сильно зависит от большого числа сложно контролируемых факторов, общую тенденцию оценить можно (с определенной долей достоверности).

Различают два вида продолжительности пожароопасного сезона: первая – по природно-антропогенным факторам (фактическая – часть календарного года, на которую приходится 95 % всех возникших лесных пожаров) [2]. В рамках описываемого исследования рассматривался второй вид продолжительности – по природным факторам (потенциальная), которая в соответствии с общепринятым подходом представляет собой период со дня схода снежного покрова до установления устойчивой дождливой осенней погоды или образования снежного покрова [3].

Специалистами Центра лесной пирологии [4] разработана методика, которая позволяет сформировать долгосрочный (на предстоящий пожароопасный сезон) прогноз таких параметров, как: начало пожароопасного сезона, его завершение, продолжительность, а также напряженность (доля дней с высоким классом пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды).

Методика основана на использовании методов машинного обучения и элементов искусственного интеллекта. В качестве исходных данных использовались метеопараметры, имеющиеся в архивах ИСДМ-Рослесхоз [5] (высота снежного покрова, суточные осадки, суточная температура).

Началом пожароопасного сезона считается день, когда в этот и в последующие 3 дня снежный покров отсутствует. Если на 4-й день (или позже) выпал снег, а вегетационный период еще не наступил, то для расчета продолжительности пожароопасного сезона в такой ситуации начало пожароопасного сезона сдвигается (до следующих трех дней без снега). Если вегетационный период уже наступил, а снег выпал, то начало пожароопасного сезона не сдвигается. Для целей данной методики вегетационным периодом считается период, когда температура больше +5 °С в весенний период простояла более 10 дней.

Для определения даты завершения пожароопасного сезона проводится анализ наличия снежного покрова, осадков и среднесуточных температур с конца года в порядке убывания даты вплоть до вегетативного периода (когда среднесуточная температура превысит 5 °С). Как только будет выявлен период с тремя днями без снега, без осадков и с положительными среднесуточными температурами, то наиболее поздний день такого периода будет считаться датой завершения пожароопасного периода.

Для оценки напряженности пожароопасного сезона использовался классический подход на основе накопительного индекса засухи [6, 7].

Для оценки параметров пожароопасного сезона территорий (лесничеств, субъектов Российской Федерации и России в целом) рассчитывались средневзвешенные (по площади) значения. С этой целью для точек расположения метеостанций были построены полигоны равноудаленных точек (полигоны Воронова). Полученная сетка была наложена на границы анализируемых территориальных образований.

Весовым коэффициентом является величина площади получившегося полигона, соответствующего данной метеостанции, деленная на площадь территориального образования.

Для обучения модели использовался период 16 лет. Так как для разных территорий характерны разные климатические условия и разная плотность метеостанций, алгоритм прогнозирования получившихся временных рядов выбирался индивидуально для каждого лесничества (по минимальной ошибке на этапе кроссвалидации). В частности, использовались следующие алгоритмы: AutoETS [8] – 40 % лесничеств; BATS [9] – 31 % лесничеств; NaiveForecaster [10] – 16 % лесничеств; Neural network [11] – 9 % лесничеств; AutoARIMA [12] – 4 % лесничеств. Предварительная оценка точности прогноза такова (табл. 1).

Таблица 1. Анализ точности прогноза основных показателей пожароопасного сезона

Год	Ошибка оценки начала, дней	Ошибка оценки завершения, дней	Ошибка оценки продолжительности	Ошибка оценки напряженности
2021	4.6	6	6.9	4.9 %
2022	3.9	5.3	6.4	4.5 %
2023	6.5	6.5	9.2	6.5 %
Средняя	5.0	5.9	7.5	5.3 %

Таким образом, средняя по России ошибка для прогноза начала пожароопасного сезона составила 5 дней, длительности – 5.9 дня, завершения – 7.7 дня, напряженности – 5.3 %.

При аналогичной оценке для расчета на территории субъекта Российской Федерации ошибка прогноза начала пожароопасного сезона составила 4.1 дня, длительности – 5.1 дня, завершения – 6.6 дня, напряженности – 4.2 %.

Для визуализации сформирована интерактивная панель (дашборд), которая позволяет:

- просмотреть динамику фактических и прогнозного значения основных показателей по годам для России, для региона или для лесничества на линейном графике;
- отобразить на интерактивной карте отклонение основных значений пожароопасного сезона от среднемноголетнего уровня за выбранный год и по выбранной территории;
- отобразить на карте для выбранной территории (при наведении мышки) основные параметры;
- отобразить в виде интерактивной таблицы (с возможностью выбора детализации и с раскраской в зависимости от значений) основные параметры за выбранный год;
- отобразить долгосрочный прогноз основных показателей предстоящего пожароопасного сезона (с указанием доверительного интервала) в интерактивной таблице и на интерактивной карте.

В интерактивной таблице агрегированные значения прогнозных показателей (для федерального округа и для региона) отображаются исходя из наиболее критичного значения по входящим в состав лесничествам (например, начала пожароопасного сезона по значению для лесничества, где начало самое раннее). При этом в линейных графиках динамики показателей пожароопасного сезона для России и для отдельных регионов приводятся средневзвешенные значения (для удобства сравнения с предыдущими годами).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Головина А.Н.*, *Иванов В.А.* Сравнительная оценка горимости лесов России и зарубежных стран // Лесохозяйственная информация: электронный сетевой журнал. 2020. № 4. С. 87–93.
2. *Коган Р.М.*, *Глаголев В.А.* Особенности формирования пожароопасных сезонов и периодов на Дальнем Востоке России // Региональные проблемы. 2012. Т. 15. № 2. С. 27–33.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.07.2007 № 417 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах». [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/902049638 (дата обращения: 11.10.2019).
4. *Котельников Р.В.*, *Верховец С.В.*, *Агеев А.А.* Красноярский кластер лесной науки – новый этап развития // Лесохозяйственная информация. 2019. № 3. С. 156–166.
5. *Котельников Р.В.*, *Лупян Е.А.*, *Барталев С.А.*, *Ершов Д.В.* Космический мониторинг лесных пожаров: история создания и развития ИСДМ-Рослесхоз // Лесоведение. 2019. № 5. С. 399–409.
6. *Плотникова А.С.* Шкала природной пожарной опасности лесных экосистем И.С. Мелехова. Обзор современных российских методических подходов // Вопросы лесной науки. 2021. Т. 4. № 2.
7. *Иванов В.А.*, *Горошко А.А.*, *Бакшеева Е.О.*, *Головина А.Н.*, *Морозов А.С.* Региональные шкалы пожарной опасности по условиям погоды для лесов Амурской области // Хвойные бореальной зоны. 2020. Т. 38. № 1–2. С. 34–42.
8. *Marco P.* Time series forecasting in Python. Manning, 2022. 456 p.
9. *De Livera A.M.*, *Hyndman R.J.*, *Snyder R.D.* Forecasting time series with complex seasonal patterns using exponential smoothing // Journal of the American Statistical Association. 2011. V. 106. N. 496. Pp. 1513–1527.
10. *Hyndman R.J.*, *Athanasopoulos G.* Forecasting: principles and practice: 3rd edition. Forecasting. Australia: OTexts: Melbourne, 2021.
11. *Боровков В.П.* Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных: 2-е изд., перераб. и доп. М.: Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком», 2008. 392 с.
12. *Lima S.*, *Gonçalves A.M.*, *Costa M.* Predictive accuracy of time series models applied to economic data: the European countries retail trade // Journal of Applied Statistics. 2023. С. 1–24.

УДК 581*581.5*524.42;524.43

ДИНАМИКА ГРАНИЦЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛИСТВЕННИЦЫ КАЯНДЕРА В НИЗОВЬЯХ Р. ИНДИГИРКА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ СИБИРИ

А.С. КОТЕНЕВА[1], А.И. КОЛМОГОРОВ[1, 3], Н.Н. КОШУРНИКОВА[1], А. АРСАК[1], А.В. КИРДЯНОВ[1, 2]

[1] Сибирский федеральный университет, Красноярск
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
[3] Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск

Аннотация. Ожидается, что верхняя граница древесной растительности сместится выше из-за глобального потепления, с учетом того, что породный состав и рост деревьев чаще всего ограничиваются низкими температурами. Это исследование направлено на оценку влияния климатической динамики на изменение границ древесной растительности и ее высотных сдвигов за полярным кругом на территории Республики Саха (Якутия). Было выбрано 3 трансекта с двумя пробными площадями с разной высотой над уровнем моря и экспозицией. С каждой площади было отобрано 15 образцов лиственницы Каяндера. Образцы обрабатывались при помощи классических дендрохронологических методов. На 2 из 3 трансектов образцы с подножия холмов были старше образцов с вершин; на склоне с южной экспозицией – обратная ситуация. Образцы, взятые у подножия холмов, имели тенденцию к формированию более широких годичных колец. Для каждой площади доминирующим лимитирующим фактором выступили июньские и июльские температуры. Несмотря на то, что наши результаты указывают на сильное влияние температуры воздуха, иные факторы в виде экспозиции склонов и скорости ветра способны оказывать воздействие на продвижение лесов вверх в горы.

TREELINE DYNAMICS OF *LARIX CAJANDERI* IN LOW INDIGIRKA-RIVER FLOW IN NORTHEASTERN SIBERIA

A.S. KOTENEVA[1], A.I. KOLMOGOROV[1, 3], N.N. KOSHURNIKOVA[1], A. ARZAC[1], A.V. KIRDYANOV[1, 2]

[1] Siberian Federal University, Krasnoyarsk
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk
[3] M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk

Abstract. Alpine treelines are expected to shift upwards in response to global warming since tree recruitment and growth under such environments are assumed to be mainly limited by low temperatures. This study aims to evaluate the effect of climate change on treeline dynamics in low Indigirka-river flow, the area located beyond the polar circle. Three elevation transects of different exposure with two altitudinal levels each were established. We sampled 15 *Larix cajanderi* trees per level. Cores were processed following standard dendrochronological techniques. In two of the three transects, trees growing at the lower levels were older than those growing at higher elevations, except at the southern transect. The climate-growth response showed a strong limitation by June and July temperatures at all the sites. Although our results showed a strong climate limitation by temperature, other factors such as slope exposure and wind speed can also affect the treeline position dynamics.

Данные об ареалах лесной растительности способны предоставить ценную информацию о глобальной экологии и изменениях климата. Смещение границ распространения отдельных видов растений регистрируется по всему миру, однако наиболее часто оно встречается на территории Северного полушария в областях с полярным и субполярным климатом [1]. Исследования, раннее проводимые в полярных регионах России, свидетельствуют о смещении границ леса вверх по склонам гор, а также в более северные широты вследствие потепления климата в XX в. [2, 4, 6]. Реакция лесов на изменения климата и среды неоднозначна и нуждается в подробном изучении для более точной оценки последствий таких изменений.

Данное исследование посвящено оценке влияния текущего потепления на сдвиги границ леса за полярным кругом на территории Республики Саха (северо-восточная Сибирь). В пределах экотона лес – тундра в низовьях реки Индигирка были заложены три высотных трансекта на склонах с разной экспозицией (северная, южная и юго-западная). Каждый трансект состоял из двух участков для отбора проб: одного на верхней границе распространения *Larix cajanderi* Mayr., а другого – примерно на 20 м ниже (рис. 1). На каждом участке с помощью возрастного бурава диаметром 5 мм были отобраны керны у пятнадцати деревьев лиственницы. Керны отбирались как можно ближе к земле и, если такой возможности не было, на высоте 0.5–1.3 м. Всего было отобрано и обработано 90 образцов.

Все образцы были обработаны в соответствии со стандартными дендрохронологическими методами [5]. Ширина годичных колец (RW) была измерена в CooRecorder V 9.3, а точность перекрестного датирования проверена с помощью COFECHA. Хронологии по ширине годичных колец для отдельных деревьев были стандартизированы и на их основе в программе ARSTAN построены обобщенные хронологии.

В результате получены данные о возрастной структуре и морфометрии древостоев. Было выявлено, что более возрастные деревья характеризуются большей высотой, однако параметры зависимости скорости роста деревьев в высоту и в диаметре варьируют в зависимости от экспозиции склона (рис. 2А).

Большая доля исследованных образцов входит в группу 210–229 лет, чуть меньше половины (40 из 90) можно отнести к молодым деревьям возрастом от 10 до 90 лет (рис. 2Б).

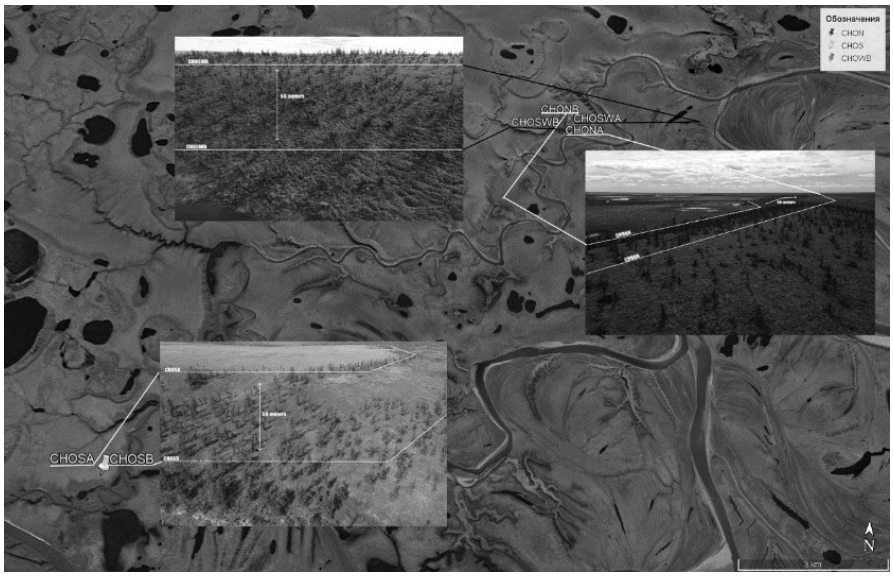


Рис. 1. Расположение пробных площадей на территории Якутии

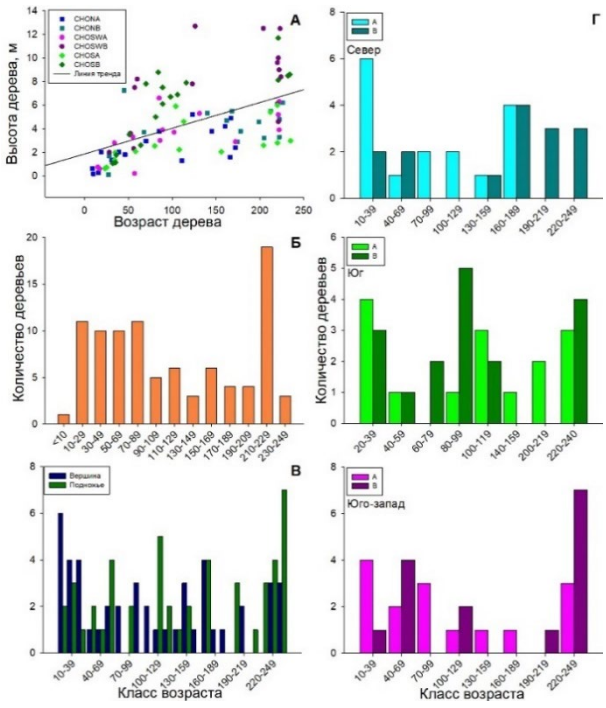


Рис. 2. Возрастная структура исследуемых древостоев лиственницы Каяндера. А – соотношение между возрастом деревьев и их высотой; Б – распределение образцов по классам возраста; В – распределение образцов по классам возраста в зависимости от места произрастания; Г – распределение по классам возраста в зависимости от экспозиции склона

Анализ распределения по возрасту в зависимости от места произрастания показал, что возрастные деревья встречаются как на вершинах, так и у подножий холмов (рис. 2В). Данная особенность распределения по возрастам одинакова для каждой из изученных экспозиций склонов (рис. 2Г). Это может указывать на отсутствие сдвига границы распространения лиственницы в последние десятилетия.

Данные дендрохронологического анализа полученных хронологий свидетельствуют, что летние температуры выступают доминирующим фактором, лимитирующим прирост деревьев. Деревья на больших высотах проявляют меньшую чувствительность к изменениям температуры воздуха. Также не было обнаружено статистически значимой зависимости радиального прироста деревьев от количества выпадающих осадков. Это может свидетельствовать о достаточном увлажнении активного горизонта почвы, что может быть связано в том числе с наличием многолетней мерзлоты [3, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hansson A.* A review of modern treeline migration, the factors controlling it and the implications for carbon storage // J. Mt. Sci. 2021. Pp. 291–306.
2. *Kharuk V.I., Kenneth J.R., Sergey T.I. et al.* Tree-line structure and dynamics at the northern limit of the larch forest: Anabar Plateau, Siberia, Russia // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 2013. Pp. 526–537.
3. *Kirdyanov A.V., Saurer M., Arzac A. et al*. Thawing permafrost can mitigate warming-induced drought stress in boreal forest trees // The Science of the Total Environment. 2023. Pp. 1–10.
4. *Kukarskih V.V. et al.* Latitudinal and temporal shifts in the radial growth-climate response of Siberian larch in the Polar Urals // Journal of Mountain Science. 2018. Pp. 722–729.
5. *Malcolm K.H., Pilcher J.R., LaMarche V.C. et al*. Climate from tree rings. Cambridge University Press, 1982. 236 p.
6. *Mazepa V.S.* Climate-driven change of the stand age structure in the polar Ural Mountains // Climate Change – Geophysical Foundations and Ecological Effects. InTech, 2011. Pp. 377–402.

УДК 630(571.51)

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА «ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ЭКОУРБАНИСТИКА Г. КРАСНОЯРСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ»

А.Д. КОШКАРОВ, И.В. КОСОВ, О.Н. ЗУБАРЕВА, Д.А. ПРЫСОВ, В.Б. ТИМОШКИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (koshkarov.al@ksc.krasn.ru)

Аннотация. На основе полевых съемок и измерений экологических показателей, а также картографирования и векторизации создана геоинформационная база данных и ГИС «Экологические условия г. Красноярска и его окрестностей».

GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM “ECOLOGICAL CONDITIONS AND ECURBANISM OF KRASNOYARSK AND ITS ENVIRONS”

A.D. KOSHKAROV, I.V. KOSOV, O.N. ZUBAREVA, D.A. PRYSOV, V.B. TIMOSHKIN

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (koshkarov.al@ksc.krasn.ru)

Abstract. Based on field surveys and measurements of environmental indicators, as well as mapping and vectorization, a geoinformation database and GIS “Ecological conditions of Krasnoyarsk and its environs” were created.

Экоурбанистика – направление в экологии, решающее экологические проблемы городов путем объединения разработки способов сохранения природных объектов и методов создания комфортной городской среды для человека.

Географическая информационная система – информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных. ГИС содержит данные о пространственных объектах в форме их цифровых представлений (векторной или растровой информации о природных и антропогенных объектах, их характеристиках, о формах и связи между объектами, различные описательные сведения, которые преобразуются в единую общую систему, хранимую в базе данных) [1].

Согласно определению компании Esri (мирового лидера по разработке картографического программного обеспечения для геоинформационных систем (ГИС) и аналитики на основе пространственного местоположения), ГИС – это современная компьютерная технология для картирования и анализа объектов и событий реального мира. Эта технология объединяет традиционные картографичекие приемы визуализации и географического (пространственного) анализа с возможностями работы с базами данных, такими как запрос и статистический анализ [6].

Применительно к задачам экоурбанистики ГИС-технологии обеспечивают проведение научных исследований и мониторинг состояния городских зеленых насаждений, предоставляют методы, средства и приемы для описания, анализа и моделирования процессов, происходящих в экосистемах, оценки их состояния и функционирования, совместного использования разнообразной информации об окружающей среде, основных чертах и особенностях взаимодействия и взаимосвязей между компонентами экосистем как в пространстве, так и во времени, содержат аналитические инструменты и средства наглядной картографической визуализации данных, а также позволяют разрабатывать методы, приемы и управленческие решения при принятии проектных, хозяйственных и управленческих решений на объектах ландшафтной архитектуры [2, 4, 5].

С 2018 г. в Институте леса создается географическая информационная система «Экологические условия и экоурбанистика г. Красноярска и его окрестностей». ГИС на сегодняшний день содержит космические снимки территории, полученные с сервисов https://www.bing.com/maps и https://yandex.ru/maps/, оцифрованные топографические карты масштабов 1:50000, 1:10000, 1:200000, набор векторных геоданных OpenStreet Map за 2024 г., оцифрованные тематические карты, результаты полевых съемок местности и созданные на этой основе более 200 цифровых тематических карт (слоев). Эта ГИС организована в геоинформационной системе ArcGis, имеет единую картографическую проекцию (в системе координат: GCS_WGS_1984), что позволяет использовать функциональные возможности пространственного анализа с помощью инструментов геообработки ArcGIS [6].

Создание геоинформационной системы проводилось путем векторизации как объектов исследования: внутригородских зеленых насаждений, парков, скверов, пригородных лесов, так и результатов съемок, замеров измерений показателей среды и привлечения литературных данных с помощью настольной геоинформационной системы ArcGis. В соответствии с географическими и геометрическими свойствами изучаемых и цифруемых объектов в составе ГИС выделены:

- полигональные слои: контуры территории города, административных районов, лесных насаждений, кустарников, лугов, сельскохозяйственных земель, парков, скверов, газонов, тротуаров, улиц; охраняемых территорий, рек, озер, прудов, бассейнов рек, предприятий, строений; жилой застройки, садоводческих обществ, видов используемой территории, зон загрязнений, районирования по

различным признакам, ареалов растений и животных, пробных площадей съемок и др. [3];

- линейные слои: автомагистрали, автодороги, второстепенные дороги, ж/д дороги, линии пассажирского транспорта, трубопроводы, пешеходные тропы; малые реки, ручьи и каналы; заборы и ограждения;
- точечные слои: пункты замеров и съемок, створы рек, места остановок общественного транспорта, места туристического интереса; объекты культурного наследия федерального и регионального значения.

Векторизация проводилась на основе географически привязанных спутниковых систем Bing maps и Яндекс Карты. Данные спутниковой основы имеют пространственное разрешение 1 метр, что удовлетворяет самым современным требованиям к точности (рис. 1).

При векторизации объектам слоев задаются следующие атрибуты: видам растений – латинские наименования, строениям – адрес и назначение, прудам – названия, используемым территориям – тип, объектам дорожно-тропиночной сети – тип и название, местам туристического интереса – названия, объектам культурного наследия – номер, тип, адрес, категория, время возникновения, название объекта, название ансамбля (рис. 2).



Рис 1. Векторизация объектов сквера



Рис. 2. Точечный слой, содержащий растения сквера

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баранов Ю.Б., Берлянт А.М.* Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. М.: ГИС-Ассоциация, 1999. 204 с.
2. *Демидов А.С., Рысин С.Л., Кобяков А.В.* Возможности использования ГИС-технологий в работе ботанических садов // Лесохозяйственная информация. 2014. № 4.
3. *Зубарева О.Н., Прысов Д.А., Буланова О.С.* Анализ состояния зеленых насаждений Центрального парка г. Красноярска // Сибирский лесной журнал. 2021. № 6. С. 46–58.
4. *Ольхин Ю.В., Кабонен А.В.* Разработка геоинформационной системы объекта ландшафтной архитектуры на примере парка Ямка города Петрозаводска // Экосистемы. 2016. № 6.
5. *Прохоров А.А. и др.* Компоненты информационного пространства ботанического сада. Геоинформационная система Ботанического сада ПетрГУ // Hortus Botanicus. 2013. № 8. 46.
6. *Bajjali W.* ArcGIS for environmental and water issues. Springer Cham, 2018.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа подготовлена при выполнении базового проекта ИЛ СО РАН «Состояние и функционирование компонентов антропогенно трансформированных экосистем в условиях крупных мегаполисов Сибири» (2022–2024 гг.) FWES-2022-0004.

УДК 551.797 + 581.5243(235.223)

ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА В ГОЛОЦЕНЕ НА ГОРНОМ ПРОФИЛЕ ЕРМАКОВСКОГО СТАЦИОНАРА (БАССЕЙН Р. КЕБЕЖ, ЗАПАДНЫЙ САЯН)

В.Л. КОШКАРОВА, А.Д. КОШКАРОВ, Д.И. НАЗИМОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (koshkarova.vl@ksc.krasn.ru)

Аннотация. На основе палеоботанических данных (карпологических — макроостатков голоценовых растений), имеющих радиоуглеродное подтверждение по ^{14}C, выполнена реконструкция лесного покрова по временным отрезкам, характеризуемым определенными биоклиматическими режимами. Установлена динамика трансформаций структуры зональных и поясных типов растительности и типов леса разного гипсометрического уровня, обусловленная не только циклами климатических изменений, но и влиянием антропогенного воздействия.

PALEOECOLOGICAL RECONSTRUCTIONS OF THE DYNAMICS OF VEGETATION AND CLIMATE IN THE HOLOCENE ON THE MOUNTAIN PROFILE OF THE ERMAKOVSKY STATION (KEBEZH RIVER BASIN, WESTERN SAYAN)

V.L. KOSHKAROVA, A.D. KOSHKAROV, D.I. NAZIMOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (koshkarova.vl@ksc.krasn.ru)

При экологической оценке лесной экосистемы требуются длительные стационарные исследования биоты, анализ и обобщение многолетних данных о климате, почвах и других факторах среды с учетом структурно-динамического разнообразия биогеоценозов во времени. Результаты изучения последнего должны опираться на данные палеоботаники, которые дополняют, а в некоторых отношениях и углубляют выводы, полученные с помощью прямых измерений природных режимов. В представленной работе изложены результаты комплексного анализа палеокарпологического и палинологического [1, 5] материалов двух разрезов, выкопанных в торфяных отложениях Танзыбейской котловины (ключевые участки «Малый Кебеж», «Сосновка»). Территория по лесорастительному районированию входит в Джебашско-Амыльский округ горно-таежных и черневых пихтовых и кедровых лесов северной Алтае-Саянской горной лесорастительной провинции гор Южной Сибири [6].

Процедура обработки палеокарпологических объектов и анализа проводилась с позиций лесоведения по общепринятой методике, с дополнениями авторов применительно к голоцену, что неоднократно освещалось [2, 3]. Основным актуалистическим источником палеоклиматических реконструкций вследствие недостаточности наземных метеонаблюдений стали материалы обобщающей сводки [4], содержащей современные климатические характеристики типов растительности. Для каждого ключевого участка построены схемы распределения господствующих лесных формаций по высотным поясам и временным периодам. Их диагностика основывалась не только на преобладании ископаемых макроостатков тех или иных лесообразователей, но и на видовом богатстве той или иной эколого-ценотической группы травяно-кустарничкового яруса палеосообществ. Особое внимание уделялось участию в палеокомплексах представителей поясно-зональных групп.

Установлено семь временных этапов, особенно важных в эволюции растительного покрова и климата на востоке северного мегасклона З. Саяна (избыточно влажная группа районов). С 9000 лет назад (л. н.) до 7898 календарных лет (кал. л.) на территории была распространена лесостепь с доминированием в колках лиственницы. Пихта, ель и особенно кедр образовывали леса на более высоких уровнях горно-лесного пояса. Позднее до ~ 7000 л. н. в связи с наступившим похолоданием произошло расширение темнохвойного пояса и сдвиг его нижней границы в сторону подтайги. В последующее время, от 6594 кал. л. до ~ 6000 л. н., основными лесообразователями на территории исследования стали лиственница, сосна и береза. Темнохвойные отступили на большие абсолютные высоты. Однако для конца среднего голоцена (6000–5400 кал. л.) было характерно господство темнохвойных лесов из ели и кедра с травяно-папоротниковым напочвенным ярусом. Среди локальных компонентов доминировали осоки, хвощи. В период 5400–4348 кал. л. постоптимальное глобальное похолодание способствовало сокращению темнохвойного пояса со смещением его к подножию гор и усилением позиции кедра. Для самого позднего отрезка времени (2759 кал. л. – современность) характерны сокращение облесенности на рассматриваемой территории, участие степных видов в травяном покрове, расширение светлохвойных и мелколиственных лесов, отступание нижних границ горных поясов. Эти трансформации обусловлены не только изменением климатического режима, но и интенсивностью антропогенной нагрузки на лесной покров нижних склонов гор. Одновременное похолодание и снижение влажности, т. е. рост континентальности, способствовали расширению границ кедра за счет сокращения ареалов пихты и, вероятно, ели (профиль Танзыбейский, рис. 1). Тенденция расширения темнохвойных (пихты и кедра) за счет светлохвойных (сосны и лиственницы) возникла около 1000 лет назад, что сохраняется до настоящего времени в горах Приенисейской части Восточного и Западного Саянов.

Полученные результаты являются базовой информацией для более точного определения тенденций развития эколого-фитоценотического разнообразия конкретных типов растительности Западного Саяна при разных вариациях климата и антропогенного прессинга для конкретной территории.

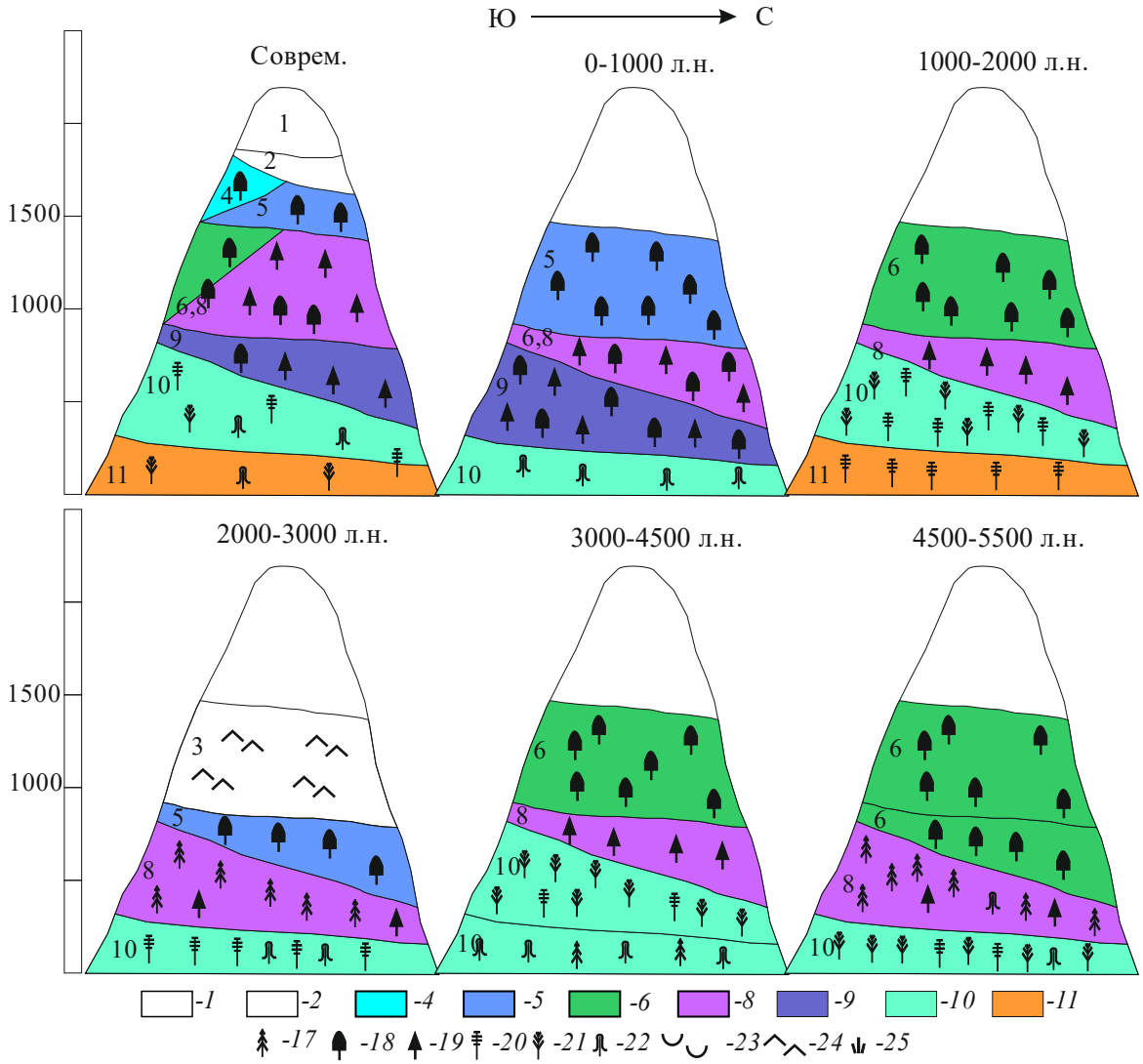


Рис. 1. Структура высотной поясности по лесорастительным поясам северо-восточного макросклона Западного Саяна в настоящее время [6] и в голоцене

I. Нелесные пояса растительности: *1* – горно-тундровый; *2* – подгольцовый кустарниковый (ерниковый).

II. Пояса (высотно-поясных комплексов типов леса): *4* – подгольцово-таежные; 5 – подгольцово-субальпийские; *6* – горно-таежные темнохвойные; *8* – таежно-черневые; *9* – черневые; *10* – подтаежные; *11* – лесостепные.

III. Лесообразующие породы: *17* – ель; *18* – кедр; *19* – пихта; *20*– лиственница; *21* – сосна; *22* – береза.

IV. Нелесные формации и типы растительности: *23*, *24* – заросли кустарников, ерники; *25* – степи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бляхарчук Т.А.* Изменение растительности и климата Западного Саяна и их взаимосвязь с развитием археологических культур региона во второй половине голоцена по данным спорово-пыльцевого анализа болотных отложений //Вестник ТГУ. 2011. № 351. С. 145–151.
2. *Кошкаров А.Д., Кошкарова В.Л.* Воздействие глобальных изменений климата на динамику лесных экосистем Касской равнины (Западная Сибирь) // Лесоведение. 2000. № 3. С. 12–21.
3. *Кошкарова В.Л., Кошкаров А.Д.* Палеоэкология и динамика лесных экосистем в Центральной части Эвенкии за последние 3000 лет // Экология. 2005. Т. 36. № 1. С. 3–10.
4. *Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М., Назимова Д.И.* Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 225 с.
5. *Савина Л.Н.* Новейшая история лесов Западного Саяна (по данным спорово-пыльцевого анализа почв). Новосибирск: Наука, 1976. 157 с.
6. Типы лесов гор Южной Сибири / под ред. В.Н. Смагина. Новосибирск: Наука, 1980. 336 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа подготовлена при выполнении базового проекта ИЛ СО РАН «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (2024–2026 гг.) FWES-2024–0028.

УДК 630*575.174.015.3:582.475

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ЕЛИ СИБИРСКОЙ И ЕЛИ КОРЕЙСКОЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИЗМЕНЧИВОСТИ МАРКЕРОВ ХЛОРОПЛАСТНОЙ И МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК

А.Н. КРАВЧЕНКО[1], А.К. ЭКАРТ[1], А.Я. ЛАРИОНОВА[1], С.А. СЕМЕРИКОВА[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (kravchenko-anna.n@yandex.ru)
[2] Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург (s.a.semerikova@ipae.uran.ru)

Аннотация. В работе приводятся результаты сравнительного исследования популяций *P. obovata* Ledeb. и *P. koraiensis* Nakai, полученные на основании анализа изменчивости минисателлитного фрагмента *mh44* мтДНК и микросателлитных локусов хпДНК. Высокий уровень межвидовой дивергенции обнаружен только по cpSSR локусам. По локусу *mh44* изученные виды елей не дифференцируются.

DIFFERENTIATION OF SIBERIAN SPRUCE AND KOREAN SPRUCE POPULATIONS BASED ON ANALYSIS OF VARIABILITY IN CHLOROPLAST AND MITOCHONDRIAL DNA MARKERS

A.N. KRAVCHENKO[1], A.K. EKART[1], A.Ya. LARIONOVA[1], S.A. SEMERIKOVA[2].

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (kravchenko-anna.n@yandex.ru)
[2] Institute of Plant and Animal Ecology, UB RAS, Ekaterinburg (s.a.semerikova@ipae.uran.ru)

Abstract. The work presents the results of a comparative study of populations of *P. obovata* Ledeb. and *P. koraiensis* Nakai, obtained based on the analysis of variability in the mtDNA minisatellite fragment *mh44* and cpDNA microsatellite loci. A high level of interspecific divergence was found only at cpSSR loci. The studied spruce species are not differentiated based on the *mh44* locus.

На материковой части Азиатской России секция Picea рода Picea A. Dietr. представлена двумя близкими видами: елью сибирской (*P. obovata* Ledeb.) и елью корейской (*P. koraiensis* Nakai) [1]. Ель сибирская произрастает практически на всей территории Сибири и юге Дальнего Востока. В южной части Приамурья и в Приморье растет ель корейская. Морфологическая и экологическая близость, а также наличие переходных форм вследствие возможной гибридизации [1] не позволяют установить четкой границы между *P. obovata* и *P. koraiensis* [2]. Видовой статус ели корейской на Дальнем Востоке России у ряда исследователей вызывает сомнение. Одни рассматривают ее в качестве разновидности ели сибирской [3, 5], другие вовсе предполагают отсутствие *P. koraiensis* на российском Дальнем Востоке [4]. В естественных условиях ель корейская также растет в Северной Корее и в северо-восточных районах Китая, где ее видовой статус не вызывает сомнений у научного сообщества [8].

Цель настоящей работы – оценить степень генетической дифференциации дальневосточных популяций ели корейской и популяций ели сибирской с помощью маркеров митохондриальной и хлоропластной ДНК.

В исследование были включены двадцать популяций *P. obovata* из Красноярского края, Новосибирской, Иркутской и Магаданской областей, Алтая, Хакасии, Тывы, Бурятии и Монголии и пять популяций *P. koraiensis*, произрастающей в Приморском крае и Амурской области, а также на северо-востоке Китая (рис. 1). Изучение межвидовой дифференциации популяций проводили на основе анализа изменчивости минисателлитного локуса *mh44* мтДНК [6] и трех микросателлитных локусов хпДНК (cpSSR): Pt63718, Pt26081, Pt71936 [7]. В качестве материала для исследования использовали образцы хвои и зародыши семян. В каждой популяции было проанализировано от 13 до 60 деревьев.

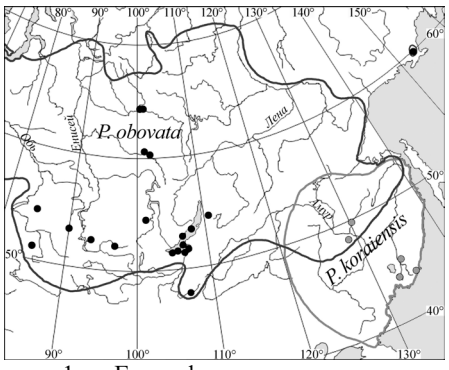


Рис. 1. Географическое расположение изученных популяций

При исследовании локуса *mh44* у 752 особей в 25 популяциях идентифицировано 12 аллельных вариантов, различающихся по числу повторов 32-нуклеотидного минисателлитного мотива. Число аллелей, обнаруженных в отдельных популяциях, варьирует от 1 до 11. Анализ частот встречаемости аллелей не выявил каких-либо географических закономерностей в характере их распределения в пределах изученной части ареалов ели сибирской и ели корейской. Анализ молекулярной изменчивости (AMOVA) показал, что на межпопуляционную составляющую изменчивости внутри видов приходится более 25 % (Φ_{PR} = 0.288, p = 0.001) и лишь 11 % (Φ_{RT} = 0.114, p = 0.001) изменчивости распределяется между видами. Ординация популяций методом главных

координат на основе парных значений Φ_{PT} также показала отсутствие дифференциации между популяциями этих видов (рис. 2а).

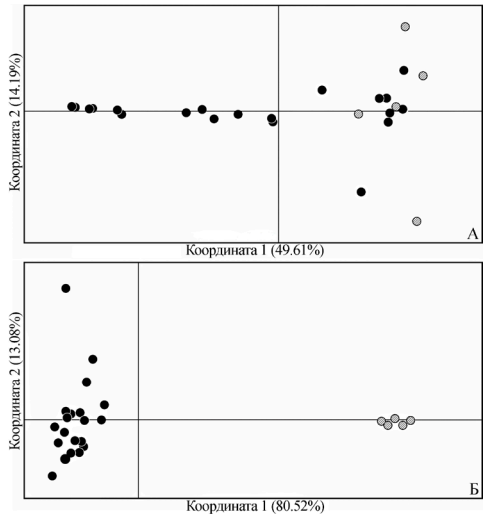


Рис. 2. Ординация популяций на плоскости главных координат по данным матрицы парных значений Φ_{PT} на основе: (А) частот митотипов локуса *mh44*; (Б) частот аллелей cpSSR. Черные точки – популяции *P. obovata*, серые – *P. koraiensis*

При исследовании трех cpSSR локусов идентифицировано 20 аллелей, девять из которых являются общими для изученных видов елей. К ним относятся четыре аллеля локуса Pt63718 (3, 5, 6 и 7), три аллеля локуса Pt26081 (5, 6, 7) и два аллеля локуса Pt71936 (1, 2). Остальные из выявленных аллелей встречаются с разной частотой в основном в популяциях *P. obovata.* У *P. koraiensis* большая часть этих аллелей (9 из 11) отсутствует. Общее число аллелей, выявленных у трех cpSSR локусов, существенно варьирует: от 4 до 9 у *P. koraiensis* и от 8 до 15 у *P. obovata.* Комбинацию аллелей изученных локусов рассматривали как гаплотип. Всего при генотипировании 684 особей в 25 популяциях было идентифицировано 47 гаплотипов. В отдельных популяциях *P. obovata* число выявленных гаплотипов варьирует от 6 до 17, у *P. koraiensis* – от 2 до 7. В популяциях *P. obovata* наиболее распространенными являются два гаплотипа: 6/6/2 (номера аллелей в локусах Pt63718/Pt26081/Pt71936) и 6/6/3. В популяциях *P. koraiensis* гаплотип 6/6/3 отсутствует, а гаплотип 6/6/2 обнаружен только в нескольких популяциях с очень низкой частотой. В популяциях *P. koraiensis* наиболее распространенным является гаплотип 6/6/1, где его частота варьирует в пределах от 0.700 до 0.938. У *P. obovata* гаплотип 6/6/1 встречается крайне редко. Гаплотипическое разнообразие (*uh*) в исследуемых популяциях елей изменяется от 0.125 до 0.936. Самые низкие параметры изменчивости наблюдаются в популяциях *P. koraiensis*. Среднее значение *uh* составляет всего 0.293. У *P. obovata* данный показатель более чем в 2 раза выше (0.829). AMOVA показал, что 33.7 % общего генетического разнообразия (Φ_{RT} = 0.337, p = 0.001) распределяется между группами популяций *P. obovata* и *P. koraiensis*, 1 % (Φ_{PR} = 0.015, p = 0.001) – между популяциями внутри групп, а остальные 65 % изменчивости реализуются внутри популяций (Φ_{PT} = 0.347, p = 0.001). Высокая доля межгрупповой изменчивости свидетельствует о значительной генетической дифференциации популяций ели сибирской и ели корейской по cpSSR локусам хпДНК. Ординация популяций методом главных координат на основе парных значений Φ_{PT}, вычисленных по частотам аллелей трех cpSSR локусов, наглядно иллюстрирует выявленный уровень дифференциации (рис. 2б).

Полученные в ходе исследования данные о значительной генетической дивергенции ели, произрастающей на российском Дальнем Востоке, от ели сибирской по cpSSR локусам хпДНК подтверждают ее статус в качестве отдельного вида *P. koraiensis.* Расхождение между результатами, полученными на основе анализа маркеров митохондриальной и хлоропластной ДНК, различающихся типом наследования, указывает на наличие зоны интрогрессивной гибридизации между елью сибирской и елью корейской, существование которой впервые предположил Е.Г. Бобров [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бобров Е.Г.* Лесообразующие хвойные СССР. Л.: Наука, 1978. 188 с.
2. *Воробьев Д.П.* Дикорастущие деревья и кустарники Дальнего Востока. Л., 1968. 278 с.
3. *Коропачинский Ю.И., Встовская Т.Н.* Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 707 с.
4. *Потемкин О.Н., Рудиковский А.В., Потемкина О.В.* Полиморфизм морфологических характеристик елей подрода Picea (Pinaceae) в восточных районах обитания // Растительный мир Азиатской России. 2012. № 2 (10). С. 19–26.
5. *Усов В.Н.* Ель корейская и леса из ели корейской в Приморском крае: Автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук: 06.03.03. Уссурийск: Приморская государственная сельскохозяйственная академия, 2006. 32 с.
6. *Bastien D., Favre J.M., Collignon A.M. et al.* Characterization of a mosaic minisatellite locus in the mitochondrial DNA of Norway spruce [Picea abies (L.) Karst.] // Theor. Appl. Genet. 2003. V. 107. P. 574–580.
7. *Vendramin G.G., Lelli L., Rossi P., Morgante M.* A set of primers for the amplification of 20 chloroplast microsatellites in Pinaceae // Mol. Ecol. 1996. V. 5. P. 595–598.
8. World Flora Online, 2024. [Электронный ресурс]. URL: http://www.worldfloraonline.org (дата обращения: 24.05.2024).

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ СО РАН, проект № FWES-2024-0028.

УДК 595.7:591.53

ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ДЛЯ НАСЕКОМЫХ: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ДЕРЕВЬЕВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФЛУКТУАЦИОННО-ДИССИПАЦИОННОЙ ТЕОРЕМЫ

П.А. КРАСНОПЕРОВА[1], А.В. КОВАЛЕВ[2], В.Г. СУХОВОЛЬСКИЙ[3]

[1] Сибирский федеральный университет, Красноярск (pkrasnoperova@sfu-kras.ru)
[2] Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск (sunhi.prime@gmail.com)
[3] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (soukhovolsky@yandex.ru)

Аннотация. Рассмотрена связь временных рядов годичных колец деревьев с интенсивностью нападения лесных насекомых. На основе представлений о флуктуационно-диссипационной теореме предложены показатели оценки восприимчивости насаждений для насекомых. Сравнение характеристик деревьев в очагах размножения и в контрольных неповрежденных насаждениях показало статистически значимые отличия в очагах и в контроле, что может быть использовано для оценки рисков возникновения очагов вредителей.

ATTRACTIVENESS OF FOREST STENDS TO INSECTS: RETROSPECTIVE ANALYSIS OF TIME SERIES OF ANNUAL RINGS OF TREES USING THE FLUCTUATION-DISSIPATION THEOREM

P.A. KRASNOPEROVA[1], A.V. KOVALEV[2], V.G. SOUKHOVOLSKY[3]

[1] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (pkrasnoperova@sfu-kras.ru)
[2] Krasnoyarsk Scientific Center SB RAS, Krasnoyarsk (sunhi.prime@gmail.com)
[3] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (soukhovolsky@yandex.ru)

Abstract. The relationship between the time series of annual rings of trees and the intensity of forest insect attack is considered. On the basis of ideas about the fluctuation-dissipation theorem, indicators for assessing the susceptibility of stands for insects are proposed. Comparison of tree characteristics in insect outbreak foci and in control undamaged stands showed statistically significant differences between foci and controls, which can be used to assess the risks of pest outbreaks.

Важной задачей при изучении очагов массового размножения лесных насекомых является объяснение причин развития первичных очагов вспышки в определенном локальном местообитании. Если насекомые по каким-то показателям выбирают территорию будущей вспышки, то можно предположить, что будущие очаги и неповрежденные насаждения должны отличаться по физиологическим параметрам деревьев до начала вспышки. Но так как исследователь практически всегда попадает в зону вспышки уже после ее начала, то оценка состояния деревьев в очагах и вне их до начала вспышки затруднена. При анализе различий свойств деревьев в будущих очагах и в неповрежденных насаждениях можно использовать такие ретроспективные характеристики, как ряды ширин годичных колец [1, 3, 9] в период до начала вспышки.

Изменения ширин годичных колец до повреждения можно рассмотреть с точки зрения регуляции процессов роста древесных растений. Так как в ходе роста дерева для ширин годичных колец характерен возрастной тренд, ведущий к уменьшению ширин колец с возрастом дерева [4], то если отфильтровать возрастной тренд, можно рассматривать регуляцию роста годичных колец как некоторый стационарный процесс со средним многолетним значением, равным нулю. В ходе такого процесса, как это обычно происходит в регулируемых системах, под воздействием внешних факторов происходят отклонения от стационарного состояния, которое затем восстанавливается под действием систем отрицательной обратной связи [7]. В этом случае в первом приближении процессы высокочастотной регуляции роста годичных колец можно характеризовать двумя показателями – характерным временем обратной связи и амплитудой колебаний показателей первых разностей ширин колец относительно среднего значения, равного нулю.

В физических системах для описания реакции системы на внешнее воздействие используется так называемая флуктуационно-диссипационная теорема (ФДТ), согласно которой спектр характеристик системы до воздействия связан с диссипационными изменениями в ней после воздействия [5, 8].

Если использовать этот подход для описания взаимодействия дерева с насекомыми, то можно предполагать существование связи характеристик спектра годичных колец дерева в течение некоторого периода времени до начала вспышки с интенсивностью повреждения дерева насекомыми после начала вспышки.

Для выявления связи между характеристиками процессов регулирования роста годичных колец было проведен ретроспективный анализ ширин годичных колец у деревьев из действующих очагов и у деревьев, не подверженных массовому нападению. Первая зона, в которой проводились исследования, включала пробные площади на территории юга Западной Сибири (Новосибирская область), на которых в 2021 г. были зарегистрированы вспышки массового размножения непарного шелкопряда *L. dispar* L. и наблюдалось сильное объедание крон деревьев гусеницами. Вторая зона, в которой проводились

исследования, включала пробные площади в очаге массового размножения сибирского шелкопряда *D. sibiricus* в смешанных пихтово-кедрово-березовых насаждениях в Восточных Саянах. По данным дистанционных наблюдений, сильные повреждения пихты и сосны сибирской в насаждениях вредителем начались в 2019 г. Третья зона включала пробные площади, поврежденные сосновой пяденицей *B. piniarius,* и контрольное неповрежденное насаждение на территории Краснотуранского соснового бора. Вспышка массового размножения сосновой пяденицы происходила в 1976–1978 гг. [6].

У деревьев во всех трех зонах вспышек приростным буравом были взяты керны (20–30 шт./площадь). TRW измеряли на полуавтоматическом комплексе LinTab (Rinntech, Германия). Построенные древесно-кольцевые ряды перекрестно датировали в программе CDendro [2] для поиска пропущенных колец и отбраковки тех, у которых ход радиального прироста значительно отличался от типичного для древостоя.

Для обследованных деревьев в очагах и в контроле во всех зонах рассматривались временные ряды годичных колец за 2–20 лет до начала вспышки массового размножения. В качестве характеристики спектра рассматривалась частота *f(max)* максимального значения спектральной плотности.

Для всех изучаемых территорий получены статистически достоверные различия между поврежденными и контрольными насаждениями по спектральным показателям прироста годичных колец.

Предложенный нами подход позволяет объяснить существование локальных очагов вспышек массового размножения лесных насекомых. Так как насекомые не способны измерить характеристики годичных колец деревьев, но способны реагировать на химические соединения, выделяемые деревьями (например, терпены), то найденная связь характеристик рядов первых разностей ширин годичных колец с возможностью для насекомых реализовывать вспышку размножения в конкретных насаждениях указывает на возможные специфические связи регуляторных процессов роста у деревьев с составом и концентрациями летучих молекул (аттрактантов или репеллентов насекомых), выделяемых деревом, и/или нелетучих соединений, определяющих уровень восприимчивости растений к фитофагам. По всей видимости, найденные связи могут быть использованы как при мониторинге состояния и устойчивости деревьев к нападению лесных насекомых, так и при поиске аттрактантов и репеллентов для отдельных видов вредителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Büntgen U., Liebhold A., Nievergelt D., Wermelinger B., Roques A., Reinig F., Krusic P.J., Piermattei A., Egli S., Cherubini P., Esper J.* Return of the moth: rethinking the effect of climate on insect outbreaks // Oecologia. 2020. 192 (2). Pp. 543–552.
2. Cybis Dendrochronology. Home of CDendro & CooRecorder. [Электронный ресурс]. URL: https://cybis.se/forfun/dendro/index.htm.
3. *Esper J., Schweingruber F.H., Winiger M.* 1300 years of climatic history for Western Central Asia inferred from tree-rings // The Holocene. 2002. 12 (3). Pp. 267–277.
4. *Fritts H.C.* Dendroclimatology and dendroecology // Quat. Res. 1971. 1 (4). Pp. 419–449.
5. *Gudowska-Nowak E., Oliveira F.A., Wio H.S.* Editorial: The fluctuation-dissipation theorem today // Front. Phys. 2022. 10: 859799. DOI: 10.3389/fphy.2022.859799.
6. *Isaev A.S, Soukhovolsky V.G., Tarasova O.V., Palnikova E.N., Kovalev A.V.* Forest insect population dynamics, outbreaks and global warming effects. Wiley, N.Y., 2017. 298 p.
7. Modern control systems / R.C. Dorf, R.H. Bishop. Prentice Hall, 2008. 1018 p.
8. *Rodríguez M.A., Wio H.S.* Stochastic entropies and fluctuation theorems for a discrete one-dimensional Kardar-Parisi-Zhang System // Phys. Rev. E. 2019.
9. *Wilson R., Anchukaitis K., Briffa K.R., Büntgen U., Cook E., D'Arrigo R., Davi N., Esper J., Frank D., Gunnarson B., Hegerl G., Helama S., Klesse S., Krusic P.J., Linderholm H.W., Myglan V., Osborn T.J., Rydval M., Schneider L., Schurer A., Wiles G., Zhang P., Zorita E.* Last millennium northern hemisphere summer temperatures from tree rings. Part I: The long term context // Quaternary Sci. Rev. 2016. 134. Pp. 1–18.

УДК 630*454+582.47+581.524.2+595.768.24 (571.1)

РОЛЬ ИНВАЗИВНЫХ НАСЕКОМЫХ – СТВОЛОВЫХ ДЕНДРОФАГОВ В ДЕГРАДАЦИИ ХВОЙНЫХ ДРЕВОСТОЕВ НА ПУНКТАХ МОНИТОРИНГА УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

С.А. КРИВЕЦ[1], Э.М. БИСИРОВА[1, 2], И.А. КЕРЧЕВ[1], Е.Н. ПАЦ[1], А.В. УДАЛОЙ[1]

[1] Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск (krivec_sa@mail.ru, bissirovaem@mail.ru, ivankerchev@gmail.com, patz_imces@mail.ru, udaloj@mail.ru)
[2] Томский филиал Всероссийского центра карантина растений ФГБУ «ВНИИКР», Томск

Аннотация. Приведены данные о негативном воздействии двух чужеродных видов стволовых дендрофагов – уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandf.) и союзного короеда (*Ips amitinus* Eichh.) – на жизненное состояние пихтовых и кедровых древостоев в пунктах мониторинга баланса углерода в лесах Томской области как факторе, способном влиять на накопление и эмиссию углерода.

ROLE OF INVASIVE STEM INSECTS DENDROPHAGES IN DEGRADATION OF CONIFEROUS STANDS AT MONITORING SITES OF CARBON BALANCE IN WESTERN SIBERIA

S.A. KRIVETS[1], E.M. BISIROVA[1, 2], I.A. KERCHEV[1], E.N. PATS[1], A.B. UDALOI[1]

[1] Institute of Monitoring of Ecological and Climatic Systems, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Tomsk (krivec_sa@mail.ru, bissirovaem@mail.ru, ivankerchev@gmail.com, patz_imces@mail.ru, udaloj@mail.ru)
[2] Tomsk Branch of All-Russian Plant Quarantine Center, Tomsk

Abstract. Data are presented on the negative impact of two alien species of stem dendrophages – four eyed fir bark beetle (*Polygraphus proximus* Blandf.) and small spruce bark beetle (*Ips amitinus* Eichh.) – on the vital condition of Siberian fir and Stone pine stands at carbon balance monitoring points in the forests of the Tomsk region, as factor that can affect the carbon accumulation and its emission.

На территории Томской области (юго-восточная часть Западно-Сибирской равнины) в 2023 г. организовано 15 пунктов мониторинга углеродного баланса в виде постоянных пробных площадей, заложенных на типичных участках коренных темнохвойных (пихтовых и кедровых) лесов юга таежной зоны. Наблюдаемая в лесах данных формаций деградация древостоев, проявляющаяся наиболее ярко в резком увеличении количества мертвых деревьев, в значительной степени обусловлена возникновением в последние десятилетия очагов массового размножения чужеродных видов стволовых дендрофагов – уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandf.) и союзного короеда (*Ips amitinus* Eichh.) [1, 2]. Этот фактор может играть существенную роль в балансе углерода в результате как снижения углерододепонирующей функции поврежденных насаждений из-за уменьшения фотосинтезирующего полога при усыхании деревьев, так и увеличения эмиссии углерода на следующем этапе, при переходе сухостоя в валежник и его разложении, что, в частности, показано на примере вспышек размножения короедов в США [3]. В связи с этим определение текущего жизненного состояния поврежденных инвазивными насекомыми древостоев и прогноз его изменения являются насущной задачей в обосновании причин динамики углерода в лесных экосистемах.

Для диагностики жизненного состояния деревьев на пробных площадях использована шкала категорий состояния, разработанная В.А. Алексеевым [4], в нашей модификации с учетом особенностей взаимодействия чужеродных видов и местных кормовых пород [1, 5, 6]. Оценка степени деградации древостоев (отсутствует, слабая, средняя, сильная, полная) дана по суммарному запасу древесины усыхающих и сухостойных деревьев (так называемому отпаду) пород-лесообразователей, с которыми трофически связаны чужеродные короеды (уссурийский полиграф – с пихтой сибирской, союзный короед – с кедром сибирским).

Для мониторинга углеродного баланса в регионе выбраны 3 модельных участка с разными вариантами темнохвойных лесов. Первый участок находится в Ларинском ландшафтном заказнике – расположенной в 30 км к югу от г. Томска эталонной ООПТ переходной зоны от равнинной южной тайги к горной тайге Кузнецкого Алатау. Лесообразующие породы – пихта сибирская, ель сибирская, кедр сибирский, сосна обыкновенная и осина. До воздействия полиграфа доля пихты в составе насаждений на пробных площадях варьировала от 4 до 8 единиц. Пихтовый элемент насаждения возрастом 55–95 лет представлен как одновозрастными, так и разновозрастными древостоями. На территории заказника с начала 2010-х гг. наблюдались очаги усыхания пихты сибирской, связанные с массовым размножением уссурийского полиграфа. В 2012 г. здесь были заложены 4 пробные площади в насаждениях мелкотравного типа леса, с разной степенью поврежденности инвайдером. Пробные площади, изначально используемые как модельные территории длительного наблюдения за состоянием насаждений, поврежденных полиграфом, с 2023 г. включены также в систему пунктов мониторинга баланса углерода.

В Ларинском заказнике сильная нарушенность пихтовых древостоев была выявлена уже в начале исследований [7]. В 2012 г. основной полог пихтового элемента на пробной площади, с составом древостоя 8П1К1Е+С, был полностью деградирован в результате массового размножения *P. proximus* в предыдущие годы. Сухостой составлял 99.8 %, в том числе 93.4 % деревьев были повреждены полиграфом. За следующие 12 лет 51.5 % погибших деревьев перешли в валежник, а древостой частично восстановился за счет формирования II яруса из пихтового подроста предварительного возобновления, который к 2023 г. составил около 18 % от общего запаса пихты на пробной площади.

В пихтовом элементе насаждения с породным составом 6П3К1Е в 2012 г. насчитывалось 18 % погибших деревьев, за последующие годы их число достигло 51.7 %, что характеризует древостой как сильно деградированный. Здесь 82.6 % усохших деревьев были со следами развития уссурийского полиграфа. При перечете в 2023 г. доля сухостоя сократилась до 46.2 % в связи с замещением молодым поколением пихты и приростом по высоте и диаметру оставшихся живых деревьев основного полога. За весь период наблюдений 41.5 % сухостоя перешло в валежник.

Сильная деградация пихтового элемента выявлена в разновозрастном древостое с составом $6П_{I}1П_{2}2К1С+Ос$. В 2012 г. отпад составлял 61.7 % деревьев на пробной площади, в 2022 г. – 83.2 %, в 2023 г. за счет формирования II яруса из подроста и увеличения морфометрических показателей живых деревьев доля сухостоя снизилась до 78.2 %. Следы деятельности полиграфа отмечены на 93.1 % погибших деревьев. За 12 лет в валежник перешло 54.1 % образовавшегося сухостоя.

Пихтовый элемент сильно деградирован также в смешанном разновозрастном древостое с породным составом $5Е3П_{I}1П_{2}1К+С$. В 2012 г. погибшие деревья составляли в нем 63.4 %, в 2022 г. – 74.7 %, в 2023 г. их доля снизилась до 63.2 % в результате прироста живых деревьев, восстановительных процессов и выхода молодого поколения во II ярус. На 96.4 % погибших деревьев обнаружены следы развития *P. proximus*. За 12 лет наблюдений в валежник перешло 41.5 % сухостоя. Несмотря на сильное повреждение полиграфом пихтового элемента древостоя, в данном насаждении по сравнению с другими пробными площадями наблюдается лучшая сохранность лесной среды, которую обеспечивают жизнеспособные деревья ели, кедра и сосны.

Второй модельный участок – припоселковые кедровники в Томском районе области, где отрицательное влияние на состояние древостоев кедра сибирского оказывают, наряду с факторами антропогенного характера (нерегулируемый шишкобой, скотопрогон и пр.), природные факторы: вспышки массового размножения хвоегрызущих вредителей, хронические очаги местных стволовых насекомых, а в последние годы особенно – вспышка массового размножения союзного короеда. Наблюдения за состоянием припоселковых кедровников ежегодно проводятся на 7 пробных площадях, заложенных в 2006 и 2010 г. (до проявления признаков инвазии *I. amitinus*) и в 2019, 2021 г. (в период вспышки массового размножения инвайдера) в 6 кедровых урочищах (Аксёновском, Белоусовском, Богашёвском, Зоркальцевском, Лучаново-Ипатовском и Протопоповском). Насаждения разнотравного типа леса, чисто кедровые, реже смешанные, возрастом от 138 до 170 лет. Так же, как на первом модельном участке, пробные площади в кедровниках включены в 2023 г. в систему пунктов мониторинга баланса углерода.

Припоселковые кедровники пострадали от союзного короеда в различной степени, что, по-видимому, обусловлено разным временем его проникновения в насаждения и локальными особенностями комплекса факторов ослабления. Первый и стремительно развивающийся крупный очаг массового размножения *I. amitinus* выявлен в Лучаново-Ипатовском кедровнике, в котором в 2016–2017 гг. деревья были ослаблены сибирским шелкопрядом. Здесь летом 2019 г. общий отпад (деревья IV–VI категорий санитарного состояния) на пробной площади с монопородным древостоем (10К) составлял по запасу 32 %, а к осени увеличился до 71 %. К 2023 г. древостой на этой пробной площади был полностью деградирован, осталось 2 жизнеспособных дерева (1.15 %) из 93. Следы деятельности *I. amitinus* в этом затухшем очаге остались на 97.8 % усохших деревьев.

В остальных кедровых древостоях с составом 10К установлено значительное ухудшение жизненного состояния в связи с деятельностью *I. amitinus*. В Аксёновском кедровнике древостой деградирован в средней степени, в Белоусовском и Протопоповском кедровниках – в сильной степени. Общий отпад в них к 2023 г. составлял от 33 до 68 %, доля деревьев в общем отпаде, отработанных с участием союзного короеда, варьировала от 56.1 % в Белоусовском кедровнике до 90.7 % в Протопоповском кедровнике. Текущий отпад (усыхающие деревья и свежий сухостой), характеризующий интенсивность очагов короеда, в 2023 г. составлял от 10 до 30 %.

В начальной стадии негативные изменения состояния древостоя зафиксированы в 2023 г. в Богашевском кедровнике, где общий отпад составил 6 % деревьев на пробной площади и все они погибли от союзного короеда. На двух пробных площадях в настоящее время усыхания кедра от союзного короеда не отмечено: в Белоусовском кедровнике, на пробной площади в самом молодом (138 лет) из обследованных древостоев со смешанным породным составом (5К4Б1Е+С), инвайдер заселял только валежные ветки; в Зоркальцевском кедровнике, на пробной площади в самом старом из обследованных кедровых древостоев (10К, 170 лет), короед не обнаружен, однако вызванное им усыхание кедра у стены леса в сопредельном насаждении в дальнейшем может привести к распространению этого процесса.

Третий модельный участок располагается близ с. Аркашёво Томского района, в 15 км от Томска. Он включает 5 пробных площадей, специально заложенных в 2023 г. как пункты мониторинга баланса углерода в пихтарниках папоротниково-снытево-мелкотравного типа леса, с участием пихты сибирской в составе насаждений от 7 до 10 единиц. Сопутствующие темнохвойные породы – ель сибирская, лиственница сибирская, кедр сибирский. Детальная характеристика пробных площадей приведена в [8]. На этой территории уссурийский полиграф также повлиял на состояние древостоев пихты – главной лесообразующей породы, хотя и в меньшей степени по сравнению с Ларинским заказником. В древостоях на трех пробных площадях (в составе 7 единиц пихты, возраст 69–82 года) выявлена средняя степень деградации пихтового элемента – общий отпад составлял от 26.1 до 33.9 %. На двух пробных площадях (состав 9П+К, 64 года, и 10П, 62 года) – слабая деградация (отпад – 7.6 и 13.3 %). Следы развития полиграфа отмечались на 94.6–100 % деревьев, отработанных всеми обнаруженными видами стволовых дендрофагов (в том числе большим пихтовым усачом *Monochamus urussovi* Fisch., полосатым древесинником *Trypodendron lineatum* Oliv. и пальцеходным лубоедом *Xylechinus pilosus* Ratz.), при этом от 60.6 до 87.5 % этих деревьев повреждены только полиграфом.

Таким образом, на всех организованных пунктах мониторинга баланса углерода в Томской области наблюдаются в разной степени выраженные процессы деградации темнохвойных древостоев, обусловленные инвазией и вспышками массового размножения чужеродных видов стволовых дендрофагов. Как показали данные первых проведенных на территории региона исследований влияния этих процессов на динамику углеродного пула [8, 9], высокий уровень патологического отпада в очагах массового размножения инвазивных короедов за короткий период времени является причиной уменьшения секвестрационного потенциала таких лесов и значительного переноса углерода из пула, запасенного в живых растениях, в пул «мертвого» углерода, который является источником будущих выбросов CO_2 в атмосферу. В поврежденных инвайдерами лесах происходит перераспределение запасов углерода в экосистеме в связи с увеличением количества и размеров открытых участков («окон»), что влечет за собой изменение парцеллярной структуры, флористического состава и проективного покрытия напочвенного покрова. Показано, что в нарушенных лесах из-за увеличения толщины подстилки и концентрации в ней биогенных элементов (особенно C и N) почва играет важную роль в депонировании биогенного углерода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кривец С.А., Керчев И.А., Бисирова Э.М., Смирнов Н.А., Пац Е.Н.* Союзный короед – новый вызов для лесозащиты в Сибири // Сиб. лесной журн. 2023. 1. С. 43–57.
2. *Кривец С.А., Керчев И.А., Бисирова Э.М., Волкова Е.С., Астапенко С.А., Ефременко А.А., Косилов А.Ю., Кудрявцев П.П., Кузнецова Ю.Р., Пономарев В.И., Потапкин А.Б., Тараскин Е.Г., Титова В.В., Шилоносов А.О., Баранчиков Ю.Н.* Обзор современного вторичного ареала уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandford) на территории Российской Федерации // Российский журн. биол. инвазий. 2024. 1. С. 49–69.
3. *Ghimire B., Williams C.A., Collatz G.J., Van Der Hoof M., Rogan J., Kulakowski D., Masek J.G.* Large carbon release legacy from bark beetle outbreaks across western United States // Glob. Chang. Biol. 2015. 21 (8): 3087–3101.
4. *Алексеев В.А.* Определение жизненного состояния древостоев // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. 2004. 2 (12). С. 24–33.
5. Технология мониторинга пихтовых лесов в зоне инвазии уссурийского полиграфа в Сибири: метод. пособие / С.А. Кривец, Э.М. Бисирова, Н.М. Дебков, Е.С. Волкова, И.А. Керчев, М.А. Мельник, А.Н. Никифоров, Н.А. Чернова. Томск: УМИУМ, 2018. 74 с.
6. *Бисирова Э.М.* Проблемы оценки состояния деревьев кедра сибирского, поврежденных союзным короедом // Мониторинг и оценка состояния растительного мира: Матер. VI Междунар. науч. конф., 9–13 октября 2023 г. Минск-Лясковичи, Беларусь. 2023 г. С. 22–24.
7. *Бисирова Э.М., Кривец С.А.* Динамика состояния древостоев пихты сибирской, поврежденных уссурийским полиграфом *Polygraphus proximus* Blandf. в Томской области // Вестник Том. гос. ун-та. Биология. 2018. 44. С. 118–140.
8. *Дюкарев А.Г., Копысов С.Г., Кривец С.А., Пац Е.Н., Чернова Н.А.* Опыт и первые результаты комплексных биогеоценологических исследований в темнохвойных лесах на юге таежной зоны Западной Сибири // Сиб. лесн. журн. 2024. 3 (в печати).
9. *Kerchev I.A., Bisirova E.M., Smirnov N.A., Grachev I.G., Nikiforov A.N., Kalashnikova D.A.* Effects of an invasive bark beetle *Polygraphus proximus* Blandf. outbreak on carbon pool dynamics in West Siberian dark coniferous forests // Forests. 2024. 15 (3): 542.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках ВИП ГЗ (регистрационный номер 123030300031-6) и проекта FWRG-2022-0001, поддержанного Министерством науки и высшего образования РФ.

УДК 581.9 (571.51)

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ЦЕНОТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЛИСТВЕННИЧНЫХ РЕДКОЛЕСИЙ ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЫ АНАБАРСКОГО ПЛАТО

Л.В. КРИВОБОКОВ, Л.В. МУХОРТОВА, А.И. БОНДАРЕВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (leo_kr@mail.ru)

Аннотация. В рамках проекта по оценке пулов и потоков углерода в экосистемах России Консорциума научных организаций «Ритм углерода» проведены исследования в северных лиственничных экосистемах на западе Анабарского плато. Изучены структура и флористический состав фитоценозов лиственничных редколесий, рассмотрено их зональное географическое положение.

ECOLOGICAL-GEOGRAPHICAL FEATURES AND COENOTIC STRUCTURE OF LARCH OPEN WOODLANDS ON THE WESTERN OUTSKIRTS OF THE ANABAR PLATEAU

L.V. KRIVOBOKOV, L.V. MUKHORTOVA, A.I. BONDAREV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (leo_kr@mail.ru)

Abstract. As part of the project to assess carbon pools and fluxes in Russian ecosystems of the Consortium of scientific organizations “Carbon Rhythm”, research was carried out in northern larch ecosystems in the west of the Anabar Plateau. The structure and floristic composition of larch woodlands ecosystems were studied, their zonal geographical location was considered.

В 2023 г. Консорциумом научных организаций «Ритм углерода» начата реализация Всероссийского проекта по оценке пулов и потоков углерода в основных зональных экосистемах России. В рамках этого проекта коллективом ученых Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН проведено комплексное изучение лиственничных лесов на севере Красноярского края. На постоянных пробных площадях учитывали содержание углерода во всех компонентах экосистем: древостоях, подчиненных ярусах растительности, почве, подстилке. Большое внимание в проекте уделено изучению состава и структуры, а также географического положения и классификации фитоценозов – как маркеров зональных экосистем.

Исследования проводились в лиственничных редколесьях на территории Таймырского Долгано-Ненецкого района, в бассейне реки Котуй, районе устья реки Кындын. Географически район расположен в самой западной части Анабарского плато (70°87′ с. ш., 102°94′ в. д.). Распределение растительности подчинено влиянию высотной поясности, лиственничные редины образуют верхнюю часть лесного пояса (250–320 м абс. выс.) на границе с кустарничково-разнотравно-зеленомошными тундрами. Все пробные площади описываемых фитоценозов расположены в верхних частях склонов З, Ю-З (230–270°) экспозиции, ровных, крутизной около 5°. Почва лиственничных редин – карболитозем перегнойный хрящеватый – каменистая, как правило, короткопрофильная, иногда камни выходят на поверхность, занимая до 15 % от проективного покрытия поверхности почвы.

Климат (по данным ближайшей метеостанции пос. Хатанга) района исследований субарктический, резко континентальный, с длительной суровой зимой и коротким летом. Среднегодовая температура – -11.6 °С, средняя температура июля +12.7 °С, января – -30.9 °С. Снежный покров лежит не менее 249 суток, высота его около 83 см. Среднегодовое количество осадков – 283 мм [5].

Геоботанические описания проводились по стандартной методике [8] на постоянных пробных площадях (ПП). Использовали площадки размером 20 × 20 м. При характеристике лесной растительности типы фитоценозов выделялись согласно эколого-фитоценотическому подходу [6]. Названия сосудистых растений приведены по International Plant Name Index (IPNI) [12], мхов – по M.S. Ignatov et al. [11].

Обследованные летом 2023 г. лесные фитоценозы представляют собой лиственничные редины верхнего лесного пояса. Выше по склонам их сменяют дриадово-кустарничково-разнотравные тундры, среди редин, в комплексе с ними, встречаются хвощово-зеленомошные верховые болота (в понижениях мезорельефа). Редины обычно сомкнутостью 25–40 (в среднем 30) %, высота их 4–9 (6.5) м, сложены исключительно *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr., расположение деревьев группово-равномерное, средний возраст 60–85 лет при полноте 0.15–0.31 и запасе 10–26 (в среднем 19.2) м^3/га.

Подрост редкий, из единичных лиственниц, высотой 0.5–2 м, благонадежный. Кустарниковый ярус слабо развит, высотой 0.5–1 м и с проективным покрытием 1–5 (очень редко до 10) %, расположение его равномерное, редко – куртинное, слагают его *Rhododendron adamsii* Rehder и *Betula exilis* Sukaczev.

Травяно-кустарничковый ярус хорошо развит, с общим проективным покрытием 30–50 %, в горизонтальном плане сравнительно однородный. По вертикали делится, как правило, на два подъяруса: первый высотой 30–40 см и проективным покрытием 10–25 % слагают *Vaccinium uliginosum* L. и *Hedysarum arcticum* B. Fedtsch., второй – высотой 2–10 см и проективным покрытием 20–40 % – слагают клоновые полукустарнички и травы, доминантами среди них обычно являются *Dryas octopetala* L., *Cassiope tetragona* (L.) D. Don, *Arctous erythrocarpa* Small.

Мохово-лишайниковый покров занимает обычно 40–80 % проективного покрытия поверхности почвы, распространение его почти сплошное либо крупными куртинами, в основном под пологом древесных крон. Доминируют практически всегда печеночник *Ptilidium ciliare* (L.) Hampe и зеленый гипоакртический мох *Tomentypnum nitens* (Hedw.) Loeske, иногда содоминантом может выступать *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. Кустистые лишайники встречаются разреженно, в основном на мхах.

В связи с тем, что зональное положение древесной растительности на северном пределе ее распространения в Евразии до настоящего времени определяется исследователями по-разному, существует необходимость рассмотреть географическое положение изучаемых нами лиственничных редколесий, для того чтобы очертить область экстраполяции данных по пулам углерода в наиболее типичных зональных экосистемах.

Согласно схеме районирования лесов СССР [3], район исследований расположен в подзоне редкостойной северной тайги (предтундровых редколесий), в пределах Среднесибирской провинции, а внутри нее – в северо-западной части округа редкостойной тайги восточной части Среднесибирского плоскогорья.

Согласно более поздней схеме лесорастительного районирования России и республик бывшего СССР [2], район исследований располагается в пределах Средне-Сибирского сильно континентального сектора и Средне-Сибирской плоскогорной лесорастительной области, а внутри нее – в Хетско-Котуйской лесорастительной провинции предтундровых лиственничных лесов.

Следуя разграничению циркумбореальной зоны Л. Хамет-Ахти [10], растительность района наших исследований расположена в широтном плане в пределах северо-бореальной таежной подзоны, на границе с арктической (вместе с горно-арктическими областями) зоной, в долготном – в пределах умеренно влажного континентального климатического сектора Евразии.

Если следовать схеме районирования растительного покрова Красноярского края [7], рассматриваемые лиственничные сообщества относятся к северотаежным лиственничным лесам на северном их пределе, практически на границе с лесотундровой подзоной.

Представляется интересным рассмотреть и сравнить также положение изучаемого района в рамках эколого-географического районирования России (биомы России), в основу которого положены сходные принципы выделения территориальных единиц, хотя единицы являются более крупными пространственно [1]. Здесь район лежит в пределах Бореального (таежного) оробиома, а внутри него – в пределах Путоранского северосибирского гипоарктического таежного оробиома (который подразделяется на западную и восточную часть – Анабарскую, где и располагается район исследований).

Все авторы приведенных выше схем районирования относят редкостойные лиственничные леса на северном пределе их распространения к северо-бореальной или, реже, лесотундровой подзоне, отделяя, таким образом, эту своеобразную лесную растительность от арктической зоны с абсолютным преобладанием тундровой растительности. Несколько другой позиции придерживался Б.М. Юрцев [9], который объединял южные (кустарниковые) тундры, лесотундру и северную тайгу в особый гипоарктический пояс (зону), подчеркивая, что по флористическому составу и типу функционирования биогеоценозы этого пояса отличаются от таковых как в настоящих тундрах, так и в бореальных (среднетаежных) лесах.

Мы считаем, опираясь в этом на мнение Б.М. Юрцева, что редкостойные лиственничные предтундровые лесные экосистемы Северо-Сибирской низменности и северо-западного окаймления Анабарского плато следует отделять от северотаежных бореальных лесов и относить их к лесотундровой подзоне. Необходимо учитывать, что доминанты-эдификаторы напочвенного покрова (в понимании Б.Н. Норина [4]) – кустарнички, травы и мохообразные – рассматриваемых фитоценозов характерны более для лесотундровой подзоны (шире – гипоарктической зоны), а не бореальных лесных экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карта «Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий». Масштаб 1:8000000 / гл. ред. Г.Н. Огуреева. Карта на 2 листах. Пояснительный текст и легенда к карте. М.: Изд-во ТОО «ЭКОР», 1999.
2. *Коротков И.А.* Лесорастительное районирование России и республик бывшего СССР // Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В.А. Алексеева и Р.А. Бердси. Красноярск: ИЛ СО РАН, 1994. С. 29–47.
3. *Курнаев С.Ф.* Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 204 с.
4. *Норин Б.Н.* Структура растительных сообществ восточноевропейской лесотундры. Л.: Наука, 1979. 200 с.
5. Средняя Сибирь / под. ред. И.П. Герасимова. М.: Наука, 1964. 480 с.
6. *Сукачев В.Н.* Общие принципы и программа изучения типов леса / Избранные труды. Т. 1. Л.: Наука, 1972. С. 259–310.
7. *Черепнин Л.М.* Растительность Красноярского края // Природные условия Красноярского края. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 160–187.
8. *Юнатов А.А.* Типы и содержание геоботанических исследований, выбор пробных площадок и заложение экологических профилей // Полевая геоботаника. Т. III. М.–Л.: Наука, 1964. С. 9–36.
9. *Юрцев Б.М.* Гипоарктический ботанико-географический пояс и происхождение его флоры. М.: Наука, 1966. 94 с.
10. *Hamet-Ahti L.* The boreal zone and its biotic subdivision // Fennia. 1981. 159: 69–75.
11. *Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A.* Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. 15: 1–130.

12. IPNI. International Plant Names Index. Kew: The Royal Botanic Gardens, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Botanic Gardens Publ., 2020. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ipni.org (дата обращения: 14.05.2024).

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 630.161:581.5:575.174: 575.167

ДЕНДРОГЕНОМИКА – СОВРЕМЕННЫЙ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ АДАПТИВНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОПУЛЯЦИЙ ЛЕСНЫХ ДЕРЕВЬЕВ

К.В. КРУТОВСКИЙ[1, 2, 3, 4], С.В. НОВИКОВА[3, 5], В.В. ШАРОВ[3, 5], Н.В. ОРЕШКОВА[3, 5, 6], Д.Ф. ЖИРНОВА[3, 7], Л.В. БЕЛОКОПЫТОВА[3, 7], Е.А. БАБУШКИНА[3, 7], Д.А. ДЕМИДКО[6, 8], Е.М. БИСИРОВА[9, 10], Е.А. ВАГАНОВ[3, 6, 7]

[1] Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Гёттинген, Германия (konstantin.krutovsky@forst.uni-goettingen.de)
[2] Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва
[3] Сибирский федеральный университет, Красноярск (serafima_novikova_11@mail.ru, vsharov@sfu-kras.ru, oreshkova@ksc.krasn.ru, dina-zhirnova@mail.ru, white_lili@mail.ru, babushkina70@mail.ru, eavaganov@hotmail.com)
[4] Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж
[5] Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск
[6] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярскч
[7] Хакасский технический институт, филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Абакан
[8] Сибирский государственный университет им. М.Ф. Решетнева, Красноярск (sawer_beetle@mail.ru)
[9] Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск
[10] Всероссийский центр карантина растений, ФГБУ «ВНИИКР», Томск (bissirovaem@mail.ru)

Аннотация. Дендрогеномика – новая междисциплинарная область исследований, интегрирующая дендрохронологию, дендроэкологию, дендроклиматологию, генетику и геномику. Этот современный подход позволяет проводить совместный анализ дендрологических и геномных данных и открывает новые пути для изучения временной динамики границ леса, определения пространственной и временной структуры популяций и, прежде всего, изучения индивидуальной реакции деревьев на абиотические и биотические стрессы и оценки адаптивного генетического потенциала лесных популяций.

DENDROGENOMICS – A MODERN INTERDISCIPLINARY APPROACH TO STUDYING THE ADAPTIVE GENETIC POTENTIAL OF FOREST TREE POPULATIONS

K.V. KRUTOVSKY[1, 2, 3, 4], S.V. NOVIKOVA[3, 5], V.V. SHAROV[3, 5], N.V. ORESHKOVA[3, 5, 6], D.F. ZHIRNOVA[3, 7], L.V. BELOKOPYTOVA[3, 7], E.A. BABUSHKINA[3, 7], D.A. DEMIDKO[6, 8], E.M. BISIROVA[9, 10], E.A. VAGANOV[3, 6, 7]

[1] Georg-August University of Göttingen, Göttingen, Germany (konstantin.krutovsky@forst.uni-goettingen.de)
[2] N.I. Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, Moscow
[3] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (serafima_novikova_11@mail.ru, vsharov@sfu-kras.ru, oreshkova@ksc.krasn.ru, dina-zhirnova@mail.ru, white_lili@mail.ru, babushkina70@mail.ru, eavaganov@hotmail.com)
[4] G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh
[5] Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Krasnoyarsk
[6] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk
[7] Khakass Technical Institute, Branch of Siberian Federal University, Abakan
[8] M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk (sawer_beetle@mail.ru)
[9] Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, Tomsk
[10] All-Russian Plant Quarantine Center (VNIIKR), Tomsk Branch, Tomsk (bissirovaem@mail.ru)

Abstract. Dendrogenomics is a new interdisciplinary field of research that integrates dendrochronology, dendroecology, dendroclimatology, genetics and genomics [1]. This modern approach allows joint analysis of dendrological and genomic data and opens up new ways to study the temporal dynamics of forest boundaries, determine the spatial and temporal structure of populations and, mostly important, study the individual response of trees to abiotic and biotic stresses and assess the adaptive genetic potential of forest populations [1-6]. These data are essential and very much needed, especially for accurately predicting and mitigating the impacts of climate change.

Дендрогеномика — это новая междисциплинарная область исследований, которая интегрирует дендрохронологию, дендроэкологию, дендроклиматологию, генетику и геномику [1]. Подобный современный подход позволяет проводить совместный анализ дендрологических и геномных данных и открывает новые пути для изучения временной динамики границ леса, определения пространственной и временной структуры популяций и, прежде всего, изучения индивидуальной реакции деревьев на абиотические и биотические стрессы и оценки адаптивного генетического потенциала лесных популяций [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Эти данные крайне необходимы, особенно для точного прогнозирования последствий изменения климата и смягчения их негативных последствий. Для популяций сибирской лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.) и сибирской кедровой сосны получены важные данные о связи изменчивости индивидуальных дендрофенотипов, отражающих индивидуальный ответ дерева на стресс, с изменчивостью по ряду генетических маркеров, включая функционально важные гены, выявленные современными методами секвенирования, такими как ddRADseq (double digest restriction-site associated DNA sequencing) [6].

В частности, анализ 9742 генетических маркеров, однонуклеотидных полиморфизмов (SNPs), у 136 деревьев лиственницы сибирской позволил нам идентифицировать несколько областей генома и генов,

изменчивость которых связана с изменчивостью важных адаптивных признаков, дендрофенотипов, таких как устойчивость (Rt), восстановление (Rc), устойчивость (Rs) и относительная устойчивость (RRs), измеренных у этих деревьев в пяти популяциях в предгорьях Батеневского хребта (Кузнецкий Алатау, Республика Хакасия, Россия) с использованием дендрохронологических данных. Было также обнаружено, что уровень индивидуальной гетерозиготности достоверно коррелировал с дендрофенотипами [6]. На основании полученных результатов можно предположить, что лиственница сибирская обладает относительно высокой адаптивной генетической изменчивостью и адаптивным потенциалом, лежащим в основе адаптации лиственницы к различным климатическим условиям [6].

Путем секвенирования сосны сибирской кедровой из шести природных популяций методом ddRADseq были индивидуально прогенотипированы 234 дерева по 84 853 генетическим маркерам – однонуклеотидным полиморфизмам (SNPs). Была изучена связь индивидуальной генетической изменчивости с изменчивостью 103 индивидуальных характеристик деревьев, включая адаптивные дендрофенотипы, отражающие индивидуальные реакции деревьев на стресс засухи и дефолиации, вызванной вспышками распространения рыжего соснового пилильщика (*Neodiprion sertifer* Geoff.). В частности, было обнаружено 30 SNP маркеров, изменчивость которых коррелировала с изменчивостью дендрофенотипов (неопубл. данные).

Кроме того, изучена генетическая структура популяций обоих видов и определены основные популяционно-генетические параметры изменчивости и дифференциации. Изучена их связь с географическим расстоянием (IBD) и средовыми биоклиматическими факторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Krutovsky K.V.* Dendrogenomics is a new interdisciplinary field of research of the adaptive genetic potential of forest tree populations integrating dendrochronology, dendroecology, dendroclimatology and genomics // Russ. J. Genet. 2022. 58: 1273–1286.
2. *Babushkina E.A., Vaganov E.A., Grachev A.M., Oreshkova N.V., Belokopytova L.V., Kostyakova T.V., Krutovsky K.V*. The effect of individual genetic heterozygosity on general homeostasis, heterosis and resilience in Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) using dendrochronology and microsatellite loci genotyping // Dendrochronologia. 2016. 38: 26–37.
3. *Johnson J.S., Chhetri P., Krutovsky K.V., Cairns D.M*. Growth and its relationship to individual genetic diversity of mountain hemlock (*Tsuga mertensiana*) at alpine treeline in Alaska: combining dendrochronology and genomics // Forests. 2017. 8 (11): 418.
4. *Johnson J.S., Gaddis K.D., Cairns D.M., Konganti K., Krutovsky K.V*. Landscape genomic insights into the historic migration of mountain hemlock in response to Holocene climate change // Am. J. Bot. 2017. 104 (3): 439–450.
5. *Johnson J.S., Gaddis K.D., Cairns D.M., Krutovsky K.V*. Seed dispersal at alpine treeline: an assessment of seed movement within the alpine treeline ecotone // Ecosphere. 2017. 8 (1): e01649. DOI: 10.1002/ecs2.1649.
6. *Novikova S.V., Oreshkova N.V., Sharov V.V., Zhirnova D.F., Belokopytova L.V., Babushkina E.A., Krutovsky K.V.* Study of the genetic adaptation mechanisms of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) regarding climatic stresses based on dendrogenomic analysis // Forests. 2023. *14 (*12): 2358. DOI: 10.3390/f14122358.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-14-00083.

УДК 630.228.7.

ОТСЕЛЕКТИРОВАННОЕ КЛОНОВОЕ ПОТОМСТВО КЕДРОВЫХ СОСЕН НА ПЛАНТАЦИИ В КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Г.В. КУЗНЕЦОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (galva@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Рассмотрены результаты исследований второго потомства перспективных клонов кедровых сосен, созданных на испытательной плантации в Красноярской лесостепи. Показано, что вегетативное потомство кедровых сосен отражает наследственно обусловленные отселектированные признаки (рост, семеношение) материнских клонов. Испытания лучших клонов кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) и кедра европейского (*Pinus cembra* L.) позволяют выделить их в сорта-клоны, наиболее перспективные для создания селекционных объектов в данных условиях произрастания.

SELECTED CLONE PROGENY OF CEMBRAE GROUP PINES ON PLANTATION IN KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

G.V. KUZNETSOVA

V.N. Sukachev Institute of Forestry SB RAS, Krasnoyarsk (galva@ksc.krasn.ru)

Abstract. The results of studies of the second offspring of promising Cembrae group pines clones created on a test plantation in the Krasnoyarsk forest-steppe are considered. It has been shown that the vegetative offspring of Cembrae group pines reflects the hereditarily determined selected traits (growth in seed production) of the maternal clones. Testing the best clones of Siberian pine and European pine allows us to isolate them into varieties-clones that are the most promising for creating breeding objects in given growing conditions.

Вегетативная плантация кедровых сосен (*Pinus sibirica* Du Tour разного географического происхождения и *Pinus cembra* L.**)** была создана лабораторией лесной генетики и селекции Института леса СО РАН (под руководством А.И. Ирошникова) в 1963–1965 гг. в Красноярской лесостепи в экспериментальном хозяйстве «Погорельский бор». Одной из задач исследований было изучение и выделение наиболее хозяйственно ценных, быстрорастущих, жизнестойких и урожайных форм кедра в условиях Красноярской лесостепи. Получение отселектированного материала у кедра сибирского – длительный процесс [3]. В результате многолетних исследований (1985–2000 гг.) селекционной оценки (сохранности, роста и семеношения) клонов кедра сибирского разного происхождения и кедра европейского на прививочной плантации были выделены лучшие и перспективные клоны для создания селекционных объектов [1]. Такие клоны выявлены у кедра сибирского равнинных, таежных популяций из Красноярского края (козульский, байкитский), Тюменской области (сургутский), горно-таежной Восточно-Казахстанской области (лениногорский). Также исключительную ценность, особенно для лесной и лесостепной части России, представляет отселектированный клон кедра европейского (Карпаты). На прививочной плантации кедр европейский, привитый на сосне обыкновенной, прекрасно себя чувствует и не уступает по показателям роста и развития прививкам кедра сибирского из местных популяций [2**]**. Это свидетельствует о высокой норме адаптации кедра европейского в Красноярской лесостепи с резко континентальным климатом.

С учетом недолговечности вегетативного потомства кедровых сосен на подвое сосне обыкновенной [1] создана новая испытательная вегетативная плантация клонов кедра сибирского и кедра европейского, привитых на подвой кедра сибирского. Для подвоя было высажено семенное потомство кедра сибирского с плюсовых деревьев. С отобранных лучших по семеношению и росту материнских клонов брали черенки и перепрививали на подвой кедра сибирского. Для каждого клона кедра сибирского и кедра европейского подвой был с одного дерева и одинакового возраста (5 лет). Коллекционная вегетативная плантация кедровых сосен создавалась в Мининском лесничестве Красноярского края в 2010–2011 гг. В 2014 г. прививки кедровых сосен были пересажены в дендрарий Института леса им. В.Н. Сукачева в Погорельском опытном хозяйстве. Первые исследования роста на плантации лучших отобранных клонов отражены в табл. 1. Как показали результаты наблюдений, все прививки адаптировались к условиям красноярской лесостепи и дали хорошие приросты (табл. 1). Значительного различия по высоте не наблюдается. Рост прививок в высоту зависит от материнских деревьев и особенности взаимодействия между компонентами прививки. На данном этапе роста у всех клонов второго поколения на подвое кедра сибирского не наблюдается несовместимости компонентов прививки. Наибольшие приросты за 2 года отмечены у местного козульского климатипа (табл. 1).

Урожай кедра, в частности, прививок кедра, зависит прежде всего от развития и строения кроны. Носитель продуктивных органов – годичный побег, поэтому для формирования кроны деревьев большое значение имеет число почек на прививках, развивающихся на осевом побеге. Наибольшее число почек и ветвей в мутовке (табл. 1) отмечено на привоях кедра сибирского из Красноярского края, северного

климатипа (байкитский) и горного (лениногорский) в Восточном Казахстане, что характерно и для их материнских деревьев. По морфологическим показателям – высоте, диаметру, количеству верхушечных почек, приросту – клоны кедра европейского не уступают показателям кедра сибирского.

Таблица 1. Морфометрические показатели отселектированого вегетативного потомства кедровых сосен в Красноярской лесостепи (год создания 2014)

Клоны	Высота, м	Средний прирост, см	Диаметр, см	Количество веток в мутовке в 2018, шт.	Количество верхушечных почек в 2019, шт.
Кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour*)*					
Красноярский, козульский	1.50 ± 0.09	20.00 ± 2.14	1.54 ± 0.09	3.80 ± 0.40	3.40 ± 0.34
Красноярский, байкитский	1.55 ± 0.09	19.35 ± 1.88	1.40 ± 0.15	5.22 ± 0.74	4.67 ± 0.53
Томский, тимирязевский	1.49 ± 0.14	18.00 ± 2.06	1.57 ± 0.22	4.25 ± 0.42	4.62 ± 0.80
Тюменский, сургутский	1.57 ± 0.08	17.40 ± 1.92	1.49 ± 0.12	4.2 ± 0.61	4.44 ± 0.58
Восточный Казахстан, лениногорский	1.30 ± 0.06	14.95 ± 1.54	1.13 ± 0.06	6.00 ± 0.80	4.40 ± 0.61
Кедр европейский (*Pinus cembra* L.)					
Карпаты, усть-чернянский	1.48 ± 0.08	18.05 ± 1.35	1.47 ± 0.08	3.90 ± 0.50	3.80 ± 0.39

На испытательной плантации для прививок всех выделенных клонов кедра сибирского, а также прививок кедра европейского характерно ежегодное образование мегастробил. Урожайность перспективных клонов может объективно оцениваться в возрасте их успешного семеношения в течение не менее трех лет [3].

На основании проведенных исследований выявлено, что вегетативное потомство кедровых сосен второго поколения на подвое кедра сибирского отражает наследственно обусловленные отселектированные признаки (рост и семеношение) материнских клонов. Результаты многолетнего изучения материнских деревьев на клоновой плантации (создания 1963–1965 гг.) и испытание выделенных лучших клонов на новой плантации (создания 2014 г.) позволяют выделить их в сорта-клоны, наиболее перспективные для создания селекционных объектов в данных условиях произрастания. Также для получения элитных семян с выделенных лучших сортов-клонов рекомендуется испытание их в различных новых условиях произрастания.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузнецова Г.В.* Опыт создания клоновой плантации кедровых сосен в Красноярской лесостепи / Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24. № 2–3. С. 217–224.
2. *Кузнецова Г.В.* Клоны *Pinus cembra* L. в условиях Красноярской лесостепи. Сохранение лесных генетических ресурсов: Матер. 5-й Межд. конф.-совещания, Щучинск, 16–20 сентября 2019 г. Кокшетау, изд-во «Мир печати»; ИП Устюгова, 2019. 280 с. С. 123–124.
3. *Титов Е.В.* Орехопродуктивные плантации и лесосады. Воронеж: Изд-во М-ва науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО, ВАТГУ, 2021. 267 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования проведены в рамках базового проекта ФИЦ КНЦ СО РАН FWES-2024-0028, № 124012900557-0.

УДК 630.2.053.1

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВЕСЕННЕГО ПЕРИОДА КАК ФАКТОР ПИРОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Э.А. КУЗНЕЦОВА, Т.Ш. ШАВКАТБЕКОВ

Тюменский государственный университет, Тюмень (elzanv07@yandex.ru)

Аннотация. В статье рассмотрены изменения метеорологических условий (среднесуточной температуры, суммарного количества осадков, средней скорости ветра, общей облачности, высоты снежного покрова) городов Тюмень и Ишим в апреле и мае 2013–2023 гг. как факторов пирогенной опасности.

METEOROLOGICAL CONDITIONS IN THE SPRING PERIOD AS A FACTOR OF PYROGENIC HAZARD IN THE SOUTH OF THE TYUMEN REGION

E.A. KUZNETSOVA, T.Sh. SHAVKATBEKOV

Tyumen State University, Tyumen (elzanv07@yandex.ru)

Abstract. The article examines changes in meteorological conditions (average daily temperature, total precipitation, average wind speed, total cloud cover, snow depth) of the cities of Tyumen and Ishim in April and May 2013–2023 as pyrogenic hazard factors.

По прогнозам экспертов, в 2016–2035 гг. средняя температура воздуха на планете может вырасти на 0.3–0.7 ºС [3], что непосредственно скажется на росте чрезвычайных ситуаций. В 2023 г. ущерб от лесных пожаров в Тюменской области превысил 298 млн рублей [8]. 7 мая 2023 г. постановлением губернатора Тюменской области был введен режим чрезвычайной ситуации в связи с пожарами [6]. Начало пожароопасного периода приходится на апрель [1, 2, 7], в 2023 г. его продолжительность составила 208 дней (с 3 апреля по 27 октября).

Влияние на горимость лесов метеорологических факторов установлено в работах В.Г. Нестерова и А.А. Молчанова [4, 5]. По данным Департамента лесного комплекса, площадь лесных пожаров за 2008–2023 гг. в Ишимском районе составила 31 273.17 га, в Тюменском – 33 574.62 га. Эти показатели являются одними из лидирующих в Тюменской области. В связи с этим для исследования были выбраны метеорологические условия г. Тюмени и Ишима.

В ходе работы были проанализированы метеоданные (среднесуточная температура, суммарное количество осадков, средняя скорость ветра, общая облачность, высота снежного покрова) с 2013 по 2023 г. за апрель и май. Эти месяцы были определены для анализа, так как в апреле создаются благоприятные метеорологические условия для возникновения пирогенной опасности, а в мае регистрируется наибольшее количество возгораний.

При анализе средней температуры за май можно увидеть (рис. 1), что в 2021 г. регистрировались наивысшие показатели (в Тюмени – +17.6 °С, в Ишиме – +17.8 °С). В апреле здесь температура также была достаточно высокой (в Тюмени – +6.5 °С, в Ишиме – +4.9 °С).

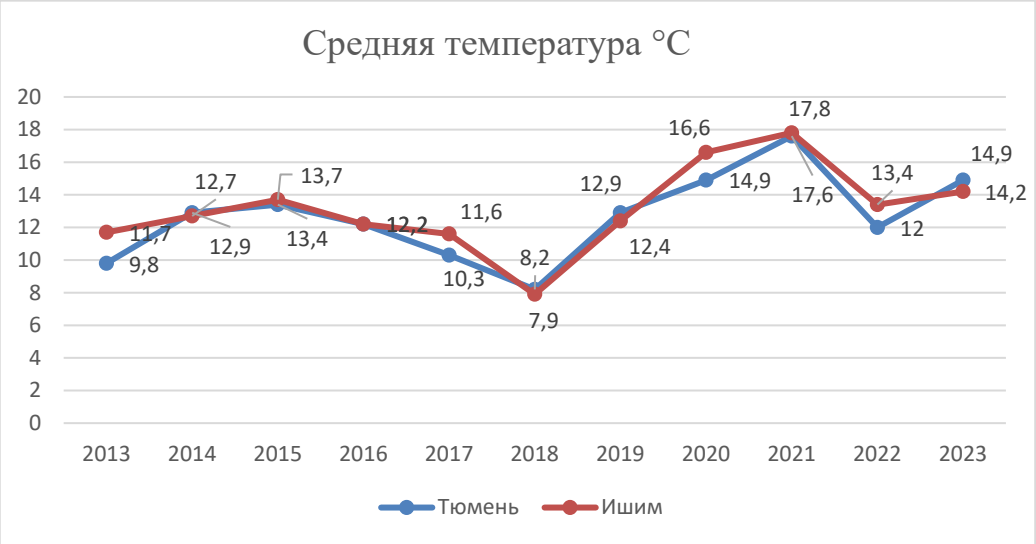


Рис. 1. Средняя температура за май 2013–2023 гг.

Количество осадков в 2021 и 2023 г. было минимальным в апреле 2021 г. – 2 мм в Ишиме и 12 мм в Тюмени, в мае соответственно 4 мм и 5 мм, в 2023 г. в апреле – 2 мм и 12 мм, в мае – 5 мм и 1 мм. Средняя

скорость ветра в апреле и мае не отличается максимальными и минимальными показателями за определенный год от общей динамики за анализируемый период. Между общей облачностью и числом возгораний также не установлено взаимосвязи. Минимальная высота снежного покрова в апреле регистрировалась в 2020 г. (в Ишиме – 0.1 см, в Тюмени – 0.5 см) и в 2023 г. (в Ишиме – 0.1 см, в Тюмени – 0.6 см).

Таким образом, самым пирогенно опасным за рассматриваемый период стал 2021 г. в связи с низким количеством осадков и высокими средними температурами, схожая ситуация наблюдалась в 2023 г.

Среди метеорологических факторов, способствующих развитию пирогенной опасности на территории, основными являются температура воздуха и осадки. Снежный покров опосредованно воздействует на горимость лесов через влажность лесной подстилки. Облачность и скорость ветра можно отнести к второстепенным факторам пирогенной опасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Басуматорова Е.А., Дронова М.В., Александрой В.И., Винокуров В.Н., Романов С.В.* Анализ последствий лесных пожаров в Тюменской области // Техносферная безопасность. 2023. № 1 (38). С. 87–92.
2. В Тюменской области подвели итоги пожароопасного сезона 2023 года // Rayon72.ru. 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://rayon72.ru/news/society/196877.html (дата обращения: 08.04.2024).
3. *Кузнецова Э.А., Соколов С.Н.* Гидрология, метеорология и климатология: климатические расчеты. Нижневартовск, НВГУ, 2019. 86 с.
4. *Молчанов А.А.* Скорость распространения лесных пожаров в зависимости от метеорологических условий и характера древостоя // Лесное хозяйство. 1940. № 6. С. 64–67.
5. *Нестеров В.Г.* Горимость леса и методы ее определения. М.–Л.: Гослесбумиздат, 1949. 76 с.
6. Постановление губернатора Тюменской области от 10.05.2021 № 125 «О введении режима чрезвычайной ситуации в лесах регионального характера в связи с пожарами» // Официальное опубликование правовых актов. 2021. [Электронный ресурс]. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/7200202105100001 (дата обращения: 08.04.2024).
7. Прогноз ЧС, обусловленный природными пожарами на территории Тюменской области в 2023 году. [Электронный ресурс]. URL: https://rec.admtyumen.ru/OIGV/REC/actions/irections/more.htm?id=12011794%40cmsArticle (дата обращения: 08.04.2024).
8. Размер ущерба от тюменских лесных пожаров в 2 раза превысил прошлогодний // РБК Тюмень. 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://t.rbc.ru/tyumen/01/08/2023/64c740979a7947e91a95a931 (дата обращения: 25.05.2024).

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-27-00354, https://rscf.ru/project/24-27-00354/).

УДК 630*524.15

ОЦЕНКА ПРЯМОСТВОЛЬНОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ В СИБИРИ

С.Р. КУЗЬМИН, Н.А. КУЗЬМИНА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (skr_7@mail.ru; kuz@ksc.krasn.ru)

Аннотация. В географических культурах в Богучанском лесничестве Красноярского края проведен сравнительный анализ доли прямоствольных деревьев у климатипов сосны обыкновенной на участках с песчаной и суглинистой почвой. Выявлена более высокая доля кривоствольных деревьев у климатипов сосны в условиях песчаной почвы.

ASSESSMENT OF STEM STRAIGHTNESS OF SCOTS PINE IN THE PROVENANCE TRIAL IN SIBERIA

S.R. KUZMIN, N.A. KUZMINA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (skr_7@mail.ru; kuz@ksc.krasn.ru)

Abstract. Proportion of trees with straight stem was compared on sandy and loam soils in conditions of Scots provenance trial in Boguchany forestry of Krasnoyarsk region. Higher part of trees with crooked stem was revealed in conditions of sandy soil.

Форма или степень искривленности стволов у деревьев является важным показателем технического качества древесины по выходу деловых и полуделовых сортиментов. Кривизна стволов приводит к образованию повышенных отходов и потерь древесины [3]. В связи с этим данный показатель является одним из важных при отборе перспективных климатипов в географических культурах. Объектами исследований являются географические культуры сосны обыкновенной, созданные в Богучанском лесничестве Красноярского края в условиях песчаной и суглинистой почв и состоящие из 83 климатических экотипов (условно называемых далее климатипами). Форма ствола исследовалась методом сплошного учета деревьев в 28 лет и в 37 лет при измерении высот у 100 деревьев каждого варианта. В результате определили долю (%) прямоствольных и кривоствольных деревьев в древостое каждого климатипа. К кривоствольным относили деревья с любой степенью искривления как в нижней, так и в верхней частях ствола. В условиях песчаной почвы доля прямоствольных деревьев у некоторых климатипов достигает 100 %, среднее значение – 67 %. Коэффициент изменчивости (географической) очень высокий – 46 %. Контроль (местный климатип) имеет 87 % прямоствольных деревьев. Значение этого показателя выше 80 % отмечается у 48 % исследуемых климатипов, что можно считать приемлемым значением при отборе лучших происхождений. В работе оценивались связи между прямоствольностью у потомств климатипов в пункте испытания и климатическими характеристиками материнских насаждений. Самая сильная отрицательная связь, при которой регрессионная линейная модель наиболее точно описывает зависимость доли прямоствольных деревьев от климатических характеристик мест происхождения климатипов сосны, отмечается с суммой температур >10 ºС ($y = -0.056*x + 169.8$; $r = -0.78$; $p < 0.001$; $R^2 = 0.61$; $n = 82$).

Климатипы из более холодных условий имеют в географических культурах относительно высокую долю прямоствольных деревьев, что подтверждается значимыми отрицательными корреляциями (Спирмена) с длиной активного вегетационного ($r = -0.78$; $p < 0.001$) и безморозного ($r = -0.57$; $p < 0.001$) периодов. Выявлена отрицательная связь доли прямоствольных деревьев с массой семян материнских насаждений ($r = -0.66$; $p < 0.001$), положительные – с северной широтой ($r = 0.53$; $p < 0.001$) и восточной долготой ($r = 0.35$; $p < 0.01$), подтверждающие лучшую прямоствольность у северных и восточных сосен.

На прямизну ствола деревьев на участке с песчаной почвой оказывает влияние густота древостоя, отмечается значимая положительная корреляция ($r = 0.46$; $p < 0.001$). Густота географических культур на песчаной почве более чем в 2 раза превышает густоту на суглинистой.

Полученные результаты частично согласуются с общими закономерностями, отмеченными в литературе у сосны обыкновенной из разных пунктов обитания. По мнению авторов, южные и восточные климатипы сосны имеют большую кривоствольность [4]. Понятие «южных» и «восточных» климатипов довольно широкое, и если связь с широтой объясняется тем, что южные в основном приурочены к регионам с высокой теплообеспеченностью, то связь с долготой отмечается слабая. В нашем эксперименте с географическими культурами большая доля кривых стволов сосны (>40 %) выявлена как у южных климатипов европейской части России, так и у некоторых юго-восточных климатипов: долонского из восточной части Казахстана и чемальского из Республики Алтай. Климатипы, приуроченные к самым восточным регионам ареала сосны в России – свободненскому из Амурской области и аянскому из Хабаровского края, – имеют большую долю прямоствольных деревьев (82–83 %). Высокий процент прямоствольности (около 100 %) отмечается у представителей Европейского Севера, а также читинского климатипа из Забайкалья.

В условиях суглинистой почвы среднее значение доли прямоствольных деревьев у климатипов составляет 83 %, коэффициент изменчивости повышенный – 23 %. Как и на песчаной почве, в условиях суглинистой проявляются значимые корреляционные связи между долей прямоствольных деревьев и климатическими характеристиками мест происхождения климатипов. Отмечается отрицательная связь с суммой температур >10 °C ($y = -0.026*x + 128.3$; $r = -0.55$; $p < 0.001$; $R^2 = 0.30$; $n = 74$).

Климатипы из более теплых регионов имеют меньшую долю прямоствольных деревьев в пункте испытания. Полным отсутствием прямоствольных деревьев в условиях суглинистой почвы выделяются потомства долонского климатипа из Казахстана и великолукского из Псковской области. Небольшой процент прямоствольных деревьев (30–62 %) отмечается у кяхтинского климатипа из Бурятии, мелекесского из Ульяновской, бузулукского из Оренбургской, свободненского из Амурской, куровского из Московской областей и дюртюлинского из Башкортостана.

Результаты исследования показывают, что процент кривоствольных деревьев у климатипов сосны в условиях суглинистой почвы в среднем в два раза меньше, чем в условиях песчаной. На суглинистой почве изменчивость доли прямоствольных деревьев существенно ниже, большинство климатипов имеют более 70 % прямоствольных деревьев. Растения в молодом возрасте в условиях суглинистой почвы меньше были подвержены стрессовым факторам. В условиях песчаной почвы насаждения западных и южных климатипов сосны подвергались: морозобойным повреждениям [1], ветровым нагрузкам, засухам и грибным болезням [2], вызывающим в молодом возрасте замещение центрального побега.

Таким образом, в географических культурах на песчаной и суглинистой почвах отмечаются разные закономерности в изменчивости исследуемого показателя. В условиях песчаной почвы с увеличением восточной долготы мест происхождения климатипов отмечается значительное увеличение доли прямоствольных деревьев. С увеличением северной широты мест происхождений климатипов доля прямоствольных деревьев значимо возрастает на обоих участках. В целом потомство климатипов из таежных районов европейской и азиатской частей ареала сосны в географических культурах имеет относительно меньший процент кривоствольных деревьев по сравнению с южными лесостепными климатипами. Результаты данных исследований использовались при отборе перспективных климатипов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузьмин С.Р.* Динамика радиального роста сосны обыкновенной в географических культурах на дерново-подзолистой песчаной почве // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. 30. № 1–2. С. 106–110.
2. *Кузьмина Н.А., Кузьмин С.Р.* Селекция сосны обыкновенной по устойчивости к грибным патогенам в географических культурах // Хвойные бореальной зоны. 2009. Т. 26. № 1. С. 76–81.
3. *Мелехов В.И., Корчагов С.А., Бабич Н.А.* Комплексная оценка качества древесины хвойных пород в культурах: монография. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. 130 с.
4. *Молотков П.И., Патлай И.Н., Давыдова Н.И.* и др. Селекция лесных пород. М.: Лесная пром-ть, 1982. 224 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках базового проекта «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (FWES-2024-0028).

УДК 582.284

МАКРОМИЦЕТЫ СЕВЕРА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ (РАЙОН ГОРОДА НОРИЛЬСКА)

С.С. КУЛАКОВ, А.И. ТАТАРИНЦЕВ, Д.А. ДЕМИДКО, Н.П. ХИЖНЯК

Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск

Аннотация. В окрестностях города Норильска были проведены полевые исследования, направленные на изучение таксономического разнообразия и эколого-трофических особенностей микобиоты в северных экосистемах Красноярского края (Средняя Сибирь). В ходе экспедиционных работ было обнаружено и определено 70 видов макромицетов, принадлежащих к разным трофическим группам. Лишь 15 % из них встречаются регулярно, большая часть видов обнаруживается редко или даже единожды.

MACROMYCETES OF THE NORTH OF KRASNOYARSK REGION (NORILSK)

S.S. KULAKOV, A.I. TATARINTSEV, D.A. DEMIDKO, N.P. KHIZHNIAK

M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

Abstract. A field study was carried out near Norilsk. The research was aimed at studying the taxonomic diversity, habitat specialization and trophic characteristics of mycobiota in the northern ecosystems of the Krasnoyarsk region (Central Siberia). 70 species of macromycetes belonging to different trophic groups were discovered and identified. Only 15 % of species occur regularly, while most species are found rarely or even once.

Лиственничные леса и редколесья в зоне многолетней мерзлоты Сибири уникальны, выполняют важные функции в биосферных процессах, являются источником различных природных ресурсов. Несмотря на широкое географическое распространение, они изучены крайне неравномерно, что в первую очередь касается притундровых и северотаежных лесных экосистем, экологическая роль которых намного весомее их ресурсного потенциала [4, 3]. Если лесоводственные особенности этих лесов освещены в трудах многих отечественных исследователей [1], то вопросы, касающиеся видового разнообразия и структуры микобиоты, до сих пор остаются предметом тщательных исследований [2, 5].

Сбор материала проводили в июле – августе 2018–2021 гг. в бассейнах рек Болгохтох и Норильская. Полевые учеты грибов проводили на четырех полигонах размером 100 × 100 м, заложенных в наиболее типичных для района исследований биотопах. Их характеристика приведена ниже.

Полигон I. Лиственничный ольховниковый травяной лес в верхней части плоско-выпуклого склона южной экспозиции долины реки Болгохтох. Высота над уровнем моря – 50 м.

Полигон II. Лиственничная редина ерниковая. Пятнистая полого-бугорковая морфоскульптура рельефа на террасе характеризуется мозаикой микроповышений и мочажин. Высота над уровнем моря – 76 м.

Полигон III. Березово-елово-лиственничный хвощовый лес на водоразделе рек Талнах и Листвянка. Рельеф холмисто-увалистый с пологими увалами, округлыми холмами и заболоченными межувальными депрессиями с болотами и термокарстовыми озерами. Высота над уровнем моря – 46 м.

Полигон IV. Кустарниково-кустарничково-осоковая тундра на второй надпойменной террасе долины реки Хараелах. Рельеф представлен пологоволнисто-бугорковатым выровненным склоном (3–4°) северо-западной экспозиции. Высота над уровнем моря – 163 м.

Выявленные макромицеты (70 видов) относятся к 44 родам, 25 семействам, 8 порядкам, входящим в подкласс (Agaricomycetidae) (табл. 1). Доминирует по числу видов порядок Agaricales (34 вида), далее в четверке наиболее представленных порядков идут Russulales (14 видов), Polyporales (9 видов) и Boletales (8 видов), составляющие в общей сложности 93 % от видового разнообразия выявленной микобиоты. Остальные порядки представлены лишь несколькими видами макромицетов (1–3). В шестерку ведущих семейств, объединяющую 52 % видов изучаемой биоты, входит Russulaceae (с наибольшим количеством видов – 14), далее Polyporaceae (6 видов), Suillaceae и Tricholomataceae (по 5 видов), Cortinariaceae и Strophariaceae (по 4 вида). Остальные семейства представлены меньшим числом видов, в том числе 11 семейств – одним видом.

Анализ трофической структуры биоты макромицетов позволил установить, что наибольшее количество видов относится к микоризообразователям, образующим симбиотические отношения с корнями растений, и ксилотрофам, разлагающим древесные остатки (табл. 2). Их доля от общего числа видов соответственно 37 % и 34 %. Остальную часть (29 %) в видовом разнообразии исследуемой микобиоты составляют макромицеты, разлагающие напочвенную растительную мортмассу (сапротрофы на опаде, подстилке и гумусе). Количество видов и эколого-трофический спектр макромицетов зависят от разнообразия и соотношения растительных субстратов. Наибольшее число видов встречается в лесных биотопах с преобладанием в трофической структуре микоризообразующих и ксилотрофных видов (до 70 %), трофически связанных с древесными растениями и древесной мортмассой. Совокупность видов – напочвенных сапротрофов (на опаде, подстилке, гумусе) доминирует (около 80 %) в видовом составе макромицетов кустарниково-кустарничково-осоковой тундры, где при отсутствии запасов древесного субстрата ксилотрофные грибы вообще не найдены.

Таблица 1. Таксономический состав макромицетов исследуемых территорий

Семейство (число родов / число видов)	Род (общее число видов)	В том числе видов для каждого полигона			
		I	II	III	IV
Agaricaceae (2/3)	*Cystoderma* (2), *Lycoperdon* (1)	3		1	
Amanitaceae (1/1)	*Amanita* (1)				1
Bolbitiaceae (1/1)	*Pholiotina* (1)	1		1	
Cortinariaceae (1/4)	*Cortinarius* (4)	3	1	2	3
Entolomataceae (1/1)	*Entoloma* (1)			1	
Hydnangiaceae (1/1)	*Laccaria* (1)	1			
Hygrophoraceae (1/1)	*Hygrophorus* (1)	1	1	1	
Hymenogastraceae (3/3)	*Hypholoma* (1), *Galerina* (1), *Gymnopilus* (1)	2	1	1	
Inocybaceae (1/1)	*Crepidotus* (1)	1		1	
Marasmiaceae (1/1)	*Marasmius* (1)	1		1	
Mycenaceae (1/2)	*Mycena* (2)	1		1	1
Omphalotaceae (1/1)	*Gymnopus* (1)			1	
Physalacriaceae (2/2)	*Armillaria* (1), *Coprinopsis* (1)	1		1	
Pleurotaceae (1/1)	*Pleurotus* (1)	1		1	
Psathyrellaceae (2/2)	*Parasola* (1), *Psathyrella* (1)	1		1	
Strophariaceae (2/4)	*Kuehneromyces* (1), *Pholiota* (3)	2		2	1
Tricholomataceae (4/5)	*Clitocybe* (2), *Leucocortinarius* (1), *Paralepista* (1), *Tricholoma* (1)	2	1	2	1
Boletaceae (1/3)	*Leccinum* (3)	2	1	2	
Suillaceae (2/5)	*Boletinus* (1), *Suillus* (4)	4	2	3	1
Gloeophyllaceae (1/1)	*Gloeophyllum* (1)			1	
Hymenochaetaceae (3/3)	*Phellinus* (1), *Inonotus* (1), *Xanthoporia* (1)	2		1	
Fomitopsidaceae (2/3)	*Fomitopsis* (2), *Meripilus* (1)	1		2	
Polyporaceae (6/6)	*Bjerkandera* (1), *Fomes* (1), *Lentinus* (1), *Neolentinus* (1), *Trametes* (1), *Trichaptum* (1)	3		4	
Russulaceae (2/14)	*Lactarius* (9), *Russula* (5)	6	3	5	1
Bankeraceae (1/1)	*Thelephora* (1)			1	
25	44/70	49	10	36	9

Таблица 2. Видовая представленность и трофическая структура макромицетов в пределах биотопов

Биотоп	Число видов, шт.	Распределение макромицетов по трофическим группам, %				
		микоризо-образователи (Mr)	сапротрофы на			
			древесине (Le)	подстилке (St)	гумусе (Hu)	опаде (Fd)
Лиственничный ольховниковый травяной лес (полигон I)	49	38.8	30.6	20.4	8.2	2.0
Лиственничная редина ерниковая (полигон II)	10	60.0	10.0	10.0	20.0	0
Березово-елово-лиственничный хвощовый лес (полигон III)	36	30.6	44.4	11.1	11.1	2.8
Кустарниково-кустарничково-осоковая тундра (полигон IV)	9	22.2	0	11.1	66.7	0

Исследования флоры макромицетов в условиях севера Сибири позволяют выявить их видовое многообразие и роль в уникальных экосистемах северных широт. Нерегулярность появления плодовых тел наряду с их недолговечностью исключает одномоментное выявление всех присущих микоценозу видов макромицетов. В связи с этим необходимо продолжать изучение макромицетов на рассматриваемой территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абаимов А.П., Прокушкин С.Г., Зырянова О.А., Каверзина Л.Н.* Особенности формирования и функционирования лиственничных лесов на мерзлотных почвах // Лесоведение. 1997. № 5. С. 13–23.
2. *Каратыгин И.В.* Грибы Российской Арктики / И.В. Каратыгин, Э.Г. Нездойминого, Ю.К. Новожилов, М.П. Журбенко. СПб., 1999. 212 с.
3. *Поздняков Л.К.* Лес на вечной мерзлоте. Новосибирск, 1983. 96 с.
4. *Уткин А.И.* Лесные биогеоценозы криогенной области как специфичные системы // Экология. 1976. № 3. С. 15–22.
5. *Ширяев А.Г.* Таксономическая и экологическая структура биоты базидиальных макромицетов полярных пустынь Северного полушария / А.Г. Ширяев, И.В. Змитрович, О.Н. Ежов // Сибир. экол. журнал. 2018. Вып. 5. С. 526–544.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение коллективом научной лаборатории «Защита леса» проекта «Методологические основы оценки лесопатологических рисков в насаждениях юга Средней Сибири» (№ FEFE-2024-0016).

УДК 632.95

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВНУТРИСТВОЛОВЫХ ИНЪЕКЦИЙ С ИНСЕКТИЦИДАМИ В ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ АГРОЛАНДШАФТОВ ИЗ ЯСЕНЯ ПЕНСИЛЬВАНСКОГО

Г.Е. ЛАРИНА, Л.Г. СЕРАЯ

Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Большие Вяземы, Московская область (galina.larina@mail.ru)

ABOUT THE FEEDABILITY OF USING INTRASTEM INJECTIONS WITH INSECTICIDES IN FOREST LANDS OF AGRICULTURAL LANDSCAPES FROM PENNSYLVANIA ASH

G.E. LARINA, L.G. SERAYA

[1] All-Russian Research Institute of Phytopathology, Bolshie Vyazemy, Moscow region (galina.larina@mail.ru)

Природные условия Центрального Нечерноземного региона относятся к бореальной зоне и благоприятны для произрастания лесной растительности. Для данной территории выделяют комплекс дендрофильных насекомых, которые повреждают все органы и ткани деревьев, в т. ч. инвазивных, которые способны к резкому повышению численности, как, например, каштановая минирующая моль или охридский минер (*Cameraria ohridella*) на каштане конском обыкновенном, ясеневая изумрудная узкотелая златка (*Agrilus planipennis*) на ясене пенсильванском и др. [1]. Обилие и периодический подъем численности насекомых-фитофагов в зеленых насаждениях мало зависит от уровня загрязнения среды, но на них существенно влияют условия успешной перезимовки вредителей, обедненный комплекс и низкая численность энтомофагов, часть которых уничтожают при сгребании и уборке опадающей листвы, и др. Значителен вклад и собственно массовых насаждений из ясеня и каштана, что не ограничивает миграционные потоки вредителей с ветром вдоль аллейных и придорожных посадок. Например, анализ пространственно-временного взаимодействия каштана конского обыкновенного и охридского минера, приводящего к расширению границ ареалов их распространения, показал прямую зависимость плотности мин на один лист в нижней и средней части кроны от количества осадков (0.91–0.92) и не установил влияние температуры и относительной влажности воздуха [2, 3]. Стволовое введение фунгицидов против микозов клена и липы показало повышение устойчивости растений к болезням ассимиляционного аппарата, но одновременно и снижение резистентности к листогрызущим вредителям [4]. Изучение концентрации имидаклоприда в разных тканях ясеня показало существенные различия ($P < 0.001$) в концентрации препарата в листьях (выше в 30 раз), побегах и корнях. В образцах внешней коры и флоэмы, собранных пробковым буром на высоте 1 м и 2 м над уровнем земли и в тонких корнях, был определен низкий уровень имидаклоприда. Авторы считают, что транслокация имидаклоприда преимущественно происходит в ксилеме [5]. Анализ профилей остатков инсектицидов в течение года после введения в ствол плодовых деревьев методом инжектирования продемонстрировал активную доставку химических средств защиты по сосудам преимущественно в листву (имидаклоприд до 20 мг/кг, бензоат эмамектин до 0.4 мг/кг) и значительно меньше – в плоды: менее 0.5мг/кг имидаклоприда и 0.02 мг/кг бензоат эмамектина [6].

Главная проблема в стволовом инжектировании инсектицидами – это варьирование эффективности данного приема. В настоящее время мало что известно о причинах изменения эффективности инсектицидов. Выделяют некоторые факторы: экологические условия (география места произрастания, плотность насекомых и посадок и др.), распределение и персистентность активного начала препарата внутри инъецированных деревьев. Поэтому большой интерес представляет вопрос об экологической судьбе остаточных количеств (ОК) препаратов после стволового инжектирования. Работ такого плана крайне мало, в т. ч. по причине сложности контроля активных процессов метаболизма, распределения активного начала в элементах дерева и инструментального экспресс-анализа.

Цель данной работы – изучение персистентности активного начала инсектицидов в растениях ясеня после проведения стволовых инъекций и реакции пигментного комплекса листового аппарата.

Наблюдения проводили в лесных полосах агроландшафтов из ясеня пенсильванского в Липецкой области в период 2020–2021 гг. В опыте изучали влияние двух систем: методов А – Arborjet (http://arborjet.ru/) и Б – Mauget (https://www.mauget.ru/). Применяли инсектициды против широкого спектра вредителей с длительным периодом защиты и действующим веществом (д. в.): 1) абамектин или бензоат эмамектин (патент RU 2 403 704 C2) с доказанной эффективностью при заражении жуком-короедом и/или дереворазрушающими насекомыми; 2) имидаклоприд в качестве инсектицидной композиции (патент US005994331A). Норма применения: 0.08 г д. в./см диаметра ствола на высоте 1.3 м над землей. Повторности – по 3-5 деревьев в каждом варианте, контроль – 10 деревьев.

Погодные условия: среднемноголетняя температура воздуха для вегетационного периода (апрель – октябрь) равна 13.6 °C, сумма осадков – 53.7 мм, по сравнению с разными годами наблюдений 2020–2021–

2022 гг. – 15.1–14.8–15.0 °С и 47–43–54 мм соответственно. Погодные условия отличались засушливостью и высокими рисками формирования очагов массового размножения вредителя.

В растительных образцах (листья и побеги) остаточные количества (ОК) инсектицидов определяли методом QuEChERS с применением ГХ-МС и/или ЖХ-МС/МС после экстракции/разделения ацетонитрилом и очистки с применением дисперсионной ТФЭ (DIN EN 15662:2018). Определено снижение ОК имидаклоприда в растениях по методу А от 0.57 мг/кг до 0.04 мг/кг в течение 2 лет, по методу Б – от 0.09 до 0.02 мг/кг; абамектина по методу А – от 7.07 до 0.03 мг/кг (погрешность измерений 0.005 мг/кг). Значения констант скорости разложения ОК в 1-й год были выше в 2.5–3.7 раза по сравнению со 2-м годом (табл. 1).

Таблица 1. Содержание остаточных количеств активного начала инсектицидов в растительных образцах ясеня после внутристволового инжектирования

Вариант	Препарат, д. в.	K1, сут. $^{-1}$ лето – осень 2020 г.	K2, сут. $^{-1}$ весна – осень 2021 г.	T_{50}, сут. мин.-макс.	T_{90}, сут. мин.-макс.
Метод А	имидаклоприд	0.0098	0.0039	71–179	236–593
	абамектин	0.0195	0.0087	36–80	118–265
Метод Б	имидаклоприд	0.0068	0.0019	103–360	341–1196

Примечание. K1, K2 – константа скорости разложения действующего вещества в растительных образцах, протекающего по экспоненциальному уравнению.

Период полураспада (T_{50}) имидаклоприда был продолжительнее, чем абамектина – 71–360 сут. и 36–80 сут. соответственно, а 90 % разложение (T_{90}) активного начала инсектицида – от 1 до 3 лет с учетом природы действующего вещества и внешних условий.

Для оценки состояния растений через месяц после инжектирования определили качество пигментного комплекса листового аппарата ясеня в разных вариантах опыта. Содержание фотосинтетических пигментов отражает продукционные процессы и реакцию растения на условия произрастания. Инструментально установлено, что диапазон изменчивости признака по хлорофиллу α (верх/середина кроны, мг/г а. с. в.) колеблется от 1.90/2.34 до 2.62/2.45; хлорофилла β – в интервале значений от 0.84/1.51 до 1.29/1.42. В естественных условиях соотношение (α/β) соответствует пропорции 3:1 и наиболее близким было для контрольных деревьев – 2:1; в опытных вариантах оно существенно ниже ($P < 0.001$) и изменяется от 0.21 до 0.26. Определен диапазон значений γ в варианте по методу А, равный 1.76–2.29, по методу Б – 1.74–1.76 по сравнению с контролем, 0.22–0.23. Высокое содержание каротиноидов (γ) свидетельствует о ранних процессах старения листьев в период активной вегетации по причине не только погодных условий, но и, вероятно, стресса от внутристволового инжектирования химическим препаратом (фактор-стресса).

Полученные данные демонстрируют продолжительный эффект по сохранению остаточных количеств абамектина и имидаклоприда в побегах и листве ясеня после проведения внутристволовых инъекций, но прием инжектирования одновременно ускоряет процессы старения растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мозолевская Е.Г.* Этапы развития мониторинга состояния зеленого фонда Москвы // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 1999. № 2. [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/etapy-razvitiya-monitoringa-sostoyaniya-zelenogo-fonda-moskvy (дата обращения: 28.04.2024).
2. *Серая Л.Г., Баранчиков Ю.Н., Ларина Г.Е, Каштанова О.А.* Пространственно-временное взаимодействие *Aesculus hippocastanum* L. и орхидского минера на объектах озеленения. Abstracts of the conference “Plants in the monsoonal climate – IX: Plant systems under the global change”. 26.06.2022 – 01.07.2022, Vladivostok, Russia.
3. *Ларина Г.Е., Серая Л.Г., Каштанова О.А., Дымович А.В., Баранчиков Ю.Н.* Эффективность эндотерапии стволов конского каштана обыкновенного *Aesculus hippocastanum* L. при защите от насекомых-минеров // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О.А. Катаева): Матер. Всеросс. конф. с междунар. участием / под ред. Д.Л. Мусолина и др. СПб., 2020. С. 187–188.
4. *Ярмош В.Г., Звягинцев В.Б.* Отработка методики и оценка эффективности контроля микозов древесных растений методом стволовых инъекций // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. 2023. № 6 (141). С. 62–68.
5. *Mota-Sanchez D., Cregg B.M., McCullough D.G., Poland T.M., Hollingworth R.M.* Distribution of trunk-injected ^{14}C-imidacloprid in ash trees and effects on emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae) adults // J. Crop Protection. V. 28. I. 8. August 2009. Ps. 655–661.
6. *Wise J.C., VanWoerkom A.H., Acimovic S.G., Sundin G.W., Cregg B.M. et al.* Trunk injection: A discriminating delivering system for horticulture crop IPM // Entomol. Ornithol. Herpetol. 2014. 3: 126.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы признательны В.В. Борисову и И.М. Чипиге за помощь в организации полевых исследований.

УДК 574*472:630*181.26:630*271 (571.5)

ПОВЫШЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ МЕТОДАМИ ИНТРОДУКЦИИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В СРЕДНЕЙ СИБИРИ

А.И. ЛОБАНОВ[1], Г.Н. ГОРДЕЕВА[1], Н.А. КОНОВАЛОВА[2], В.В. МУЛЯВА[3], В.Е. МУЛЯВА[3]

[1] Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии, с. Зеленое, Республика Хакасия
[2] Красноярский политехнический техникум, Красноярск
[3] Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

Аннотация. В работе рассмотрено повышение биоразнообразия в природе Средней Сибири методами интродукции древесных растений. На примере двух интродукционных центров, размещенных в Красноярской лесостепи и сухой Абаканской степи Средней Сибири, подведены краткие итоги исследований по оценке биологического разнообразия растений-интродуцентов, перспективных для использования в народном хозяйстве. Отмечены ближайшие задачи исследований и ученые, внесшие существенный вклад в развитие интродукции древесных растений в Средней Сибири.

INCREASING BIODIVERSITY THROUGH TREE INTRODUCTION PLANTS IN CENTRAL SIBERIA

A.I. LOBANOV[1], G.N. GORDEEVA[1], N.A. KONOVALOVA[2], V.V. MULYAVA[3], V.E. MULYAVA[3]

[1] Research Institute of Agrarian Problems of Khakassia, p. Zelenoe, Republic of Khakassia
[2] Krasnoyarsk Polytechnic College, Krasnoyarsk
[3] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk

Abstract. The work examines the increase in biodiversity in the nature of Central Siberia using the methods of introducing woody plants. Using the example of two introduction centers located in the Krasnoyarsk forest-steppe and the dry Abakan steppe of Central Siberia, brief results of research on assessing the biological diversity of introduced plants that are promising for use in the national economy are summarized. The immediate research objectives and scientists who have made a significant contribution to the development of the introduction of woody plants in Central Siberia are noted.

В последние десятилетия человечество осознало катастрофическое антропогенное воздействие на природные экосистемы, приведшее к обеднению растительного покрова планеты. Одной из самых актуальных проблем биологической науки стало сохранение биоразнообразия в природе [13]. Повысить природное биоразнообразие в Средней Сибири успешно удается методами интродукции древесных растений.

Под интродукцией растений рекомендуется понимать целесообразную деятельность человека по введению в культуру в данном естественно-историческом районе растений, ранее здесь не произраставших, а также перенос их в культуру из местной природы [22].

Изучение биоразнообразия интродуцированных растений представляет значительный интерес для расширения генетического потенциала культивируемых видов, поскольку экзоты часто превосходят местные виды по декоративным, биологическим и техническим свойствам [1].

Интродукция древесных растений в Сибири имеет большое значение для лесного хозяйства, защитного лесоразведения, садово-паркового строительства, озеленения, для защиты промышленных предприятий, введения в культуру ценных сырьевых растений (пищевых, лекарственных, пряно-ароматических и др.), повышения уровня использования земельных ресурсов, рекультивации почв, разрушенных вследствие антропогенных воздействий, а также для выполнения культурно-просветительской функции [10]. В сибирских условиях важность этих исследований объясняется еще и тем, что возможности расширения ассортимента видов, пригодных для решения перечисленных задач только за счет местной (сибирской) арборифлоры, чрезвычайно ограниченны [3].

Число местных видов деревьев и кустарников незначительно, например, в Красноярском крае произрастает только 115 видов деревьев и кустарников (19 – деревья, 96 – кустарники) [20]. Многие из них плохо переносят специфические городские или малолесопригодные почвы. В связи с этим для решения задачи по расширению ассортимента растений, пригодных для народного хозяйства, в ряде интродукционных центров Средней Сибири (Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленном подразделении ФИЦ КНЦ СО РАН, НИИ аграрных проблем Хакасии – филиале ФИЦ КНЦ СО РАН) проводятся исследования по интродукции и селекции древесных растений [12, 13, 15, 17, 18, 19, 24]. Важнейшими задачами современной интродукции древесных растений являются: сохранение, пополнение, изучение, комплексное использование фитоколлекционных фондов, имеющихся в большинстве интродукционных центров Средней Сибири, а также надежное сохранение генофонда редких и исчезающих видов растений в условиях культуры [16].

Цель работы – на основе исследований двух центров Средней Сибири (Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, НИИ аграрных проблем Хакасии), занимающихся вопросами интродукции древесных растений, подвести краткие итоги по повышению природного биоразнообразия методами введения в культуру древесных растений.

Анализ опыта интродукции 747 видов древесных растений в основных интродукционных центрах Сибири, проведенной Т.Н. Встовской и И.Ю. Коропачинским [3], показал, что среди самых устойчивых интродуцентов 84 % видов в 92 % случаев имеют ареалы (хотя бы частично) в областях, близких или более холодных по климату, чем пункт испытаний. Из числа наиболее повреждающихся видов (обмерзающих до линии снега и ниже) 74 % видов в 81 % случаев растут только в более теплых областях. Исходя из этого исследователями было сделано очень важное заключение, что наиболее перспективными для испытания в Южной Сибири являются виды древесных растений, успешно произрастающие (естественно или искусственно) в областях более холодных и близких по климату к пункту интродукции и с экологическими требованиями, соответствующими новым условиям выращивания. На этом основании вслед за Т.Н. Встовской и И.Ю. Коропачинским [3] мы считаем целесообразным использовать для подбора видов в первичное испытание в условиях Средней Сибири «метод сравнения климатипов», основанный на теории климатических аналогов Х. Майра [28, 29] и идее «выносливости» видов Р.Д.О. Гуда [27].

К разработке вопросов введения новых для Средней Сибири видов древесных растений Институт леса и древесины СО АН СССР (ныне Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН) приступил по инициативе д. б. н., проф. Л.Ф. Правдина, заложив в начале 60-х годов прошлого столетия первый дендрарий на территории экспериментального хозяйства «Погорельский бор», находящегося в 28 км к северу от г. Красноярска. Здесь прошли испытание 408 видов древесных растений из разных ботанико-географических областей [24]. Второй дендрарий Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН был заложен в Красноярском Академгородке в 1977 г. по инициативе и под руководством академика РАН И.Ю. Коропачинского. Основную работу по закладке дендрария осуществлял Р.И. Лоскутов. К 1991 г. коллекция этого дендрария насчитывала 406 видов, разновидностей и форм древесных растений [18]. В настоящее время дендрологическая коллекция Института леса им. В.Н. Сукачева насчитывает 391 вид и 40 разновидностей и форм древесных растений, относящихся к 41 семейству из разных ботанико-географических областей. Представители 220 таксонов находятся во взрослом состоянии, из них у 182 наблюдается плодоношение. В дендрарии Академгородка представлено 186 видов, в экспериментальном хозяйстве института «Погорельский бор» – 115 видов, в посевном отделении произрастают сеянцы 220 видов деревьев, кустарников и лиан [19, 25]. На этих же объектах исследований был составлен Атлас-определитель фенологических фаз растений [6] и разработан базовый ассортимент рекомендуемых для озеленения Красноярска деревьев и кустарников, включающий около 250 видов [11].

Ботанический сад НИИ аграрных проблем Хакасии был заложен в 1948 г. в с. Зеленом Усть-Абаканского района на темно-каштановой почве по инициативе П.Ф. Фомина [26], который начал планомерную работу по интродукции древесных и кустарниковых пород. Важные результаты многолетних наблюдений за ростом и развитием интродуцированных деревьев и кустарников из различных флористических областей Земли (Сибирь, Дальний Восток, Средняя и Восточная Азия, Северная Америка, Европа) были обобщены Н.И. Лиховид [12] в двух частях. Несколько позднее Н.И. Лиховид [13] для аридных условий Республики Хакасия обобщила многолетний опыт интродукции древесных растений, относящихся к 805 видам, формам и сортам, 123 родам и 49 семействам, а также провела комплексную оценку перспективности интродуцентов. На базе исследований, проведенных в ботаническом саду НИИ аграрных проблем Хакасии и Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, были разработаны методы изучения естественного возобновления древесных растений в интродукционных популяциях [14], оценена продолжительность жизни растений-интродуцентов и их зимостойкость [5], составлены список интродуцированных видов растений, перспективных для юга Средней Сибири [2, 4], и каталог растений ботанического сада НИИ аграрных проблем Хакасии [7]. Фундаментальные исследования по сохранению биоразнообразия в сухой степи позволили разработать концепцию и прогноз сохранения биоразнообразия [8, 23]. В 2019 г. разработана методология сохранения биоразнообразия на юге Средней Сибири [20], в которую привлечены основные методики, необходимые для испытания и дальнейшего изучения растений.

Следует отметить, что значительный вклад в изучение введенных в культуру новых видов деревьев и кустарников в Средней Сибири внесли ученые разных научно-исследовательских учреждений и университетов: Н.П. Братилова, О.Ф. Буторова, Г.Н. Гордеева, Т.Д. Дускабилов, Т.И. Дускабилова, Е.М. Иншаков, М.А. Кириенко, И.Я. Китаева, Ю.В. Кладько, И.Ю. Коропачинский, В.М. Крутовский, Н.И. Лиховид, А.И. Лобанов, Р.И. Лоскутов, М.А. Мартынова, Р.Н. Матвеева, В.А. Молоков, В. Е. Наумова, В. Н. Невзоров, О.П. Олисова, В.Я. Поляков, Н.П. Погосова, Е.Н. Протопопова, М.В. Репях, А.Б. Романова, М.И. Седаева, Л.Н. Сунцова, Е.А. Усова, П.Ф. Фомин, К.В. Шестак, В.Е. Шмидт и другие.

В заключение стоит отметить, что несмотря на существенные достижения в исследованиях по интродукции древесных растений в Средней Сибири современная наука пока еще не разработала целостного представления о механизмах адаптации растений-интродуцентов к новым условиям произрастания. Для этого в ближайшее время и на отдаленную перспективу необходимо проводить комплексные междисциплинарные исследования, направленные на изучение и введение в культуру ценных и устойчивых в сложных климатических условиях внутривидовых форм растений, имеющихся в различных отечественных и зарубежных интродукционных центрах. Другие важные задачи комплексных междисциплинарных исследований для интродукционных центров Сибири и Монголии были сформулированы ранее [9, 16].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Буторова О.Ф., Коробкина Ю.А.* Изучение индивидуальной изменчивости интродуцированных растений – основа отбора ценных экземпляров // Агроэкология и устойчивое развитие регионов: Матер. II Всеросс. науч. конф. студ. и молодых ученых. Красноярск: КрасГАУ, 2000. Ч. 2. С. 7–8.
2. Введение в культуру интродуцированных перспективных видов растений для южных районов Средней Сибири: методические рекомендации / Н.И. Лиховид, Л.П. Кравцова, Г.Н. Гордеева, М.А. Мартынова. Абакан: НИИАП Хакасии, 2003. 23 с.
3. *Встовская Т.Н., Коропачинский И.Ю.* Древесные растения Центрального ботанического сада. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005. 235 с.
4. *Гордеева Г.Н.* Успешность интродукции редких растений в дендрарии Хакасии // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 3. С. 24–36. DOI: 10.37482/0536-1036- 2021-3-24-36.
5. *Гордеева Г.Н., Лобанов А.И.* Продолжительность жизненного цикла и зимостойкость древесных интродуцентов в сухостепной зоне Хакасии // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 3. С. 73–90. DOI: 10.37482/0536-1036-2022-3-73-90.
6. *Елагин И.Н., Лобанов А.И.* Атлас-определитель фенологических фаз растений. М.: Наука, 1979. 95 с.
7. Каталог растений ботанического сада / Г.Н. Гордеева, М.К. Воронина, Т.Д. Дускабилов, Т.И. Дускабилова, Л.П. Кравцова, Н.И. Лиховид, М.А. Мартынова, В.Н. Кудашов. Абакан: ООО «Фирма «Март», 2008. 101 с.
8. Концепция сохранения биоразнообразия растений в засушливых условиях юга Средней Сибири // РАСХН, СО, ГНУ НИИ АПХ / сост. Г.Н. Гордеева, М.К. Воронина, Т.Д. Дускабилов, Т.И. Дускабилова, Л.П. Кравцова, Н.И. Лиховид, М.А. Мартынова. Абакан: ООО «Фирма «Март», 2006. 8 с.
9. *Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н., Томошевич М.А.* Очередные задачи интродукции растений в Азиатской России // Сиб. экол. журн. 2011. № 2. С. 147–169.
10. *Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н., Томошевич М.А.* Современные проблемы интродукции древесных растений в Сибири. Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2013. 91 с.
11. *Коропачинский И.Ю., Лоскутов Р.И.* Древесные растения для озеленения Красноярска. Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2014. 320 с.
12. *Лиховид Н.И.* Интродукция деревьев и кустарников в Хакасии. Новосибирск, 1994. Ч. 1. 348 с.; Ч. 2. 332 с.
13. *Лиховид Н.И.* Интродукция древесных растений в аридных условиях юга Средней Сибири. Абакан: ООО «Фирма «Март», 2007. 288 с.
14. *Лобанов А.И., Гордеева Г.Н.* Методы изучения естественного возобновления древесных растений в интродукционных популяциях // Сохранение биологического разнообразия растений в аридной зоне: Матер. науч. конф., посв. 90-летию со дня рожд. Н. И. Лиховид, 17 мая 2016 г., Респ. Хакасия, г. Абакан. Абакан: ООО «Кооператив «Журналист», 2016. С. 18–29.
15. *Лобанов А.И., Кириенко М.А.* Видовое разнообразие деревьев и кустарников, адаптированных к условиям Ширинской степи Республики Хакасия // Степи Северной Евразии: Матер. VI междунар. симпозиума. Оренбург, 2012. С. 452–455.
16. *Лобанов А.И., Коновалова Н.А., Тушигмаа Ж.* Развитие научных исследований по интродукции древесных растений в Южной Сибири и Монголии // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Сб. ст. по матер. XIX междунар. науч.-практ. конф., 1–4 июня 2020 г., г. Барнаул. Барнаул, 2020. Т. 19. № 1. С. 280–285. DOI: 10.14258/pbssm.2020055.
17. *Лобанов А И., Мулява В.Е., Мулява В.В., Коновалова Н.А.* Древесные растения – на службе улучшения окружающей среды промышленных предприятий // Высшая школа: научные исследования: Матер. Межвузовского междунар. конгресса, Москва, 24 июня 2021 г. М.: Изд-во «Инфинити», 2021. Т. 2. С. 7–15. DOI: 10.34660/INF.2021.27.27.020.
18. *Лоскутов Р.И.* Интродукция декоративных древесных растений в южной части Средней Сибири. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1991. 189 с.
19. *Лоскутов Р.И., Седаева М.И.* Краткая характеристика дендрологической коллекции Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН // Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика: Матер. Всеросс. науч. конф. с междунар. участием, посв. 70-летию создания Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 16–19 сентября 2014 г., г. Красноярск. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. С. 86–89.
20. Методология сохранения биологического разнообразия растений в аридных условиях юга Средней Сибири / Г.Н. Гордеева, Л.П. Кравцова, М.А. Мартынова**.** Абакан: Изд-во Хак. гос. ун-та им. им. Н.Ф. Катанова, 2019. 64 с.
21. *Милютин Л.И.* Биоразнообразие лесообразующих видов древесных растений в Красноярском крае // Биоразнообразие и редкие виды растений Средней Сибири: Тез. докл. конф., посв. 70-летию образования госзаповедника «Столбы». Красноярск, 1995. С. 62–64.
22. Понятия, термины, методы и оценки результатов работы по интродукции растений. М.: Совет ботанических садов СССР, 1971. 30 с.
23. Прогноз сохранения биологического разнообразия растений при интродукции в аридной зоне юга Средней Сибири / Н.И. Лиховид, Г.Н. Гордеева, Л.П. Кравцова, М.А. Мартынова, Т.Д. Дускабилов, Т.И. Дускабилова. Абакан: ООО «Кооператив «Журналист», 2010. 14 с.
24. *Протопопова Е. Н.* Новые древесные породы Сибири. М.: Наука, 1966. 104 с.
25. *Седаева М.И.* Интродукция древесных растений в дендрарии экспериментальной базы Института леса СО РАН «Погорельский бор» // Роль ботанических садов в сохранении биоразнообразия растительного мира Азиатской России: настоящее и будущее: Матер. Всеросс. конф., посв. 60-летию ЦСБС. Новосибирск, 2006. С. 256–258.
26. *Фомин П.Ф.* Некоторые особенности интродукции древесно-кустарниковых пород в степной зоне Хакасско-Минусинской впадины // Матер. II науч.-произв. конф. по рационализации лесного хозяйства Сибири, 12–15 сентября 1957 г., г. Новосибирск. Новосибирск, 1958. С. 339–342.
27. *Good R.D.O.* A theory of plant geography // New Phytol. 1931. V. 30. N 3. P. 149–771.
28. *Mayr H.* Die Waldungen von Nord America. München, 1890. 104 s.
29. *Mayr H.* Waldungen auf naturgeschichticher Grundlage. Berlin, 1909. 568 s.

УДК 630*181.351:630*266:581*5 (571.5)

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ НА ЮГЕ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

А.И. ЛОБАНОВ[1], Е.Я. ЧЕБОЧАКОВ[1], Л.П. КРАВЦОВА[1], Н.А. КОНОВАЛОВА[2], В.В. МУЛЯВА[3], В.Е. МУЛЯВА[3]

[1] Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии, с. Зеленое, Республика Хакасия
[2] Красноярский политехнический техникум, Красноярск
[3] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

Аннотация. Истекло 70 лет после начала освоения целинных и залежных земель на юге Средней Сибири. Освоение новых земель на площади 1688 тыс. га привело не только к кратковременному повышению урожайности зерновых сельскохозяйственных культур, но и к долговременным отрицательным последствиям (катастрофическое усиление дефляции и опустынивания), для борьбы с которыми использовали защитное лесоразведение. Оценена положительная противодефляционная, средообразующая, снегораспределительная и мелиоративная роль полезащитных лесных полос.

AGROECOLOGICAL ASPECTS OF PROTECTIVE FORESTRY IN THE SOUTH OF MIDDLE CENTRAL SIBERIA

A.I. LOBANOV[1], E.YA. CHEBOCHAKOV[1], L.P. KRAVTSOVA[1], N.A. KONOVALOVA[2], V.V. MULYAVA[3], V.E. MULYAVA[3]

[1] Research Institute of Agrarian Problems of Khakassia, p. Zelenoe, Republic of Khakassia
[2] Krasnoyarsk Polytechnic College, Krasnoyarsk
[3] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk

Abstract. 70 years have passed since the beginning of the development of virgin and fallow lands in the south of Central Siberia. The development of new lands on an area of 1688 thousand hectares led not only to a short-term increase in the yield of grain agricultural crops, but also to long-term negative consequences (a catastrophic increase in deflation and desertification), to combat which protective afforestation was used. The positive anti-deflation, environment-forming, snow distribution and reclamation role of shelterbelt forest belts is assessed.

В марте 2024 г. исполнилось 70 лет с момента принятия Советом Министров СССР исторического решения об освоении целинных и залежных земель в Сибири и Казахстане. В результате массового освоения целинных и залежных земель в 1954–1962 гг. на юге Средней Сибири было распахано 1688 тыс. га земель, в том числе в Республике Тыва – 454 тыс. га, в Республике Хакасия – 525 и на юге Красноярского края – 709 тыс. га [11], которые ранее использовались в качестве сенокосов и пастбищ. Широкомасштабные работы, связанные с распашкой новых земель, вскоре привели к сильной их антропогенной деградации и опустыниванию. Общая площадь сельскохозяйственных угодий, подверженных опустыниванию, по данным В.С. Панова [10], составляла в 1998 г. на юге Средней Сибири 3345.5 тыс. га (45 % от общего их наличия), в том числе в Тыве – 1716.9 тыс. га (44 %), в Хакасии – 943.7 (54 %) и на юге Красноярского края – 684.9 тыс. га (31 %). Опустыниванию в сильной степени подвержено по регионам 51–59 % этих площадей. Площадь потенциального опустынивания (дефляционно- и эрозионноопасных земель) составляла по субрегиону 4173.4 тыс. га, в том числе по Тыве – 1943.9, Хакасии – 1380.5 и югу края – 849.0 тыс. га.

Полезащитные лесные полосы (ПЗЛП) как модели адаптивно-ландшафтного обустройства территорий – одно из важных наиболее экономичных и экологических средств борьбы с неблагоприятными природными и антропогенными факторами [2]. Полученных знаний об агроэкологической роли ПЗЛП еще недостаточно [3, 6].

Цель работы – оценка противодефляционной, средообразующей и мелиоративной роли ПЗЛП на юге Средней Сибири.

В качестве объектов исследований служили лиственничные и тополевые ПЗЛП, произрастающие на черноземах ООО «Форпост-Агро» Ширинского сортоиспытательного участка Республики Хакасия, ООО «Енисейское» и «Тагарское» на юге Красноярского края.

Всего на юге Средней Сибири было создано около 28 тыс. га ПЗЛП разного породного состава [8]. Противодефляционная роль ПЗЛП разных конструктивных особенностей с участием в составе насаждений тополей разных видов хорошо рассмотрена Т.И. Алифановой [1] на примере ООО «Тагарское» на юге Минусинской котловины. Ею было установлено, что в ПЗЛП плотной конструкции продольная ось вала мелкозема размещалась ближе к заветренной опушке. Оседание мелкозема начиналось на расстоянии менее 1 высоты лесополосы от наветренной опушки и заканчивалось на расстоянии 1–3 высоты лесополосы в заветренную сторону. В ажурных ПЗЛП вал мелкозема смещался в заветренную сторону. Выпадение мелкозема и пыли начиналось на расстоянии 1–2 высоты лесополосы от наветренной опушки, а прекращалось на расстоянии 5–8 высот лесополосы от заветренной опушки. В продуваемых ПЗЛП

мелкозем выносился в основном за пределы лесополосы на расстоянии 5–10 высот лесополосы в заветренную сторону. Зависимость величины наносов в ПЗЛП от их конструктивных особенностей определялась следующими показателями: в плотных насаждениях навеивалось от 25 до 100 т, в ажурных – от 15 до 50 т и в продуваемых – от 10 до 40 т мелкозема на погонный метр лесополосы.

Впервые средообразующие свойства лиственничных ПЗЛП Ширинской степи Северной Хакасии были рассмотрены А.И. Лобановым [4]. Им показано, что ветроломная роль лесополос разных конструкций в скорости ветра проявляется на расстоянии 20–25 высот лесополос в заветренную сторону. С изменением скорости ветра под защитой полос температура приземных слоев воздуха изменяется в течение всего года. Эффективность влияния их на температуру воздуха зависит от ветропроницаемости и густоты насаждений.

Загущенные лиственничные лесные полосы оказывали охлаждающее действие на воздух в приземном слое в утренние и вечерние часы. В 8 часов утра на расстоянии 2.5 и 5 Н (Н – высота лесополосы) воздух был холоднее, чем на контроле (середина поля), соответственно на 3.5 и 2.5°. Далее к середине поля наблюдалось нагревание воздуха, и разница с контролем в температуре приземного слоя воздуха не превышала 1.1°. В вечернее время (22 часа) с удалением от лесополосы наблюдалось меньшее охлаждение воздуха, чем утром. В дневные часы при сравнительно высокой температуре воздуха под влиянием полос происходило повышение температуры в приземном слое воздуха. Действие загущенных ажурно-продуваемых лесополос на температуру воздуха распространялось на расстояние 20 Н.

Редкие лиственничные лесные полосы в утренние и вечерние часы оказывали отепляющее влияние на прилегающие поля, а в дневное – охлаждающее. Температура воздуха на защищенных полях была на 2–3° ниже днем и выше ночью. Снижение температуры воздуха днем происходило за счет расхода тепла на испарение растениями. Дальность влияния на температуру приземного слоя воздуха редких ПЗЛП повышенно-продуваемой конструкции составляла примерно ту же величину – 20 Н.

Оценка защитного влияния полога лесополос на процесс расходования влаги из почвы представляет в засушливой зоне наибольший интерес. Наблюдения с 16 по 27 июля 1985 г. показали, что в сухую жаркую погоду влияние лиственничной ПЗЛП повышенно-продуваемой конструкции на уменьшение испарения влаги с поверхности почвы возрастало. По сравнению с открытой степью внутри лесополосы влаги испарилось меньше на 31.1 %, на расстояниях от полосы 5, 10 и 20 Н – соответственно меньше на 8.2, 7.1 и 1.1 %. Дальность влияния ПЗЛП на испарение с поверхности почвы в основном соответствовала дальности их влияния на скорость ветра.

Снегораспределительные свойства ПЗЛП оказывают существенное влияние на запасы доступной влаги в почве. Они были нами хорошо изучены на базе молодых 6- и 14-летних лиственничных ПЗЛП плотной и диагонально-крупносетчатой конструкций, произрастающих на пахотных землях ООО «Форпост-Агро» Ширинского района Республики Хакасия. Лесополосы плотной конструкции в 6- и 14-летнем возрасте достигали соответственно средней высоты 3.6 и 5.6 м, вторые – соответственно 3.9 и 5.4 м [5].

Снегомерные съемки были проведены в период начала снеготаяния в среднеснежную (1992/1993 гг.) и многоснежную (2000/2001 гг.) зимы. Суммарная протяженность снежных шлейфов в среднеснежную зиму в зоне влияния лесной полосы диагонально-крупносетчатой конструкции за счет хорошей ветропроницаемости составила 63 м, или 18 Н, что почти в 2 раза больше протяженности снежных шлейфов за лесной полосой такого же возраста плотной конструкции. При этом максимальные высоты снежного сугроба не имели больших различий, достигая 60–70 см. Суммарная протяженность снежных шлейфов в многоснежную зиму в зоне влияния полосы диагонально-крупносетчатой конструкции составила 178 м, или 28 Н, что почти в 2.5 раза больше протяженности на этот период снежных шлейфов за лесной полосой плотной конструкции. При этом максимальная высота снежного сугроба за первой и второй лесными полосами с заветренной стороны соответственно составляла 138 и 101 см. Снегораспределительные свойства ПЗЛП диагонально-крупносетчатой конструкции, выращиваемых без проведения лесоводственных уходов, по меньшей мере не ниже, чем у лесных полос такого же возраста ажурно-продуваемой конструкции, сформированной рубками ухода [7, 9].

В малоснежную зиму 2020/2021 гг. в 54-летней лиственничной ПЗЛП ажурно-продуваемой конструкции из-за усиленного ветрового режима снег из внутренней площади лесополосы по состоянию на 07.02.2021 практически полностью выдувался и распределялся относительно равномерно высотой 15–20 см, задерживаясь в стерне лишь на прилегающем поле с заветренной стороны от насаждения (рис. 1).

Снегораспределительные свойства чистых по составу тополевых лесных полос в 20-летнем возрасте нами были хорошо изучены в ООО «Енисейское» в Минусинской степи в относительно снежную зиму 1987/1988 гг. по агрофону стерни. Средняя высота лесополос плотной конструкции составляла 5.0 м, ажурной – 5.3 м, диагонально-крупносетчатой – 5.9 м. Высота снежного покрова в изученных лесополосах и на прилегающих полях показана в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что лучшими снегораспределительными свойствами обладают ПЗЛП диагонально-крупносетчатой конструкции, относительно равномерно распределяя снег на прилегающих полях на расстоянии 60 м в заветренную сторону.

Установлено, что лиственничные полезащитные лесные полосы ажурно-продуваемой и повышенно-продуваемой конструкций в возрасте от 16 до 49 лет обладают хорошими мелиоративными свойствами. За счет

улучшения микроклимата на прилегающих полях они благоприятно воздействуют на посевы яровой пшеницы разных сортов, давая прибавку урожая от 2.2 до 6.6 ц/га, или от 14.7 до 30.7 % (табл. 2).


а

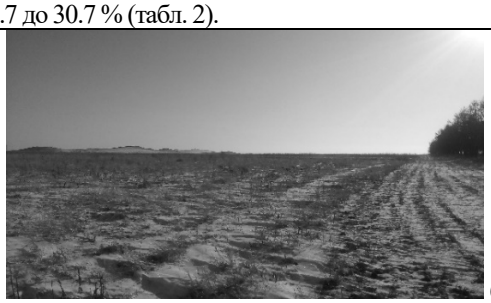

б

Рис. 1. Распределение снежного покрова внутри лесополосы ажурно-продуваемой конструкции (а) и на прилегающем к ней полю с заветренной ее стороны (б). Фото А. Бородыни

Таблица 1. Высота снежного покрова (см) в тополевых ПЗЛП разных конструкций и на различном расстоянии от них в заветренную сторону

Конструкция полосы	Центр ПЗЛП	Расстояние от лесополосы, м						
		5	10	20	30	40	50	60
Плотная	50	65	40	25	15	15	15	15
Ажурная	38	43	39	27	15	15	15	15
Диаг.-крупнос.	26	50	49	40	27	25	20	15

Таблица 2. Урожай яровой пшеницы разных сортов под воздействием лиственничных ПЗЛП ООО «Форпост-Агро» и Ширинского сортоиспытательного участка Республики Хакасия

Конструкция лесополосы	Возраст, лет	Сорт пшеницы	Средневзв. урожай в зоне 5–30 Н, ц/га	Урожай в открытом поле, ц/га	Прибавка урожая	
					ц/га	%
Повышенно-продуваемая	21	Саратовская 29	16.7	15.0	2.2	14.7
Ажурно-продуваемая	16	Новосибирская 67	19.6	15.0	4.6	30.7
Ажурно-продуваемая	49	Кантегирская 89	34.2	27.6	6.6	23.9

В заключение отметим, что агроэкологическая роль ПЗЛП многофункциональна, а полученные знания об их роли будут способствовать экономическому росту, повышению продовольственной безопасности и снижению экологической напряженности в связи с дальнейшим расширением работ по агролесомелиорации и защитному лесоразведению на юге Средней Сибири.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алифанова Т.И.* Полезащитные лесные полосы Минусинской степи. Новосибирск: Наука, 1976. 96 с.
2. *Кулик К.Н., Мартынюк А.А.* О мерах по совершенствованию государственной политики в сферах лесного хозяйства и лесозащитного лесоразведения // Аналитический вестник. 2020. № 12 (755). С. 24–30.
3. *Лиховид Н.И.* Экологическая роль лесных полос в степных районах Хакасии // Экологические проблемы Саянского территориально-производственного комплекса: Тез. докл. науч.-практ. конф. Абакан, 1988. С. 53–55.
4. *Лобанов А.И.* Средообразующие и мелиоративные свойства полезащитных лиственничных насаждений Северной Хакасии // Современные вопросы полезащитного лесоразведения. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1988. Вып. 3 (95). С. 149–157.
5. *Лобанов А.И.* Опыт выращивания лесных полос диагонально-крупносетчатой конструкции // Выращивание лесных полос в степях Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. С. 64–71.
6. *Лобанов А.И.* Агроэкологический эффект полезащитных лесных полос в Ширинской степи // Химико-лесной комплекс – проблемы и решения: Матер. Всеросс. науч.-практ. конф., 11–12 апреля 2002 г., Красноярск. Красноярск: СибГТУ, 2003. Т. 1. С. 260–265.
7. *Лобанов А.И., Коновалов А.Н.* Влияние лесных полос на снегоотложение и урожай сельскохозяйственных культур в степной зоне Сибири // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1991. С. 177–179.
8. *Лобанов А.И., Мулява В.Е.* Актуальные вопросы защитного лесоразведения на юге Средней Сибири // Столяровские чтения: Сб. матер. науч.-практ. конф., 5 октября 2023 г., С.-Петербург. СПб.: СПбНИИЛХ, 2023. С. 36–38. DOI: 10.21178/05102023.36.
9. *Лобанов А.И., Невзоров В.Н., Ковылин Н.В., Ковылина О.П.* Пути повышения устойчивости и долговечности полезащитных лесных полос в аридной зоне Сибири // Ресурсы регионов России. 2002. № 2. С. 20–28.
10. *Панов В.С.* Социально-экономические условия жизни населения в районах развития опустынивания на юге Средней Сибири // Защитное лесоразведение в аридной зоне. Абакан, 2003. С. 197–220.
11. *Савостьянов В.К.* Освоение целинных и залежных земель в Восточной Сибири // Совершенствование ведения сельскохозяйственного производства на опустыненных землях аридной зоны. Абакан: ООО «Фирма Март», 2010. С. 7–15.

УДК 544-971:674.02

О ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДРЕВЕСИНЫ С НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

С.Р. ЛОСКУТОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (lsr@ksc.kras.ru)

Аннотация. Рассматривается новый термодинамический аспект взаимодействия древесины с органическими жидкостями как ядро концепции взаимодействия древесины с физически активными низкомолекулярными веществами (ФАВ).

ON A THERMODYNAMIC CONCEPT OF WOOD LOW MOLECULAR WEIGHT SUBSTANCES RELATIONS

S.R. LOSKUTOV

V.N. Sukachev Institute of Forestry SB RAS, Krasnoyarsk (lsr@ksc.kras.ru)

Abstract. A new thermodynamic aspect of the wood interaction with organic liquids is considered as the core of the concept of the wood physically active low molecular weight substances relations.

В создании перспективных технологий древесины большое внимание уделяется экологически чистым процессам с использованием малотоксичных соединений. Наиболее общим подходом в развитии теории как основы подобных процессов (технологий) является термодинамический. Впервые предложенное автором фундаментальное термодинамическое уравнение (на основе теории фазовых равновесий с искривленными поверхностями разрыва фаз А.И. Русанова [1]) и многочисленные его следствия являются базовыми в термодинамической теории взаимодействия древесины с низкомолекулярными органическими жидкостями различного термодинамического качества (по параметру растворимости Хансена [2]):

$$\Delta H_w = \Delta H_{H\text{-}net}\rho_1(u)\cdot(1-\xi_1) + \Delta H_s\cdot[1-\rho_2(u)]\xi_2 + \Delta H_1 + \Delta H_2$$

Существенной новизной этого уравнения, отличающей его от подобных соотношений, используемых при исследовании энергетики взаимодействия древесины с ФАВ, является введение функций ρ_i и параметров ξ_i. Это значительно расширяет аналитические возможности данных о калориметрии изучаемой системы и создает основу для моделирования процессов, происходящих в матрице древесного вещества при воздействии на древесину ФАВ различной природы. Насколько автору известно, такой подход к решению задач физико-химии системы древесина – H_2O – ФАВ осуществлен впервые. В уравнении ΔH_w – это тепловой эффект контактирования (смачивания) влажной древесины с ФАВ при изотермо-изобарических условиях. Физический смысл и пределы изменения значений функций ΔH_i, $\rho_i(u)$, ξ_i описаны в [2]. Термодинамическая теория «настроена» на модель строения древесинного вещества, разработанную школой проф. П.П. Эриньша (Латвийский государственный институт химии древесины) [3].

Развитие этого термодинамического подхода связано с необходимостью прогнозировать влияние природы ФАВ на комплекс физико-химических показателей системы древесина – ФАВ и/или обеспечивать требуемое состояние матрицы древесинного вещества для тех или иных технологий древесины.

На рис. 1 показаны ряд установленных связей между физико-химическими показателями ФАВ и изменением физического состояния древесинного вещества в рамках предлагаемой концепции [4, 5]. Обсуждаемая концепция апробировалась в исследованиях воздействия поллютантов на древесину растущих деревьев, а также исследовании химического состава по важнейшим технологическим компонентам древесины лиственницы.

Совместно с сотрудниками Института древесиноведения Цюрихского университета показана возможность дифференциации древесины, сформированной в естественно-природных условиях (I), под действием антропогенной нагрузки (II) и после ее снятия (III) по интегральной теплоте смачивания в апротонном растворителе (табл. 1).

Для практического использования предлагается экспрессная методика определения целлюлозы, лигнина и экстрактивных веществ по энтальпии смачивания древесины в растворителях с подходящим δ_h.

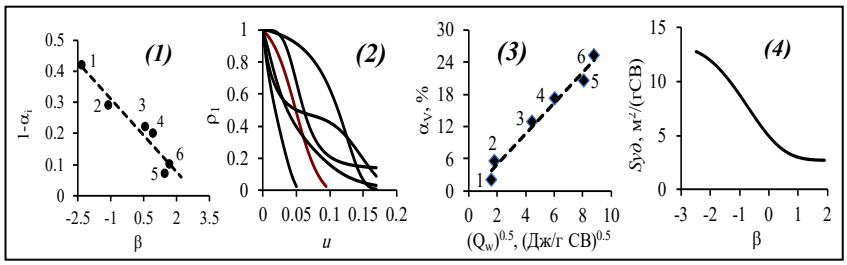


Рис. 1. Некоторые связи показателей взаимодействия древесины с ФАВ разного термодинамического качества

1) Влияние физико-химических свойств некоторых ФАВ на степень деградации Н-сетки матрицы древесинного вещества. 1 – диметилсульфоксид; 2 – N,N-диметилформамид; 3 – этиленгликоль; 4 – метилцеллозольв; 5 – 1-пропанол; 6 – *трет*-бутанол. Уравнение регрессии: $Y = 0.233 - 0.078 \cdot X$; $r^2 = 0.982$. СВ – сухое вещество древесины. $\alpha_1(u)$– равновесная плотность сетки водородных связей в матрице древесинного вещества при водосодержании u; $\beta = \ln[kc_pT(\delta_h/\sigma)^3]$ – «обобщенная» характеристика физико-химических свойств ФАВ, предложенная автором. Здесь k – параметр молекулярной упаковки ФАВ, c_p – удельная теплоемкость, T – температура (К), δ_h – компонента параметра растворимости Хансена, характеризующая образование водородной связи, σ – поверхностное натяжение.

(2) Некоторые генерации $\rho_1(u)$ для оценки параметра ξ_2 и функции $\rho_2(u)_{ФАВ}$. u – влагосодержание древесины, $\rho_2(u)$ – степень экранирования активных центров (функциональных групп) древесинного вещества молекулами воды ($\rho_2(u)$ – безразмерная величина; $0 < \rho_2 < 1$); ξ_2 – внутренний параметр лигноуглеводной матрицы, характеризующий степень сольватации компонентов древесинного вещества молекулами ФАВ (ξ_2 – безразмерная величина; $0 < \xi_2 < 1$);

(3) Связь теплоты смачивания древесины Q_w (= $-\Delta H_w$, см. выше) с коэффициентом объемного разбухания α_V древесины в различных ФАВ (с разными значениями β). 1 – *трет*-бутанол, 2 – пропанол, 3 – этанол, 4 – метилцеллозольв, 5 – N,N-диметилформамид, 6 – диметилсульфоксид;

(4) Зависимость внутренней удельной поверхности древесины $S_{y\sigma}$ от β ФАВ

Таблица 1. Оценка расхождений в величинах Q_{int} по критерию Манна – Уитни

Пробные площади вблизи населенных пунктов Швейцарии и древесные виды	Сравниваемые зоны		
	(I)–(II)	(I)–(III)	(II)–(III)
Сиерре, городок в кантоне Вале (*Pinus sylvestris*)	+	+	+
Мург, поселок на берегу Валенского озера (*Picea abies*)	+	+	–
Галлен, столица кантона Санкт-Галлен (*Picea abies*)	+	+	–

Примечание. + – различие статистически достоверно.

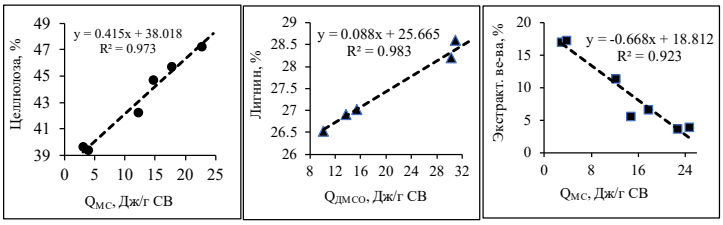


Рис. 2. Корреляции содержания целлюлозы, лигнина и экстрактивных веществ в древесине лиственницы из различных ботанико-географических регионов с интегральной теплотой смачивания в ФАВ неодинакового термодинамического качества

Резюмируя изложенное, отметим, что термодинамический подход к анализу состояния системы древесина – вода – ФАВ является ядром *количественной концепции* взаимодействия древесины с низкомолекулярными физически активными веществами, разрабатываемой автором. Установленные корреляции позволяют осуществлять «моделирование» ряда свойств продуктов переработки древесины с участием ФАВ – органических жидкостей (их паров), принадлежащих к различных гомологическим рядам. Усовершенствование (развитие) концепции, как уже отмечалось, диктуется, в конечном счете, необходимостью более эффективного использования древесного сырья, с одной стороны, и созданием экологически безопасных технологий биомассы дерева – с другой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фазовые равновесия и поверхностные явления / А.И. Русанов Л.: Изд-во «Химия», 1987. 388 с.
2. *Loskutov S.R.* Effect of organic solvent on wood substance matrix hydrogen bond structure // Holzforschung. 1997. 5. P. 69–371.
3. *Erins P., Cinite V., Gravitis J.* Wood as a multicomponent, crosslinked polymersystem // Appl. Polym. Symp. 1976. N 26. P. 1117–1138.
4. *Loskutov S.R., Aniskina A.A.* Swelling of larch wood in organic liquids // Holzforshung. 2008. 62. P. 357–361.
5. *Лоскутов С.Р., Анискина А.А., Шапченкова О.А.* Микрокалориметрия энтальпии смачивания древесины лиственницы в диметилсульфоксиде и метилцеллозольве: определение содержания целлюлозы, лигнина и экстрактивных веществ // Химия растительного сырья. 2015. № 4. С. 23–29.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках государственного задания FWES-2024-0028.

УДК 544.3.03+691.11

ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХВОИ *PICEA OBOVATA* LEDEB. РАЗЛИЧНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ

С.Р. ЛОСКУТОВ, Л.К. КАЗАРЯН, Г.В. ПЕРМЯКОВА, А.В. ПИМЕНОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (lsr@ksc.kras.ru)

Аннотация. Рассмотрен метод индикации различий хвои ели из разных популяций по термическим параметрам термогравиметрических тестов.

THERMOGRAVIMETRIC INDICATION OF VARIABILITY IN PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF *PICEA OBOVATA* LEDEB. NEEDLES FROM VARIOUS POPULATIONS

S.R. LOSKUTOV, L.K. KAZARYAN, G.V. PERMYAKOVA, A.V. PIMENOV

V.N. Sukachev Institute of Forestry SB RAS, Krasnoyarsk (lsr@ksc.kras.ru)

Abstract. A method for indicating differences in spruce needles from various populations by thermal parameters of thermogravimetric tests is considered.

В исследовании [1] отмечается, что «ель сибирская характеризуется довольно высокой изменчивостью». Исследовались разные аспекты изменчивости ели, среди которых морфологическая, химическая и генетическая являются основными. В настоящем сообщении рассматривается новый вариант анализа химической изменчивости, отличающийся от весьма распространенного, – изучение вариаций химического состава вторичных метаболитов [2]. Цель нашего исследования – установить наличие или отсутствие вариации ряда физико-химических показателей внутриклеточного (клеточной стенки) лигноуглеводного матрикса, состоящего из гемицеллюлоз, целлюлозы и лигнина для ряда образцов хвои елей нескольких популяций, произрастающих в неодинаковых условиях.

Образцы хвои ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) различного возраста были отобраны в сентябре 2023 г. в 6 популяциях горно-долинных ельников зеленомошно-травяно-кустарниковой группы типов леса на восточном макросклоне Кузнецкого Алатау в пределах Ширинского и Орджоникидзевского районов Республики Хакасия. Изученные популяции ели орографически изолированы друг от друга, отличаются по своим морфологическим и таксационным характеристикам. Наименование популяций, например, «Каратас» и «Тунгужуль», определяется названиями малых рек, по долинам которых произрастают изученные популяции *P. obovata*. Подготовка среднего образца осуществлялась по методу квартования. Свежезаготовленную хвою ели высушивали на воздухе до равновесной влажности, измельчали до размера частиц 0.5–1.0 мм. Исчерпывающее извлечение низкомолекулярных веществ (экстрактивных веществ) проводили экстракцией хвои водно-аминоспиртовой (МЭА 1 %) смесью при температуре 80 °С в течение 6 часов и гидромодуле 1:10. Среднее значение и стандартное отклонение выхода проэкстрагированных веществ по всем популяциям ели составило 31.05 ± 2.56 %. Необходимость исчерпывающего экстрагирования обусловлена тем, что химический состав низкомолекулярных веществ хвои чрезвычайно изменчив даже в течение суток [3]. Поэтому для «точечного» по времени определения химической изменчивости с помощью термогравиметрии низкомолекулярные вещества будут «вносить шум» в регистрируемые сигналы ТГ/ДТГ. Зафиксированная в виде физико-химических показателей информация о лигноуглеводном комплексе ели – это индивидуальная характеристика популяции на некотором протяженном временном интервале, пригодная для анализа химического разнообразия (дифференциации) популяций по типу «одномоментного снимка».

Воздушно-сухие образцы послеэкстракционных остатков (ПЭО) подвергали термическому анализу с помощью аналитической системы TG 209 F1 (NETZSCH, ФРГ) при следующих условиях: нагрев со скоростью 10 °С/мин. от 25 до 700 °С в окислительной динамической атмосфере (20 мл/мин., воздух), масса образцов ПЭО хвои ели – 2.15 … 2.79 мг.

В работе использован принятый нами алгоритм анализа данных термогравиметрии [4]. На рис. 1 приведены в качестве примера результаты анализа ТГ/ДТГ измерений ПЭО хвои елей двух популяций, отличающихся по термическим показателям ПЭО.

Из рис. 1 хорошо видно, что соответствующие показатели 1, 3, 5 окислительной термодеструкции лигноуглеводного комплекса ПЭО хвои ели из популяций «Тунгужуль» и «Каратас» отличаются друг от друга по параметрам форм связи гигроскопической влаги (1), по «микростадийности» термодеструкции полифенольного комплекса ПЭО (по числу стадий и интенсивности их протекания (3)). Четко

идентифицируются различия профилей потери массы (5) в термогравиметрическом тесте по существенно неодинаковой потере массы в близких температурных интервалах.

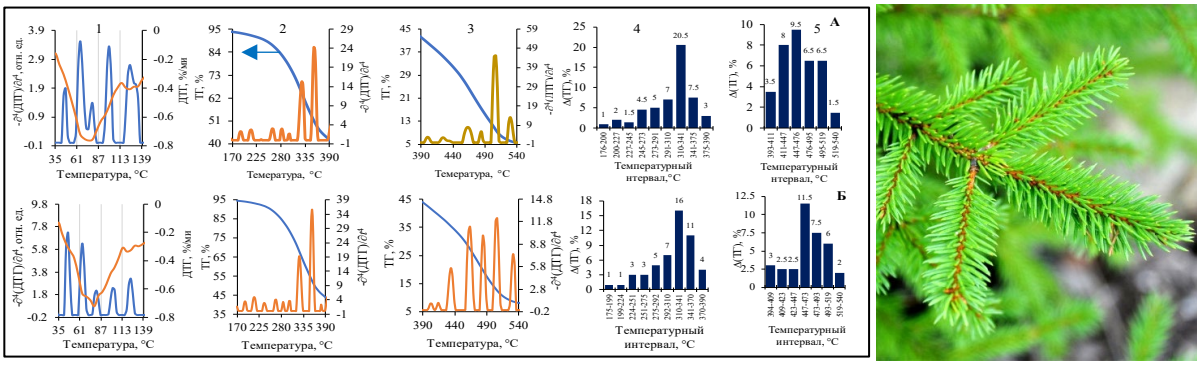


Рис. 1. Ряд А: суходольный, умеренно влажный ельник в межгорно-долинном пространстве реки Каратас. Ряд Б: суходольный зеленомошно-травяно-кустарниковый ельник после стресса («Тунгужуль»). 1 – ДТГ-контур испарения влаги при нагреве ПЭО хвои ели и его деконволюция, 2 – ТГ-кривая убыли массы углеводного комплекса при нагреве ПЭО и деконволюция соответствующего ДТГ-контура, 3 – ТГ-кривая убыли массы полифенольного комплекса при нагреве ПЭО и деконволюция соответствующего ДТГ-контура, 4 – профиль убыли массы холоцеллюлозы при нагреве ПЭО, 5 – профиль убыли массы полифенольного комплекса при нагреве ПЭО хвои ели

Характеристическими показателями термического разложения биомассы являются кинетические параметры – энергия активации E_a и константа скорости K (рис. 2).

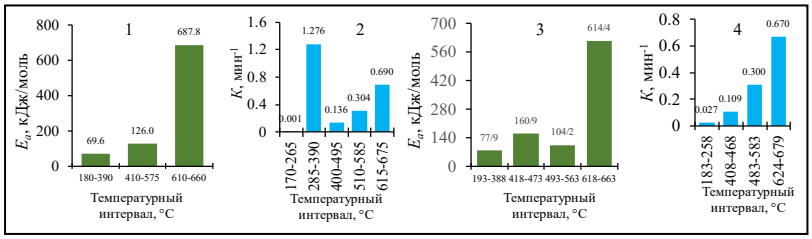


Рис. 2. Кажущиеся энергия активации (1, 3) и константа скорости термического разложения (2, 4) ПЭО хвои ели из популяций «Каратас» (1, 2) и «Тунгужуль» (3, 4)

Другими словами, кинетические параметры E_a и K термодеструкции ПЭО хвои ели также могут быть использованы для дифференциации популяций: как видно из рис. 2, «спектры» энергии активации и константы скорости реакций термодеструкции ПЭО хвои ели из популяций «Каратас» (1, 2) и «Тунгужуль» (3, 4) различаются по числу «компонент» и амплитудам.

Все измеренные с помощь аналитической системы ТГ/ДТГ параметры, а также рассчитанные по ним показатели термического разложения ПЭО хвои имеют четкий физический смысл, следовательно, являются в совокупности характеристикой сходства или различия популяций ели, из которых отбирались образцы хвои для анализа.

Резюмируя изложенное, следует отметить, что впервые использованный метод термогравиметрии для выявления различий (сходства) популяций ели на уровне физико-химических свойств лигноуглеводного матрикса хвои является эффективным инструментом исследования химического разнообразия хвойных. Рассчитанная по результатам измерений деконволюция ДТГ-контуров позволяет визуализировать микростадийность процесса термодеструкции, а также рассчитать постадийный профиль потери массы, который является характеристическим для данного образца, как и кинетические параметры – энергия активации и константа скорости реакций термодеструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Милютин Л.И., Муратова Е.Н., Ларионова А.Я., Кузьмина Н.А., Кузнецова Г.В., Владимирова О.С., Яхнева Н.В., Кокорин Д.В.* Биоразнообразие лесообразующих видов древесных растений в бассейне Енисея // Сиб. экол. журн. 2003. 6. С. 687–695.
2. *Ben Moore D., Andrew R.L., Kulheim C., Foley W.J.* Explaining intraspecific diversity in plant secondary metabolites in an ecological context // New Phytologist. 2013. P. 1–18. DOI: 10.1111/nph.12526.
3. Пляшечник М.А., Анискина А.А., Лоскутов С.Р. Сезонное изменение соотношения монотерпенов хвои Picea obovata (Pinaceae) // Раст. рес. 2011. Т. 47. № 1. С. 80–86.
4. *Loskutov S.R., Kazaryan L.K., Petrunina E.A., Aniskina A.A.* Thermal analysis and pyrolysis of pine needles (*Pinus sylvestris* Ledeb.) // Chem. sustain. develop. 2023. 31. P. 1–11. DOI: 10.15372/KhUR2023438.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках государственного задания FWES-2024-0028.

УДК 550.47 : 556.114.7 (571.63)

РАСТВОРЕННЫЕ БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ГОРНО-ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮЖНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)

Т.Н. ЛУЦЕНКО[1], Н.К. КОЖЕВНИКОВА[2], А.Г. БОЛДЕСКУЛ[1], С.Г. ЮРЧЕНКО[1]

[1] Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток (luts@tigdvo.ru)
[2] Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток (nkozhevnikova@biosoil.ru)

Аннотация. Представлена динамика средневзвешенных концентраций и потоков растворенного органического углерода (РОУ), растворенных форм аммонийного и нитратного азота, фосфора, кремния в атмосферных выпадениях на поляне, подкроновых водах (кедр и липа), лизиметрических водах (подстилка и органогенный горизонт почв) горно-лесных ландшафтов бассейна верховьев р. Уссури в теплый сезон.

DISSOLVED BIOGENIC ELEMENTS IN NATURAL WATERS OF THE MOUNTAIN-FOREST LANDSCAPES OF THE PRIMORYE TERRITORY

T.N. LUTSENKO[1], N.K. KOZHEVNIKOVA[2], A.G. BOLDESKUL[1], S.G. YURCHENKO[1]

[1] Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok (luts@tigdvo.ru)
[2] Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok (nkozhevnikova@biosoil.ru)

Abstract. The dynamics of average-weighted concentrations and fluxes of dissolved organic carbon (DOC), dissolved forms of ammonium and nitrate nitrogen, phosphorus, silicon as well in atmospheric fallout in a clearing, under-canopy waters (cedar and linden), and lysimetric waters (litter, 20 and 40 cm soil horizons) of mountain-forest landscapes of the upper reaches of the Ussuri R. basin in the warm season is presented.

В связи с проблемой изменения климата в последние десятилетия учеными всего мира активно исследуется цикл углерода, нарушение которого, как предполагается, связано с технической деятельностью человека. Установлено, что среди экосистем Земли леса являются главным пулом поглощения парниковых газов, которые играют важную роль в углеродном балансе. Сопряженные с круговоротом главного биогена – углерода, циклы других биогенных элементов также оказываются в сфере влияния климатических флуктуаций, оказывая, в свою очередь, воздействие на жизнь лесных ландшафтов. Природные воды обеспечивают связь между основными компонентами ландшафтов, такими как растительность и почвы, и поддерживают их функционирование, при этом состав вод отражает процессы, происходящие в каждом из этих компонентов и на границе их раздела.

Пробные площади для изучения химического состава ландшафтных вод организованы на Верхне-Уссурийском лесном стационаре (ВУС), принадлежащем Федеральному научному центру биоразнообразия ДВО РАН. ВУС (43°6′–44°3′ с. ш.; 133°5′–134°5′ в. д.) относится к бассейну Верхней Уссури. Рельеф территории горный, образован низко- и среднегорными массивами Сихотэ-Алиня [1]. Климат района формируется под влиянием восточноазиатского муссона умеренных широт и в целом характеризуется как влажный умеренно-холодный. Средняя многолетняя температура воздуха с мая по октябрь составляет 11.8 °С. В этот же период выпадает от 330 до 1079 мм осадков, около 70 % из них – в июне – сентябре [2].

Состав фитоценоза: 5Кк3Лп1Км1Еа+Бж, Тм, Пб, Иг ед. Дм, Сир, Ряб, полнота: 0.7, возраст: 200 лет, средний запас: 576 м^3/га. Преобладающий тип леса – свежие разнокустарниковые кедровники с березой ребристой, липой Таке (К-IV); возраст доминирующей породы, сосны корейской, – 180–200 лет. Преобладающий тип почв – буроземы типичные (Haplic Cambisols).

Исследования проводили на ППП в теплый сезон (апрель – октябрь 2023 г.). Дождевые осадки на поляне и в подкроновых пространствах доминирующих видов деревьев собирали при помощи полиэтиленовых воронок-коллекторов в пластиковые емкости. Под подстилки и почвенные горизонты (20 и 40 см) устанавливались гравитационные лизиметры-планшеты. В день отбора в полевой лаборатории определяли pH и щелочность проб воды, проводили мембранную фильтрацию (0.45 мкм). В Центре ландшафтной экодиагностики и ГИС-технологий ТИГ ДВО РАН выполняли анализ макросостава вод стандартными гидрохимическими методами.

Муссонный характер климата ярко проявляется в неравномерности поступления осадков: в июле – августе сумма осадков была выше суммы за апрель – май – июнь почти в 3 раза (табл. 1). Дожди на поляне ультрапресные, в основном кислые, гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевые. Нагрузка РОУ создается в них преимущественно низкомолекулярными органическими кислотами [3], средневзвешенная концентрация РОУ – 1–3 мг/л, аммонийного азота – менее 1 мг/л, нитратного азота, фосфора, кремния – на уровне следов. Кроны трансформируют состав осадков, из них вымываются окрашенные растворы, в которых концентрации РОУ возрастают на порядок, содержание других биогенных элементов увеличивается в несколько раз, при этом аммонийная форма азота существенно преобладает над

нитратной. Повышение концентраций элементов в подкроновых водах связано, вероятно, не только с синтезом фитомассы, преимущественно образованной лигнином и целлюлозой, но и с растворимостью органических соединений, в том числе и продуктов распада белков.

Таблица 1. Средневзвешенные по месяцам концентрации компонентов атмосферных выпадений и почвенных вод БГЦ Верхне-Уссурийского стационара (ВУС), их поступление и вынос

Месяц	Место отбора	Осадки	pH	EC	РОУ		$N\text{-}NH_4$		$N\text{-}NO_3$		P		Si	
		мм		μS/см	мг/л	г/м^2	мг/л	г/м^2	мг/л	г/м^2	мг/л	г/м^2	мг/л	г/м^2
IV–V	Поляна	98.8	5.64	4.0	2.78	0.14	0.81	0.04	0.19	0.01	0.11	0.011	<0.01	<0.001
	Подстилка	49.8	5.98	44	39.1	2.16	1.98	0.11	1.20	0.07	0.22	0.012	<0.01	<0.001
	Почва 20	37.5	5.96	1540	13.7	0.61	1.06	0.05	0.75	0.03	0.52	0.023	<0.01	<0.001
	Почва 40	23.7	5.39	28	10.4	0.25	4.84	0.11	1.22	0.03	0.27	0.007	<0.01	<0.01
VI	Поляна	80.9	5.09	8.7	3.22	0.26	0.98	0.08	0.18	0.01	0.04	0.003	<0.01	<0.001
	Кедр	50.2	5.24	22	32.7	1.30	1.40	0.07	0.21	0.01	0.41	0.022	0.25	0.013
	Липа	56.6	4.80	21	26.2	1.48	0.90	0.05	0.06	0.003	0.18	0.011	0.06	0.003
	Подстилка	45.3	6.54	62	38.6	1.75	0.90	0.04	0.37	0.02	0.50	0.023	2.19	0.099
	Почва 20	30.7	5.98	28	14.1	0.43	1.11	0.03	0.72	0.02	0.60	0.019	0.83	0.027
VII	Поляна	235.8	4.80	2.32	2.54	0.26	0.44	0.25	0.10	0.05	0.01	0.003	<0.01	<0.001
	Кедр	145.9	5.00	24.4	29.7	4.33	3.05	0.45	0.06	0.01	0.41	0.063	0.15	0.023
	Липа	164.7	5.47	23.9	13.1	2.15	1.33	0.22	0.06	0.01	0.22	0.037	0.01	0.001
	Подстилка	142	6.11	70.3	35.1	4.98	1.17	0.17	1.88	0.27	0.66	0.087	1.95	0.257
	Почва 20	96.3	6.37	28	22.2	2.13	1.96	0.10	0.98	0.09	0.63	0.060	0.99	0.093
VIII	Поляна	275.8	4.59	1.43	1.80	0.50	0.24	0.07	0.06	0.02	0.01	0.003	<0.01	<0.001
	Кедр	165.5	5.10	12.8	13.2	2.18	2.22	0.37	0.07	0.01	0.15	0.026	0.04	0.007
	Липа	193	5.66	28.4	11.6	2.23	1.45	0.28	0.06	0.01	0.23	0.046	0.09	0.018
	Подстилка	154	6.08	75	48.3	7.46	3.70	0.57	1.28	0.20	0.62	0.096	2.07	0.320
	Почва 20	105	6.68	-	25.0	2.62	1.90	0.20	1.94	0.20	0.68	0.075	1.23	0.136
IX–X	Поляна	32	4.49	12.5	3.40	0.11	0.65	0.02	0.27	0.01	0.02	0.001	<0.01	<0.001
	Кедр	12.7	6.50	90.1	26.1	0.33	2.20	0.03	0.22	0.003	0.43	0.006	0.07	0.001
	Липа	16.7	6.94	168	49.1	0.82	3.0	0.05	0.06	0.001	0.60	0.007	0.10	0.001
	Подстилка	16.0	6.89	164	48.3	0.77	**4.0**	0.06	**7.64**	0.12	**6.61**	0.144	**4.04**	0.088

EC – электропроводность.

В июле с ростом температуры и количества осадков соотношение форм азота в подстилках меняется на обратное за счет нитрификации. В августе большое количество осадков переувлажняет подстилки, что, видимо, затрудняет доступ кислорода и нитрификацию. В сентябре, когда процессы разложения опада и подстилки наиболее интенсивны, резко растет подвижность РОУ, нитратного азота, фосфора, кремния, достигая максимума. В ходе внутрипрофильной миграции в почве компоненты РОУ сорбируются на поверхности почвенных минералов, а концентрации форм азота, фосфора снижаются за счет биологического поглощения. В водах результирующего ручья, прошедших зону трещиноватости коренных пород, определены первые мг/л РОУ, нитратного азота, следовые концентрации аммония, фосфора, кремния.

Сопоставление данных для кедра и липы показывает, что в период апрель – июль концентрации и потоки фосфора и кремния в подкроновых водах кедра были выше, чем у липы. Но в августе, сентябре концентрации и потоки фосфора и кремния в подкроновых водах липы значительно возросли: это связано с тем, что содержание данных зольных элементов в фитомассе лиственных пород выше, чем в фитомассе кедра [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Почвообразование и особенности круговорота веществ в горных лесах Южного Сихотэ-Алиня / А.П. Сапожников, Г.А. Селиванова, Т.М. Ильина и др, Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1993. 269 с.
2. *Кожевникова Н.К.* Динамика погодно-климатических характеристик и экологические функции малого лесного бассейна // Сиб. экол. журн. 2009. 5. С. 693–703.
3. *Свистов П.* Ф. Атмосферные осадки: химический состав и кислотность // Природа. 2015. 6. С. 28–36.

УДК 630.181

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

И.В. ЛЯНГУЗОВА, П.Н. КАТЮТИН

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург (ILyanguzova@binran.ru)

Аннотация. Представлены результаты 40-летнего мониторинга содержания Ni, Cu в почве и лекарственных видах растений сосновых лесов на территории импактной зоны комбината «Североникель» (Мурманская обл.). Установлена разная направленность динамических трендов уровня накопления тяжелых металлов в компонентах лесных экосистем: сохраняется высокая степень фитотоксичности почв, 5-6-кратное снижение содержания Ni в листьях (хвое) растений еще недостаточно для использования лекарственного сырья в связи с превышением порога токсичности.

DYNAMICS OF HEAVY METAL CONTENT DURING MONITORING OF FOREST ECOSYSTEMS UNDER CONDITIONS OF AEROTECHNOGENIC POLLUTION OF DIFFERENT INTENSITY

I.V. LYANGUZOVA, P.N. KATJUTIN

V.L. Komarov Botanical Institute of RAS, Saint-Petersburg (ILyanguzova@binran.ru)

Abstract. The results of 40-year monitoring of Ni, Cu content in soil and medicinal plant species of pine forests in the impact zone of Severonickel Combine (Murmansk region) are presented. Different directionality of dynamic trends of heavy metal accumulation level in components of forest ecosystems was established. A high degree of phytotoxicity of soils is preserved. 5-6-fold reduction of Ni content in leaves (needles) of plants is still insufficient for the use of medicinal raw materials due to exceeding the toxicity threshold.

Аэротехногенное загрязнение окружающей среды, его индикация и контроль остается одной из важнейших проблем современной экологии. Многолетнее воздействие загрязняющих веществ на лесные экосистемы является причиной трансформации их состава, структуры, продуктивности, изменения минерального состава растений, а также накопления тяжелых металлов (ТМ) в почвах и растениях. Несмотря на предпринимаемые усилия развитых стран по сокращению атмосферных выбросов загрязняющих веществ, актуальность мониторинга наземных и водных экосистем, подвергающихся техногенному загрязнению, не снижается. Мониторинг наземных экосистем позволяет выявлять динамические тренды состояния отдельных компонентов и биогеоценозов в целом, в том числе дает возможность проследить динамику накопления ТМ в различных компонентах лесных экосистем. Тяжелые металлы, входящие в состав полиметаллической пыли, выбрасываемой в атмосферу промышленными предприятиями, относятся к наиболее опасным и токсичным загрязняющим веществам окружающей среды. В зависимости от размера и массы мелкодисперсных частиц полиметаллическая пыль разносится на дальние расстояния от источника загрязнения, оседает на поверхность почвы и растений, вступает в метаболизм и накапливается в различных органах растений, а затем поступает в трофические цепи и в конечном итоге может попадать в пищу человека. Недревесные ресурсы леса, куда входят многие лесные растения, традиционно используются в официальной и народной медицине для лечения и профилактики различных заболеваний, а также служат сырьем для производства лекарственных препаратов и биологически активных добавок. Определение содержания ряда ТМ в лекарственных растениях и сравнительный анализ с их ПДК в пищевых продуктах позволяет провести инвентаризацию качества недревесных ресурсов леса – одной из экосистемных услуг леса. В связи с вышеизложенным **целью** данной работы является оценка качества и возможности использования недревесных ресурсов леса на основе многолетнего мониторинга уровня загрязнения местообитаний ТМ и накопления потенциально токсичных элементов (Ni, Cu) в лекарственных растениях, произрастающих в импактной зоне при разной интенсивности аэротехногенной нагрузки.

Сеть мониторинговых пробных площадей, заложенных в начале 1980-х гг. сотрудниками лаборатории экологии растительных сообществ Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН в средневозрастных сосняках лишайниково-зеленомошных, расположена на разном удалении от металлургического комбината «Североникель» (г. Мончегорск, Мурманская обл.) в пределах фоновой, буферной и импактной зон. В настоящее время ежегодный объем выбросов диоксида серы и твердых веществ на комбинате «Североникель» составляет соответственно 37.3 и 2.7 тыс. т в год, что в 5–8 раз меньше по сравнению с их максимальными величинами (1970–1990 гг.). Территория импактной зоны примыкает к городской черте г. Мончегорска, в связи с этим она наиболее часто посещается местным населением для сбора грибов, ягод, лекарственных растений, что обусловливает актуальность проведенных исследований.

В период 1981–2023 гг. на ключевых участках импактной зоны отбирали средние образцы органогенного горизонта (лесной подстилки) Al-Fe-гумусового подзола, 1-летней хвои сосны

обыкновенной *Pinus sylvestris* L. и листьев лекарственных растений (черники обыкновенной *Vaccinium myrtillus* L., брусники обыкновенной *V. vitis-idaea* L., голубики топяной *V. uliginosum* L., толокнянки обыкновенной *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., водяники обоеполой *Empetrum hermaphroditum* Hagerup.). В растительном материале после сухого озоления и растворения золы в HCl содержание Ni и Cu определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Содержание кислоторастворимых форм Ni и Cu определено в 1.0 н HCl вытяжке из проб лесной подстилки тем же методом. Статистическая обработка данных проведена в программах Statistica 64 и Excel 10.0 for Windows.

Регрессионный анализ данных о содержании ТМ в лесной подстилке и листьях (хвое) лекарственных растений за весь период наблюдений (за период 1981–2023 гг.) выявил разную направленность динамических трендов (табл. 1), при этом практически во всех случаях коэффициенты уравнений значимо отличаются от 0. В настоящее время, несмотря на 5–8-кратное снижение объемов атмосферных выбросов загрязняющих веществ, на территории импактной зоны сохраняется очень высокий уровень фитотоксичности лесной подстилки. Полученные данные хорошо согласуются с динамикой загрязнения природной среды РФ в начале XXI века [1], где констатируется, что уровень загрязнения почв в окрестностях предприятий черной и особенно цветной металлургии по-прежнему относится к умеренно опасной и опасной категории. В отличие от уровня загрязнения ТМ почвы, на территории импактной зоны наблюдается последовательное снижение среднего содержания Ni и Cu в листьях (хвое) исследованных видов – от максимальных значений (300 и 100 мг/кг) до минимальных величин, зарегистрированных в 1981–1988 и 2021–2023 гг. соответственно. В настоящее время на территории импактной зоны содержание Ni находится в интервале 14–36, Cu – 4–12 мг/кг, что существенно превышает их фоновые значения, особенно для Ni.

Таблица 1. Зависимость содержания ТМ от года исследования (1981–2023 гг.) в импактной зоне. Показатели регрессионных уравнений y=a+bx.

Показатель	Металл	a	b	R^2	r	p
Подстилка	Ni	-8917	4.74	0.089	0.300	0.26
	Cu	**-36673**	**18.9**	**0.336**	**0.580**	**0.019**
Растения:						
сосна	Ni	**7931**	**–3.92**	**0.783**	**–0.886**	**0.0015**
	Cu	**3642**	**–1.80**	**0.637**	**–0.798**	**0.010**
черника	Ni	**5140**	**–2.53**	**0.601**	**–0.775**	**0.005**
	Cu	**1245**	**–0.61**	**0.558**	**–0.747**	**0.008**
брусника	Ni	**4240**	**–2.09**	**0.587**	**–0.766**	**0.006**
	Cu	**1152**	**–0.87**	**0.838**	**–0.915**	**0.001**
голубика	Ni	**7517**	**–3.73**	**0.556**	**–0.746**	**0.034**
	Cu	**2337**	**–1.16**	**0.779**	**–0.863**	**0.004**
вороника	Ni	**44224**	**–21.9**	**0.764**	**–0.874**	**0.01**
	Cu	**12919**	**–1.16**	**0.770**	**–0.877**	**0.01**
толокнянка	Ni	**2402**	**–1.18**	**0.607**	**–0.779**	**0.02**
	Cu	466	–0.23	0.299	–0.546	0.16

Нормальное содержание Ni и Cu в растениях составляет 0.1–5 и 5–30 мг/кг [2], а превышение концентраций Ni > 10, Cu > 20 мг/кг токсично для растений. Выявленное в настоящее время 5–6-кратное снижение среднего содержания ТМ в листьях (хвое) растений на территории импактной зоны еще недостаточно для использования растительного сырья с целью приготовления лекарственных препаратов в связи с превышением порога токсичности. Ранее [3] было показано, что по градиенту аэротехногенной нагрузки между уровнем загрязнения ТМ верхнего горизонта почвы и их накоплением в листьях (хвое) растений существует значимая прямая корреляция (r=0.89–0.99, p<0.05), однако до 80 % ТМ поступают в растение из загрязненного воздуха, возможно, в форме пылевого отложения на поверхности листовой пластинки. Таким образом, зарегистрированные в настоящее время концентрации ТМ в лекарственных растениях на территории импактной зоны превышают токсические концентрации для растений по Ni, поэтому не рекомендуется сбор лекарственного сырья в радиусе 15–20 км от г. Мончегорска.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Черногаева Г.М., Журавлева Л.Р.* Тенденции и динамика состояния и загрязнения природной среды РФ в начале XXI века. Обзор данных многолетнего мониторинга Росгидромета // Экологический мониторинг и моделирование экосистем. 2022. XXIII (1-2). С. 1318–147.
2. *Kabata-Pendias A., Pendias H.* Trace elements in soil and plants. London: CRC Press, 2001. 413 p.
3. *Лянгузова И.В.* Тяжелые металлы в северотаежных экосистемах России. Saarbrucken: Изд-во LAP Lambert, 2016. 260 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при частичной поддержке РНФ (проект №23-26-00193).

УДК 519.85 + 519.71

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ МЕГАПОЛИСА

Л.С. МАЕРГОЙЗ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (bear.lion@mail.ru)

Аннотация. В связи с актуальной проблемой создания комфортного состояния атмосферы в городской среде представлен математический алгоритм распределения квот выбросов вредных веществ между их источниками в мегаполисе. Его конструкция опирается на разработанный способ оптимального распределения ограниченного ресурса между группами людей, находящимися в дифференцируемых условиях.

MODEL FOR CONTROL THE ACTIVITY MODE OF THE POLLUTION SOURCES LOCATED IN A MEGACITY

L.S. MAERGOIZ

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk

Abstract. In a connection with the actual problem creation of comfortable state of atmosphere in an urban surroundings, it is presented the mathematical algorithm of quotas distribution of harmful emissions between its sources in a city. Its construction is based on a developed method of optimal distribution of limited resources between differentiated groups of people.

Формирование качественной экологической среды в городах, особенно в городах с достаточно большим населением – мегаполисах, – одна из актуальных проблем современного общества. В каждом мегаполисе имеются источники вредных для здоровья жителей выбросов (заводы, ТЭЦ, котельные и т. п.). Антропогенное влияние промышленных отходов на загрязнение атмосферы города исследовалось, например, в [4]. В докладе представлен оптимальный алгоритм «справедливого» управления режимом действия этих источников с целью создания более комфортного состояния атмосферы в городской среде. Под *оптимальным* распределением понимается выбор с помощью экстремального подхода математического алгоритма распределения, который имеет своеобразный оттенок нравственности и справедливости (сведение к минимуму социальной неудовлетворенности, компромисс и пр.) Теоретический базис исследований заложен в [1], где, в частности, рассматривался математический алгоритм распределения квот выбросов парниковых газов между различными странами – эмитентами газов с целью достижения соглашения о сокращении объемов их выбросов. Кроме того, в [1] изложен метод оптимального распределения ограниченного ресурса социально-экономического содержания между его потребителями, находящимися в дифференцируемых условиях, на который опирается конструкция предлагаемого алгоритма. Полученные результаты отражены в работах [1, 2, 3].

Объект исследования – группа источников мегаполиса, в состав выбросов которых входит одна и та же вредная для здоровья человека компонента (например, «пыль» или концентрация некоторого опасного для здоровья газа), но с различным уровнем содержания. Поэтому здоровье жителей из разных «зон контроля» источников в разной степени подвергается риску.

Жилые микрорайоны, расположенные *вблизи* каждого источника загрязнения атмосферы города, образуют зону наибольшего риска для здоровья, причиняемого вредными выбросами. *Контрольной зоной источника* назовем ту часть микрорайонов из упомянутой зоны риска с относительно однородным составом воздуха, выбранную по рекомендации экспертов, в которой состояние атмосферы подвержено минимальному влиянию других источников загрязнения. Полагаем априори, что такие зоны существуют для всех источников группы и не пересекаются.

Пусть для контроля за вредным влиянием источников измеряется совокупный объем (или вес) V выбросов в единицу времени в атмосферу части города, где расположены *все* зоны источников из рассматриваемой группы. Важным аргументом определения параметра V является тот факт, что зоны источников представляют собой «ворота», через которые их выбросы попадают в атмосферу города. *Квотой вредных выбросов источника* назовем количество этих выбросов (в весовых или объемных единицах), попадающих в его зону за единицу времени (например, сутки). Если произвести распределение количества V выбросов между источниками путем разбиения на квоты таким образом, чтобы меньше было выбросов от самых «неблагополучных» источников с большой концентрацией вредных примесей, это позволит улучшить состояние атмосферы города, сделать его более экологически чистым. Поэтому задача управления режимом работы группы источников загрязнения сводится к задаче распределения квот выбросов между ними.

Пусть $N > 2$ – число источников загрязнения в группе. Введем нумерацию источников в направлении уменьшения вредности состава их выбросов для здоровья жителей зон этих источников:

номер 1 у источника с наиболее вредным для здоровья содержанием выбросов, а номер N у источника с наиболее комфортным содержанием выбросов (*рейтинг* источников). Параметры модели представлены в табл. 1, где $k = 1,2,...,N.$

Таблица 1.

Параметры	Содержание параметров
V_k	количество выбросов для источника с номером k, попадающих в его зону за выбранную единицу времени
S_k	количество жителей, проживающих в зоне источника с номером k,
S	общее количество населения всех зон источников
$c_k = V_k / S_k$, $c = V / S$	соответственно, плотность выбросов на душу населения зоны с номером k, плотность выбросов для всех зон
$\lambda_k = c_k / c$,	безразмерная плотность выбросов на душу населения зоны с номером k,
$s_k = S_k / S$	доля населения в зоне с номером *k*

Параметры модели удовлетворяют соотношению [1]:

$$\sum_{k=1}^{N} \lambda_k s_k = 1, \sum_{k=1}^{N} s_k = 1. \qquad (1)$$

Наличие рейтинга источников означает, что здоровье жителей из разных зон источников в разной степени подвергается риску. Для выполнения принципа «справедливого» распределения квот выбросов между источниками потребуем выполнения условия [1, 2]

$$0 < \lambda_1 < \lambda_2 < ... < \lambda_N . \qquad (2)$$

Далее нам понадобится также целевой квадратичный функционал

$$\Phi(\lambda) = \sum_{i=1}^{N-1} (\lambda_{i+1} - \lambda_i)^2 = c^{-2} \sum_{i=1}^{N-1} (c_{i+1} - c_i)^2, \qquad (3)$$

принцип минимизации которого позволит свести к минимуму возможную неудовлетворенность жителей смежных по рейтингу источников.

зон для

В качестве управляющей характеристики модели выбирается по рекомендации экспертов какое-либо линейное соотношение между безразмерными плотностями выбросов на душу населения контрольных зон источников группы. Например, может быть зафиксирован допустимый уровень V_1 выбросов в единицу времени в атмосферу зоны самого «опасного» источника, который однозначно определяет значение безразмерной плотности для этой зоны. Учитывая его и (1), (2), находим минимум функционала (3) и связанные с решением этой экстремальной задачи предельно допустимые количества V_k выбросов в единицу времени в контрольных зонах остальных источников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Индикатор «счастья» в ресурсной экономике: экстремальный подход / Л.С. Маергойз, Р.Г. Хлебопрос. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2020. 86 с.
2. *Маергойз Л.С.* Математический способ распределения квот вредных выбросов между их источниками в мегаполисе // Сиб. журн. индустр. математики. 2021. Т. 24. № 2. С. 109–115.
3. *Маергойз Л.С.* Модель оптимального управления источниками загрязнения мегаполиса // Дальневосточный матем. журн. 2024. Т. 24. № 1. С. 67–72.
4. Красноярск. Экологические очерки / Р.Г. Хлебопрос, О.В. Тасейко, Ю.Д. Иванова, С.В. Михайлюта. Красноярск: Изд-во СФУ, 2012. 128 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках базового проекта ФИЦ КНЦ СО РАН № 122022600013-5.

УДК 504.4:674.032.475.442(571.150)

ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ПРИГОРОДНЫХ ЛЕСАХ БАРНАУЛА

А.А. МАЛИНОВСКИХ

Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул (almaa1976@yandex.ru)

Аннотация. Представлены результаты изучения современного состояния сосновых насаждений в пригородных лесах Барнаула. Установлено, что разновозрастные древостои сосны имеют на всем протяжении массива ослабленное состояние. Подрост сосны вблизи черты города ослаблен рекреацией, на отдельных участках отсутствует по причине заглушения подлеском из клена. Доля синантропных видов растений в составе подлеска и напочвенного покрова увеличивается по мере приближения к черте города.

CHANGES IN THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF FOREST PLANTATIONS IN SUBURBAN FOREST OF BARNAUL

A.A. MALINOVSKIKH

Altai State Agricultural University, Barnaul (almaa1976@yandex.ru)

Abstract. The results of studying the current state of pine plantations in the suburban forests of Barnaul are presented. It has been established that pine stands of different ages have a weakened state throughout the massif. The undergrowth of pine trees near the city limits is weakened by recreation, in some areas it is absent due to muffling by maple undergrowth. The proportion of synanthropic plant species in the undergrowth and ground cover increases as they approach the city limits.

Проблеме изучения состояния пригородных и городских лесов, их охраны, благоустройства, восстановления уделяется значительное внимание в нашей стране и за рубежом. Ряд исследователей обосновывают выделение в самостоятельную отрасль науки и практики урболесоведения, городского лесного хозяйства, техногенного лесоводства [1, 3, 4, 5, 7]. Сложность решения вопросов, связанных с пригородными лесами, заключается, с одной стороны, в том, что они испытывают неодинаковое влияние комплекса антропогенных факторов в пространстве и времени, а с другой стороны, в географических различиях. В связи с этим изучение устойчивости лесных насаждений под влиянием антропогенных факторов применительно к отдельным регионам является актуальным и практически значимым.

Целью работы стало изучение изменений состава и структуры сосновых насаждений в пригородных лесах г. Барнаула на лесотипологической основе.

Вблизи Барнаула в лесном фонде Барнаульского лесничества выделено 15 652 га лесов, отнесенных к зеленым и лесопарковым зонам, при общей площади лесничества 26 049 га. На разном удалении от черты города Барнаула в лесном фонде Барнаульского лесничества заложены постоянные пробные площади (ППП): в зоне интенсивной антропогенной деятельности – 0, 4, 7, 11, 15 км; в зоне слабоинтенсивной антропогенной деятельности – 34 км. Изученные насаждения относятся к типу леса свежий (Свб) и травяной бор (Трб). Изучение состояния древостоев, подроста, подлеска и напочвенного покрова выполнялось общепринятыми методами [6].

Древостой образует основу леса, от его биологического и санитарного состояния зависит антропогенная структурная устойчивость насаждения в целом. В пригородных лесах г. Барнаула санитарное состояние сосновых древостоев является ослабленным (кроме отдельных участков) как в травяном, так и в свежем бору (табл. 1).

Таблица 1. Средняя категория санитарного состояния древостоев сосны в пригородных лесах Барнаула

Расстояние от города, км	Свежий бор (Свб)	Травяной бор (Трб)
0	2.1	1.7
4	1.6	2.3
7	1.8	1.7
11	1.2	1.6
15	1.6	1.8
34	1.5	1.9

В зоне интенсивной антропогенной деятельности (0–15 км) сосновые древостои в типе леса свежий бор имеют среднюю категорию санитарного состояния 1.66, в типе леса травяной бор – 1.82. Древостои сосны во влажных лесорастительных условиях несколько более ослабленны, чем в свежих лесорастительных условиях. Ослабление древостоев сосны на фоне многолетней рекреационной нагрузки мы связываем также с отсутствием своевременных лесохозяйственных мероприятий.

Подрост главной лесообразующей породы в пригородных лесах гораздо сильнее, чем древостой, подвержен воздействию антропогенных факторов, особенно вблизи черты города (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика подроста под пологом сосновых насаждений

Расстояние от города, км	Свежий бор (Свб)		Травяной бор (Трб)	
	Густота, шт./га	Встречаемость, %	Густота, шт./га	Встречаемость, %
0	4291	70.0	658	20.0
4	6759	76.7	83	3.3
7	10 992	100	0	0
11	5633	66.7	0	0
15	12 541	93.3	2167	26.7
34	13 425	93.3	1967	40.7

Наиболее устойчив к рекреационной нагрузке подрост сосны в свежем бору – обследованные участки имеют густоту от 4291 до 13 425 шт./га, которая заметно увеличивается по мере удаления от черты города. Тип леса травяной бор вблизи черты города имеет крайне мало подроста либо он отсутствует.

Внедрение синантропных видов в состав подлеска и напочвенного покрова приводит к их трансформации, ослабляя насаждение в целом [2]. Этот процесс носит выраженный характер вблизи черты города (табл. 3).

Таблица 3. Доля синантропных видов растений в составе сосновых насаждений, %

Расстояние от города, км	Свежий бор (Свб)	Травяной бор (Трб)
0	21.5	22.0
4	15.8	15.3
7	10.9	16.4
11	10.1	14.5
15	5.0	6.3
34	3.2	3.1

В отличие от древостоя и подроста, в которых нет «пришлых» видов растений, состав подлеска и живого напочвенного покрова в пригородных сосновых насаждениях Барнаула увеличивается за счет заноса синантропных растений. Общий список по итогам сезона вегетации 2023 г. включает 165 видов высших сосудистых растений. Из этого количества нами отмечено присутствие 39 синантропных видов растений на обследованных участках: в подлеске – 14 видов, в напочвенном покрове – 25 видов.

Таким образом, под влиянием города состав и структура сосновых насаждений меняется в сторону ослабления. Древостои имеют ослабленное состояние, хотя и более устойчивы по сравнению с подчиненными компонентами. Устойчивость подроста под пологом насаждений обусловлена типом леса. Подлесок и живой напочвенный покров в пригородных лесах Барнаула подвержены процессам антропогенной трансформации, т. е. активному внедрению синантропных видов растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Данченко А.М., Данченко М.А., Мясников А.Г.* Современное состояние городских лесов и их использование (на примере г. Томска) // Вестник ТГУ. Биология. 2010. 4. С. 90–104.
2. *Малиновских А.А.* Влияние клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) на естественное возобновление сосны обыкновенной в Барнаульском ленточном бору // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2023. 3. С. 48–56.
3. *Милютин Л.И., Скрипальщикова Л.Н.* Проблемы и перспективы техногенного лесоводства // Сиб. лесной журн. 2020. 6. С. 81–85.
4. *Рысин Л.П., Рысин С.Л.* Урболесоведение. М.: Товарищество науч. изданий КМК, 2012. 240 с.
5. *Стороженко В.Г.* Эволюционные принципы устойчивости лесных сообществ // Сиб. лесной журн. 2020. 4. С. 87–96.
6. *Ярмишко В.Т., Лянгузова И.В.* Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
7. *Referowska-Chodak E.* Pressures and threats to nature related to human activities in european urban and suburban forests // Forests. 2019. 10. P. 765.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РНФ (грант 23-26-00198).

УДК 614*43

ПРИРОДНЫЕ ПОЖАРЫ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИНАМИКИ МЕТЕОПОКАЗАТЕЛЕЙ В СИБИРИ

А.В. МАЛЬКАНОВА[1, 3], Е.И. ПОНОМАРЁВ [2, 3]

[1] Федеральный исследовательский центр КНЦ СО РАН, Красноярск (malkanova@ksc.krasn.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (evg@ksc.krasn.ru)
[3] Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация. В работе рассмотрена пространственно-временная изменчивость показателей на основе долговременных рядов метеонаблюдений, потенциально определяющих число и площади пожаров на территории Сибири. Проанализированы долговременные ряды, обобщенные по данным 175 метеостанций за 1981–2020 гг. Рассмотрены показатели, такие как длительность пожароопасного периода, тепло- и влагообеспеченность, количество дней в году с грозами и осадками в сравнении для 30-летнего периода 1981–2010 гг. и за последние 10 лет (2011–2020 гг.) исследования. Зафиксированы положительный тренд для числа дней с грозами (рост на 6–20 %), снижение относительно средних многолетних значений нормы показателя тепло- и влагообеспеченности в отдельных субрегионах Сибири, рост числа дней с осадками на 4–22 % и длительности пожароопасного периода на 1–35 %. Современные тренды для каждого рассмотренного показателя на качественном уровне отражают фактическую динамику числа и площадей пожаров в регионе за последние 10 лет с достоверностью на уровне 53–73 %.

WILDFIRES AND SPATIAL PATTERNS OF THE DYNAMICS OF METEOROLOGICAL PARAMETERS IN SIBERIA

A.V. MALKANOVA[1, 3], E.I. PONOMAREV[2, 3]

[1] Federal Research Center KSC SB RAS, Krasnoyarsk (malkanova@ksc.krasn.ru)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Krasnoyarsk (evg@ksc.krasn.ru)
[3] Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Климатические изменения являются одной из самых значимых причин динамики пожарных режимов как в целом на планете, так и на региональном уровне [6, 7]. В условиях меняющегося климата повышение регулярности и длительности засушливых периодов, рост уровня инсоляции, перераспределение осадков, увеличение числа грозовых разрядов определяют динамику частоты возникновения пожаров и пожарных последствий [8].

Цель работы – анализ предрасположенности территории Сибири к изменению пожарных режимов, связанной с динамикой показателя тепло- и влагообеспеченности, длительностью пожароопасного периода, количеством дней с грозовыми явлениями, обеспеченностью осадками. Район исследования – территория Сибири (49–79° с. ш. и 55–165° в. д.), который был рассмотрен в градиенте широт: Север (65–79° с. ш.), Центр (56–65° с. ш.), Юг (49–56° с. ш.).

В работе анализировались многолетние ряды метеопоказателей по 175 метеостанциям, такие как температуры приземного слоя воздуха, количество осадков, гроз. Использовались данные из открытого каталога за период 1981–2020 гг. [1]. Для оценки степени засушливости территории мы рассчитали гидротермический коэффициент ГТК [4]. Для выявления вариаций длительности пожароопасного периода (ПП) рассчитывалось количество дней с температурой более +10 °С. Также рассчитано количество дней с осадками и грозами. Для анализа скорости изменения метеопараметров мы рассчитали их средние значения за первые 30 лет (1981–2010 гг.) и за последние 10 лет (2011–2020 гг.) исследования. Среднегодовую скорость изменения изучаемых параметров ($S_{отн}$, %) определяли как $S_{отн} = \frac{T_{10}-T_{30}}{T_{30}} \cdot 100\%$, где T_{30} – среднемноголетние значения за 1981–2010 гг., T_{10} – за период 2011–2020 гг. В табл. 1 приведены результаты расчета.

Таблица 1. Относительная скорость изменения значений метеопараметров

Зона	$S_{грозы}$, дн./год	$S_{ГТК}$, ед./год	$S_{осадки}$, дн./год	$S_{ПП}$, дн./год
Север	11–20 %	–(6–18) %	8–22 %	20–35 %
Центр	9–12 %	–(3–20) %	4–11 %	5–8 %
Юг	6–16 %	–(0.04–14.5) %	4–6 %	1–6 %

Оценки скорости изменения показателей на современном временном интервале 2011–2020 гг., полученные на предыдущем шаге, мы использовали для проекции исследуемых показателей по всем метеостанциям выборки на период до 2030 г. По полученным данным построены карты экстраполяции исследуемых метеопараметров на исследуемую территорию.

В работе также анализировалась обобщенная по регионам Сибири статистика пожаров, доступная в открытом каталоге «ИСДМ-Рослесхоз» [9]. Сведения о пожарах рассмотрены за два последовательных десятилетия 2001–2010 гг. и 2011–2020 гг. с актуализацией динамики числа и площадей пожаров в

современных условиях и привязкой к лесным районам Сибири.

Наибольший рост числа пожаров зафиксирован в Средней Сибири (например, в Красноярском крае прирост составил более 600 пож./10 лет) и в восточной части региона (на территории Якутии – более 500 пож./10 лет). За последние 10 лет в ряде лесных районов юга Сибири в статистике пожаров присутствует отрицательная динамика.

Получены усредненные оценки относительной скорости изменения ($S_{отн}$, %) каждого из исследованных показателей на основе данных метеонаблюдений в пределах выделенных зон. Относительная скорость изменения числа дней с грозами $S_{отн}$ = 11– 20 % была наибольшей в зоне «Север». Число дней летнего периода с осадками имеет наибольшие значения в зоне «Центр» и закономерно снижается на юге и на севере. При этом темпы роста этого показателя на севере в 2 раза выше, чем в зонах «Центр» (рост на 5–11 %) и «Юг» (рост на 4–6 %). Динамика индекса ГТК для двух рассмотренных сроков позволяет говорить об общей для всей территории Сибири тенденции снижения ($S_{отн} < 0$) показателя (табл. 1). Наибольшее (на 20 % от среднемноголетней нормы) снижение ГТК зафиксировано в центральной части Сибири. Наибольшая длительность пожароопасного периода зафиксирована на юге Сибири, где изменение этого показателя не превышало $S_{отн}$ = 6 %. Наиболее значительные темпы роста длительности пожароопасного периода за последние 10 лет зарегистрированы на севере региона ($S_{отн}$ = 20–35 %).

Тренды изменения показателей на основе данных метеонаблюдений, определяющих фактическую горимость, позволяют предполагать дальнейший рост количества пожаров в регионе в ближайшей перспективе. В частности, это актуально для севера Сибири, где природные пожары в большинстве переходят в разряд крупных и определяют [6] более 70 % всех площадей пожаров России ежегодно.

Полученные проекции исследованных показателей для территории Сибири до 2030 г. позволяют прогнозировать предрасположенность региона к росту числа и площадей пожаров, что согласуется с современными трендами горимости. Пространственные экстраполяции подтверждаются фактической динамикой числа и площадей пожаров в регионе в 2001–2020 гг. с достоверностью 58–67 % для экстраполяции скорости изменения показателей и 53–73 % для проекции показателей до 2030 г.

Прогнозируемые в Сибири изменения горимости и связанные с этим послепожарные процессы следует рассматривать как в плане возможного обострения экологических последствий, так и в плане социально–экономической стабильности региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В.* Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России. Св-во о гос. регистрации базы данных № 2015620394.
2. *Мальканова А.В., Пономарев Е.И.* Пространственно-временная изменчивость метеопараметров в контексте динамики горимости лесов в Сибири // Метеорология и гидрология. 2024.
3. *Пономарев Е.И., Скоробогатова А.С., Пономарева Т.В.* Горимость лесов Сибири и межсезонные вариации уровня тепло- и влагообеспеченности // Метеорология и гидрология. 2018. № 7. С. 45–55.
4. *Селянинов Г.Т.* Происхождение и динамика засух. Л.: Гидрометеоздат, 1958. 206 с.
5. *Hayasaka H.* Rare and extreme wildland fire in Sakha in 2021 // Atmosphere. 2021. 12 (12). 1572. DOI: 10.3390/atmos12121572.
6. *Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Dvinskaya M.L., Coogan S.C.P., Flannigan M.* Wildfires in the Siberian taiga / Ambio. 2021. 50 (11), 1953–1974. DOI: 10.1007/s13280-020-01490-x.
7. *Flannigan M., Stocks B., Turetsky M., Wotton M.* Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest // Glob. Change Biol. 2009. 15 (3). 549–560. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01660.x.
8. *Ponomarev E.I., Yakimov N.D., Ponomareva T.V., Yakubailik O., Conard S.G.* Current trend of carbon emissions from wildfires in Siberia // Atmosphere. 2021. 12 (5). 559. DOI: 10.3390/atmos12050559.
9. «ИСДМ-Рослесхоз». [Электронный ресурс]. URL: https://public.aviales.ru/main_pages/public.shtml.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена по проектам государственного задания FWES-2024-0027 (ФИЦ КНЦ СО РАН) и FWES-2024-0023 (ИЛ СО РАН).

УДК 581.5:632.7:632.4

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ТАЕЖНЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

М.Б. МАРТИРОВА[1], Н.А. МАМАЕВ[1], В.В. ПАХУЧИЙ[2], Л.М. ПАХУЧАЯ[2], Б.Г. ПОПОВИЧЕВ[1], А.В. СЕЛИХОВКИН[1]

[1] Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург
[2] Сыктывкарский лесной институт (филиал) Санкт–Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, Сыктывкар

Аннотация. Проведены обследование и анализ состояния лесных насаждений на территории Ленинградской, Мурманской областей, республик Карелия и Коми.

COMPARATIVE ANALYSIS OF TAIGA FOREST ECOSYSTEMS IN THE NORTH-WEST OF EUROPEAN RUSSIA

M.B. MARTIROVA[1], N.A. MAMAEV[1], V.V. PAKHUCHIJ[2], L.M. PAKHUCHAYA[2], B.G. POPOVICHEV[1], A.V. SELIKHOVKIN[1]

[1] S.M. Kirov St.Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg
[2] St. Petersburg State Forest Technical University, Syktyvkar forest institute, Syktyvkar

Abstract. Survey and analysis of the condition of forest plantations on the territory of the Leningrad and Murmansk regions, the Republics of Karelia and Komi was carried out.

В настоящее время в связи с изменением климата большое значение приобрели наблюдения за динамикой состояния лесных экосистем и их сравнительный анализ в зависимости от временного промежутка и территориального расположения. Повышение теплообеспеченности видов-вредителей на территории Севера России может привести к расширению ареалов вредоносности некоторых стволовых вредителей на территории республик Карелии и Коми, а также Мурманской области. Непрямое воздействие изменения климата, такое как засухи, сильные ветра, увеличение инсоляции, является дополнительным источником стресса для древесных насаждений. Такие насаждения в большей степени подвержены атакам стволовых вредителей [3].

В летний период 2021–2023 гг. в лесах Ленинградской, Мурманской областей, республик Карелия и Коми был проведен ряд обследований, направленных на определение санитарного состояния насаждений, выявление вредителей и патогенов, влияющих на ослабление древостоя, а также определение и фиксацию фаутных деревьев (с многовершинностью, кривизной ствола, трещинами и сухобочинами). Всего было заложено 157 пунктов постоянного учета в спелых и перестойных насаждениях с преобладанием сосны или ели (90 – Ленинградская область, 40 – Республика Карелия, 20 – Мурманская область, 15 – Республика Коми). На заложенных участках был проведен сплошной перечет деревьев с указанием породы, высоты, диаметра, категории состояния, причин ослабления; также учитывались насекомые-вредители, грибы и иные патогены [1, 2]. В рамках сплошного перечета отбиралось до сотни деревьев в пределах квадрата 25 х 25 м, центром которого являлось дерево с уточненной координатой. По сторонам света от центрального дерева откладывалось 25 м. На этом расстоянии отмечалось по 6 деревьев главной породы, ближайших к 25-метровой отметке от центра, I–III классов Крафта. Эти деревья мы также обследовали на предмет категории состояния, вредителей, патогенов, дефектов ствола – и, кроме этого, учитывали степень их плодоношения, процент дефолиации, дехромации и высоту. Для проведения сравнительного анализа постоянные пробные площади были разбиты на 6 групп в зависимости от их территориального расположения: юг Ленинградской области (Тосненский район), север Ленинградской области (Карельский перешеек), центральная часть Республики Карелия (Медвежьегорский район), север Республики Карелия (Кемский и Калевальский районы), юг Мурманской области (Кандалакшский район) и Республика Коми (Сыктывкарский район). Средние категории состояния насаждений по выделенным группам оказались в промежутке от 1.4–2.1, что соответствует здоровым и ослабленным древостоям. На территории Мурманской области, республик Карелия и Коми отмечается ослабленное состояние сосновых насаждений. На Карельском перешейке, за редким исключением, древостои попали в категорию здоровых. К основным причинам ослабления сосновых насаждений можно отнести некрозно-раковые заболевания. Встречаемость насекомых-вредителей на обследуемых участках оказалась невелика. Существенное присутствие короеда-типографа *Ips typographus* было отмечено на Карельском перешейке. В Республике Карелия на точках учета было обнаружено только одно свежезаселенное дерево, а в Мурманской области таких деревьев найдено не было. Единично встречались *Polygraphus polygraphus, Pissodes* spp., *Trypodendron* spp., *Pityogenes chalcographus, Tomicus minor* и *T. piniperda, Monochamus galloprovincialis* и *M.* spp.

Значимое увеличение численности стволовых вредителей, в особенности короеда-типографа, отмечено только в Ленинградской области. Наблюдения на локальных точках учета (в пунктах постоянного наблюдения) не позволяют оценить динамику плотности популяций в регионе, особенно если наблюдается формирование очагов размножения, как это, в частности, произошло в 2021–2023 г. в Ленинградской области с короедом-типографом [3]. Однако учет плотности популяций на фоновом уровне показывает снижение активности стволовых вредителей по мере продвижения к северу. Повторное обследование точек учета, которое планируется провести в 2025 г., позволит получить динамику этих показателей и создать более четкую картину распределения вредителей в пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Варенцова Е.Ю.* Фитопатологическое состояние сосны и ели в древостоях Ленинградской области / Е.Ю. Варенцова, Н.А. Мамаев, М.Б. Мартирова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2023. № 244. С. 131–149. DOI: 10.21266/2079-4304.2023.244.131-149.
2. *Мартирова М.Б.* Распространение фитопатогенных грибов и вредителей хвойных лесов северо-запада России: актуальность и задачи исследования // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2023. № 64. С. 211–213.
3. *Селиховкин А.В., Поповичев Б.Г., Мандельштам М.Ю., Алексеев А.С.* Роль стволовых вредителей в изменении состояния хвойных лесов на северо-западе европейской части России // Лесоведение. 2023. № 3. С. 304–321. DOI: 10.31857/S0024114823020080. [Электронный ресурс]. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=50767128.
4. *Jactel H., Koricheva J., Castagneyrol B.* Responses of forest insect pests to climate change: not so simple // Current Opinion in Insect Science. V. 35. 2019. Pp. 103–108.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 24-16-00092).

УДК 528.88

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ NDVI ПОСЛЕ ПОЖАРОВ В БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Ю.А. МАСЮТИНА, А.В. ИВАНОВ

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск (ellada308@mail.ru)

Аннотация. Исследование показывает особенности многолетней постпирогенной динамики индекса NDVI в зависимости от степени пирогенного повреждения на пробных площадях, расположенных в лиственничных лесах Дальнего Востока.

ANALYSIS OF LONG-TERM NDVI DYNAMICS AFTER FIRES IN THE BOREAL FORESTS OF THE RUSSIAN FAR EAST

Yu.A. MASYUTINA, A.V. IVANOV

Institute of geology and nature management FEB RAS, Blagoveshchensk (ellada308@mail.ru)

Abstract. The study shows the features of the long-term post-pyrogenic dynamics of the NDVI index depending on the degree of pyrogenic damage on the plots located in the larch forests of the Far East.

Пожары являются определяющим фактором воздействия на бореальные леса Дальнего Востока России [1]. В результате пожаров происходит повреждение и нередко полная гибель древостоя, уничтожение надпочвенного покрова, усиление эрозии почв. Вместе с тем последствия лесных пожаров неодинаковы на разных участках экосистем, а соответственно и восстановление пройденных огнем территорий может происходить по разным сценариям. Дистанционная оценка постпирогенной динамики позволяет выявить внутрирегиональные особенности восстановления лесов после нарушений и является важной ступенью к пониманию роли пожаров в развитии лесных экосистем.

Целью исследования стала оценка восстановительной динамики лиственничных лесов Дальнего Востока после пожаров с помощью анализа многолетних данных снимков Landsat.

Район исследования охватывает территорию южной, средней и горной тайги на территории Дальневосточного федерального округа в интервале 51–61º с. ш. и 128–117º в. д. Доминирующей породой является *Larix gmelinii* со значительной примесью *Pinus sylvestris* на юге. На гарях возможно полное или частичное замещение коренных лесов на вторичные, образованные преимущественно *Betula platyphylla.* Район исследования входит в зону сплошного, прерывистого и островного развития многолетнемерзлых пород. *Пробные площади* размером 50 × 50 м (n = 30) закладывались в ходе экспедиций 2019–2023 гг. На них оценивались таксационные характеристики древостоев с учетом сухостоя и валежной древесины. С использованием региональных уравнений и конверсионных коэффициентов определялся запас углерода в упомянутых пулах.

Данные о пожарах начиная с 1986 г. были получены для каждой пробной площади путем визуального дешифрирования временных рядов композитных изображений Landsat 5 TM и 8 OLI в комбинации спектральных каналов SWIR2-NIR-Green. Для оценки темпов восстановления пробных площадей после пожаров проведен анализ многолетней динамики спектрального индекса NDVI – нормализованного разностного индекса растительности, – наиболее часто применяемого в подобных исследованиях [2]. После получения многолетних данных NDVI для упрощения временных рядов были рассчитаны средние летние значения, по которым определены сроки восстановления лесного покрова после пожара. Для выявления участков с разной степенью пирогенной нарушенности применялся NBR – нормализованный индекс гарей [3]: рассчитывалась разница между допожарным и послепожарным значениями NBR (ΔNBR), указывающая на величину изменений, произошедших после пожара, а соответственно и на тяжесть пирогенных повреждений. Отбор данных и расчет спектральных индексов для анализа постпирогенной динамики были выполнены на платформе Google Earth Engine.

Для каждой пробной площади были определены даты и количество пожаров за период, охваченный регулярной спутниковой съемкой (1986–2023 гг.). В разное время территории 22 пробных площадей подвергались пожарам от одного до семи (в южной части региона исследования) раз, восемь площадей по дистанционным данным не были нарушены пожарами за исследуемый период. Значения ΔNBR изменялись в диапазоне от -0.01 до 0.77 и продемонстрировали достоверную связь (R^2 = 0.79) с долей мертвой древесины на пробных площадях. С опорой на полученные данные нами были выделены диапазоны значений индекса, соответствующие разной степени пирогенного повреждения в зависимости от доли погибшего древостоя. Учитывая большой территориальный охват, пороговые значения индекса не могут быть строгими и являются гибкими, находясь в зависимости от ландшафтно-климатических условий. Таким образом, все подвергавшиеся пожарам пробные площади были ранжированы по степени пирогенного повреждения от незначительной до высокой. Большинство пробных площадей (n = 11) имеют незначительную (ΔNBR ≤ 0.07) и легкую (ΔNBR от 0.08 до 0.18–0.27) степень пирогенного повреждения,

средней степенью пирогенного повреждения (ΔNBR от 0.19–0.28 до 0.43) характеризуются шесть пробных площадей, высокой (ΔNBR ≥ 0.44) – пять.

В дальнейшем были проанализированы многолетние тренды индекса NDVI для каждой пробной площади и определены сроки возвращения его к средним допожарным значениям после пожаров разной интенсивности. Установлена достоверная связь (R^2 = 0.88) между значениями ΔNBR и периодом восстановления NDVI после пожара, который составил от 1 до 5 лет при легкой степени пирогенного повреждения, 6–13 лет для территорий со средней степенью повреждения и 8–25 лет для территорий с высокой степенью повреждения.

Характеристики пожарных режимов (частота и интенсивность) и сценарии послепожарного восстановления изученных территорий имеют яркие региональные особенности. Лесные пожары на юге (до 54º с. ш.) региона характеризуются коротким периодом повторяемости (менее 35 лет) и при этом меньшей интенсивностью – большинство значений ΔNBR находятся в диапазоне от 0.01 до 0.19, а кривые графиков NDVI демонстрируют резкий рост значений, которые в первый год или в течение нескольких лет после пожара могут превысить средние допожарные показатели индекса (рис. 1). Это может быть связано с разрастанием травянистых и кустарниковых растений. В то же время при многократном прохождении пожаров по одному участку территория зачастую не успевает восстанавливаться. Пробные площади, имеющие среднюю степень пирогенного повреждения, также характеризуются резким ростом значений NDVI в течение первых послепожарных лет. В последующем скорость роста индекса замедляется, тем не менее восстановление происходит поступательно (рис. 1). К северу от 54º с. ш. большинство пробных площадей характеризуются высокой степенью пирогенного повреждения, и зачастую на следующий год после пожара происходит некоторое снижение значений индекса, что может указывать на отсроченную гибель древостоя. В целом динамика индекса после высокоинтенсивных пожаров характеризуется неравномерностью (рис. 1). Такие территории могут восстанавливаться десятилетиями. Если после пожара происходит замещение древостоя нелесными сообществами, то значения NDVI могут стабилизироваться на более низком уровне в сравнении с допожарными.

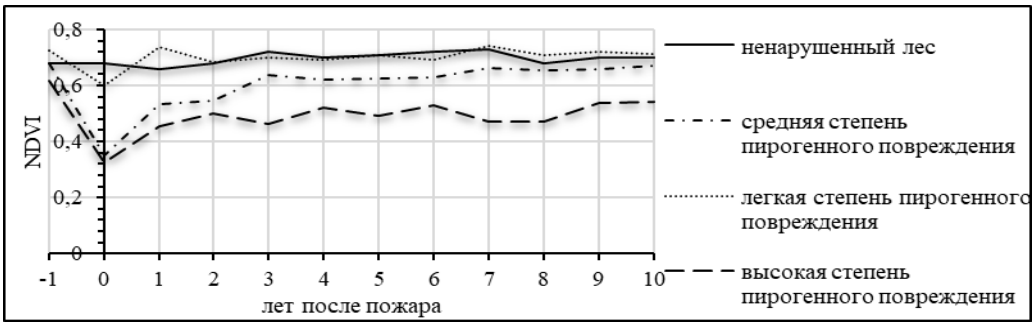


Рис. 1 Примеры графиков динамики индекса NDVI в течение 10 лет после пожаров на участках с легкой, средней и высокой степенью пирогенного повреждения и на участке, не подвергавшемся пожарам (здесь 0 – год пожара, -1 – средние допожарные значения, рассчитанные за пять лет)

Результаты исследования выявили закономерное увеличение продолжительности периода восстановления лесов после пожаров с возрастанием тяжести пожаров, особенности динамики индекса NDVI после пожаров разной степени интенсивности, а также региональные различия пожарных режимов на территории Дальнего Востока.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барталёв С.А., Стыценко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А.* Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015. 2. С. 83–94
2. *Bright B.C., Hudak A.T., Kennedy R.E. et al.* Examining post-fire vegetation recovery with Landsat time series analysis in three western North American forest types // Fire ecol. 2019. 15. DOI: 10.1186/s42408-018-0021-9.
3. *Key C.H., Benson N.C.* Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio // FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2006.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 574.42

МЕЖСЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭМИССИОННЫХ ПОТОКОВ CO_2 В СОСНЯКАХ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

А.В. МАХНЫКИНА[1, 2], А.В. ПАНОВ[1], В.Е. АРЯСОВ[1], Д.А. ПОЛОСУХИНА[1, 2], А.С. ПРОКУШКИН[1, 2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (makhnykina.av@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация. Экосистемы высоких широт на сегодняшний день в наибольшей степени подвержены современным климатическим изменениям. Вклад эмиссионного потока CO_2 с поверхности напочвенного покрова является важным компонентом бюджета углерода в лесных экосистемах. В нашей работе путем прямых измерений была установлена зависимость эмиссионного потока от условий увлажнения конкретного сезона в сосновых насаждениях Средней Сибири. При этом основной фактор, определяющий эмиссию CO_2, будет зависеть от лесорастительных условий территории.

INTERSEASONAL VARIABILITY OF CO_2 EMISSION FLUXES IN PINE FORESTS OF MIDDLE SIBERIA

A.V. MAKHNYKINA[1, 2], A.V. PANOV[1], V.E. ARYASOV[1], D.A. POLOSUKHYNA[1, 2], A.S. PROKUSHKIN[1, 2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (makhnykina.av@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Abstract. Ecosystems at high latitudes are today the most susceptible to recent climate change. The contribution of the CO_2 emission flux from the vegetation ground cover is an important component of the carbon budget in forest ecosystems. In our study, through direct measurements, we established the dependence of the emission flux on the moisture conditions of a particular season in pine forests in Central Siberia. In this case, the main factor determining CO_2 emission will depend on the forest vegetation compositions of the territory.

В лесных экосистемах почвенная эмиссия CO_2 является одним из ключевых компонентов углеродного цикла [1, 5, 7]. Потоки углерода в бореальных лесах в значительной степени зависят от напочвенного покрова, представленного в основном мхами и лишайниками. Вклад живого напочвенного покрова в общее поглощение CO_2 экосистемой бореальных лесов варьирует в широких пределах от 3 до 61 % в зависимости от исследуемой территории, климатических условий и особенностей растительного покрова в целом [4]. На сегодняшний день признан большой потенциал связывания углерода в ярусе напочвенного покрова, однако его функциональная роль до сих пор неясна – не выяснено, может ли он превратиться из поглотителя в источник дополнительного CO_2 в атмосферу в условиях прогнозируемых глобальных изменений [6].

Количественная оценка эмиссионных потоков с поверхности напочвенного покрова играет ключевую роль в понимании происходящих глобальных изменений биогеохимических процессов в бореальных экосистемах. Основной целью данного исследования было сравнение эмиссионных потоков CO_2 в сосняках лишайниковом и зеленомошном, а также оценка влияния различного режима осадков в бесснежный период года на почвенную эмиссию.

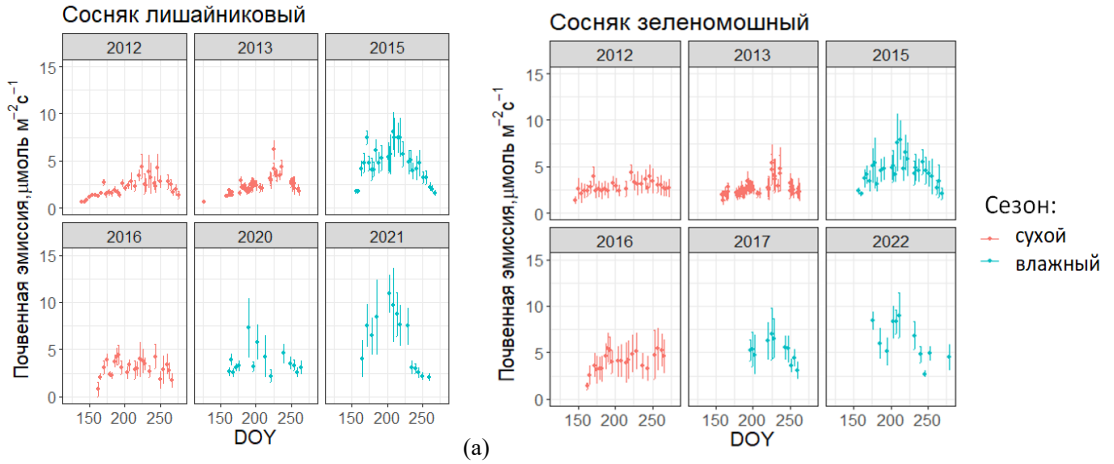
Исследования проводили в среднетаежной подзоне Центральной Сибири, в южной части Туруханского района Красноярского края (60°26′ с. ш., 89°24′ в. д.) вблизи Международной исследовательской станции «Обсерватория ZOTTO». Тип климата территории, по Кёппен – Гейгеру, – Dfc, холодный (континентальный), без сухого сезона, холодное лето. Среднегодовая температура воздуха – -3.4 °C (1936–2022 гг.). Среднемноголетнее среднее количество осадков за вегетационный сезон (июнь – сентябрь) для данной территории составляет 263 мм, а для всего года – 603 мм (1966–2022 гг.) (метеостанция п. Бор, WMO ID: 23884). Таким образом, на дождевые осадки за вегетационный сезон приходится около 44 %. Почвы района исследований сформированы на гляциофлювиальных отложениях и характеризуются преобладанием песка в верхней части профиля [3]. По международной классификации (WRB) почвы относятся к песчаным подзолам (Albic Podzols).

Исследования проводились на двух экспериментальных участках с различными типами напочвенного покрова: в сосняке лишайниковом и сосняке зеленомошном. Измерения почвенной эмиссии осуществляли с июня по сентябрь начиная с 2012 г. Измерения эмиссионных потоков CO_2 с поверхности почвы производили при помощи инфракрасного газоанализатора LI-8100A (LI-COR Biogeosciences Inc., Lincoln, США) с использованием непрозрачной камеры (Survey Chamber 103) в дневное время в период с 11:00 до 16:00. Количество измерений в среднем за сезон по одному участку составляло 25. При каждом измерении эмиссионного потока учитывались объемная влажность почвы SWC на глубине 5 см от поверхности минеральной почвы с помощью влагомера Theta Probe Model ML (Delta T Devices Ltd., Великобритания) и температура почвы на глубине 5, 10 и 15 см с помощью температурного датчика Soil Temperature Probe Type E (Omega, США).

Одним из основных интегральных показателей увлажненности территории является гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова [1]. Исходя из существующей классификации ГТК все рассмотренные сезоны были разделены на две группы:

- ГТК > 1.0 – «Влажные сезоны»: 2015, 2017, 2019–2022 гг. Эту группу мы можем отнести к сезонам с условно не лимитированным увлажнением.
- ГТК < 1.0 – «Сухие сезоны»: 2012, 2013, 2016 г. В эту группу входят сезоны, когда наблюдался дефицит осадков.

Результаты исследования показали, что в сосняке лишайниковом в сухие сезоны потоки почвенной эмиссии (рис. 1а) существенно ниже, чем во влажные: разница в среднем составляет около 45 % за все изученные сезоны. В засушливые сезоны эмиссия CO_2 демонстрирует динамические изменения в течение летнего периода, однако пиковые значения смещены на вторую половину вегетационного сезона, следуя распределению осадков. Во влажные сезоны сезонная динамика эмиссии CO_2 определяется типичным температурным откликом. В среднем наблюдалось двукратное увеличение скорости эмиссии по сравнению с засушливыми сезонами с пиком интенсивности почвенной эмиссии в середине сезона. Эмиссия CO_2 в сосняке лишайниковом варьировала от 2.5 ± 1.0 μмоль $м^{-2}$ $с^{-1}$ в сухие сезоны до 4.7 ± 2.2 μмоль $м^{-2}$ $с^{-1}$ во влажные. Что касается сосняка зеленомошного (рис. 1б), то здесь проявляется вклад условий большего увлажнения в регуляцию эмиссии CO_2. Даже в сухие сезоны скорость эмиссионного потока в сосняке зеленомошном была в среднем на 20 % выше, чем в сосняке лишайниковом. Разница в эмиссионных потоках между сухими и влажными сезонами в сосняке зеленомошном составляет около 40 %. В сухие сезоны величина эмиссии CO_2 равна в среднем 3.0 ± 1.0 μмоль $м^{-2}$ $с^{-1}$, а во влажные – 5.0 ± 1.7 μмоль $м^{-2}$ $с^{-1}$.



(а) (б)

Рис. 1. Сезонная динамика эмиссионных потоков CO_2 с поверхности почвы в сосняках лишайниковом (а) и зеленомошном (б) в «сухие» и «влажные» сезоны. Усредненные данные приведены со стандартными отклонениями

Таким образом, было установлено, что для рассмотренных участков, отличающихся по типу напочвенного покрова, выявляются существенные различия в величине почвенной эмиссии CO_2. Причем эти различия проявляются как во влажные, так и в засушливые сезоны. Для сосняка зеленомошного основным внешним фактором, контролирующим почвенную эмиссию, является температура почвы, в то время как для сосняка лишайникового это влажность почвы, причем в большей степени в сухие сезоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Селянинов Г.Т.* О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по с.-х. метеорологии. Л.: 1928, 20. С. 165–177.
2. *Bond-Lamberty B., Bailey V.L., Chen M. et al.* Globally rising soil heterotrophic respiration over recent decades // Nature. 2018. 560: 80–83.
3. *Dymov A.A., Grodnitskaya I.D., Yakovleva E.V. et al.* Albic podzols of boreal pine forests of Russia: soil organic matter, physicochemical and microbiological properties across pyrogenic history // Forests. 2022. 13: 1831.
4. *Kolari P., Pumpanen J., Kulmala L. et al.* Forest floor vegetation plays an important role in photosynthetic production of boreal forests // Forest Ecology and Management. 2006. 221 (1–3): 241–248.
5. *Kurganova I.N., Kudeyarov V.N.* Is a significant positive imbalance in the carbon cycle (sink) possible in Russia? // Environ. Dyn. Glob. Clim. Chang. 2015. 6: 32–35.
6. *Lagomarsino A., Agnelli A.E.* Influence of vegetation cover and soil features on CO_2, CH_4 and N_2O fluxes in northern Finnish Lapland // Polar Science. 2020. 24: 100531.
7. *Mukhortova L., Schepaschenko D., Shvidenko. A. et al*. Soil contribution to carbon budget of Russian forests // Agric. For. Meteorol. 2015. 200: 97–108.

УДК 630*561.24

РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ДЕРЕВЬЕВ В КРИОГЕННОМ ЛИСТВЕННИЧНИКЕ ПОСЛЕ ЛОКАЛЬНОГО АНТРОПОГЕННОГО НАРУШЕНИЯ

Д.А. МАШУКОВ[1], А.В. БЕНЬКОВА[1], В.Е. БЕНЬКОВА[1], А.В. ШАШКИН[1], А.С. ПРОКУШКИН[1], Е.А. ШАШКИН[1], А.В. КАЧАЕВ[2]

[1] Институт леса им В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (annie1977@yandex.ru)
[2] Сибирский государственный технологический университет, Красноярск

Аннотация. На примере одновозрастного криогенного лиственничника послепожарного возобновления «смоделировано» локальное (прокладка дороги-зимника) антропогенное воздействие на деревья в древостое. Задачи решались на нарушенных и не нарушенных антропогенным воздействием участках древостоя на основе прямых измерений ширины годичных колец (ШГК).

DYNAMICS OF RADIAL GROWTH OF TREES IN CRYOGENIC LARCH FOREST AFTER LOCAL ANTHROPOGENIC DISTURBANCE

D. A. MASHUKOV[1], A. V. BENKOVA[1], V.E. BENKOVA[1], A.V. SHASHKIN[1], A.S. PROKUSHKIN[1], E.A. SHASHKIN[1], A.V. KACHAEV[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (annie1977@yandex.ru)
[2] Siberian State Technological University, Krasnoyarsk

Abstract. On the example of a larch cryogenic forest of the same age after fire renewal, the local (laying a road winter road) anthropogenic impact on trees in the forest stand is modeled. The tasks were solved on the disturbed and undisturbed by anthropogenic impact areas of the stand based on direct measurements biometric indicators of trees, the width of growth rings.

Текущее потепление климата привело к определенным изменениям в состоянии криогенных лесов, связанным в значительной степени с деградацией многолетней мерзлоты [2, 3 и др.]. Повышение интенсивности освоения северных территорий усугубляет ее деградацию. Усилившееся в последнее время антропогенное воздействие на леса (прокладка дорог, вырубки, строительство объектов, проведение геологических изысканий и др.) может значительно превысить эффект потепления климата. Исследования «локальной адаптации» криогенных древесных растений на уровне ксилемы к изменяющейся среде обитания в связи с изменением климата вышли в приоритетные [2, 3, 4 и др.], однако разработке вопросов о последствиях антропогенного воздействия уделяется недостаточно внимания. В то же время значимость таких исследований существенно возросла: они включены в перечень приоритетных направлений фундаментальных исследований РФ на 2021–2030 гг.

Цель исследования – выявить различия в динамике радиального прироста стволовой древесины у одновозрастных деревьев лиственницы Гмелина на ненарушенном и антропогенно измененном участках леса.

Исследования проводились в бассейне р. Нижняя Тунгуска, в среднем ее течении (64°19′ с. ш., 100°13′ в. д.), вблизи пос. Тура, на базе Эвенкийского опорного экспедиционного пункта Института леса СО РАН (ОЭП, Эвенкийский муниципальный район Красноярского края).

Для исследования выбран лиственничник багульниково-брусничный зеленомошный (10Лц) в средней части склона северной экспозиции с уклоном около 2°. Лиственничник сформировался после сильного низового пожара 1896 г. [1], характеризуется V $\bar{}$классом бонитета. В 1984 г. однородность лиственничника была нарушена прокладкой через него сверху вниз дороги – «зимника». Во время экспертного обследования, проведенного в 2017 г., было отмечено, что деревья вблизи вырубки более крупные по сравнению с деревьями в глубине леса. Наиболее выраженный эффект проявился на деревьях, произрастающих у бровки дороги, более слабый – на некотором удалении. Примерно 30 % деревьев в глубине леса были суховершинными, а у дороги суховершинность не встречалась.

Для выявления изменений, произошедших в динамике радиального роста после прокладки дороги, мы заложили пробные площади (ПП) в глубине леса (LE) в 100 м от дороги. Вблизи дороги заложили 3 пробные площади: непосредственно на бровке (ПП «КР0»), на расстоянии 20 м от бровки и 10 м друг от друга (ПП «КР1») и на расстоянии 40 м от бровки («КР2»). Для дендрохронологического исследования выбрали несуховершинные деревья послепожарного возобновления возрастом 110–113 лет: 25 здоровых деревьев на ПП «LE», 22 – на ПП «КР1», 10 – на «КР2».

Исследование динамики радиального прироста проводили на выбранных деревьях стандартными дендрохронологическим методами. Датировку и измерение ширины годичных колец по кернам вели на оборудовании LINTAB v3.0 и LINTAB v5.0 с точностью 0.01 мм.

По результатам предварительного визуального обследования в 2017 г., деревья, произрастающие на ПП, расположенных на участке вблизи дороги, отличались от одновозрастных деревьев в глубине древостоя (ПП LE) лучшими морфометрическими характеристиками. В частности, средний по 10

здоровым деревьям диаметр на высоте груди (DBH ± стандартное отклонение) на ПП LE составил 5.1 ± 2.5 см, а средняя высота *H* – 5.9 ± 1.5 м. На ПП КР1 значения DBH были в 1.4–1.8 раза больше (9.1 ± 1.5 см), а значения *H* – в 1.4–1.5 раза больше (9.1 ± 1.3 м).

Для сравнительного анализа хода роста деревьев до и после закладки зимника весь период роста с 1906 по 2016 г. разделили на два: до 1984 г. и после 1984 г. С 1906 до 1984 г. ходы радиального роста деревьев на нарушенном участке древостоя (на ПП КР0, КР1 и КР2) и в глубине древостоя на ПП LE были схожи между собой ($R = 0.88–0.91$). В период формирования ювенильной древесины (до начала 1930-х гг.) у всех деревьев абсолютные значения ширины годичных колец (ШГК) имели максимум. До начала 1950-х гг. интенсивность роста экспоненциально убывала, а затем стабилизировалась. Таким образом, можно утверждать, что до прокладки дороги (зимника) лиственничник был пространственно гомогенным по динамике радиального прироста.

После прокладки зимника в 1984 г. динамика роста деревьев на антропогенно измененных ПП стала резко отличаться от таковой в глубине древостоя. На кривых хода роста появился максимум, характеризующий резкое увеличение ШГК с последующим снижением. Резкое увеличение ШГК датировано 2000 г. на ПП КР0, 1994 г. на ПП КР1 и 1985 г. на ПП КР2. Максимальные значения ШГК были достигнуты у деревьев на ПП КР2 в 2008 г. (0.7 мм), на ПП КР1 и КР0 – в 2012 г. (1.2 и 1.6 мм соответственно). Достигнув пиковых значений, ШГК стала постепенно уменьшаться, что показали данные измерений до 2016 г. (год образования последнего кольца). Для того чтобы спрогнозировать ход роста на более позднее время, мы использовали экстраполяцию квадратичной функцией. Мы выяснили, через сколько лет ШГК будет иметь стабильные значения, соответствующие тем, которые наблюдались незадолго до прокладки дороги. На КР1 это произойдет примерно к 2035 г., на КР2 – к 2031 г. и на КР0 – к 2027 г. Наиболее резкое уменьшение ШГК экстраполируется у деревьев на бровке (КР0), наиболее плавное – на удалении 40 м от бровки (КР2). Надо отметить, что наблюдаемое нами резкое повышение и сохранение в течение длительного времени (3–4 десятка лет) сравнительно высокой интенсивности радиального роста сходно с послепожарным эффектом в криогенных лиственничниках [4]. Основным фактором, обусловившим оба эффекта, очевидно, является резкое улучшение гидротермических почвенных условий.

Сдвиг пиков ШГК на ПП КР0, КР1 и КР2 относительно друг друга по временной оси свидетельствует о повышении неоднородности (мозаичности) условий роста деревьев на антропогенно измененном участке леса.

Таким образом, позитивный эффект от единоразового антропогенного воздействия на радиальный прирост криогенных деревьев лиственницы неоднороден (мозаичен) в пространстве и непостоянен во времени, имеет экстремальный характер и нивелируется через довольно продолжительное время: 27–47 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kirdyanov A.V., Saurer M., Arzac A., Knorre A.A., Prokushkin A.S., Churakova (Sidorova) O.V., Arosio T, Bebchuk T., Siegwolf R., Büntgen U.* Thawing permafrost can mitigate warming-induced drought stress in boreal forest trees // Science of the Total Environment. 2024. V. 912. 168858.
2. *Николаев А.Н., Федоров П.П., Десяткин А.Р.* Влияние гидродинамического режима мерзлотных почв на радиальный прирост лиственницы и сосны в центральной Якутии // Сиб. экол. журн. 2011. № 2. С. 189–201.
3. *Kirdyanov A.V., Hagedorn F., Knorre A.A., Fedotova E.V., Vaganov E.A., Naurzbaev M.M., Moiseev P.A., Rigling A*. 20th century tree-line advance and vegetation changes along an altitudinal transect in the Putorana Mountains, northern Siberia // Boreas. 2012. V. 41. Pp. 56–67.
4. *Knorre A.A., Siegwolf R.T.F., Kirdjanov A.V., Suarer M., Curakova (Sidorova) O.V., Prokushkin A.S.* Fire as a major factor in dynamics of tree-growth and stable δ ^{13}C and δ ^{18}O variations in larch in the permafrost zone // Forests. 2022. N 13. 725.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках базового проекта ИЛ СО РАН «Динамика компонентов углеродного цикла экосистем Сибири в меняющемся климате» (2024–2026 гг.). FWES-2024-0023.

УДК

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАБАРКОДИНГА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МИКОБИОМА ФИЛОСФЕРЫ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ (НОРИЛЬСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ РАЙОН) И ЗАРАЖЕНИЯ КОРНЕЙ ДЕРЕВОЗРАЗРУШАЮЩИМ ГРИБОМ *PORODAEDALEA NIEMELAE*

К.А. МИРОШНИКОВА[1, 4], Ю.А. ЛИТОВКА[1, 2, 3], И.Н. ПАВЛОВ[2, 3]

[1] ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск (kmiroshnikova@sfu-kras.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
[3] Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск
[4] Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация. Изучено грибное сообщество филосферы лиственницы сибирской в условиях техногенного загрязнения и заражения дереворазрушающими фитопатогенными грибами. С помощью метода метабаркодинга были выявлены основные таксоны, обитающие в хвое лиственницы. Полученные результаты вносят вклад в наше понимание биоразнообразия грибов в лесных экосистемах, затронутых промышленным загрязнением и фитопатогенными угрозами.

APPLICATION OF METABARCODING TO STUDY THE FUNGAL COMMUNITY OF SIBERIAN LARCH: CHANGES IN THE MICROBIAL COMMUNITY OF SIBERIAN LARCH UNDER THE INFLUENCE OF TECHNOGENIC POLLUTION (NORILSK INDUSTRIAL DISTRICT) AND INFECTION BY *PORODAEDALEA NIEMELAE*

K.A. MIROSHNIKOVA[1, 4], YU.A. LITOVKA[1, 2, 3], I.N. PAVLOV[2, 3]

[1] Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center” SB RAS, Krasnoyarsk
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk
[3] M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk
[4] Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Abstract. This study investigates the fungal community of the phyllosphere of Siberian larch under technogenic pollution and pathogenic stress. Using metabarcoding, we identified the main taxa in the needles of different larch tree groups. The findings contribute to our understanding of fungal biodiversity in forest ecosystems affected by industrial pollution and pathogenic threats.

В последнее десятилетие лиственничники полуострова Таймыр оказались подвержены массовому усыханию хвои. Усыхание начинается с кончика хвои в середине лета и достаточно быстро распространяется по всей хвое. Наиболее интенсивно поражение хвои проявляется в нижней части кроны. Это позволяет исключить непосредственный ожог хвои в результате промышленного загрязнения Норильского промышленного района и предположить инфекционный характер заболевания. Подтверждение нетехногенного характера повреждения заключается также в наличии сходных закономерностей и в лиственничниках вне зоны техногенного загрязнения (контроль). Поэтому в исследовании стояла задача идентифицировать микроорганизм (или группу грибов и бактерий), вызывающих данное новое поражение (заболевание) хвои *Larix sibirica.* На первом этапе важно понять, какие изменения в микробиоме явились причиной быстрого некроза хвои в условиях изменения климата и хронического фонового загрязнения атмосферы.

Ряд современных технологий секвенирования нового поколения предоставили прямой доступ к колоссальному генетическому разнообразию «некультивируемого большинства» микроорганизмов; теперь стало возможным идентифицировать большое количество организмов из образцов окружающей среды с использованием относительно коротких последовательностей ДНК. Этот метод молекулярной идентификации получил название метабаркодинг. Независимо от используемой технологии секвенирования в основе ДНК-метабаркодинга лежат амплификации целевых регионов с использованием таксон-специфичных праймеров. Эти праймеры должны быть достаточно универсальными, чтобы охватывать большие группы таксонов, но в то же время – приводить к ампликонам, которые достаточно вариабельны для эффективного различения близкородственных видов или идентификации операционных таксономических единиц (OTE) [4, 7].

Изучение микробных сообществ открывает новые возможности для повышения устойчивости сельскохозяйственных культур и лесных экосистем к изменяющимся экологическим условиям и техногенному воздействию. Лиственница сибирская играет важную роль в формировании лесов бореальной зоны, деревья лиственницы являются ключевыми элементами лесных экосистем, поддерживая биоразнообразие и оказывая значительное влияние на биосферные процессы. Загрязнение воздуха тяжелыми металлами, выбросы промышленных предприятий и другие техногенные факторы изменяют химический состав почвы и атмосферных осадков. Эти изменения влияют на здоровье деревьев и делают их более восприимчивыми к грибным поражениям. Одно из таких поражений провоцирует *P. niemelae*:

этот фитопатоген сохраняет свою активность даже при экстремально низких температурах и поражает деревья лиственницы вплоть до Арктики, вызывая белую гниль корней и стволов [1, 6]. Важно изучить, какую роль в этих процессах играют другие микроорганизмы, а также техногенное влияние промышленных предприятий.

Для анализа отбирались образцы хвои лиственницы с деревьев, подверженных: techno – только техногенному загрязнению; infected – только заражению корневыми патогенными грибами *P. niemelae;* inf&tech – совместному влиянию *P. niemelae* и техногенного загрязнения; control – в удалении от источников техногенного загрязнения, где заражение *P. niemelae* не установлено. Ампликоны фрагментов рибосомальных оперонов грибов (ITS2) были получены методом ПЦР. Библиотеки ампликонов секвенировали на приборе Illumina MiSeq с получением парных прочтений (2 × 300 н). Обработка данных проводилась в Rstudio с помощью пакета DADA2 [3] версии 1.28.0, таксономическая идентификация выполнялась с помощью базы данных ITS UNITE [2, 5] версии 25.07.2023.

Во всех образцах были широко представлены аскомицеты и базидиомицеты. Среди аскомицетов преобладали грибы родов *Alternaria*, *Cladosporium* и *Eustilbum*, базидиомицеты были представлены родами *Phaeotremella*, *Phyllotopsis*, *Porotheleum* (рис. 1). Фитопатогенные грибы были представлены родами *Alternaria, Fusarium, Cytospora, Valsa* и *Pyrenochaeta* и преобладали в образцах со значительным поражением хвои. Наибольшим разнообразием и обилием установленных родов грибов отличалась группа образцов, подверженных техногенному загрязнению. Полученные результаты вносят вклад в наше понимание биоразнообразия грибов в лесных экосистемах, затронутых промышленным загрязнением и фитопатогенным воздействием. Установленный предварительно перечень фитопатогенных грибов может быть основой для последующих микологических исследований по идентификации возбудителя нового массового повреждения хвои лиственницы в Арктике.

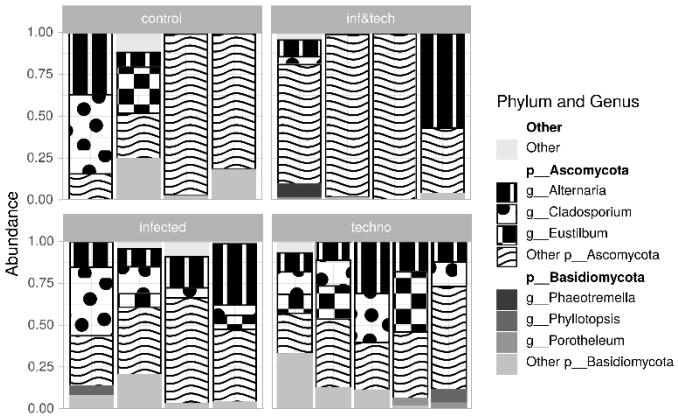


Рис. 1. Распределение наиболее представленных родов и отделов грибов в филосфере лиственницы сибирской

ЛИТЕРАТУРА

1. *Литовка Ю.А., Павлов И.Н., Рязанова Т.В. и др.* Дереворазрушающие свойства арктических штаммов *Porodaedalea niemelaei* M. Fischer и *Trichoderma atroviride* Bissett // Химия растительного сырья. 2017. (1): 145–150.
2. *Abarenkov K., Nilsson R.H., Larsson K.H. et al.* The UNITE database for molecular identification and taxonomic communication of fungi and other eukaryotes: sequences, taxa and classifications reconsidered // Nucleic Acids Research. 2024. 52 (D1): D791–D797.
3. *Callahan B.J., McMurdie P.J., Rosen M.J. et al.* DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data // Nature methods. 2016. 13 (7): 581–583.
4. *Gautam A.K., Verma R.K., Avasthi S. et al.* Current insight into traditional and modern methods in fungal diversity estimates // Journal of Fungi. 2022. 8 (3): 226.
5. *Kõljalg U., Nilsson H.R., Schigel D. et al.* The taxon hypothesis paradigm: On the unambiguous detection and communication of taxa // Microorganisms. 2020. 8 (12): 1910.
6. *Pavlov I. N., Litovka YU. A., Ryazanova T.V. et al.* Phylogenetic relationships, pathogenic traits, and wood-destroying properties of *Porodaedalea niemelaei* M. Fischer isolated in the northern forest limit of *Larix gmelinii* open woodlands in the permafrost area // J. of Siberian Federal University. Biology. 2018. 11 (1): 30–48.
7. *Tedersoo L., Bahram M., Zinger L. et al.* Best practices in metabarcoding of fungi: from experimental design to results // Molecular ecology. 2022. 31 (10): 2769–2795.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено в рамках госзадания ФИЦ КНЦ СО РАН № FWES-2022-0003. Результаты получены с использованием оборудования ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ.

УДК 574.4/58.02(504.054)+581.5/581.19

ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ

Т.А. МИХАЙЛОВА, О.В. ШЕРГИНА

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск (sherolga80@mail.ru)

Аннотация. Дана оценка состояния городских лесов крупного города (Иркутск, Восточная Сибирь) по комплексу показателей древесных растений, почвенного покрова, травяного яруса. Выявлен целый ряд негативных изменений лесных биогеоценозов, в том числе уменьшение фотосинтезирующего объема крон деревьев, нарушение кислотно-основных, катионообменных, гумификационных свойств почвы. Показана значимая экосистемная функция лесов по очищению атмосферного воздуха путем поглощения/адсорбирования поллютантов.

INDICATION THE STATE OF URBAN FOREST BIOGEOCENOSES

T.A. MIKHAILOVA, O.V. SHERGINA

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk (sherolga80@mail.ru)

Abstract. The state of natural forests in a large city (Irkutsk, Eastern Siberia) was studied based on a set indicators of tree-stands, soil, and herbal cover. A number of negative changes in forest biogeocenoses have been identified, including a decrease in the photosynthetic volume of tree crowns, a violation in the acid-base, cation exchange, and humification properties of the soil. The significant ecosystem function of forests in purifying atmospheric air by absorbing/adsorbing pollutants is shown.

Современные города рассматриваются как сложная природно-техногенная система, в которой процессы антропогенного нарушения природных объектов в той или иной степени превалируют [2, 3]. Поэтому для улучшения экологической ситуации крайне необходимо разрабатывать научно обоснованные подходы к оптимизации состояния тех компонентов городской среды, которые играют важнейшую роль в ее оздоровлении [1]. Среди таких компонентов наибольшую средообразующую, средозащитную, санитарно-гигиеническую, мониторинговую значимость имеют сохранившиеся естественные лесные биогеоценозы. Особого изучения требуют города бореальной зоны, отличающиеся наличием жестких природных условий и доминированием в городских лесах хвойных видов деревьев, высокочувствительных к негативным факторам урбанизации [3, 5].

В 2022–2024 гг. нами проведено исследование состояния лесов естественного происхождения в крупном городе Восточной Сибири – Иркутске. Состояние лесов оценивалось по комплексу показателей древесных растений, почвы, травяного покрова. Ранее было показано, что из большого разнообразия негативных факторов, влияющих на леса города, особо значимы атмосферное загрязнение и нерациональное лесопользование, включая высокую рекреационную нагрузку на почвенный покров [4]. Воздействие фактора загрязнения оценивалось по количеству и составу адсорбированных хвоей/листьями взвешенных частиц твердого аэрозоля (PM_x) и по накоплению элементов-поллютантов (Pb, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Al, Mo, Ni, Zn, Sr, Ti) в ассимиляционных органах лесообразующих видов (*Pinus sylvestris, Larix sibirica, Betula pendula*) и горизонтах почвенных профилей. О степени рекреационной нагрузки в городских лесах судили по нарушению морфологических, физических и педохимических свойств лесной подстилки и верхних горизонтов почвы.

Выявлен целый ряд негативных изменений параметров древесных растений – уровень дефолиации крон может достигать 50–65 %, фотосинтезирующий объем крон уменьшается в 2 раза и более, продуктивность фотосинтеза снижается на 35–48 % (максимально) в сравнении с фоновой; обнаружены изменения в пигментном комплексе хвои/листьев – для исследованных древесных растений общей тенденцией было снижение содержания хлорофилла *a* и каротиноидов; скорость транспирации снижалась у всех трех видов (максимально в 2.1 раза); изменяются и другие физиолого-биохимические показатели сосны, лиственницы, березы.

Травяной покров в городских лесах значительно отличается от фоновых, он более разрежен, проективное покрытие составляет в среднем 60 %, доля рудеральных видов в среднем равна 44 %. Неблагоприятные процессы обнаружены также в почве (табл. 1). Выражены: разрушение лесной подстилки, снижение аэрации и содержания естественной влаги в верхних горизонтах, нарушения кислотно-основных, катионообменных, гумификационных свойств, соотношения элементов в почвенном поглощающем комплексе.

Почти все обследованные леса значительно загрязнены, о чем свидетельствуют высокая аккумуляция поллютантов в тканях ассимиляционных органов древесных растений (табл. 2), выраженная адсорбция частиц твердого аэрозоля на поверхности хвои/листьев [5], накопление тяжелых металлов в подстилке и горизонтах почвы.

При обобщении полученных данных обнаружено, что состояние естественных лесов на территории города значительно варьирует. С применением многоуровневого статистического анализа выявлены степени дигрессии лесных биогеоценозов – от слабой до сильной с шагом 5 %. Результаты были отражены

картографически: путем построения карты-схемы ухудшения состояния городских лесов на территории г. Иркутска. Наибольшее негативное изменение параметров древесных растений, почвы, травяного покрова обнаруживается в северо-западной и юго-западной частях городской территории, локально – на ряде других лесных участков. Эти леса наиболее загрязнены и характеризуются высоким или средним уровнем рекреационной нагрузки. За пределами указанных территорий естественные леса менее нарушены. Леса состояния, близкого к фоновому, располагаются на городских окраинах, а также вдоль водохранилища. В целом можно заключить, что бо̀льшая часть естественных лесов Иркутска нуждается в улучшении состояния, мерах по сохранению, лесовосстановлению, контролю за рекреационным лесопользованием.

Таблица 1. Морфологические и физические свойства лесной подстилки (A0) и гумусовых горизонтов (A1+A2) серых лесных почв на пробных площадях (ПП) в городских лесах Иркутска и на фоновой ПП

Параметры	ПП 1	ПП 2	ПП 3	ПП 4	ПП 5	ПП 6	ПП 7	ПП 8	Фоновая ПП
Мощность подстилки, см	2.2	2.5	4.6	1.4	1.8	2.7	3.8	5.3	6.7
Мощность гумусовых горизонтов, см	8.3	8.7	15.2	5.7	7.8	9.2	10.6	17.3	21.8
Пористость горизонтов, %	35.3	41.2	57.3	33.6	41.7	51.4	55.6	62.3	68.7
Аэрация почвы, %	18.1	19.2	33.4	12.2	17.2	20.4	26.3	38.2	45.4
Естественная влажность почвы, %	34.3	36.8	43.1	25.1	30.6	35.8	40.1	45.3	60.8
Антропогенные включения в горизонтах, %	25	20	5	40	35	30	25	10	нет

Таблица 2. Показатели аккумуляции поллютантов (Zc)* хвоей/листьями деревьев на ПП в городских лесах Иркутска

Вид дерева	Пробные площади (ПП)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Сосна обыкновенная	75.64	80.03	43.47	88.24	73.26	58.86	51.29	42.93
Лиственница сибирская	118.52	116.17	50.84	159.23	103.28	87.85	76.87	53.78
Береза повислая	106.21	91.99	37.55	106.78	109.59	57.95	54.16	38.63

Примечание. * Показатель Zc рассчитывался по сумме коэффициентов концентрации (Kc) элементов-поллютантов (Pb, Cd, Zn, Cu, Fe, Mn, Cr, Ni, Mo, Co, Al, Sr, Ti), аккумулированных в хвое/листьях деревьев.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жигалева Я.С., Тихонова М.В.* Роль городских лесов в экосистеме мегаполиса // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2023. № 5. [Электронный ресурс]. URL: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/5/st_524.pdf.
2. *Карпова Н.В.* Город как урбоэкосистема: сущностное содержание и подходы к управлению // Экономика и экология территориальных образований. 2018. Т. 2. № 3. С. 73–78.
3. *Михайлова Т.А., Шергина О.В.* Питательный статус древесных растений как интегральный показатель состояния урбоэкосистемы // Известия ИГУ. Сер. «Биология. Экология». 2011. Т. 4. № 2. С. 66–73.
4. Экологическая безопасность города Иркутска: географические аспекты / И.Г. Годвинская, Т.И. Заборцева, Т.А. Михайлова, О.В. Шергина и др. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2013. 129 с.
5. *Mikhailova T.A., Shergina O.V.* Diversity and negative effect of PM 0.3–10.0 adsorbed by needles of urban trees in Irkutsk, Russia // Environ. Sci. Pollut. Res. 2023. 30: 119243–119259.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы признательны Д.А. Чеснакову и А.С. Мироновой за помощь в выполнении исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 22-24-00140).

УДК 630*581

ЗАПАСЫ ФИТОМАССЫ И ПОЧВЕННОГО УГЛЕРОДА СОСНЯКОВ РАЗНОТРАВНО-ЗЕЛЕНОМОШНЫХ ГЕМОБОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Н.А. МИХЕЕВА, А.В. МУСОХРАНОВА, Л.В. МУХОРТОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (mikheevana@yandex.ru, nastya.krasn@mail.ru, l.mukhortova@gmail.com)

Аннотация. Проведена оценка запасов углерода, аккумулированного фитомассой и почвой средневозрастных сосняков разнотравно-зеленомошных на территории опытно-экспериментального хозяйства «Погорельский бор» Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН.

RESERVES OF PHYTOMASS AND SOIL CARBON IN GREEN-MOSSES PINE FORESTS IN THE HEMOBOREAL ZONE OF CENTRAL SIBERIA

N.A. MIKHEEVA, A.V. MUSOKHRANOVA, L.V. MUKHORTOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (mikheevana@yandex.ru, nastya.krasn@mail.ru, l.mukhortova@gmail.com)

Abstract. An assessment of the carbon reserves accumulated by the phytomass and soil in green-mosses pine forests was carried out on the experimental territory Institute of forest named after V.N. Sukachev of SB of RAS «Pogorelsky Bor».

Начиная с 1960–1980-х гг. наблюдаются изменения климата, связанные с антропогенными факторами [2, 6], поэтому все большее внимание исследователей привлекает изучение биологической продуктивности лесов. Леса играют важную роль в стабилизации климата в результате поглощения углерода из атмосферы и депонирования его в фитомассе [5].

Оценка запасов фитомассы всех ярусов растительности и почвенного углерода проведена в средневозрастных сосняках разнотравно-зеленомошных с единичным участием в составе лиственных пород (береза, осина) на территории стационара Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН ОЭХ «Погорельский бор». Территория стационара «Погорельский бор» входит в Красноярскую островную лесостепь, которая имеет протяженность 110–150 км в направлении с севера на юг и приблизительно 80 км с запада на восток. Абсолютные высоты колеблются в пределах 250–300 м. Климат резко континентальный, средняя годовая температура воздуха 0.5 °С. Продолжительность вегетационного периода – 150 дней. Среднегодовое количество осадков – 400 мм [1].

Для оценки запасов углерода и их распределения по отдельным компонентам биогеоценоза (БГЦ) сосняка разнотравно-зеленомошного было заложено 5 постоянных пробных площадей (ППП) размером 0.25 га каждая. Древесный ярус представлен сосной с единичной примесью березы или осины. В результате проведения полевых работ на каждой ППП сплошным перечетом учтено в среднем 542 ± 104.21 деревьев, преобладающая высота древостоя 22–27 м, диаметр – от 2 см до 38.4 см [4]. Сосняки формируются на дерново-подзолистой и на серой лесной почве.

Подрост и подлесок характеризуется как мелкий, жизнеспособный, не имеющий механических повреждений, без фитопатологий. Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса – от 30–50 %, максимальная высота может достигать 60–70 см. Синузиальная (парцеллярная) горизонтальная структура сообщества выражена главным образом кустарничково-зеленомошными, вейниково-разнотравными и разнотравно-зеленомошными единицами в различных соотношениях, но без четких границ и жесткой приуроченности к микрорельефу.

В доминирующих элементах растительной мозаики (в межкроновом пространстве и под кронами основного лесообразующего вида) на каждой пробной площади был выполнен отбор образцов горизонтов почвы для определения химических свойств и запасов углерода.

Оценка пулов углерода в фитомассе древостоя, подроста и подлеска выполнена согласно методике, утвержденной Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации распоряжением № 20-р от 30.06.2017 [3]. На каждой ППП отбор образцов для определения запасов фитомассы живого напочвенного покрова и запасов лесной подстилки проводили в 3-кратной повторности с площади 0.0625 м^2, учет подземной фитомассы – до глубины 30 см минерального профиля почвы. Таксационные характеристики древесного яруса на ППП приведены в табл. 1.

Структура запасов углерода, аккумулированного фитомассой сосняков средневозрастных, лесной подстилкой и минеральным слоем почвы 0–100 см в БГЦ «Погорельский бор», представлена на рис. 1.

Среднее значение запасов углерода в общей фитомассе подроста составило 0.137 ± 0.095 тС/га, для подлеска 0.0082 ± 0.0082 тС/га. Общие запасы углерода в фитомассе живого напочвенного покрова варьируют от 101.2 до 138.6 тС/м2. Средний запас углерода в мертвой древесине, накопленный в КДО, составил 3.25 ± 1.43 тС на 1 га.

Таблица 1. Таксационные характеристики ППП биогеоценоза сосняка разнотравно-зеленомошного «Погорельский бор»

Номер ППП	Преобладающая порода	Класс бонитета	Ярус						Элементы леса					
			№ яруса	состав яруса	в стволовой древесине	в ветках	в хвое	в корнях	порода	высота, м	диаметр, см	возраст, лет	% деловой древесины	Класс товарности
1	С	1	1	10СедБедОс	30.6	2.0	0.8	5.3	С	22.9	20.5	56	90	2
					29.2	2.1	0.9	5.0	Б	15.9	13.1		70	3
2	С	1	1	10СедБедОс	26.6	1.6	0.5	4.6	С	23	23.9	55	95	1
					26.4	1.7	0.6	4.6	Б	16.6	13.6		20	4
3	С	1	1	10С+БедЕедОс	26.3	1.9	0.9	4.5	С	18.9	15.2	53	79	2
									Б	16.1	12.9		84	2
4	С	1	1	10СедБ	12.5	1.31	115.7	4.6	С	19.8	17.1	56	86	2
									Б	15.9	12.6		88	2
5	С	1	1	10С+Б	11.6	1.16	120.9	6.1	С	22.3	19.4	53	83	2
									С	26.7	47.9			
									Б	18.3	16.3	55	96	1

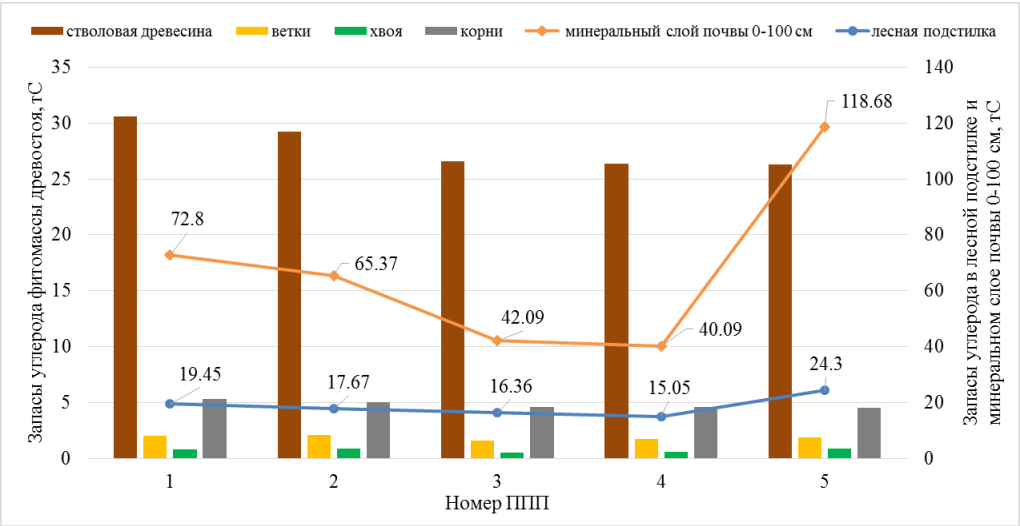


Рис. 1. Структура запасов углерода в БГЦ «Погорельский бор»

В целом в средневозрастных сосняках разнотравно-зеленомошных аккумулировано в среднем 230.60 тС/га. На долю фитомассы древостоя приходится 62.5 ± 1.93 % этих запасов, на долю органического вещества почвы – 37.5 ± 3.91 % общих запасов депонированного углерода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроклиматический справочник по Красноярскому краю и Тувинской АО. Л.: Гидрометеоиздат, 1961. 268 с.
2. *Будыко М.И.* Глобальная экология. М.: Мысль, 1977. 328 с.
3. Распоряжение Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р «О методических указаниях по количественному определению объема поглощения парниковых газов». URL: https://prirod.admin-smolensk.ru/files/678/prikaz-minprirrossii-30_06_2015-n-300.pdf.
4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023624999 Российская Федерация. Запас и биомасса компонентов репрезентативных лесных экосистем Средней Сибири для оценки пулов углерода: № 2023623955: заявл. 17.11.2023: опубл. 25.12.2023 / А.А. Онучин, И.Н. Безкоровайная, А.И. Бондарев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр» Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук».
5. *Усольцев В.А.* Фитомасса деревьев двухвойных сосен Евразии: аддитивные модели в климатических градиентах / В.А. Усольцев. И.С. Цепордей. В.П. Часовских // Сиб. лесной журн. 2019. № 1. С. 44–56. DOI: 10.15372/SJFS20190104.
6. *Laing J., Binyamin J.* Climate change effect on winter temperature and precipitation of Yellowknife. Northwest Territories. Canada from 1943 to 2011 // Amer. J. Climate Change. 2013. V. 2. N. 4. P. 275–283.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потока парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 630.561.24

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОГО ДЕФИЦИТА УВЛАЖНЕНИЯ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ

Н.Н. МИЧУРИН, Р.С. МОРИЦ, В.А. ОСКОЛКОВ, В.И. ВОРОНИН

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск (NikitaDranik@hotmail.com)

Аннотация. В работе анализируется динамика радиального прироста лиственницы сибирской в условиях продолжительного дефицита увлажнения на территории Жомболокского лавового поля.

IMPACT OF PROLONGED MOISTURE DEFICIT ON SIBERIAN LARCH RADIAL GROWTH

N.N. MICHURIN, R.S. MORITZ, V.A. OSKOLKOV, V.I. VORONIN

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk (NikitaDranik@hotmail.com)

Abstract. The paper provides Siberian larch radial growth analysis affected by prolonged moisture deficit on the Zhombolok lava field territory.

Текущий темп изменений климата в перспективе приведет к существенным изменениям природной среды и, как следствие, скажется на хозяйственной и социальной сферах жизни человека. Необходимо иметь сценарии развития природных систем в условиях изменяющейся среды. Процессы, происходящие в лесных системах, сложно поддаются прогнозированию ввиду сложности и недетерминированности этих систем.

Местом исследования было выбрано Жомболокское лавовое поле, которое является уникальным объектом позднеплейстоцен-голоценового межконтинентального вулканизма. Оно расположено в горной цепи Восточного Саяна на границе Окского плоскогорья и хребта Кропоткина, где занимает большую часть долины реки Жомболок. Ландшафты лавового поля представлены застывшими потоками базальтовых лав, простирающихся до 72 км в длину, 4 км в ширину и до 150 м вглубь [3].

Последняя фаза извержений, по данным радиоуглеродного датирования и дендрохронологического анализа, произошла во временном промежутке между периодом гибели погребенных деревьев 1268–928 лет назад и временем начала роста нового поколения деревьев на поверхности молодых лав 900 лет назад [3]. Это дает нам возможность оценки динамики радиального прироста популяции лиственницы сибирской, стабильно существующей в данных условиях уже не менее 900 лет.

Целью данной работы была оценка динамики радиального прироста лиственницы сибирской в условиях продолжительного дефицита увлажнения на территории Жомболокского лавового поля.

Объектом исследования была выбрана лиственница сибирская (*Larix sibirica* L.), которая является ценной древесной породой и имеет как хозяйственное, так и средообразующее значение. Сведения об экологической пластичности данного вида достаточно противоречивы. Одни исследователи считают ее видом, способным хорошо адаптироваться к изменяющимся условиям среды [1]; другие, напротив, полагают, что лиственница – это уязвимый вид, который может быть использован как биоиндикатор [9].

Для отбора кернов использовался возрастной бур Пресслера (Sweden), спилы отбирались с применением цепной пилы. В камеральных условиях образцы шлифовались, обрабатывались скальпелем со сменными лезвиями [2]. Ширина годичного кольца измерялась с применением полуавтоматической установки Lintab и программного обеспечения TsapWIN [8]. Использовался стереомикроскоп «Ломо МСП-1» при 40-кратном увеличении. Далее полученные индивидуальные древесно-кольцевые хронологии (ДКХ) индексировались с удалением возрастного тренда и автокорреляции, после чего усреднялись для получения обобщенной ДКХ. Подготовка ДКХ производилась с применением пакета dplR в среде R.

Дендроклиматический анализ производился в пакете dendroTools в среде R [4, 5, 6, 7]. Для оценки климатического отклика были использованы суточные данные температуры воздуха и атмосферных осадков (метеостанция Орлик) за период 1960–2017 гг.

В итоге в ходе исследования было проанализировано 64 образца древесины, среди которых – керны с живых деревьев и спилы с отмерших деревьев. Биологический возраст образцов колебался от 70 до 635 лет. Была получена обобщенная ДКХ для лиственницы с Жомболокского лавового поля протяженностью 917 лет, выявлены наибольшие (при рассмотрении линейных зависимостей) корреляционные показатели климатического отклика в радиальном приросте: 0.411 – для температуры (рис. 1а) и 0.716 – для атмосферных осадков (рис. 1б).



Рис. 1. Наибольшие коэффициенты корреляции радиального прироста с температурой (а) и осадками (б)

Таким образом, лиственницы, произрастающие на Жомболокском лавовом поле, испытывают дефицит атмосферного увлажнения в связи с особенностями среды, в частности, с эдафическими условиями (мелкообломочные породы, пористые базальты, незначительное количество органики). Недостаточное атмосферное увлажнение обусловливает наличие выраженного положительного отклика радиального прироста на осадки как на основной источник влаги.

Продолжительный дефицит влаги хоть и является выраженным лимитирующим фактором, но позволяет лиственницам достигать 300-летнего возраста и не препятствует непрерывному продолжению популяции и смене поколений лиственницы на лавовых полях в течение многих столетий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Романова Л.И.* Структурно-функциональные особенности лиственницы сибирской в зеленых насаждениях г. Красноярска и его окрестностей: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.05. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005. 24 с.
2. *Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В.* Методы дендрохронологии. Ч. 1. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учеб.-метод. пособие. 2000.
3. *Arzhannikov S.G. et al.* Age of the Jombolok lava field (East Sayan): evidence from dendrochronology and radiocarbon dating //Russian Geology and Geophysics. 2017. V. 58. N 1. Pp. 20–36. DOI: 10.1016/j.rgg.2016.07.001.
4. *Bunn A. et al.* Package ‘dplR’. 2014. 101 p.
5. *Bunn A., Korpela M.* Crossdating in dplR. 2016. V. 0. P. 1–12.
6. *Jevšenak J., Levanič T.* DendroTools: R package for studying linear and nonlinear responses between tree-rings and daily environmental data // Dendrochronologia. 2018. V. 48. October 2017. P. 32–39.
7. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017.
8. *Rinn F.* TSAP-Win time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications. 2003. 91 p.
9. *Seta-Koselska A., Szczuka E., Skyrzynska-Polit E., Domaciuk M., Gielwanowska I.* Roadside larch trees (Larix Mill.) and its female generative organs as a biomonitor of air pollution // Pol. J. Environ. Stud. 2014. 23: 867–874.

УДК574.3

ИНДИКАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ КЫШТЫМСКОЙ АВАРИИ МЕТОДАМИ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ

М.В. МОДОРОВ, В.В. КУКАРСКИХ

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург (mmodorov@gmail.com, voloduke@mail.ru)

Аннотация. Рассмотрена реакция радиального прироста сосны обыкновенной и березы повислой на радиоактивное загрязнение среды, обусловленное Кыштымской аварией, произошедшей на территории Южного Урала в 1957 г. На наиболее загрязненных участках отмечено снижение прироста сосны обыкновенной в период 1959–1962 гг., но для березы повислой, напротив, зафиксировано увеличение прироста в период 1960–1966 гг., что, вероятно, связано со снижением световой конкуренции вследствие выпадения сосны обыкновенной.

DENDROCHRONOLOGICAL METHODS TO DETERMINE THE CONSEQUENCES OF THE KYSHTYM ACCIDENT

M.V. MODOROV, V.V. KUKARSKIH

Institute of Plant and Animal ecology, UB RAS, Yekaterinburg (mmodorov@gmail.com, voloduke@mail.ru)

Abstract. The reaction of radial growth of Scots pine and silver birch to radioactive contamination of the environment caused by the Kyshtym accident in the South Urals in 1957 was studied. At the most contaminated sites, a decrease in the growth of Scots pine was observed in the period 1959–1962, and an increase in the growth of silver birch in the period 1960–1966, which is probably related to a decrease in light competition after Scots pine dieback.

29 сентября 1957 года на территории Южного Урала произошла Кыштымская авария – одна из крупнейших радиационных аварий в истории человечества. В результате взрыва емкости с радиоактивными отходами, хранящимися на ПО «Маяк», в окружающую среду оказалось выброшено 7.4×10^{17} Бк продуктов деления, около 10 % которых было разнесено ветром в северо-восточном направлении. Это привело к радиоактивному загрязнению территории шириной до 20–40 км и протяженностью до 300 км. Загрязненная территория получила название Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). Около 95 % содержания выброшенной смеси составляли радионуклиды с периодом полураспада менее года, что обусловило высокий уровень дозовых нагрузок, полученных биотой в начальный период после образования ВУРСа. На долю стронция-90 и цезия-137, период полураспада которых составляет около 30 лет, приходилось около 5 % и 0.04 % (по другим данным, 0.4 %) активности выпавшей смеси соответственно. Современное радиоактивное загрязнение ВУРСа связано с присутствием здесь стронция-90 и цезия-137 [1].

К моменту аварии в окрестностях ПО «Маяк» аграрные экосистемы соседствовали со смешанными сосново-березовыми лесами. Высокие уровни дозовых нагрузок, полученных деревьями в начальный период после Кыштымской аварии, привели к их заметному поражению и даже гибели в первые годы после начала облучения. Так, гибель сосны обыкновенной была отмечена на территории площадью около 50 км^2, а на территории площадью около 80 км^2 наблюдали сильное поражение кроны сосны с усыханием 95 % кроны и остановкой роста деревьев. Полной гибели всего древостоя березы не отмечено, однако на территории площадью около 3 км^2 погибли половина растущих деревьев березы повислой, а на территории 12 км^2 – около 10 % деревьев этого вида [1]. Спустя более 60 лет после Кыштымской аварии регистрирующие структуры деревьев являются единственным биологическим индикатором, который может быть использован для реконструкции реакции лесных экосистем на облучение, а также для реконструкции дозовых нагрузок, полученных биотой. В данной работе будет рассмотрена связь радиального прироста сосны обыкновенной и березы повислой с уровнем радиоактивного загрязнения территории ВУРСа.

В 2020–2023 гг. со 198 деревьев на высоте 1.3–1.5 м при помощи возрастного бура были отобраны керны древесины. В настоящее время деревьев сосны на наиболее загрязненных участках ВУРСа относительно немного, что отчасти связано с их гибелью в начальный период после Кыштымской аварии [4]. Представительные выборки сосен могли быть отобраны всего на трех участках со значительным уровнем загрязнения. Характеристика этих участков дана ранее, современная плотность загрязнения почвы стронцием-90 на них составляет около 1000, 2500 и 6000 кБк/м^2 [3]. Иная ситуация отмечена для берез. Пережившие Кыштымскую аварию деревья растут как в районе ее эпицентра, так и на участках, на которых сосна погибла в результате облучения. Керны с берез были отобраны на пяти участках. На участке Bet-1 уровень современного загрязнения почвы стронцием-90 составляет десятки тысяч кБк/м^2, деревья сосны в первом ярусе на этом участке отсутствуют, что связано с их гибелью после Кыштымской аварии. Участок Bet-2 примыкает к участку Bet-1, современный уровень загрязнения почвы стронцием-90 на нем составляет тысячи кБк/м^2, деревья сосны в первом ярусе здесь присутствуют. Участок Bet-3 представляет

собой березовый колок, расположенный в районе эпицентра Кыштымской аварии, уровень современного загрязнения почвы стронцием-90 составляет здесь около 10 000 кБк/м^2. В качестве контроля были использованы выборки берез, отобранные на двух участках, современный уровень плотности загрязнения почвы которых стронцием-90 составляет десятки кБк/м^2. В условиях лаборатории с использованием стандартных методов дендрохронологии с точностью до 0.01 мм определяли ширину годичных колец древесины [2]. Для устранения эффекта возрастного тренда все индивидуальные хронологии были проиндексированы. В анализ были включены только те образцы, возраст которых на момент аварии составлял не менее 7 лет включительно, что позволило получить выборку деревьев, высота которых за 7 лет до Кыштымской аварии была не менее 1.3 метра.

Для сосны обыкновенной было отмечено снижение радиального прироста относительно контрольных деревьев в 1959 г. (через два года после Кыштымской аварии) на двух участках с современной плотностью радиоактивного загрязнения почвы около 2500 и 6000 кБк/м^2, на участке с плотностью загрязнения почвы около 1000 кБк/м^2 подобного снижения не отмечено. При этом на участке с плотностью загрязнения около 2500 кБк/м^2 величина прироста была ниже контрольных значений вплоть до 1962 г. включительно, а на наиболее загрязненном участке подобное снижение присутствовало, но было статистически незначимо ($p > 0.05$). В последующие годы (с 1962 по 2019) каких-либо закономерных отличий радиального прироста деревьев, растущих в зоне значительного радиоактивного загрязнения, от контрольных выборок деревьев не выявлено.

По сравнению с сосной береза обладает меньшей радиочувствительностью [1]. Поэтому в условиях облучения смешанного сосново-березового леса негативный эффект от действия радиационного фактора должен быть выражен для этого вида не так сильно. При этом реакция на облучение берез будет сочетаться со снижением конкуренции со стороны более угнетенных деревьев сосны. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в период с 1960 по 1966 г. на радиоактивно загрязненных участках по сравнению с контрольными наблюдались более высокие значения радиального прироста у березы повислой. Причем наиболее выраженным он был на участке Bet-1 (наибольший уровень радиоактивного загрязнения, сочетающийся с гибелью деревьев сосны). В период с 1967 по 1969 г. включительно радиальный прирост на импактных участках был ниже, чем в контролях, а в период 1970–1972 гг. снова выше. В остальной период наблюдений закономерных (проявляющихся одновременно на разных участках, расположенных в зоне радиоактивного загрязнения) отличий выборок деревьев, растущих на загрязненных участках, от контролей не отмечено.

Полученные данные свидетельствуют о том, что Кыштымская авария оказала заметное влияние на радиальный прирост как сосны обыкновенной, так и березы повислой. При этом для сосны обыкновенной эта реакция заключалась только в снижении прироста, начавшегося через год после начала облучения. Через 5 лет после начала облучения прирост деревьев на загрязненных и контрольных участках не различался. Для березы сочетанное действие факторов облучения и снижения конкуренции с сосной привело к увеличению радиального прироста, наблюдающегося в период с 1960 по 1966 г. После этого различия показателей прироста с контролем наблюдались до 1972 года, т. е. в течение 15 лет после начала облучения. Важно отметить, что даже в условиях высоких доз облучения факторы нерадиационной природы оказывают существенное влияние на регистрирующие структуры древесных растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р.М. Алексахин, Л.А. Булдаков, В.А. Губанов и др. М.: ИздАТ, 2001. 752 с.
2. Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов и др. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
3. *Kukarskih V.V., Modorov M.V., Devi N.M. et al.* Radial growth of *Pinus sylvestris* in the East Ural Radioactive Trace (EURT): Climate and ionizing radiation // Science of The Total Environment. 2021. V. 781. Article number: 146827.
4. *Pozolotina V.N., Shalaumova Y.V., Lebedev V.A. et al.* Forests in the East Ural Radioactive Trace: structure, spatial distribution, and the ^{90}Sr inventory 63 years after the Kyshtym accident // Environmental monitoring and assessment. 2023. V. 195. Article number: 632.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00467, https://rscf.ru/project/23-27-00467.

УДК: 630*4 (282.256.341)

ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ПРИБАЙКАЛЬЕ

Т.И. МОРОЗОВА, В.И. ВОРОНИН

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск (bioin@sifibr.irk.ru)

FOREST PATHOLOGICAL MONITORING IN THE BAIKAL REGION

T.I. MOROZOVA, V.I. VORONIN

Siberian institute of plant physiology and biochemistry SB RAS, Irkutsk (bioin@sifibr.irk.ru)

В период 2020–2023 гг. в центральной экологической зоне Байкальской природной территории была заложена сеть ключевых участков лесопатологического мониторинга. При подборе ключевых участков исходили из следующих соображений: должны быть охвачены все доминирующие лесные формации; для оперативного отслеживания динамики лесной растительности необходимо проводить исследование в экотонах; должны быть представлены как низинные, так и высокогорные леса; и, наконец, ключевые участки должны быть заложены как в здоровых древостоях, так и в очагах уже выявленных болезней и в пройденных низовыми пожарами древостоях.

За период обследований сети лесопатологического мониторинга нами были зафиксированы вспышки массового размножения насекомых и эпидемия бактериальной водянки хвойных.

В Среднем Прибайкалье – непарный шелкопряд *Lymantria dispar,* пяденица Якобсона *Erannis jacobsoni*, пяденицы на лиственнице (два вида), огневка шишковая *Dioryctria abietella*.

В Южном Прибайкалье – непарный шелкопряд *Lymantria dispar,* побеговьюн-смолевщик – *Petrova resinella,* хермес сибирский *Pineus cembrae*, уссурийский полиграф *Polygraphus proximus,* дельфиниелла бальзамическая *Delphiniella balsameae,* бактерия *Pectobacterium carotovorum.*

В Северном Прибайкалье – большой лиственничный пилильщик *Nematus erichsonii,* калиптоспора брусничная *Calyptospora goeppertiana*, пукциниаструм кипрейный *Pucciniastrum pustulatum.*

Исходя из результатов анализа фитопатологической обстановки, выявленной в ходе лесопатологического мониторинга, и с учетом реализованных вспышек массового размножения насекомых в период обследования, эпифитотий и бактериальных эпидемий под **постоянным контролем** рекомендуется оставить наблюдения только за тремя видами хвоегрызущих насекомых: это шелкопряд сибирский *Dendrolimus superans sibiricus*, непарный шелкопряд *Lymantria dispar,* шелкопряд лунчатый *Cosmotriche lunigera*; тремя видами стволовых вредителей, такими как лубоед еловый большой *Dendroctonus micans*, усач черный пихтовый *Monochamus urussovi*, уссурийский полиграф *Polygraphus proximus*, и тремя видами возбудителей болезней леса, микромицетами: это лахнеллула хвойная *Lachnellula pini*, кронатриум смородиновый *Cronatrium ribicola*, бактерия *Pectobacterium carotovorum*.

При неблагоприятных погодных условиях (засуха, низкие температуры) часто происходит размножение насекомых и случаются болезни леса, которые ранее не приводили к возникновению очагов поражения. Многолетнее снижение уровня атмосферного увлажнения в темнохвойных лесах Южного Прибайкалья (хребет Хамар-Дабан) спровоцировало эпидемию бактериальной водянки, которая привела к гибели кедровников на большой площади [2]. Массовое размножение большого лиственничного пилильщика *Nematus erichsonii* Hrt. вызвало возникновение обширных очагов, в которых данный вредитель полностью уничтожил хвою лиственниц на севере Байкала. В то же время на Хамар-Дабане, где ранее происходили вспышки массового размножения черного пихтового усача *Monochamus urussovi* Fisch, возникновения очагов не следует прогнозировать в ближайшие десятилетия. Будут встречаться только единичные повреждения деревьев вредителем [1].

Проведение мониторинговых исследований в выделенных районах Прибайкалья должно осуществляться в двухлетнем режиме, а в антропогенных комплексах – через два-три года после события (пожар, вырубка
и т. п.).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Морозова Т.И., Воронин В.И.* Многолетний лесопатологический мониторинг в байкальском регионе и выявление причин массовых повреждений лесов. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2019. 126 с.
2. *Черпаков В.В., Морозова Т.И., Воронин В.И., Осколков В.А.* 2. *Pectobacterium carotovorum* (Jones, 1901), Waldee, 1945. Пектобактериум картоворум / Wetwood / Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / ред. Ю.Ю. Дгебуадзе, В.Г. Петросян, Л.А. Хляп. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2018. С. 27–33.

УДК 630*582 (571.63)

ПАРЦЕЛЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ НА СКЛОНАХ СЕВЕРНОЙ ЭКСПОЗИЦИИ В ЮЖНОМ ПРИМОРЬЕ

Т.А. МОСКАЛЮК

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток (tat.moskaluk@mail.ru)

Аннотация. Описана парцеллярная структура двух типичных для Южного Приморья производных широколиственных типов леса, произрастающих в верхней (10 парцелл) и средней (11 парцелл) частях склона северной экспозиции. Выявлены ее особенности, определяемые положением фитоценозов в рельефе и условиями освещенности, создаваемыми древесно-кустарниковыми ярусами.

PARCEL STRUCTURE OF BROUDLEAVED FORESTS AT THE SLOPES OF NORTHERN EXPOSITIONS IN SOUTH PRIMORYE

T.A. MOSKALYUK

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB of the RAS, Vladivostok (*tat.moskaluk@mail.ru*)

Abstract. The parcel structure of two derivative broad-leaved forest types typical for Southern Primorye, growing in the upper (10 parcels) and middle (11 parcels) parts at the slope of northern exposition, is described. Its features are identified, determined by the position of phytocenoses in the relief and lighting conditions created by the tree and undergrowth tiers.

В Приморском крае доля лесов производной широколиственной формации составляет более 20 % площади лесного фонда [4] и продолжает увеличиваться. В этой ситуации большое значение приобретает информация о процессе естественного восстановления коренных хвойно-широколиственных лесов региона, в том числе сведения об их парцеллярной структуре, отражающей закономерности лесообразовательного процесса на любой стадии онтогенеза сообществ в разных лесорастительных условиях [2, 5].

Исследования проводились в двух широколиственных типах лесах на северо-восточном склоне экологического профиля «Горнотаежный» в Уссурийском районе Приморского края. Поверхность склона относительно ровная с террасовидными элементами микрорельефа. Уклон ее составляет 10–15º, местами снижается до 5°, на откосах террас увеличивается до 40°. Склонам северных экспозиций – теневым – в Приморском крае присуще высокое плодородие почв, относительно равномерное распределение влаги и мягкий микроклимат. Леса здесь резко отличаются от лесов на инсолируемых склонах. Для них характерны многопородные высокосомкнутые древостои, густой подлесок и разреженное разнотравье. Оптимальное сочетание влаго- и теплообеспеченности складывается в средних частях склонов из-за прекращения температурной инверсии и увеличения транзита водного стока с верхней территории [1].

Объекты исследований – *дубово-липовый с кленом мелколистным разнокустарниково-чубушниковый лес* (Д-Лп с Км) в верхней части склона (70 м от водораздела) и *широколиственно-липовый с лианами лещиновый лес* (Шркл-Лп) – в средней (200 м от водораздела) – сформировались на месте коренного чернопихтово-широколиственного леса, пройденного в 40-е годы минувшего столетия выборочными рубками с последующими пожарами. Их фитоценозы отличаются от прежних отсутствием хвойных пород, что позволяет считать эти леса условно-коренными [3]. В каждом из исследованных фитоценозов были заложены постоянные пробные площади размером 0.25 и 0.42 га с детальным описанием и картированием всех ярусов растительности. В названия парцелл включались названия видов-доминантов. При наличии в парцелле более 3 видов деревьев указывалось название группы – «широколиственная» (Шркл); при сложном видовом составе травяного яруса вводилось название доминирующего комплекса.

При одинаковом составе главных лесообразующих пород и почти одинаковых средних диаметре и высоте значения других показателей древостоев Д-Лп с Км в 1.6–1.9 раза меньше, чем в Шркл-Лп (табл. 1).

Таблица 1. Таксационные показатели растущего древостоя в Д-Лп с Км (I) и Шркл-Лп (II)

Формула состава (по запасу)		N, дер.·га$^{-1}$		$D_{ср}$, см		$H_{ср}$, м		S, м^2·га$^{-1}$		M, м^3·га$^{-1}$		Полнота	
I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
5Лп4Д1Км + Бд, ед. И, Ор, М	8Лп1Д1Км + Яс, Ор, ед. И, К, Бд	488	741	20.0	21.3	16.1	16.7	15.3	26.2	109.0	203.4	0.73	1.19

Примечание. Виды: Лп – липы амурская (*Tilia amurensis*) и маньчжурская (*T. mandshurica*), Д – дуб монгольский (*Quercus mongolica*), Км – Клен мелколистный (*Acer mono*), Бд – береза даурская (*Betula davurica*), И – ильм японский (*Ulmus japonica*), Ор – орех маньчжурский (*Juglans mandshurica*), М – маакия амурская (*Maackia amurensis*), К – калопанакс семилопастной (*Kalopanax septemlobum*), Яс – ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica*)

Число видов деревьев в Д-Лп с Км составляет 14, кустарников – 10, трав – 93; в Шркл-Лп, соответственно, 22, 11 и 79 видов. В обоих фитоценозах произрастают три вида лиан: *Actinidia arguta*, *Schisandra chinensis* и *Vitis amurensis*. В Д-Лп с Км плети лиан короткие (≤1 м). Своеобразие Шркл-Лп определяют плодоносящие лианы актинидии и, редко, винограда, поднимающиеся в кроны первого яруса. В обоих типах леса кустарники образуют густой подлесок, но в Д-Лп с Км в подлеске преобладает чубушник (*Philadelphus tenuifolius*) со значительной примесью элеутерококка (*Eleutherococcus senticosus*), а в Шркл-Лп – лещина (*Corylus mandshurica*). Деревья и кустарники на теневых склонах обладают сходными экологическими требованиями, межвидовая сопряженность между эдификаторами и видами-спутниками отсутствует. Более существенны различия в видовом составе и структуре травяного яруса.

Травяной ярус как наиболее зависимый ценоэлемент фитоценоза служит индикатором внутриценотических условий. В его структуре четко отражаются различия между местообитаниями (микросайтами). Меньшая сомкнутость крон древостоя и неравномерное распределение деревьев и кустарников в Д-Лп с Км обусловили наличие прогалин с густым травостоем. В Шркл-Лп такие микросайты отсутствуют; травяной ярус сильно разрежен, за исключением участков с волжанкой (*Aruncus dioicus*) и звездчаткой (*Stellaria bungeana*); в парцеллах с лианами трав почти нет. В местах перегиба склоновой поверхности в средней части склона после выпадения осадков обычны выходы на поверхность потоков воды, сопровождаемые началом интенсивной экспансии хвоща (*Equisetum hiemale*). Выше – в Д-Лп с Км – хвоща нет. В микровпадинах обоих типов леса наблюдается разрастание влаголюбивых осок (*Carex campylorhina*). В парцеллярной структуре исследованных фитоценозов прослеживаются и другие особенности.

В **Д-Лп с Км** выделено 10 парцелл, из которых 8 условно-коренные, типичные для хвойно-широколиственных лесов: Шркл-Лп элеутерококково-чубушниковая разнотравная (рт) редкопокровная (рп), Шркл (Лп или Км) элеутерококково-чубушниковая лесно-маковая (*Hylomecon vernalis*), Шркл папоротниковая, Шркл-Д рт-василистниковая (*Thalictrum filamentosum*), Шркл рт, Лп-Д рт-осоковая (ос), Шркл-Км или Шркл-Лп элеутерококково-чубушниковая лесно-маковая и Км крупнотравно-папоротниковая, а также 2 производные: Шркл рт-волжанковая и Шркл крупнотравная. В **Шркл-Лп** число парцелл на одну больше – 11. Из них 6 условно-коренные: Д-Лп лесно-маковая, Д-Лп с Км лещиново-трескуновая (*Ligustrina amurensis*) рт рп, Шркл трескуново-лещиновая актинидиевая, Шркл рт с ос и василистником, Лп с кленом ложнозибольдовым (*Acer pseudosieboldianum*) рт-ос, Шркл-Яс с лещиной хвощовая, а 5 – производные: Лп-Д василистниковая с рт, Км-Лп рт-звездчатковая, Д-Лп с Км рт с ос, маакиево-диморфантовая волжанковая и березово-Лп с трескуном рт с ос и василистником.

Пять парцелл в Д-Лп с Км и шесть в Шркл-Лп – основные (по классификации Н.В. Дылиса [2]). Они занимают 79.0 и 78.3 % площади фитоценоза соответственно. Площадь каждой из них составляет не менее 8 %. Самые большие парцеллы в обоих типах леса – «лесно-маковая» и «разнотравная редкопокровная» – располагаются на участках с 2-3-кратным перекрытием крон деревьев и густым подлеском. К середине лета после увядания «лесно-маковая» парцелла превращается в одну из «разнотравных редкопокровных». В Д-Лп с Км обе парцеллы занимают – 31.8 % площади фитоценоза, в Шркл-Лп – 40.3 %.

Характерными условно-коренными парцеллами с видами, встречающимися только в одном из исследованных фитоценозов, являются: в **Д**-Лп с Км – папоротниковые с доминированием *Osmundastrum asiaticum* и участием *Lunathyrium pycnosorum*; в Шркл-Лп – «актинидиевая», с кленом ложнозибольдовым разнотравно-осоковая и «хвощовая».

Густопокровные производные «волжанковая» и «звездчатковая» парцеллы в Шркл-Лп формируются в местах со свежими вывалами деревьев. Со смыканием над ними крон деревьев и разрастанием лещины они превращаются в редкопокровные парцеллы. В Д-Лп с Км проективное покрытие трав в производных парцеллах – «разнотравно-волжанковой» и «крупнотравной» – из-за приуроченности к прогалинам тоже очень высоко и варьирует от 70 до 100 %. Площадь их в 1.5 раза больше, чем площадь аналогичных парцелл в Шркл-Лп, и составляет 15. % от площади фитоценоза.

Таким образом, сходство парцеллярной структуры условно-коренных производных лесов на теневых горных склонах в Южном Приморье определяется условиями первичного экотопа и высокими эдификаторными функциями древесно-кустарниковых ярусов. Четкая сопряженность парцелл с размещением лесообразующих пород на склоне отсутствует. Приуроченность парцелл к определенным местообитаниям (микросайтам) в фитоценозах обусловлена разным положением типов леса в рельефе и подтверждает мнение о более благоприятных лесорастительных условиях в средних частях склонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Васильев Н.Г., Колесников Б.П.* Чернопихтово-широколиственные леса Южного Приморья. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 147 с.
2. *Дылис Н.В.* Структурно-функциональная организация биогеоценотических систем и ее изучение // Программа и методика биогеоценологических исследований. М.: Наука, 1974. С. 14–23.
3. *Манько Ю.И.* Классификация лесов в зависимости от их происхождения и влияния экзогенных факторов // Динамические процессы в лесах Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. С. 3–19.
4. *Москалюк Т.А*. Изменение парцеллярной структуры лиановых широколиственных лесов за 20 лет в Приморском крае // Лесоведение. 2023. 3. С. 228–243.
5. *Spicer M.E., Mellor H., Carson W.P.* Seeing beyond the trees: a comparison of tropical and temperate plant growth forms and their vertical distribution // Ecology. 2020. 101 (4): Pp. 1–9.

УДК

ПОТОКИ CH_4 И CO_2 В ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСАХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА

С.Ю. МОЧЕНОВ[1], М.С. МИШИНА[1, 2], Г.Г. СУВОРОВ[1]

[1] Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва (mochenov.semen@gmail.com)
[2] Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

Аннотация. Исследовалась эмиссия метана и углекислого газа из почвы на 6 участках заболоченных лесов в Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике в течение вегетационных сезонов 2022 и 2023 г. Обнаружено различие функций разных участков в цикле метана, а также влияние температуры поверхностного слоя почвы и уровня почвенно-грунтовых вод на эмиссию метана и углекислого газа.

CH_4 AND CO_2 FLUXES IN SWAMP FORESTS OF THE CENTRAL FOREST RESERVE

S.YU. MOCHENOV[1], M.S. MISHINA[1, 2], G.G. SUVOROV[1]

[1] Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS, Moscow (mochenov.semen@gmail.com)
[2] Lomonosov Moscow State University, Moscow

Abstract. Methane and carbon dioxide soil emission was researched in 6 sites of swamp forests in Central Forest Nature Reserve during growing seasons of 2022 and 2023 years. Difference of methane cycle functions of sites was found, as well as influence of soil surface layer temperature and water table level on methane and carbon dioxide emission.

Основными парниковыми газами, растущая концентрация которых в атмосфере вносит вклад в глобальное изменение климата, являются метан (CH_4) и углекислый газ (CO_2). При этом по сравнению с CO_2 метан обладает большим потенциалом глобального потепления и меньшим сроком жизни в атмосфере [1], что делает применение результатов исследования потоков CH_4 потенциально более эффективными в предотвращении неблагоприятных сценариев глобального потепления. В то же время изучению CH_4 в климатических исследованиях отводится значительно меньшее внимание. В изучении циклов этих парниковых газов вызывают интерес заболоченные леса, так как их почвы в зависимости от условий увлажнения, которые не являются постоянными, могут являться источником CH_4 в атмосферу – как болотные биогеоценозы или его стоком – как автоморфные лесные [2, 3]. Примером распространения подобных экосистем в южной тайге является юго-запад Валдайской возвышенности, в частности, территория Центрально-Лесного государственного заповедника (ЦЛГЗ). Цель работы – оценка эмиссии CH_4 и CO_2 в заболоченных лесах на примере ЦЛГЗ.

Работа выполнена на территории ЦЛГЗ в рамках 13 полевых кампаний в июне – октябре 2022 г. и мае – октябре 2023 г. С использованием метода статических непрозрачных камер и газоанализатора Li-7810 (LI-COR, США) в 5-кратной пространственной повторности измерялись потоки CH_4 и CO_2 на 6 участках на торфяных почвах с различными растительным ассоциациями и мощностью торфа: на 4 участках елового черничного сфагнового леса (березово-еловый сухостойный с подростом ели, торф 70 см (ЕЧС-70); еловый сухостойный с подростом ели, торф 40 см (ЕЧС-40); еловый с обильным подростом ели, торф 25 см (ЕЧС-25); елово-березовый, торф 33 см (ЕЧС-33)), участке березово-соснового осоково-мелкотравного политрихово-сфагнового леса, торф 90 см (СМС-90), участке сосново-елово-березового с подростом ели осоково-черничного сфагнового леса, торф 87 см (БЧС-87) . Площадь оснований камеры составляла 284 $см^2$, объем – 5 л. Попутно измерялись температура поверхностного слоя почвы и уровень почвенно-грунтовых вод (УПГВ) на участках.

На всех участках, кроме СМС-90, наблюдалось в целом поглощение CH_4 почвой из атмосферы (медиана потока CH_4 – 12.1 мкгС $м^{-2}$ $ч^{-1}$, размах – от -422.7 до 110.6 мкгС $м^{-2}$ $ч^{-1}$), на участке СМС-90 – выделение из почвы (медиана потока – 8.4 мкгС $м^{-2}$ $ч^{-1}$, размах – от -69.3 мкгС $м^{-2}$ $ч^{-1}$ до 88 мгС $м^{-2}$ $ч^{-1}$). При этом в целом динамика наблюдаемых потоков CH_4 на участке СМС-90 совпадает с динамикой УПГВ, достигая максимальных значений осенью, после обильных дождей, в то время как динамика на остальных участках, на которых УПГВ часто опускается ниже торфяной толщи, что делает невозможным образование метана, совпадает с динамикой температуры поверхности почвы, которая регулирует процесс микробиологического потребления метана. Ход эмиссии CO_2 на всех участках в целом совпадал с ходом сочетания данных факторов (медиана всех измеренных потоков –139 мгС $м^{-2}$ $ч^{-1}$, размах – от 8 до 968 мгС $м^{-2}$ $ч^{-1}$).

Таким образом, обнаружены различие функций (источник или сток) в цикле CH_4 разных типов заболоченных лесов в ЦЛГЗ в течение вегетационных сезонов двух лет, а также влияние температуры поверхностного слоя почвы и УПГВ на эмиссию CH_4 и CO_2.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Canadell J.G., Monteiro P.M., Costa M.H. et al.* Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Global carbon and other biogeochemical cycles and feedbacks // Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2023. Pp. 673–816.
2. *Glukhova T.V., Ilyasov D.V., Vompersky S.E. et al.* Spatio-temporal variability of methane fluxes in boreo-nemoral Alder swamp

(European Russia) // Forests. 2022. 13 (8): 1178.
3. *Mochenov S.Yu., Churkina A.I., Sabrekov S.F. et al.* Soils in seasonally flooded forests as methane sources: A case study of West Siberian South taiga // IOP Conf Ser: Earth Environ Sci. 2018. 138 (1): 012012.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа С.Ю. Моченова выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации FFER-2022-0002 (тема № 1022031600002-1-1.6.19). Работа М.С. Мишиной и Г.Г. Суворова поддержана в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 634.0.165.4 : 576.312.35/37

КАРИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХВОЙНЫХ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ

Е.Н. МУРАТОВА, Т.С. СЕДЕЛЬНИКОВА, О.В. ГОРЯЧКИНА, А.В. ПИМЕНОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (elena-muratova@ksc.krasn.ru, tss@ksc.krasn.ru; kvitko@ksc.krasn.ru, pimenov@ksc.krasn.ru)

Аннотация. У представителей семейств Pinaceae и Cupressaceae, произрастающих у южной и северной границ ареалов, на экологическом пределе распространения, в антропогенно нарушенных экосистемах, в условиях интродукции, выявлена хромосомная изменчивость, обнаружены геномные и хромосомные мутации. Отмечены высокая частота изменений числа хромосом и найдены различные типы аномалий морфологии хромосомы.

KARYOLOGICAL STUDIES ON CONIFERS IN EXTREME CONDITIONS

E.N. MURATOVA, T.S. SEDELNIKOVA, O.V. GORYACHKINA, A.V. PIMENOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (elena-muratova@ksc.krasn.ru, tss@ksc.krasn.ru, kvitko@ksc.krasn.ru, pimenov@ksc.krasn.ru)

Abstract. In species of Pinaceae and Cupressaceae families growing in southern and northern borders of areas, on ecological limits of distribution, in anthropogenically disturbed ecosystems, at the introduction, chromosome variability is revealed. A high frequency of changes in the number of chromosomes (mixoploidy, aneuploidy and polyploidy) and different types of anomalies of their morphology were noted.

Большинство видов хвойных являются диплоидами, имеют много хромосом, характеризуются большой массой ДНК и огромным размером генома [9, 11, 13, 14, 15, 16]. В настоящее время установлено, что в их эволюции основную роль играли генные мутации при сохранении основных морфологических характеристик кариотипов – числа, морфологии и размеров хромосом. Кариологические и цитогенетические исследования хвойных, проведенные в конце XX – начале XXI в., показали, что в оптимальных условиях хромосомные аномалии встречаются редко. А вот в популяциях и местообитаниях с экстремальными условиями произрастания обнаружены многочисленные хромосомные аномалии.

Изучены представители четырех родов семейства Pinaceae (сосновые) – *Abies* Mill. (пихта, 10 видов), *Larix* Mill. (лиственница, 8 видов), *Picea* A. Dietr. (ель, более 20 видов), *Pinus* L. (сосна, около 20 видов) и шести родов семейства Cupressaceae (кипарисовые) – *Chamaecyparis* Spach (кипарисовик), *Cupressus* L. (кипарис), *Juniperus* L. (можжевельник), *Microbiota* Kom. (микробиота), *Thuja* L. (туя, 2 вида), *Sequoiadendron* J. Buchholz. (секвойядендрон). Проведены исследования большого числа популяций и местообитаний, в том числе у границ ареалов, на болотах, в горах, в антропогенно нарушенных условиях, дендрариях, ботанических садах и парках. Изучались также внутривидовые формы, расы, культивары, встречающиеся в природе отдельные особи с отклоняющимися от типичных признаками габитуса и особенностями генеративных органов. Большая часть видов семейства Pinaceae содержит в кариотипе 24 хромосомы ($2n = 24$), видов семейства Cupressaceae – 22 хромосомы ($2n = 22$). У представителей этих семейств морфологические типы хромосом сходны в пределах рода. Разные виды и происхождения в пределах видов различаются в основном по числу и локализации ядрышкообразующих районов.

У хвойных в экстремальных условиях обитания, около границ ареалов, отмечены изменения числа и морфологии хромосом, повышенная встречаемость вторичных перетяжек и хромосомных перестроек, не наблюдаемые в оптимальных условиях. Геномные мутации, такие как анеуплоидия, миксоплоидия, в некоторых случаях полиплоидия, выявлены у сосны обыкновенной, различных видов лиственницы и ели, кедрового стланика, пихты сибирской. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) у северной и южной границ ареала, на болотах Западной Сибири и за пределами ареала в Нижнем Поволжье характеризуется широким спектром хромосомных мутаций. У деревьев выявлены кольцевые и полицентрические хромосомы, делеции, фрагменты, множественные нарушения, аномалии митоза и мейоза.

Широкий спектр геномных и хромосомных мутаций отмечен также у кедра сибирского (*P. sibirica* Du Tour), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.), произрастающих на экологическом пределе распространения на болотах различного типа в южнотаежной подзоне Западной Сибири. Патология митоза представлена фрагментами, многополюсными митозами, отстающими хромосомами, одиночными и парными мостами, выбросами хромосом за пределы пластинки, агглютинацией хромосом, остаточными ядрышками, нарушениями «жесткого типа», включая С-митоз. В экстремальных районах произрастания у лиственницы Гмелина (*L. gmelinii* (Rupr.) Rupr.) в Читинской обл., а также лиственницы сибирской на Таймыре и в Республике Хакасия были обнаружены добавочные (В-) хромосомы, не характерные для рода *Larix*.

Высокий уровень хромосомных нарушений отмечен у хвойных не только в естественных экстремальных экотопах, но и в условиях различного по степени и характеру промышленного загрязнения

на Южном Урале, в Алтайском крае, в районе Новолипецкого металлургического комбината, Сегежского целлюлозно-бумажного комбината и некоторых регионах Республики Карелия [3, 4, 5, 7, 8]. Повреждения «жесткого типа» – С-митоз, пульверизация и агглютинация хромосом – были выявлены у сосны обыкновенной в условиях радиоактивного загрязнения в зоне Чернобыльской АЭС [12] и у сосны японской красной (*P. densiflora* Siebold et Zucc.) после аварии на АЭС «Фукусима» [2].

У нескольких видов хвойных под влиянием антропогенных загрязнений в крупных промышленных центрах и при интродукции установлены цитогенетический полиморфизм семенного потомства, снижение митотической активности, высокая частота встречаемости патологий митоза, описаны случаи амитоза [1, 6]. Цитологические исследования видов лиственницы в Норильском промышленном районе и в окрестностях г. Красноярска в условиях воздействия техногенных эмиссий показали высокую частоту миксоплоидов и различные типы хромосомных мутаций.

При исследовании интродуцированных насаждений хвойных в ботанических садах, парках и дендрариях обнаружены изменчивость числа хромосом и миксоплоидия у ряда видов и гибридов сосны. Хромосомные и геномные мутации отмечены также у представителей рода Picea, интродуцированных за пределами ареала. Интересные результаты были получены при изучении нескольких широко используемых в озеленении видов кипарисовых: кипарисовика Лаусона (*Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murray) Parl.), кипариса аризонского (*Cupressus arizonica* Greene), кипариса вечнозеленого (*C. sempervirens* L.), туи восточной (*Thuja orientalis* L.), культиваров туи западной (*T. occidentalis* L.) с различной окраской хвои и формой кроны. Был использован материал из парковых насаждений и дендариев России, Болгарии, Кыргызстана, США, Украины. У декоративных форм кипарисовых встречаются миксоплоидия и хромосомные аномалии, например, множественная фрагментация хромосом [10].

Таким образом, у хвойных у северной и южной границ ареалов, на экологическом пределе распространения, в антропогенно нарушенных экосистемах, интродуцированных в дендрариях, ботанических садах и парках, выявлена хромосомная изменчивость, обнаружен широкий спектр геномных и хромосомных мутаций. Анализ накопленных к настоящему времени материалов показывает, что кариотипическая изменчивость имеет определенное адаптивное значение в данной систематической группе растений. Возникновение различных типов хромосомных аномалий и их высокая встречаемость в популяциях хвойных может рассматриваться как мера их генетического разнообразия и отражать высокую степень экологической пластичности. Проведенные исследования позволяют судить об уровнях внутривидовой и межвидовой изменчивости, процессах микроэволюции и дивергенции хвойных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Буторина А.К., Калаев В.Н., Вострикова Т.В., Мягкова О.Е.* Цитогенетическая характеристика семенного потомства некоторых видов древесных растений в условиях антропогенного загрязнения г. Воронежа // Цитология. 2000. 42. 2. С. 196–201.
2. *Васильев Д.В., Гераськин С.А., Йощенко В.И., Лыченкова М.А., Нанба К.* Цитогенетические эффекты в интеркалярной меристеме хвои красной японской сосны в отдаленный период после аварии на АЭС «Фукусима» // Экологическая генетика. 2020. 18. 4. С. 483–492.
3. *Егоркина Г.И.* Цитогенетические параметры сосны обыкновенной в Алтайском крае // Лесоведение. 2010. 6. С. 39–45.
4. *Игнатенко Р.В.* Цитогенетические исследования семенного потомства *Pinus sylvestris* L., произрастающей в районе Сегежского ЦБК // Труды Карельского научного центра РАН, сер. эксперим. Биология. 2021. 11. С. 93–102.
5. *Игнатенко Р.В., Галибина Н.А., Раевский Б.В.* Цитогенетическая оценка популяций *Pinus sylvestris* L. на Европейском Севере России (Республика Карелия) // Turczaninowia. 2022. 25. 1. С. 73–85.
6. *Калаев В.Н., Игнатова И.В., Калаева Е.А.* Цитогенетический полиморфизм семенного потомства деревьев ели белой (*Picea glauca* (Moench) Voss) при интродукции в Воронежской области // Turczaninowia. 2020. 23. 3. С. 185–204.
7. *Калашник Н.А.* Хромосомные нарушения как индикатор оценки степени техногенного воздействия на хвойные насаждения // Экология. 2008. 4. С. 276–286.
8. *Машкина О.С., Калаев В.Н., Мурая Л.С., Леликова Е.С.* Цитогенетические реакции семенного потомства сосны обыкновенной на комбинированное антропогенное загрязнение в районе Новолипецкого металлургического комбината // Экологическая генетика. 2009. 7. 3. С. 17–29.
9. *Муратова Е.Н., Круклис М.В.* Хромосомные числа голосеменных растений. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1988. 117 с.
10. *Седельникова Т.С., Пименов А.В., Муратова Е.Н.* Исследование хромосом хвойных при интродукции в ботанических садах, дендрариях и парках // Сиб. лесной журн. 2023. 5. С. 32–42.
11. *Ahuja M.R., Neale D.B.* Evolution of genome size in conifers // Silvae Genetica. 2005. 54. 3. P. 126–137.
12. *Butorina A.K., Evstratov N.V.* The first detected study case of amitosis in pine // Forest Genetics. 1996. 3. 3. P. 137–140.
13. *Ohri D.* Polyploidy in gymnosperms – a reappraisal // Silvae Genetica. 2021a. 70. 1. P. 22–38.
14. *Ohri D.* Variation and evolution of genome Size in gymnosperms // Silvae Genetica. 2021b. 70. 1. P. 156–169.
15. *Ohri D.* Karyotype evolution in conifers // Feddes Repertorium. 2021c. 132. 3. P. 232–262.
16. *Sedelnikova T.S., Muratova E.N., Pimenov A.V.* Variability of chromosome numbers in Gymnosperms // Biology Bulletin Reviews. 2011. V. 1. N 2. P. 100–109.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках базового проекта № FWES-2024-0028 «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты».

УДК 630*181*351

УГОЛЬНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ КАВАКСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО БАССЕЙНА КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Р.Т. МУРЗАКМАТОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (takcator_m@mail.ru)

Аннотация. Рассматривается оценка экологической структуры карьерных разработок месторождения на основе ранее разработанной классификации.

COAL DEPOSIT OF THE KAVAKI LUNGE COAL BASIN OF THE KYRGYZ REPUBLIC AND ITS ECOLOGICAL PROBLEMS

R.T. MURZAKMATOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (takcator_m@mail.ru)

Abstract. An assessment of the ecological structure of deposit quarry based on a previously developed classification is considered.

Угледобывающая отрасль Кыргызской Республики в настоящее время занимает второе место после золотодобычи. На территории республики насчитывается около 70 месторождений и углепроявлений с общим запасом 6,4 млрд т [1].

Кыргызстан имеет ограниченные ресурсы нефти и газа, и уголь является основным топливом. Угольная отрасль – составная часть промышленности Кыргызской Республики, включающая комплекс организационных, технических и технологических процессов, связанных с поиском, разведкой, хранением, переработкой, транспортировкой и продажей угля и продуктов его переработки. Основным недостатком углей Кыргызстана является их низкая механическая прочность, поэтому при добыче открытым способом с применением различной техники и механизмов более 60 % угля сразу же после добычи превращается в мелочь [2].

Современная экономика не может существовать и развиваться без освоения ресурсов недр. Сложные экономические условия и низкая рентабельность добычи полезных ископаемых приводят к игнорированию экологических проблем, возникающих в результате техногенного воздействия на природу. Отсутствие региональных знаний о специфике влияния горных работ на окружающую среду и прогноза ее состояния неизбежно приведет к катастрофическим изменениям. На примере нескольких отраслей (нефте-, угле-, золотодобывающих) доказано, что техногенное воздействие может иметь биотехнические последствия и повышать экологическую емкость нарушенных ландшафтов при снижении затрат на рекультивацию по действующим нормативам. Важно иметь экологическую направленность всего технологического цикла, начиная от разведки, разработки и заканчивая закрытием отработанного месторождения. В достижении такой цели основная задача – разработка экологической структуры нарушаемой поверхности, в которой каждый выделенный блок должен иметь свое технологическое решение и биологическое назначение в антропогенном ландшафте [3].

В состав Кавакского угольного бассейна входит несколько участков: Кара-Кече, Донуз, Мин-Куш, Кок-Мойнок, Ак-Улак, Туура-Кавак, Кашка-Суу, Сары-Камыш и др. Кавакский угольный бассейн ограничен с востока оз. Сон-Кол, с юга – хребтом Молдо-Тоо, с севера – хребтом Кавак-Тоо. Административно площадь месторождения относится к Жумгальскому району Нарынской области Кыргызской Республики.

Рельеф высокогорный, резко расчлененный, водной эрозией сформированы широкие долины рек.

Климат и растительность определяются вертикальной зональностью, экспозицией склонов, крутизной и характером четвертичных отложений, которые представлены моренами и современными элювиально-делювиальными и аллювиально-пролювиальными образованиями мощностью до 40 м. В долинах распространены узкие полосы леса из зарослей тянь-шаньской ели, березы и различных кустарников (барбариса, шиповника, можжевельника, боярышника). Склоны северной экспозиции до высоты 2500–3000 м покрыты островными лесами из тянь-шаньской ели, на южных преобладают арчевники и кустарники эфедры. Свыше 2500 м преобладают низкие кустарничковые и травянистые растения, при достаточном почвенном слое распространены альпийские низкотравные луга.

Просадочные явления, несмотря на высокую сейсмичность, на площади месторождения отсутствуют, чему способствует высокая плотность горных пород и угля. Угол откосов горной выработки карьера рекомендовано оставлять на 65–70º. Откосы отвалов вскрышных пород формируются в результате естественного осыпания и зависят от размера кусков, но редко достигают 40–50º.

Для оценки экологической структуры карьерных работ использована классификация, ранее разработанная на примере Бородинского угольного разреза (Красноярский край) [3, 4]. Выделяется карьер

от кромки разработки месторождения до внутреннего отвала (если он есть) или входной траншеи. Отвалы – внешние и внутренние с подразделением на верхнюю плоскую часть и откосы. При крупнокаменистой горной породе дополнительно на внешних отвалах выделяется шлейф раскатывания камней от откоса на поверхности рельефа. Часто карьерные отработки заполняются водой с образованием глубоководных техногенных водоемов, для которых важно наличие мелководной, «литоральной» части. Промплощадка объединяет строения, стоянки техники, склады ГСМ и прочие территории с постоянным антропогенным присутствием. Внутри техногенного контура часто остаются ненарушенные участки, которые следует выделять в соответствии с их биотопическими особенностями (поймы, долины, леса по породе и возрасту, кустарники, луга, россыпи и пр.).

На примере наиболее богатого месторождения угля Кыргызстана показаны современные возможности классификации техногенных территорий для последующего решения экологических проблем. Для дешифрирования использована космическая съемка высокого разрешения, позволяющая в среде ГИС определять структурные показатели объекта.

В табл. 1 приведена характеристика двух модельных участков, различия экологической структуры которых в основном определяются возрастом отработки месторождения. Внешний отвал обычно располагается не далее 400 м (200–380 м) от кромки карьера, его размер определяется возможностью внутрикарьерного размещения пустой породы.

Таблица 1. Экологическая структура модельных участков Кавакского месторождения

Экологический контур	№ 1		№ 2	
	площадь, га	доля контура	площадь, га	доля контура
Промплощадка	39	11,7	2	0.7
Карьер	32	10	4	1.4
Отвалы: внутренний, внешний, в т. ч. откос/шлейф	118	36	147	51.3
Водоем техногенный	1	0.3	6	2.2
Ненарушенные участки	141	42	127	44.4
Всего	331	100	287	100

Одна из больших проблем разработки угольного месторождения – это рекультивация земель, как техническая, так и биологическая. Нерекультивированные карьеры негативно влияют на природную среду – нарушаются нормы природоохранного законодательства. Оставленные груды мелкофракционного угля зимой разносятся ветром на сотни метров, что приводит к быстрому таянию снега.

Учитывая высокогорное расположение месторождения, следует рекомендовать отсыпку горной породы в пониженные элементы рельефа без постоянного поверхностного стока. Это позволит создать участки с наиболее благоприятными условиями для формирования альпийских лугов. Карьерные водоемы по возможности необходимо соединять русловыми канавами с водотоками для естественного зарыбления и включения в ландшафтную гидросеть, если они не будут искусственно зарыбляться с ведением рыбного хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Промышленность Кырыгзстана. [Электронный ресурс]. URL: https://rus.gateway.kg/industry.
2. *Кожобаев К.А., Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К., Дуйшеев К.О.* Перспективы комплексного использования сырья и экологические проблемы освоения // Горный журнал. 2016. № 8. С. 68–70.
3. *Мурзакматов Р.Т., Шишикин А.С.* Экологическая структура карьерных разработок угольного месторождения Кара-Кече, Кыргызстан // Матер. XIV межд. конф. «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр». 14-20 сентября 2015 г., Москва (Россия) – Бишкек (Кыргызстан). С. 268–270.
4. *Шишикин А.С.* Классификация техногенных территорий // Лесная таксация и лесоустройство. 2012. № 1 (47). С. 142–148.
5. *Шишикин А.С.* Организация биологического мониторинга на отвалах Бородинского разреза // Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование: Сб. матер. межд. науч. конф., 10–15 июня 2013 г. / отв. ред. В.А. Андроханов. Новосибирск: Изд-во «Окарина», 2013. С. 225–227.

УДК 582.284 : 581.1 + 581.5

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ДИНАМИКА УГЛЕРОДНОГО ДЫХАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ДЕБРИСА И ЕЕ ДРАЙВЕРЫ

В.А. МУХИН, Д.К. ДИЯРОВА, Е.В. ЖУЙКОВА

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург (victor.mukhin@ipae.uran.ru)

Аннотация. Представлены и обсуждаются экспериментальные данные, характеризующие реакцию CO_2-эмиссионной активности ксилотрофных грибов и древесного дебриса на повышение температуры. Показано, что общее количество эмитируемого CO_2 зависит от размера и удельной эмиссионной активности мицелия и при повышении температуры возрастает не линейно, а экспоненциально.

TEMPERATURE DYNAMICS AND DRIVERS OF CARBON RESPIRATION OF WOODY DEBRIS

V.A. MUKHIN, D.K. DIYAROVA, E.V. ZHUYKOVA

Institute of Plant and Animal Ecology, UB RAS, Ekaterinburg (victor.mukhin@ipae.uran.ru)

Abstract. Experimental data characterizing the response of CO_2 emission activity of xylotrophic fungi and woody debris to an increase in temperature are presented and discussed. It has been shown that the total amount of emitted CO_2 depends on the size and specific emission activity of the mycelium and, with increasing temperature, increases not linearly, but exponentially.

В настоящее время большое внимание уделяется анализу экологических последствий изменения климата – процесса, который связывают с увеличением концентрации в атмосфере так называемых парниковых газов; важнейшим из них является CO_2. Поэтому одной из актуальных задач современной экологии является поиск и оценка природных и антропогенных источников таких газов. Леса – это крупнейшие наземные резервуары биологически связанного углерода и одновременно его крупные эмитенты: в частности, древесный дебрис является вторым по значимости после почвы природным источником диоксида углерода [2, 3, 4].

В разложении древесного дебриса ключевая роль принадлежит ксилотрофным базидиомицетам (Basidiomycota, Agaricomycetes) – экстремофильным организмам, обладающим уникальным комплексом эколого-физиологических адаптаций к древесной среде и осуществляющим как разложение лигноцеллюлозного комплекса древесины, так и окислительную конверсию органического углерода в CO_2 [6]. Они являются регуляторами газового состава атмосферы, факторами стабильности и изменчивости климата [5, 7]. Поэтому принципиально важно знать, как отреагируют ксилотрофные грибы, их CO_2-эмиссионная активность на изменение климата, прежде всего, на его потепление.

Физиологическим механизмом эмиссии CO_2 древесным дебрисом является аэробное дыхание ксилотрофных грибов. В диапазоне актуальных для умеренных широт температур (10–30 °C) и относительной влажности 40–70 % соотношение объемов эмиссии CO_2 и потребления O_2 в газообмене древесного дебриса составляет 0.8–0.9, и это свидетельствует, что а) древесный дебрис – не только глобально значимый источник CO_2, но и соответствующего масштаба потребитель O_2, б) ксилотрофные грибы – это высокоэффективные минерализаторы древесных остатков, конвертирующие 80–90 % органического углерода в CO_2 [7].

CO_2-эмиссионную активность ксилотрофных грибов можно оценивать на двух уровнях. Во-первых, на уровне удельной активности мицелия, базидиокарпов, характеризующей их дыхательную активность. Во-вторых, на уровне анализируемого объекта в целом, когда оценивается общее количество эмитируемого им CO_2. В диапазоне 10–30 °C удельная CO_2-эмиссионная активность мицелия ксилотрофных грибов возрастает в среднем в 1.7 раза при повышении температуры на 10 °C, в три раза – при повышении с 10 до 30 °C, и ее температурная динамика имеет линейный характер. Удельная CO_2-активность мицелия не зависит от его размера, и ее единственным драйвером является температура, связь с которой описывается следующим уравнением:

$$SEA_{T2} = SEA_{T1}\, Q_{10\mathrm{SEA}}^{(T2-\,T1)\,/\,10},$$

где SEA_{T1} и SEA_{T2} – удельная эмиссия CO_2 при температуре T_1 и T_2 соответственно; Q_{10}SEA – температурный коэффициент удельной CO_2-эмиссионной активности мицелия.

Общее количество эмитируемого CO_2, или общая CO_2-эмиссионная активность, определяется как удельной CO_2-активностью мицелия, так и его размером, биомассой. Ее температурная динамика имеет два драйвера: а) температурную чувствительность удельной эмиссионной активности и б) температурную чувствительность роста мицелия, показателями которых являются соответствующие температурные коэффициенты. В соответствии с этим ее связь с температурой описывается следующим уравнением:

$$TEA_{T2} = TEA_{\mathrm{T1}}\, Q_{10}SEA^{\,(\mathrm{T2}-\,\mathrm{T1})\,/\,10}\, Q_{10}SM^{(\mathrm{T2}-\,\mathrm{T1})\,/\,10},$$

где TEA_{T2} и TEA_{T1} – общая эмиссия CO_2 при температуре T_1 and T_2 соответственно; Q_{10SEA} и Q_{10SM} — температурный коэффициент удельной эмиссии CO_2 и роста мицелия соответственно.

Увеличение температуры в диапазоне 10–30 °C вызывает практически в равной степени усиление как удельной CO_2-эмиссионной активности мицелия, так и его роста, совместный эффект которых вызывает экспоненциальный рост общей эмиссии CO_2 [1]. Своего пика она достигает при 30–35 °C – температуре, при которой удельная CO_2-эмиссионная активность и рост мицелия достигают своего максимума. Зависимость общей CO_2-эмиссионной активности от размера, биомассы мицелия определяет еще одну очень важную ее особенность: в силу того, что рост мицелия – это необратимое увеличение его размеров, массы, температурная динамика общей эмиссии имеет характер необратимого, направленного экспоненциального процесса. Удельная CO_2-эмиссионная активность, в отличие от общей, имеет характер обратимого процесса, усиливающегося при повышении температуры и ослабляющегося при ее снижении.

В настоящее время при изучении температурной зависимости CO_2-эмиссионной активности ксилотрофных грибов и углеродного дыхания древесного дебриса, как правило, практикуется кратковременное экспонирование анализируемых образцов при той или иной температуре, когда размер мицелия меняется незначительно и этим можно пренебречь. Кроме того, полученные данные рассчитываются на единицу массы, объема или площади образцов и характеризуют лишь удельную CO_2-эмиссионную активность. Как результат, такого рода данные существенно (в 7 и более раз) занижают объемы реальной эмиссии CO_2, и это необходимо учитывать при разработке экологических прогнозов реакции углеродного дыхания древесного дебриса на изменение климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Диярова Д.К., Владыкина В.Д., Мухин В.А.* Температурный эффект на эмиссию CO_2 ксилотрофными грибами и древесным дебрисом // Экология. 2023. 3. С. 204–211.
2. *Заварзин Г.А.* Углеродный баланс России // Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий: проблема Киотского протокола: Матер. Совета-семинара при президенте РАН. М.: Наука, 2006. С. 134–151.
3. *Заварзин Г.А., Заварзина А.Г.* Ксилотрофы и микофильные бактерии при образовании дистрофных вод // Микробиология. 2009. Т. 78. № 5. С. 579–591.
4. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / В.Н. Кудеяров, Г.А. Заварзин, С.А. Благодатский и др. М.: Наука, 2007. 315 с.
5. *Journeaux K.L, Boddy L., Rowland L., Hartley I.P.* A positive feedback to climate change: The effect of temperature on the respiration of key wood-decomposing fungi does not decline with time // Glob. Change Biol. 2024. 30. e17212.
6. *Mukhin V.A., Diyarova D.K.* Eco-physiological adaptations of the xylotrophic Basidiomycetes fungi to CO_2 and O_2 mode in the woody habitat // Journal of Fungi. 2022. 8 (12). 1296.
7. *Mukhin V.A., Diyarova D.K., Gitarskiy M.L., Zamolodchikov D.G.* Carbon and oxygen gas exchange in woody debris: The process and climate-related drivers // Forests. 2021. 12. 1156.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 24-24-00404).

УДК 630*114.351

СТРУКТУРА ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЛЕСОТУНДРЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Л.В. МУХОРТОВА, А.И. БОНДАРЕВ, Л.В. КРИВОБОКОВ, М.К. МЕТЕЛЕВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

Аннотация. Определены запасы углерода в компонентах экосистем лиственничных редколесий лесотундровой зоны Средней Сибири. Общие запасы углерода в этих экосистемах достигают 235.7 тС/га. На долю древостоя приходится в среднем 5.6 % этих запасов. Более 80 % общих запасов углерода сосредоточено в минеральном профиле почвы, в том числе до 30 % – в виде неорганического углерода карбонатов.

STRUCTURE OF CARBON STOCKS IN FOREST-TUNDRA LARCH ECOSYSTEMS OF MIDDLE SIBERIA

L.V. MUKHORTOVA, A.I. BONDAREV, L.V. KRIVOBOKOV, M.K. METELEVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk

Abstract. Carbon stocks in the components of sparse larch forests of forest-tundra zone in Middle Siberia were determined. The total carbon stock in these ecosystems reaches 235.7 tC/ha. The contribution of the tree stand is in average 5.6 % of this amount. More than 80 % of the total carbon is located in the mineral soil profile, including up to 30 % as inorganic carbon of carbonates.

Определение запасов углерода в лесных экосистемах и оценка вклада отдельных компонентов в эти запасы является неотъемлемой частью расчетов бюджета углерода на локальном и региональном уровне. Исследования проводили на севере Красноярского края, на территории Таймырского Долгано-Ненецкого района, в бассейне р. Котуй в районе впадения левого притока – р. Кындын (70°87′ с. ш., 102°94′ в. д.) в 122 км в юго-восточном направлении от п. Хатанга, в лиственничных редколесьях.

В географическом плане территория представляет собой западную оконечность Анабарского плато, отделенную от плато Путорана р. Котуй [2]. Согласно биогеографическому районированию, район исследования относится к Анабарскому гипоарктическому таежному биому [1]. В составе древесной растительности доминирует лиственница Гмелина (*Larix gmelinii*), единично в долинах рек и ручьев встречается ель сибирская (*Picea obovata*). Распределение растительности подчинено влиянию высотной поясности, лиственничные редины образуют верхнюю часть лесного пояса на границе с кустарниковыми разнотравно-кустарничково-зеленомошными каменистыми тундрами.

Определение запасов углерода в компонентах лесных экосистем проводили на 5 пробных площадях, заложенных в лиственничнике голубично-кустарничково-зеленомошном. Оценку запасов биомассы древесного и кустарникового ярусов, а также крупных древесных остатков проводили в объемных показателях, которые затем были пересчитаны с использованием конверсионных коэффициентов в запасы углерода. Запасы надземной биомассы травяно-кустарничкового яруса и подстилки оценивались в весовых показателях на площадках 0.0625 м^2 в трехкратной повторности на каждой пробной площади. Подземная биомасса оценивалась на этих же площадках до глубины 30 см минерального профиля. Запасы углерода в минеральном профиле почвы определяли по горизонтам почвы: для каждого горизонта вычисляли плотность почвы и содержание углерода в мелкоземе.

Древесный ярус представлен средневозрастным монодоминантным одноярусным древостоем из лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii*) с достаточно мозаичной горизонтальной структурой. Таксационные характеристики древостоев на пробных площадях приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика лиственничного древостоя на пробных площадях

№ ПП	Количество деревьев, экз./га	Сумма площадей сечений, м^2/га	Запас, м^3/га	Запас сухостоя, м^3/га	Полнота	Средние		
						диаметр, см	высота, м	возраст, лет
21	514	3.4	10	0.4	0.15	8.4	5.9	80
21-1	1196	7.6	26	1.3	0.31	8.0	7.1	80
21-2	848	6.6	22	0.4	0.27	8.8	6.9	99
21-3	808	6.6	21	0.7	0.28	9.0	6.5	77
21-4	772	5.4	17	0.5	0.23	8.4	6.3	94

Травяно-кустарничковый ярус хорошо развит, с общим проективным покрытием 30–50 %, в горизонтальном плане сравнительно однородный. Мохово-лишайниковый покров занимает 40–80 % проективного покрытия поверхности почвы, распространение его почти сплошное либо крупными куртинами, в основном под пологом древесных крон. Почвы представлены карболитоземом перегнойным, хрящеватым, с признаками криотурбации.

Запасы углерода в надземной биомассе древесного яруса варьируют от 5.0 до 12.9 тС/га, в подземной биомассе аккумулировано от 1.9 до 5.0 тС/га. Суммарные запасы углерода в биомассе древесного яруса составляют от 6.9 до 18.0 тС/га. В биомассе подроста лиственницы дополнительно аккумулировано 0.04–0.075 тС/га (0.003–0.054 тС/га в надземной биомассе и 0.001–0.021 тС/га в подземной). В биомассе кустарникового яруса, представленного *Rhododendron adamsii,* сосредоточено от 0.003 до 0.019 тС/га.

Общие запасы углерода в биомассе напочвенной растительности (надземная + подземная) варьируют от 1.94 до 4.14 тС/га. От 69 до 86 % этих запасов приходится на долю кустарничков. Вклад травянистых растений в общие запасы углерода в напочвенной растительности составляет от 8 до 22 %. На долю фитомассы мхов и лишайников приходится не более 6–7 % общих запасов.

Запасы углерода в крупных древесных остатках составляют 0.095–0.245 тС/га, из которых на долю сухостойных деревьев приходится в среднем около 40 %, а вклад валежа достигает 44 %. Общие запасы углерода в подстилке исследуемых лиственничников кустарничково-зеленомошных составляют от 7.8 до 24.1 тС/га. В минеральном слое почвы 0–30 см сосредоточено от 175.5 до 223.5 тС/га. На долю аккумулированного органического углерода в этих запасах приходится от 40 до 77 %. От 23 до 61 % составляет неорганический углерод карбонатов. Запасы органического углерода в слое почвы 0–30 см достигают в среднем 134.7 ± 26.2 тС/га. Суммарные запасы углерода в органогенном и минеральном слое почвы составляют 183.2–247.5 т/га. На долю органогенного горизонта приходится не более 10 % этих общих запасов и от 6 до 14 % запасов органического вещества почвы исследуемых экосистем.

Таким образом, общий запас углерода в разреженном лиственничнике кустарничково-зеленомошном составляет в среднем 235.7 т/га, из которых на древесно-кустарниковый ярус приходится 5.6 %, включая надземную и подземную биомассу; 1.4 % составляет фитомасса травяно-кустарникового и мохово-лишайникового ярусов. Основные запасы углерода в этих экосистемах сосредоточены в почве: 6.7 % общих запасов углерода составляет вклад лесной подстилки и 57.3 % общего пула углерода приходится на органическое вещество почвы. На долю неорганического углерода в активном слое почвы приходится в среднем около 30 % общих запасов углерода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы / ред. Г.Н. Огуреева. М.: ФГБУ «ИГКЭ», 2020. С. 14–23.
2. Средняя Сибирь. М.: Наука, 1964. 480 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 574.47

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЕВРАЗИЙСКОГО БОБРА НА ФИТОЦЕНОЗЫ РАИФСКОГО УЧАСТКА ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Н.Г. НАЗАРОВ

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань (nail-naz@yandex.ru)

Аннотация. На основе фитоиндикационного и эколого-ценотического анализа показано, что реинтродукция речного бобра в водные объекты Раифского участка Волжско-Камского заповедника способствует поддержанию необходимых микроклиматических условий для сохранения естественных бореальных сообществ

IMPACT ASSESSMENT OF EUROPEAN BEAVER REINTRODUCTION ON COASTAL PHYTOCENOSES OF THE RAIFA FOREST IN VOLGA-KAMA NATURE RESERVE

N.G. NAZAROV

Kazan Federal University, Kazan (nail-naz@yandex.ru)

Abstract. Based on phytoindication analysis, it has been shown that the reintroduction of the beaver into the water bodies of the Raifa section of the Volga-Kama Reserve is responsible for maintaining the necessary microclimatic conditions to preserve the natural boreal communities

В 1996 г. на водотоках Раифского леса начались работы по реинтродукции речного бобра. Основной целью было снижение темпов заиления озер заповедника и улучшение микроклиматических условий влажности для сохранения бореальных сообществ [2].

Изучение влияния деятельности бобров на растительные сообщества Волжско-Камского заповедника началось с самого момента реинтродукции животных [2]. Это позволило выявлять и фиксировать изменения в составе и структуре фитоценозов с «нулевой точки».

Целью данного исследования является оценка влияния средообразующей деятельности речного бобра на фитоценозы Раифского участка Волжско-Камского заповедника после реинтродукции.

В настоящей работе были использованы фондовые материалы исследований научного отдела Волжско-Камского заповедника в 1997 г. Дальнейшее исследование растительности с целью мониторинга сукцессионных процессов, запущенных реинтродукцией бобра, было продолжено в 2010 и в 2022 г. В 1997 г. для определения влияния бобра на прибрежную растительность Раифского участка заповедника и его охранной зоны было заложено 59 пробных площадок по методике [3].

В зависимости от наличия деятельности речного бобра на участках рек и на озерах площадки были разбиты на 2 группы: 1) 19 площадок, подверженных воздействию бобра – экспериментальная группа; 2) 8 площадок, выбранных в качестве контроля, где не наблюдалась деятельность бобра. Представленное разделение было осуществлено на основе собственных наблюдений во время сбора полевого материала на пробных площадках. При этом учитывалось наличие следов жизнедеятельности бобров на каждой площадке (погрызенные и сваленные деревья, тропинки, норы, хатки, плотины).

Все данные геоботанических описаний, полученных на этапе сбора полевого материала, вносили в базу данных FLORA для дальнейшего проведения анализа: оценки значений экологических факторов по экологическим шкалам Д.Н. Цыганова [1], эколого-ценотического анализа растительного покрова на заложенных пробных площадках и расчета показателя активности видов. Статистический анализ данных проводился методом дисперсионного анализа (ANOVA).

На основе проведенного эколого-ценотического анализа были определены эколого-ценотические спектры исследованных групп описаний. На контрольных площадках, описанных в 1997 г., доля лесных видов составляет 51.2 %, в их числе бореальные виды насчитывают 11.1 %, неморальные – 22.4%, остальные – 17.7%, произрастающие в лесах различных типов (смешанных, сосновых и ольховых). На группу луговых видов приходится 37.7 % всей описанной флоры. Растения, произрастающие на лугах различных типов, составляют 11.1 %, влажнолуговые – 4.4 %, лесолуговые (опушечные) – 22.2 %. Водно-болотная группа представлена 6.7%. Отдельную группу составляют сорные (рудеральные) виды растений, связанные в своем распространении с нарушенными местообитаниями. На их долю приходится 4.4 %.

На этих же площадках в 2010 г. отмечается общее снижение доли лесных видов до 47.7 %, в их числе бореальные виды насчитывают 9.4 %, неморальные – 23.8 %, остальные – 14.5 %, произрастающие в лесах различных типов. Увеличилась доля водно-болотных видов – до 12.7 %. Группа луговых видов снизила долю в сообществе до 30.6 %: произрастающие на лугах различных типов составляют 9.5 %, влажнолуговые – 7.9 %, лесолуговые (опушечные) – 12.7 %. Отмечено появление степных видов – 1.6 %. Доля рудеральных видов выросла до 7.4 %.

В контрольных описаниях 2022 г. наблюдается увеличение доли лесных видов до 63.2 %, в их числе бореальные виды составляют 7 %, неморальные – 34.2 %, остальные 22 % – виды смешанных лесов. Водно-болотных и степных видов не отмечено. Доля луговых видов снизилась до 21 % на фоне увеличения доли

рудеральных видов – 15.8 %. Среди них лидирующее положение принадлежит сорным видам – 10.5 %, к культурным видам относятся 5.3 %.

Анализ по эколого-ценотическим группам экспериментальных площадок 1997 г. выявил те же тенденции, что и на контрольных участках 1997 г. Здесь также преобладают виды лесной группы, хотя и в другом соотношении. Доля лесных видов составляет 36 %, в их числе бореальные виды – 5 %, неморальные – 10.9 %, остальные – 20.1 %, произрастающие в лесах различных типов. С сообществами переувлажненных местообитаний связано 20.2 %. На группу луговых видов приходится 27 % всей флоры. Группа сорных видов растений представлена 13.5 %, среди которых лидирующее положение принадлежит рудеральным видам – 10.1 %, к культурным видам относятся 3.4 %.

По результатам анализа по ЭЦГ на экспериментальных площадках за 2010 г. наблюдается тенденция смены доминирующей группы. Наряду с лесной группой наибольшую долю составляют виды водно-болотной группы. Доля лесных видов составляет 34.5 %, в их числе увеличилась доля бореальных видов – 14 %, к неморальным относится 7.9 %, остальные 12.6 % – произрастающие в лесах различных типов. С сообществами переувлажненных местообитаний связано 32.7 %. На группу луговых видов приходится 19.4 % всей флоры. Степные виды растений насчитывают 1.7 %. Группа сорных видов растений представлена 11.7 %, среди которых лидирующее положение принадлежит рудеральным видам – 9.2 %, к культурным видам относятся 2.5 %.

Доля лесных видов на экспериментальных площадках за 2022 г. составляет 36.3 %. Бореальные виды представлены 17.6 %, неморальные – 6 %, остальные 12.7% – произрастающие в лесах различных типов. Доля группы видов переувлажненных местообитаний снизилась до 28.2 %. На группу луговых видов приходится 23.1 %. Степные виды не отмечены. Группа сорных растений представлена 12.4 % видов.

Таким образом, в условиях кормовой и строительной деятельности бобра отмечены увеличение доли групп водных, водно-болотных и бореальных видов растений, а также экспансивный характер изменения их активности. Отмечено снижение активности распространения рудеральных видов. Изменение таких факторов, как увлажненность и освещенность местообитаний, скорее всего, напрямую связано с деятельностью бобра и его образом жизни. Это происходит за счет непосредственного изъятия деревьев из древостоя, что приводит к увеличению освещенности. Затопление и, как следствие, поднятие уровня воды в водоемах и водотоках приводит к увеличению увлажненности в достаточном количестве, чтобы стать причиной смены одних эколого-ценотических групп другими, более адаптированными к изменившимся условиям. Из этих результатов следует, что на участках, подверженных воздействию речного бобра, наблюдается сглаживание действий неблагоприятных климатических факторов, таких как засуха, и обеспечиваются наиболее оптимальные условия для сохранения и развития бореальных видов растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Цыганов Д.Н.* Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 196 с.
2. *Easter-Pilcher A.L.* Forage utilization, habitat selection and population indices of beaver in Northwest Montana. M.S. thesis. University of Montana, Missoula, MT., 1987. 118 p.
3. *Gorshkov Y.A., Gorshkov D.Y., Easter-Pilcher A.L., Pilcher B.K.* First results of beaver (*Castor fiber*) reintroduction in Volga-Kama National Nature Zapovednik (Russia) // Folia Zool. 2002. № 51. P. 67–74.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-77-10087 (https://rscf.ru/project/22-77-10087/).

УДК

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ВЫСОТНО-ПОЯСНОГО СПЕКТРА НА ГОРНОМ ПРОФИЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМОСЪЕМКИ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Д.И. НАЗИМОВА[1], А.А. КАРСАКОВ[2], Е.И. ПОНОМАРЁВ[1]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (inpol@mail.ru)
[2] Федеральный исследовательский центр КНЦ СО РАН, Красноярск

Аннотация. Обсуждается возможность использования различных видов данных космосъемки (RS) для дифференциации лесорастительных поясов и их вариантов – высотно-поясных комплексов (ВПК) в задачах картографирования лесов и экосистемного управления в горных лесничествах Южной Сибири.

ANALYSIS OF THE SPATIAL STRUCTURE OF THE ALTITUDE-ZONAL SPECTRUM ON A MOUNTAIN PROFILE USING SATELLITE IMAGING AND SPECTRAL CHARACTERISTICS

D.I. NAZIMOVA[1], A.A. KARSAKOV[2], E.I. PONOMAREV[1]

[1] V.N.Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (inpol@mail.ru)
[2] Federal Research Center KSC SB RAS, Krasnoyarsk

Abstract. Probability of the Remote sensing (RS) data with different characteristics including the spectral ones, is discussed for the mapping mountain forest zones and their regional variants (the altitudinal belt complexes of ecosystems, or ABC). These units of classification are used for the ecosystem mapping and management in some mountain forests of the South Siberia.

Экосистемы ранга высотно-поясных комплексов экосистем (ВПК) являются узловыми единицами классификации горных лесов региональной размерности [3, 6], обладающими структурно-функциональным единством, целостностью и тенденциями развития во времени. Им соответствуют в классификациях ландшафтоведов зональные типы ландшафтов [1], а при геосистемном подходе [5] близкие единицы представляют варианты геомов, объединяемых в подклассы и классы по признакам поясности. Диагностика ВПК и их структуры представляет несомненный научный и практический интерес, особенно для горных лесничеств юга Сибири, в каждом из которых представлено от 3 до 5-7 ВПК. Сегодня при решении подобных задач можно эффективно использовать данные мультиспектральной космической съемки, что является общеупотребимым подходом. Для района исследований в горной части юга Сибири мы выполняли такие работы начиная с 2000-х гг. и продолжаем исследования, переходя с обзорного уровня на более детальный региональный и локальный уровень [2, 4, 9].

На макросклонах гор в приенисейской части Восточного и Западного Саяна в наиболее влажном гумидном климате проявляется **спектр ВПК** – от лесостепи и подтайги, далее черневых лесов и черневой темнохвойной тайги к субальпийским редколесьям, лугам и высокогорным тундрам. В Западном Саяне этот спектр ВПК был достаточно хорошо изучен в 1960–1980 гг., собрана база данных, включающая разнообразные блоки информации [3, 6, 9]. В данной работе новым аспектом исследования, который ранее не рассматривали с достаточной степенью детализации, служит пространственная ландшафтно-лесотипологическая структура разных ВПК на горном профиле и ее отражение в диапазонах значений спектральных характеристик изображений со спутников в широком диапазоне спектра (Terra/MODIS, Landsat, Sentinel). В задачу исследования входят предварительная классификация изображений, позволяющая визуализировать характерные ВПК, сопряжение границ по совокупности наземных данных и дистанционных признаков; диагностика видового состава эдификаторов (кедр, пихта, сосна, лиственница, ель, осина, береза, кустарники) и анализ спектральных признаков характерных вариантов растительного покрова.

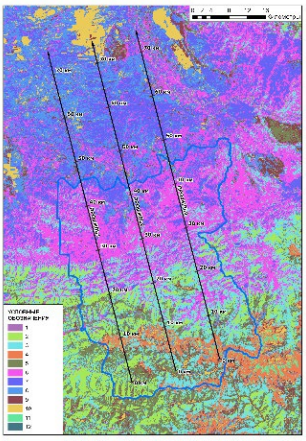


Рис.1. Район исследований на материалах съемки Terra/MODIS и трассировка профилей восстановления спектральных признаков

С целью выявления количественных характеристик индексов Land Surface Temperature (LST) и вегетационного признака (NDVI) в рамках высотно-зональной поясности исследуемых ВПК была обозначена **серия профилей протяженностью до 75 км**, проходящих через характерные ВПК района исследований (рис. 1).

В качестве исходных данных для восстановления спектральных признаков использованы спутниковые сцены аппарата Landsat-9 в период максимальной вегетационной активности региона – в середине июля. Наиболее дифференцированное многоканальное изображение для задач классификации растительных сообществ было получено в результате комбинации каналов λ = 1.560–1.660 мкм; λ = 0.845–0.885 мкм; λ = 0.630–

0.680 мкм. Для расчета корреляционных связей индексов с ВПК проведена классификация изображения с помощью обучающей выборки в 2 этапа: 1) предварительная сегментация изображения объектно-ориентированным методом; 2) формирование обучающей выборки, классификация.

Опыт последних работ по близкой тематике показывает, что когда речь идет о структурных признаках экосистем разных высотных поясов, разделению между различными видами-лесообразователями может помочь добавление 3D-производных (от лидара или фотограмметрия) [7, 8]. Выбор датчика и платформы, используемых для дистанционного зондирования (RS) структурных атрибутов, должен быть подходящим по масштабу. Некоторые атрибуты (например, размеры дерева) могут быть точно зафиксированы только в локальных масштабах, в то время как другие атрибуты (например, надземная биомасса, растительный покров и в определенной степени состав лесообразователей) могут быть изучены на ландшафтном уровне, в региональном масштабе и предоставлять значимую информацию. При этом независимо от типов платформ и датчиков исследования RS требуют наземной проверки, чтобы понять любую возможную ошибку или смещение в производных RS.

В работе для калибровки и анализа были использованы данные сети мониторинга постоянных участков коренных и производных насаждений и базы данных лесоустройства за разные годы. Эта информация отражает: 1) динамику ключевых структурных атрибутов с течением времени, 2) временной и пространственный масштабы, в которых указанные атрибуты должны контролироваться. Мониторинг общего набора атрибутов, принятых при лесоустройстве, с использованием комбинации технологий RS может привести к более всеобъемлющему пониманию и, в долгосрочной перспективе, к экономически эффективному управлению горными лесными экосистемами. Увязка текущего мелкомасштабного мониторинга, необходимого для выявления ВПК, с анализом структуры и функционирования насаждений при использовании RS и региональной ГИС поможет в перспективе выявить основные характеристики, важные для экосистемного управления, такие как лесосырьевые, природозащитные, климаторегулирующие, рекреационные и т. д., на высотно-зональном и локальном уровнях.

Оценка этих функций в денежном эквиваленте не планируется, но может быть осуществлена в виде баллов на шкалах, разрабатываемых экспертами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Исаченко А.Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М., 1991. 365 с.
2. *Молокова Н.И.* Эколого-ценотический анализ и феноиндикация высотно-поясных комплексов типов леса (на примере гумидных районов Саян): Автореф. дисс. … канд. биол. наук: 03.00.16, 03.00.5. Красноярск: Институт леса СО РАН, 1992. 16 с.
3. *Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М., Назимова Д.И.* Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 225 с.
4. *Пономарев Е.И., Исмаилова Д.М., Назимова Д.И.* Спутниковый мониторинг горных лесных экосистем Саян // Журнал Сибирского федерального университета. 2011. Биология 4 (1): 75–85.
5. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 320 с.
6. Типы лесов гор Южной Сибири / В.Н. Смагин. Новосибирск: Наука. 1980. 336 с.
7. *Camarretta N., Harrison*. *P.A., Bailey T., Potts B., Hunt M., Lucieer A., Davidson N.* Monitoring Forest structure to guide adaptive management of forest restoration: a review of remote sensing approaches // New Forests. 2020. V. 51. N 4. Pp. 573–596. DOI: 10.1007/s11056-019-09754-5.
8. *Comanicu D., Meer P.* A robust approach toward feature space analysis // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2002 May. V. 24. N 5.
9. *Danilina D.M., Nazimova D.I., Konovalova M.E*. Diversity of *Pinus sibirica* forest types in different bioclimatic sectors of Sayan Mountains. 2019. DOI: 10.1051/bioconf/20191600045.
10. *Nazimova D.I., Ponomarev E.I., Konovalova M.E.* Role of an altitudinal zonal basis and remote sensing data in the sustainable management of mountain forests // Contemporary Problems of Ecology. 2020. 13 (7): 742–753.

УДК 635.718 (571.54)

ПОЛЫНИ ТРАВЯНЫХ ГЕМИБОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ СЕЛЕНГИНСКОГО СРЕДНЕГОРЬЯ – РЕСУРС ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТЕНИЕВОДСТВА В БУРЯТИИ

Б-Ц.Б. НАМЗАЛОВ[1, 2], С.З. ПРЕЛОВСКАЯ[1], М.Б-Ц. НАМЗАЛОВ[1]

[1] Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова, Улан-Удэ (namzalov@rambler.ru)
[2] Бурятский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал СФНЦА СО РАН, Улан-Удэ

WORMWOODS OF HERBACEOUS HEMIBOREAL FORESTS OF THE SELENGINSK MIDDLE MOUNTAINS – A RESOURCE FOR MEDICINAL PLANT PRODUCTIONIN BURYATIA

B-Ts.B. NAMZALOV[1, 2], S.Z. PRELOVSKAYA[1], M.B-Ts. NAMZALOV[1]

[1] Banzarov Buryat State University, Ulan-Ude
[2] Buryat Research Institute of Agriculture, Siberian Federal Research Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS), Ulan-Ude

Гемибореальные леса в Бурятии представлены остепненными травяными сосняками и лиственничниками, в составе травостоя которых полыни являются характерными и нередко доминируют в сообществах [9, 6]. Полыни, отмеченные в составе ценофлоры Lariceta и Pineta, относятся к двум основным подродам – Artemisia L. и Dracunculus Bess. [8]. При этом в типовом подроде настоящих полыней преобладают виды секции ***Abrotanum*** Bess. – 7 из 8: *Artemisia gmelinii* Web. ex Stechm., *A. phaeolepsis* Krasch., *A. macrantha* Ledeb., *A. messerschmidtiana* Bess., *A. laciniata* Willd., *A. latifolia* Ledeb., *A. tanacetifolia* Bieb., кроме одного вида из секции ***Absintium*** DC. – *A. sericea* Web. ex Stechm. (Kitamura) Korobkov. По разнообразию видов менее богат подрод Dracunculus, включающий 6 видов, из них *Artemisia bargusinensis* Spreng., *A. commutata* Bess., *A. ledebouriana* Bess., *A. pubescens* Ledeb. относятся к секции ***Campestris*** Krasch. ex Korobkov. Оставшиеся два вида – *A. desertorum* Spreng., *A. glauca* Pall. ex Willd. входят в секцию ***Dracunculus*** Bess. Леса южной Бурятии в границах Селенгинского среднегорья [12] подразделяются на три провинции: 1) Джидинская котловинно-горная лесостепная провинция лиственничных лесов, 2) Селенгинская котловинно-горная лесостепная провинция сосновых лесов, 3) Чикойско-Ингодинская лесорастительная провинция сосновых и лиственничных лесов. В составе Джидинской провинции выделяются 2 высотно-поясных комплекса (ВПК): 1) подтаежно-лесостепной ВПК лесостепных лесов; 2) горнотаежный ВПК лиственничных лесов. В пределах Селенгинской провинции выделяются 3 ВПК: 1) борово-подтаежно-лесостепной ВПК сосновых лесов, 2) сосновые леса на песчаных отложениях котловины, 3) горнотаежный ВПК сосновых и лиственничных лесов. В составе Чикойско-Ингодинской провинции выделяются 2 ВПК: 1) подтаежно-лесостепной ВПК сосновых и лиственничных лесов, 2) горнотаежный ВПК лиственничных лесов. В сообществах в отмеченных выше 7 ВПК лесов южной Приселенгинской Бурятии отмечаются 14 видов полыней. В зависимости от экологических особенностей видов приуроченность их к типам лесов (ассоциациям) может быть различной. Так, например, встречаемость ксерофитных полыней будет высокой в сосняках – в отличие от ксеромезофитных видов, преимущественно характерных для разнотравных лиственничников. Виды промежуточной экологии с широкой экологической амплитудой, такие как *Artemisia sericea, A. glauca, A. commutata, A. Gmelinii,* могут встречаться как в травяных сосняках, так и в лиственничниках. Из разнообразия полыней подрода настоящих полыней (подрод **Artemisia** L.) наиболее широко распространена полынь Гмелина (*Artemisia gmelinii*), характерная для сообществ типов сосняков спирейно-разнотравных и осочково-разнотравных и лиственничников остепненно-разнотравных и спирейных разнотравно-вейниковых. Такие же специфические закономерности по ценотической приуроченности полыней из подрода **Dracunculus** выявлены в типах лесов сосняков и лиственничников.

Интересные особенности обнаружены по фитохимическому составу вторичных метаболитов – эфирного масла и других биологически активных веществ, БАВ (алкалоидов, кумаринов, гликозидов, витаминов и др.). Как известно, целебные свойства растений в значительной степени зависят от состава и специфики веществ вторичного обмена. Из материалов наших исследований очевидно, что полыни чрезвычайно богаты эфирными маслами: к преобладающим компонентам относятся *камфен, альфа-пинен, бета-пинен, гамма-терпинен, борнеол* и другие [2, 7]. Однако выяснилось и другое – слабая изученность полыней в фитохимическом отношении, когда сведения об эфирных маслах ограничиваются лишь данными о суммарном их количестве (в %) наряду с указанием наличия других БАВ [3, 13, 5, 10]. Безусловно, от количества и разнообразия БАВ в растениях зависят их лекарственные свойства, поэтому не случайно многие виды полыней широко использовались в традициях народной и индо-тибетской медицины [1, 4]. К сожалению, из рода *Artemisia* L. лишь один вид – полынь горькая *Artemisia absinthium* L. – относится к официальным лекарственным растениям, в то время как имеются хорошие перспективы открытия новых видов лечебных полыней из флоры Бурятии. По результатам недавних экспериментальных исследований установлено, что из 14 видов лесных полыней заслуживает особого

внимания полынь Гмелина *Artemisia gmelinii*: на основе ее рекомендованы перспективные лечебные средства [14]. Полынь Гмелина была издавна известна в народной медицине, применялась при лихорадке, упадке сил, а также при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, ревматизме, гинекологических болезнях [3, 11]. Заслуживают внимания данные о лекарственных свойствах еще трех видов полыней лесной флоры Бурятии (*Artemisia commutata, A. messershmidtiana, A. latifolia*), применяемых в народной и традиционной медицине. Так, например, полынь обманчивая *Artemisia commutata* известна в тибетской медицине, рекомендована при опухолях в качестве болеутоляющего средства, а также при бронхитах, пневмонии и различных проявлениях желудочно-кишечных заболеваний [15]. Полынь широколистная *Artemisia latifolia* в традициях народной медицины также имеет достаточно широкое применение. Настой из ее травы, цветов и соцветий рекомендуется применять в качестве противолихорадочного средства, кроме того, она способствует перевариванию пищи [16]. Полынь Мессершмидта *Artemisia messershmidtiana* в народной медицине применяется как желчегонное, жаропонижающее и мочегонное средство. Отвар используют при нарушениях функции печени, инфекционном и хроническом гепатите, воспалении желчных путей, при нарушении пищеварения, респираторных инфекциях, а также при малярии, конъюнктивите и отеках [17].

В целом полыни в остепненных травяных лесах – сосняках и лиственничниках Бурятии – являются ценным ресурсом для развития лекарственного растениеводства. Многие из них нуждаются в интродукции для плантационного возделывания. Кроме этого, необходимы дальнейшие скрининговые фитохимические исследования полыней с целью изыскания наиболее ценных по составу метаболитов видов. Многие из полыней до сих пор слабо исследованы и должны быть вовлечены в поиск новых и неизвестных науке лекарственных растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баторова С.М., Яковлев Г.П., Николаев С.М., Самбуева З.Г.* Растения тибетской медицины: опыт фармакогностического исследования. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. 159 с.
2. *Намзалов Б.Б., Жигжитжапова С.В., Тайсаев Т.Т., Раднаева Л.Д., Банаева С.Ч.,* Намзалов *М.Б-Ц.* О реликтовых явлениях и влиянии вулканогенных пород на растительность горных степей Южной Сибири // Аридные экосистемы. 2018. № 2 (75). С. 39–50.
3. *Верещагин В.И., Соболевская К.А., Якубова А.И.* Полезные растения Западной Сибири. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1959. 347 с.
4. *Дашицыренов Ж.Ж.* Тибетская медицина у монгольских народов. Чита: Забайкальский гос. гум.-пед. университет, 2009. 163 с.
5. Дикорастущие полезные растения флоры Монгольской Народной Республики / Л.П. Маркова, Л.М. Беленовская, Т.П. Надежина, У. Лигаа и др. Л.: Наука, 1985. 236 с.
6. *Ермаков Н. Б.* Разнообразие бореальной растительности Северной Азии. Гемибореальные леса. Классификация и ординация. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 232 с.
7. *Жигжитжапова С.В., Раднаева Л.Д., Намзалов Б-Ц.Б.* Компонентный состав эфирных масел *Artemisia abrotanum* L. и близкородственных видов – *A. adamsii* Bess., *A. messerschmidtiana* Bess., *A. santolinifolia* Turcz. ex Bess. // Вестник Бурятского государственного университета. Медицина и фармация. 2019. Вып. 3. С. 42–48.
8. *Красноборов И.М.* Artemisia L. – Полынь / Флора Сибири. Т. 13. Asteraceae (Compositae). Новосибирск: Наука, Сиб. предприятие РАН, 1997. С. 100–141.
9. *Малышев Л.И., Пешкова Г.А.* Особенности и генезис флоры Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). Новосибирск: Наука, 1984. 265 с.
10. Полыни Сибири: Систематика, экология, растения, химия, хемосистематика, перспективы использования / Т.П. Березовская, В.П. Амельченко, И.М. Красноборов, Е.А. Серых. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1991. 125 с.
11. *Сергиевская Л.П.* Материалы по изучению народных лекарственных растений Забайкалья. М.: ВИЛАР, 1940. 16 с.
12. Типы лесов Южной Сибири / В.Н. Смагин, С.А. Ильинская, Д.И. Назимова, И.Ф. Новосельцева, Ю.С. Чередникова. Новосибирск: Наука, 1980. 336 с.
13. *Шретер А.И.* Лекарственная флора Советского Дальнего Востока. М.: Медицина, 1975. 328 с.
14. *Чимитцыренова Л.И.* Фармакогностическое исследование *Artemisia gmelinii* Web. Ex Stechm. и разработка лекарственных средств на ее основе: Автореф. дисс. … канд. фарм. наук. Улан-Удэ, 2017. 23 с.
15. Электронный ресурс. URL: https://www.asienda.ru/plants/polyn-zameshhayushhaya (дата обращения: 19.04.2024).
16. Электронный ресурс. URL: https://www.asienda.ru/plants/polyn-shirokolistnaya/ (дата обращения:19.04.2024).
17. Электронный ресурс. URL: http://www.taiga.etnoshop.net/herba/13/herb_568.htm (дата обращения: 11.05.2024).

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования проведены при поддержке гранта РНФ и Республики Бурятия № 24-24-20018.

УДК 631.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМНЫХ ФУНКЦИЙ ЛЕСОВ НА ПРИМЕРЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКЕ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ И КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А.Н. НАРЫКОВА[1], А.С. ПЛОТНИКОВА[1], Г.В. АХМЕТОВА[2], М.А. ДАНИЛОВА[1], А. И. КУЗНЕЦОВА[1]

[1] Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва (narykovaanna@yandex.ru)
[2] Институт леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

Аннотация. В настоящем исследовании проводится моделирование запасов почвенного органического углерода с помощью метода машинного обучения на основе подобранных геопространственных предикторов и наземных измерений. Регионом исследования является Республика Карелия и территория Карельского перешейка (Ленинградская область). Для оценки качества модели была проведена K-Fold кросс-валидация и вычислены коэффициент детерминации (R^2 = 0.75) и корень среднеквадратичной ошибки (RMSE = 1.6). Результаты были сопоставлены с национальным кадастром парниковых газов и ранее опубликованными исследованиями.

FORESTS ECOSYSTEM FUNCTIONS MODELING: A CASE STUDY OF FOREST FLOOR CARBON STOCKS IN THE REPUBLIC OF KARELIA AND THE KARELIAN ISTHMUS (LENINGRAD OBLAST)

A.N. NARYKOVA[1], A.S. PLOTNIKOVA[1], G.V. AKHMETOVA[2], M.A. DANILOVA[1], A. I. KUZNETSOVA[1]

[1] Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences (narykovaanna@yandex.ru)
[2] Forest Research Institute of Karelian Research Centre

Abstract. We present predicted soil organic carbon stocks using a machine learning modelling methods based on geospatial predictors and field-work data. The study region is the Republic of Karelia and the Karelian Isthmus (Leningrad Oblast). Prediction performance evaluation executed using K-fold cross-validation and indices: coefficient of determination (R^2 = 0.75) and root mean square error (RMSE = 1.6). Results were compared with the national greenhouse gas inventory and recently published studies.

Лесные экосистемы мультифункциональны – они одновременно выполняют различные функции и предоставляют человечеству блага в виде экосистемных услуг. Спектр экосистемных услуг лесов очень широк: от заготовки древесины до накопления углерода, защиты водосборных бассейнов, рекреации и др. В настоящей работе рассматривается одна из климаторегулирующих экосистемных услуг лесов – аккумуляция почвенного органического углерода. Лесная подстилка является напочвенным слоем, состоящим из органического материала толщиной, как правило, не более 10 см [4]. Наряду с фитомассой, мертвой древесиной и минеральной толщей почвы лесная подстилка является одним из четырех основных пулов углерода в лесных экосистемах. Региональная изменчивость значений запасов углерода в каждом пуле достаточно высока. Целью исследования является проведение регрессионного геопространственного моделирования запасов углерода лесной подстилки на территории Республики Карелия и Карельского перешейка (Ленинградская область) с использованием методов машинного обучения, пространственных предикторов и наземных измерений для выявления и обоснования региональных различий запасов углерода. Для построения регрессионной модели используются полевые данные, полученные в рамках международной программы International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests) в 2007–2010 гг. На исследуемой территории расположены 140 пунктов постоянного наблюдения (ППН) регулярной сети ICP Forests. Данные программы включают значения запасов углерода, полученные по результатам лабораторного анализа, характеристику условий формирования почв, а также полный флористический список с учетом ярусной структуры растительности [1].

Для проведения моделирования был подготовлен набор геопространственных данных (56 предикторов), характеризующих факторы почвообразования согласно модели SCORPAN [5], которая широко применяется в цифровом почвенном картографировании (ЦПК) [2]. Для повышения устойчивости модели был проведен корреляционный анализ с целью удаления предикторов с коэффициентом корреляции 0.8 и выше. Из пар были удалены те предикторы, которые имели меньшую корреляционную связь с запасами углерода в лесной подстилке. В результате был сформирован финальный набор независимых предикторов, состоящих из 31 переменной. Для исключения из моделирования территорий, которые не относятся к лесным экосистемам, используется маска леса на основе Глобальной карты лесного покрова от Объединенного Исследовательского Центра Европейской комиссии (*англ.* European Commission, Joint Research Centre, Global map of forest cover).

На основе проведенного ранее литературного анализа методов машинного обучения, примененных в ЦПК [2, 3], был выбран алгоритм машинного обучения Случайный лес (Random Forest). Результаты моделирования запасов углерода лесной подстилки представлены в табл. 1. Полученные значения были

сопоставлены с результатами ранее выполненных исследований. В работе О.В. Черновой и соавторов [4] было проведено мелкомасштабное картографирование, на основе которого оценены общие запасы и соотношение основных пулов органического углерода в толще почв 0–30 см для всей территории России. В табл. 1 представлены значения на основе Карты запасов углерода в подстилке (кг/м^2) [4] для территории Карелии и Карельского перешейка. Как видно из таблицы, полученные результаты моделирования имеют один порядок, но превышают значения запасов углерода по данным О.В. Черновой и соавторов в 2–3.5 раза. Аналогичные результаты получены по расчетам запасов углерода в подстилке насаждений преобладающих пород в пределах Республики Карелия по данным Института глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля (http://www.igce.ru/performance/map-data/inter-map/c-balance-all/eco-system-1). Среднее значение по территории Карелии составляет 1.5 кг/м^2, что примерно в 3 раза ниже, чем среднее значение, полученное на основе геопространственного моделирования.

Таблица 1. Сравнение результатов моделирования запасов углерода в лесной подстилке

Запасы углерода	Результаты моделирования, кг/м^2	Чернова и др., 2021, кг/м^2
минимальное и максимальное значения	1.7 и 7.2	0.1 и 3.6
среднее	4.2	1.2
медианное	4.3	1.3
стандартное отклонение	0.7	0.54

Для оценки качества работы модели использовался метод K-Fold кросс-валидации с количеством итераций 5. Для сравнения вариативности рассмотренных далее метрик был вычислен коэффициент вариации (V). Точность полученной модели оценивалась с помощью коэффициента детерминации (R^2 = 0.75; V = 0.04) и корня среднеквадратичной ошибки (RMSE=1.6; V = 0.03). Как видно, модель показала достаточно высокую точность и относительно низкую ошибку.

Анализ полученной геопространственной модели запасов почвенного органического углерода лесной подстилки региона исследования выявил ряд ограничений. Во-первых, недостаточное количество ППН сети ICP Forests, заложенных в гидроморфных условиях увлажнения. Во-вторых, отсутствие ППН, расположенных в относительно недавно нарушенных местообитаниях (вырубки, лесные гари). Ввиду этого на лесных участках, подвергшихся антропогенному воздействию и расположенных в гидроморфных условиях увлажнения, модель может прогнозировать некорректные значения запасов почвенного органического углерода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бахмет О.Н., Федорец Н.Г., Крышень А.М.* Исследования по международной программе ICP-Forests в Карелии. Институт леса Карельского научного центра РАН // Тр. Карельского научного центра РАН. 2011. № 2. С. 133–139.
2. *Гопп Н.В., Мешалкина Ю.Л., Нарыкова А.Н., Плотникова А.С., Чернова О.В.* Картографирование содержания и запасов органического углерода почв на региональном и локальном уровнях: анализ современных методических подходов // Вопросы лесной науки. 2023. Т. 6. № 1. Ст. № 120.
3. *Нарыкова А.Н., Плотникова А.С.* Картографирование экосистемных услуг на локальном уровне: обзор современного состояния исследований // Вопросы лесной науки. 2022. Т. 5. № 3. Ст. № 110. DOI: 10.31509/2658-607x-202252-110.
4. *Чернова О.В., Голозубов О.М., Алябина И.О., Щепащенко Д.Г.* Комплексный подход к картографической оценке запасов органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2021. № 3. С. 273–286.
5. *McBratney A.B., Mendoca-Santos M.L., Minasny B.* On digital soil mapping // Geoderma. 2003. V. 117. I. 1–2. P. 3–52.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена за счет средств молодежной лаборатории ЦЭПЛ РАН «Климаторегулирующие функции и биоразнообразие лесов» (рег. № 122111500023-6).

УДК 630*4

БИОИНТЕНСИФИКАЦИЯ МИКОГЕННОГО КСИЛОЛИЗА ДРЕВЕСНОГО ОТПАДА И ПОРУБОЧНЫХ ОСТАТКОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛЕСНЫЕ БИОЦЕНОЗЫ

С.Э. НЕКЛЯЕВ, Г.Е. ЛАРИНА, Л.Г. СЕРАЯ

Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Большие Вяземы, Московская область (slava9167748107@yandex.ru)

Аннотация. Определение особенностей процессов круговорота вещества в лесных экосистемах важно для выработки решений по санитарной безопасности в лесах (лесопатологическому состоянию лесов) и регулируемым потерям лесных ресурсов. На основании изучения развития стволовых гнилей хвойных пород и особенностей изометрии личиночных ходов сапроксильных насекомых было показано, что афиллофоровые ксилотрофные макромицеты (АФКС) активно используют ходы для поселения и развития первичного мицелия на субстрате (опилки), прошедшем через кишечник личинок. Образовав мицеллярное тело, грибы приступают к освоению субстрата. На модельных деревьях с перфорацией ствола установлено, что мицелий *Fomitopsis pinicola* и *Rhodofomes roseus* развивается вдоль ходов *Monochamus urussovii, Monochamus sutor* и *Urocerus gigas*, в отличие от проникновения мицелия *Trichaptum abetinum* и *Gloeophyllum sepiarium* по ходам во флоэме *Tetropium castaneum*. Поселение первичных сапротрофов на отрубках индивидуальных и в поленнице происходит с внешней стороны (по периметру). В случае поленницы, сложенной из отрубков, находящихся на разных стадиях ксилолиза (и особенно одной породы), идет существенное ускорение процессов разложения.

BIOINTENSIFICATION OF MYCOGENIC XYLOLYSIS OF TREE LITTER AND FELLING RESIDUES TO REDUCE THE LEVEL OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON FOREST BIOCENOSES

S.E. NEKLIAEV, G.E. LARINA, L.G. SERAYA

All-Russian Scientific Research Institute of Phytopathology, Bolshye Vyazemy, Moscow region (slava9167748107@yandex.ru)

Abstract. Determining the features of the processes of the substance cycle in forest ecosystems is important for developing solutions for sanitary safety in forests (forest pathological condition of forests) and regulated losses of forest resources. Based on the study of the development of stem rot of coniferous and the features of the isometry of larval tunnels of saproxylic insects, it was shown that aphyllophorales xylotrophic macromycetes actively use passages for the settlement and development of primary mycelium on a substrate (sawdust) that passed through the intestines of larvae. Having formed a micellar body, the fungi begin to develop the substrate. On model trees with trunk perforation, it was found that mycelium *Fomitopsis pinicola* and *Rhodofomes roseus* develops along the tunnels of *Monochamus urussovii*, *Monochamus sutor* and *Urocerus gigas*, in contrast to the penetration of mycelium *Trichaptum abetinum* and *Gloeophyllum sepiarium* along the passages in the phloem of *Tetropium castaneum*. The settlement of primary saprotrophs on individual cuts and in the woodpile occurs from the outside (along the perimeter). In the case of a woodpile composed of cuts at different stages of xylolysis (and especially of the same breed), there is a significant acceleration of decomposition processes.

Большой интерес в системе управления лесным хозяйством вызывают процессы деструкции древесины и лесопатологическое состояние лесов [1, 2]. Это важно для уборки неликвидной древесины и возврата элементов в кругооборот в природе [3, 4]. Поэтому актуален вопрос биоинтенсификации микогенной деструкции древесины под влиянием консортных ассоциаций насекомых и грибов.

Нами проведены многолетние исследования (2013–2023 гг.) в условиях Московской области на большом объеме данных: 127 пробных площадях в местах уборки неликвидной древесины – 1270 поленницах, а также 167 модельных деревьях ели европейской (*Picea abies* L.) и 165 модельных деревьях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Мониторинг и оценка стадий разложения и фрагментации коры стволов были проведены согласно федеральным и отраслевым нормативам (ГОСТ Р 57973-2017, ГОСТ 18610-82 и др.).

Установлено, что большая эффективность разложения и условия для заселения субстрата грибами связаны с формированием специфического микроклимата. В период активной вегетации средняя влажность древесины (Ws) хвойных пород с симптомами поражения АФКС составляла у сосны 32.4 ± 21.0 %, у ели – 27.7 ± 16.3 %. Разница в показателе Ws существенна и связана с особенностями строения древесины сосны, у которой формировались большие объемы стволовой гнили и быстро увеличивалось число плодовых тел АФКС.

Проведенный сравнительный анализ увлажнения субстрата между первичными и вторичными сапротрофами на сосне показал, что АФКС хронологически неравномерно осваивают субстрат. Они не могут проникнуть в ксилему ядра. Затруднено освоение субстрата при Ws меньше 30 % такими видами, как *Coniophora olivacea* (Fr.) P. Karst. 1882 и *Coniophora arida* (Fr.) P. Karst. 1868 (оптимальные условия Ws выше 45 %). Но при жизнедеятельности *Neoantrodia serialis* (Fr.) Audet 2017 глубокая флоэма и граница ксилемы увлажняются до 41.4 %, что создает условия для интерференции с представителями рода

Coniophora. Имеет место и конкуренция в микогенном ксилолизе. Например, в случае недостаточности объема субстрата для образования устойчивого плодоношения *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst. 1881 уступает вторичным сапротрофам. Поэтому в случае перфорации ствола сапроксильными ксилобионтами по коррозионному типу и проходе *Sirex juvencus* (L.,1758) ствола насквозь по касательной к ядру создаются условия для роста *Neoantrodia serialis, Coniophora olivacea*, *Coniophora arida*. Для ели при Ws выше 50 % отмечен активный рост *Fomitopsis pinicola* и *Rhodofomes roseus.* Образующие однолетние базидиомы *Trichaptum abetinum* (Pers. ex J.F. Gmel.) Ryvarden 1972 и *Gloeophyllum sepiarium* (Wulfen) P. Karst. 1882 предпочитают хорошо освещенную поверхность субстрата при слабом увлажнении (Ws менее 40 %), а *Coniophora olivacea*, наоборот, занимает теневые стороны в условиях высокого увлажнения субстрата (Ws выше 70 %).

С помощью «модели перфорации ствола» были выявлены распространение, экологические и функциональные характеристики редуцентов в ксилолизе древесины хвойных пород. Установлено, что мицелий *Fomitopsis pinicola* и *Rhodofomes roseus* (Alb. & Schwein.) Kotl. & Pouzar 1990 развивается вдоль ходов *Monochamus urussovii* (Fischer-Waldheim, 1806), *Monochamus sutor* (L.,1758) и *Urocerus gigas* (L.,1758). Развитие ходов *Tetropium castaneum* (L.,1758) во флоэме способствует проникновению мицелия *Trichaptum abetinum* и *Gloeophyllum sepiarium*. Личиночные ходы *Hylotrupes bajulus* (L.,1758), проходя в ядровой части и глубокой флоэме, заполняются мицелием *Fomitopsis pinicola*, *Rhodofomes roseus* и *Coniophora olivacea.* Показана зависимость между вылетом имаго флойо- и ксилобионтов и периодами активной споруляции сапротрофов при условии, что личиночные ходы сохраняются не дальше IV стадии ксилолиза, в отличие от вылетных отверстий (зависимость не установлена). Выявлен мутуализм между фелло- и флойобионтами и первичными сапротрофами, а также между вторичными флойо- и ксилобионтами и сапротрофами (коэффициент корреляции равен 0.71–0.99, $P \leq 0.05$).

Стадии ксилолиза в поленнице на 21 ПП, сложенной из отрубков древесины как одной, так и обеих пород, были схожи с разложением древесины в нераскряжеванном стволе. Так, распределение отпада между стадиями ксилолиза было следующим: II стадия – 26–27 %, III стадия – 32–36 %, IV стадия – 37–42 %. В поленницах, уложенных из отрубков, находящихся на разных стадиях ксилолиза, отмечено ускорение процессов разложения древесины на 30–45 %. В ситуации с поленницами, сложенными из отрубков одной породы, значительно увеличивается активность на III стадии: до 55–65 % по сравнению со II стадией – 20–25 % и IV стадией – 20–25 %. Важно отметить, что наилучшее развитие АФКС на отрубках происходит в условиях размещения поленниц в затенении лесного полога и с инсоляцией в диапазоне 900–3000 люкс для ели и 700–3500 люкс для сосны. Показано, что размещение отрубков в поленницах послойно, когда снизу кладутся поленья на IV стадии, в середине – на III стадии, сверху – на II стадии, было наиболее оптимальным для быстрого освоения древесины отрубков АФКС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Некляев С.Э.*, *Серая Л.Г., Ларина Г.Е.* Экологические последствия современных изменений климата, негативно влияющие на устойчивость хвойных растений к вредителям и афиллофоровым грибам // Биосфера. 2022. Т. 14. № 3. С. 235–244. DOI: 10.24855/biosfera.v14i3.693.
2. *Сафонов М.А., Булгаков Е.А., Остапенко А.В., Тяпухин П.В.* Влияние деструкции древесины на температурный и влажностный режим в лесных биогеоценозах Южного Приуралья // Вестник ОГУ. 2013. № 10 (159). [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-destruktsii-drevesiny-na-temperaturnyy-i-vlazhnostnyy-rezhim-v-lesnyh-biogeotsenozah-yuzhnogo-priuralya (дата обращения: 03.12.2023).
3. *Hiscox J., O'Leary J., Boddy L.* Fungus wars: basidiomycete battles in wood decay // Studies in Mycology. 2018. V. 89. P. 117–124. DOI: 10.1016/j.simyco.2018.02.003.
4. *Lunde L.F., Boddy L., Sverdrup-Thygeson A., Jacobsen R.M., Kauserud H., Birkemoe T.* Beetles provide directed dispersal of viable spores of a keystone wood decay fungus // Fungal ecology. 2023. 63. 101232. DOI: 10.1016/j.funeco.2023.101232.

УДК: 575.8 + 574.9

ФИЛОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НЕМОРАЛЬНОГО РЕЛИКТА *ANEMONE ALTAICA* FISCH. EX C.A. MEY. В ЮЖНОЙ СИБИРИ

П.Е. НЕЛЮБИНА[1, 2], В.В. ПАВЛИЧЕНКО[1], М.В. ПРОТОПОПОВА[1]

[1] Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск (marina.v.protopopova@gmail.com)
[2] Иркутский государственный университет, Иркутск (nelubina01@mail.ru)

Аннотация. Работа была направлена на изучение пространственно-генетической структуры *Anemone altaica* Fisch. ex C.A. Mey. на территории Южной Сибири. Результаты показали, что сибирские пластотипы *A. altaica* распределяются между двумя филогенетическими линиями и не формируют монофилетическую группу. Это свидетельствует о двойственном происхождении особей *A. altaica*, например, путем гибридизации одной из линий с близкородственными таксонами. Наиболее репрезентативной моделью филогеографической структуры вида на хребте Хамар-Дабан является разделение на шесть групп популяций, которые могут соответствовать плейстоценовым микрорефугиумам.

PHYLOGEOGRAPHIC STRUCTURE OF THE NEMORAL RELICT *ANEMONE ALTAICA* FISCH. EX C.A. MEY. IN SOUTHERN SIBERIA

P.E. NELYUBINA[1, 2], V.V. PAVLICHENKO[1], M.V. PROTOPOPOVA[1]

[1] Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk (marina.v.protopopova@gmail.com)
[2] Irkutsk State University, Irkutsk (nelubina01@mail.ru)

Abstract. The study was aimed to the estimation of the spatial genetic structure of *Anemone altaica* Fisch. ex C.A. Mey. in Southern Siberia. The results revealed that the Siberian plastotypes of *A. altaica* were distributed across two phylogenetic lineages and did not form a monophyletic group. This suggests a dual origin of *A. altaica* individuals, potentially resulting from the hybridization of one of the lines with closely related taxa. The most representative model of the phylogeographic structure of the species on the Khamar-Daban Ridge is characterized by six groups of populations, which may correspond to Pleistocene microrefugia.

Работа была направлена на изучение пространственно-генетической структуры *Anemone altaica* Fisch. ex C.A. Mey. на территории Южной Сибири. *Anemone altaica* – вид травянистых растений семейства Ranunculaceae, который является неморальным третичным реликтом [2] и входит в группу родства *A. nemorosa* L. Ареал *A. altaica* охватывает центрально-североевропейскую часть России, Западную, Среднюю и Восточную Сибирь, Северо-Восточный и Центральный Китай. В пределах Южной Сибири произрастает на территории Алтая, Западного и Восточного Саяна, хребта Хамар-Дабан и на Приморском хребте. В Южном Прибайкалье, на хр. Хамар-Дабан, расположен оторванный от основного крайне восточный фрагмент сибирской части ареала вида. Поскольку *A. altaica* входит в состав третичного неморального комплекса, установление ее пространственно-генетической структуры может быть полезным для понимания влияния позднекайнозойских климатических изменений на формирование современной растительности Южной Сибири.

Сбор образцов для молекулярно-генетического анализа проводили из нескольких популяций *A. altaica* в предгорьях хр. Хамар-Дабан (поймы рек Безымянная, Утулик, Хара-Мурин, Снежная, Большой Мамай, Выдриная, Осиновка, Мишиха, Мантуриха, Мысовка, Большая Речка, Еловка), Приморского хребта (р. Большая Черемшанка), Западного Саяна (поймы рек Нижняя Буйба, Большой Кебеж, Карасибо) и Алтая (Горно-Алтайский ботанический сад, Семинский перевал). Выделение общей ДНК проводили ЦТАБ методом [3] с авторскими модификациями [4]. В качестве молекулярных маркеров использовали регионы пластидной ДНК: *trnL* и *trnL–trnF*. Амплификацию проводили в 20 мкл реакционной смеси с использованием ДНК-полимеразы GoTaq Flexi (Promega, США) и пары праймеров (c + e), разработанных для цветковых растений [5] с финальной концентрацией 250 нМ каждого праймера. Ампликоны электрофоретически отделяли от компонентов реакции, очищали и секвенировали по методу Сэнгера на генетическом анализаторе ABI 3500. Филогенетический анализ проводили методом максимального правдоподобия (ML) в программе MEGA v. 6.06 с использованием трехпараметрической модели Тамуры (T92) и байесовским анализом (BI) на основе метода Монте-Карло для марковских цепей с использованием модели HKY, адаптированной под модель T92, для нуклеотидных последовательностей и F81-подобной модели для бинарных данных (делеции/инсерции) в программе MrBayes v. 3.2.7. Анализ молекулярной дисперсии (AMOVA) и расчет индексов фиксации был проведен в программе PopART v. 1.7.

Филогенетический анализ выявил наличие шести вариантов пластотипов *A. altaica* в Южной Сибири. В пределах Западного Саяна и Алтая нами был выявлен один, «западный», пластотип, являющийся общим для всех популяций западного участка сибирского ареала *A. altaica*, включенных в исследование. Популяции хр. Хамар-Дабан, напротив, отличались разнообразным набором пластотипов.

Анализ показал наличие как минимум трех филогеографических надгрупп у *A. altaica* на хр. Хамар-Дабан: восточной, центральной и западной. В популяциях восточного участка хребта выявлено два

пластотипа (P1 и P2), в популяциях из центральной части – пластотипы P1, P2 и P4, в крайне западных популяциях – пластотипы P3 и P4. Один из хамар-дабанских пластотипов (P4) также обнаруживается в популяции р. Большая Черемшанка (Приморский хребет). Географическое распределение пластотипов среди популяций и величина индекса фиксации Φ_{ST} указывают на значительную генетическую дифференциацию между популяциями *A. altaica* на хр. Хамар-Дабан. Это свидетельствует о наличии частичной генетической изоляции в популяциях соседних речных пойм, сохраняющейся и в настоящее время. Ранее на основании особенностей распространения реликтовых видов на хр. Хамар-Дабан нами было предположено существование четырех основных плейстоценовых микрорефугиумов, расположенных в долинах рек Утулик и Бабха (I), Снежная (II), Осиновка (пос. Танхой) (III), Мишиха (IV), где большинство реликтовых видов смогли пережить неблагоприятные для них периоды [2]. Существование микрорефугиумов в поймах этих рек также подтверждается данными о расположении ледников и депрессии снеговой линии на хребте в течение Сартанского оледенения, соответствующего последнему ледниковому максимуму в Сибири [1]. Результаты AMOVA с использованием данных о полиморфизме пластидной ДНК у *A. altaica* показали, что наиболее репрезентативной моделью филогеографической структуры вида на хр. Хамар-Дабан является разделение на шесть групп популяций, четыре из которых территориально соответствуют обозначенным выше микрорефугиумам. Две оставшиеся составляют восточную филогеографическую надгруппу. Таким образом, наши результаты дополнительно свидетельствуют в пользу гипотезы существования плейстоценовых микрорефугиумов на хр. Хамар-Дабан.

Филогенетический анализ показал, что все обнаруженные нами пластотипы распределялись между двумя четко дифференцированными филогенетическими линиями *A. altaica*, которые, однако, не формировали общую монофилетическую группу, что может свидетельствовать о двойственном происхождении южносибирских популяций *A. altaica*, например, путем гибридизации одной из выявленных филогенетических линий с близкородственными таксонами и инцидентов обратного скрещивания. Пластотипы P2–P5 хр. Хамар-Дабан и Приморского хребта образовывали группу с близкородственными *A. reflexa* и *A. quinquefolia.* Пластотип P1 с хр. Хамар-Дабан и пластотипы с Западного Саяна и Алтая формировали общую пластогруппу, что свидетельствует об их общем происхождении. Отдельные популяции из восточной и центральной частей хр. Хамар-Дабан, несущие среди прочих пластотип P1, сформировались из особей, принадлежащих двум различным филогенетическим линиям. С учетом матрилинейного характера наследования использованных молекулярных маркеров формирование таких полиморфных популяций произошло в результате физического контакта популяций, несущих пластотипы из разных филогенетических линий, в благоприятные для этого периоды квартера.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Еникеев Ф.И.* Палеогеография Сартанского оледенения хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Вестник Забайкальского гос. ун-та. 2020. 26 (7). С. 17–32.
2. *Чепинога В.В., Протопопова М.В., Павличенко В.В.* Выявление вероятных плейстоценовых микрорефугиумов на северном макросклоне хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Сиб. экол. журн. 2017. 24 (1). С. 44–50.
3. *Doyle J.J., Doyle J.L.* A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue // Phytochemical Bulletin. 1987. 19. P. 11–15.
4. *Protopopova M.V., V.V. Pavlichenko. Eranthis* Salisb. (Ranunculaceae) in South Siberia: Insights into phylogeography and taxonomy // Diversity. 2022. 14. 779. P. 1–19.
5. *Taberlet P., Gielly L., Pautou G. et. al.* Universal primers for amplification of 3 noncoding regions of chloroplast DNA // Plant molecular biology. 1991. 17. P. 1105–1109.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы благодарят ЦКП «Биоаналитика» СИФИБР СО РАН за предоставленный доступ к оборудованию, гербарий ИГУ – за монтирование и возможность размещения и хранения ваучерных образцов, В.В. Чепиногу – за помощь в полевых исследованиях и предоставление сборов материала с Алтая. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00501, https://rscf.ru/project/23-24-00501/.

УДК 330.15

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫМИ РЕСУРСАМИ В РОССИИ

О.В. НЕСТЕРОВА, В.А. СЕМАЛЬ, А.В. БРИКМАНС

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток (nesterova.ov@dvfu.ru)

Аннотация. Нормативно-правовая база в области лесопользования в настоящее время претерпевает значительные изменения в связи с новой климатической повесткой России. Для полноценного выхода нашей страны на внешние рынки лесного сырья необходимо создание новой инфраструктуры с наличием глубоководного порта и гармонизированной единой модели управления лесопользованием.

REGULATORY AND LEGAL SUPPORT FOR FOREST RESOURCES MANAGEMENT IN THE RUSSIA

O.V. NESTEROVA, V.A. SEMAL, A.V. BRIKMANS

Far Eastern Federal University, Vladivostok (nesterova.ov@dvfu.ru)

Abstract. The regulatory framework in the field of forest management is currently undergoing significant changes in connection with Russia's new climate agenda. For our country to fully enter foreign markets for timber raw materials, it is necessary to create a new infrastructure with the presence of a deep-sea port and a harmonized unified model of forest management.

Согласно Земельному и Лесному кодексам России, лесные участки в составе земель лесного фонда находятся в федеральной собственности, а гражданам и юридическим лицам они могут предоставляться только во временное пользование (аренда, сервитут и т. д.) [1, 2].

Принцип платности использования земель лесного фонда формирует ряд государственных законодательных инициатив, связанных не только с расчетом арендной ставки за пользование лесными участками, но и с оценкой ущерба лесным экосистемам и земельным участкам лесного фонда при их эксплуатации [3, 4]. Отдельно стоит подчеркнуть ряд законодательных инициатив по разработке программ лесовосстановления и рекультивации нарушенных лесных участков во многих регионах России.

Получается, что государство, являясь собственником земель лесного фонда, должно контролировать как использование, так и восстановление лесных территорий после передачи таких земель в пользование.

Какие же нормативно-правовые инструменты для этого существуют?

Во-первых, сам Лесной кодекс как базовый нормативный документ, регламентирующий все формы взаимодействия между собственником лесных ресурсов (государство) и пользователями (граждане и юридические лица).

Во-вторых, Государственный лесной реестр как информационная база учета лесных ресурсов [5].

В-третьих, Единая государственная автоматизированная информационная система учета древесины и сделок с ней, благодаря которой становится возможным формирование стратегии внутреннего и внешнего рынков древесины нашей страны.

Для удобства управления лесами в РФ их подразделяют на защитные, резервные и эксплуатационные [2]. Каждая из категорий лесов имеет свою специфику в системе государственного управления и контроля за состоянием этого ресурса.

Наибольший коммерческий интерес для граждан и юридических лиц представляют эксплуатационные леса, которые подлежат освоению в целях получения высококачественной древесины и других лесных ресурсов, продукции их переработки, имеющей большую ценность для многих стран АТР и особенно Китая. Для обеспечения учета древесины, информации о сделках с ней, а также осуществления анализа, обработки представленной в нее информации и контроля за достоверностью такой информации была создана Единая государственная автоматизированная информационная система учета древесины и сделок с ней [2].

Наибольшие проблемы, существующие у организаций, которые занимаются добычей и переработкой древесины, связаны с вывозом продукции лесопромышленного комплекса к месту транспортировки на внешние рынки и отсутствием глубоководного порта для создания благоприятных и экономически выгодных условий экспорта древесины из России.

Об этой проблеме в рамках ВЭФ-2023 упоминал министр лесного хозяйства и охраны объектов животного мира Приморского края Константин Степанов. В частности, он подчеркнул, что существуют проблемы с вагонным транспортом для вывоза леса, отсутствием запчастей для оборудования, необходимого для лесозаготовки и глубокой лесопереработки, а заместитель руководителя Федерального агентства лесного хозяйства Вячеслав Спиренков поднял вопрос о разработке федерального закона, регламентирующего создание и функционирование лесных дорог.

Несмотря на достаточную проработку системы государственного Лесного реестра, все более остро встает вопрос о создании достоверной онлайн-системы лесоизменений как цифрового двойника леса в режиме реального времени. Такие разработки возможны за счет усилий многих профильных ведомств, таких как Минпромторг, Минлесхоз и Минприроды, а результатом их взаимодействия должна стать единая модель лесоуправления в России.

Еще одной существенной проблемой для развития лесной промышленности является отсутствие качественного растительного посадочного материала с закрытой корневой системой из-за нехватки достаточного количества лесных питомников на территории РФ. При искусственном и комбинированном лесовосстановлении наличие саженцев с закрытой корневой системой должно быть обязательным [6].

Возрастающая роль климатической повестки также вносит свои коррективы в большой пласт нормативно-правовых документов лесного законодательства и стратегию развития лесной отрасли [7, 8, 9].

Так, в своем докладе заместитель министра промышленности и торговли Российской Федерации Олег Бочаров отметил возникающее противоречие, связанное с тем, какой лес является приоритетным: коммерческий или природоохранный. Он также подчеркнул, что отсутствие четкого понимания рынков сбыта не дает возможности разработать грамотную стратегию инвестирования в лесной отрасли.

Таким образом, при анализе существующей в области лесного законодательства нормативно-правовой базы уже сейчас становится понятным, что новая климатическая стратегия России будет все больше вносить коррективы в большинство существующих нормативных документов. Вероятнее всего, новая стратегия лесопользования будет фокусироваться на рациональном лесопользовании с созданием новой современной инфраструктуры по глубокой переработке древесного сырья, экспорту его на внешние рынки и современных технологий лесовосстановления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 04.08.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2023).
2. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 04.08.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2023).
3. Постановление Правительства РФ от 22.05.2007 № 310 (ред. от 15.06.2023) «"О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставках платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности».
4. «О защите и поощрении капиталовложений в Российской Федерации» от 01.04.2020 № 69-ФЗ.
5. Постановление Правительства РФ от 25.08.2023 № 1378 «Об утверждении Правил ведения государственного лесного реестра».
6. Приказ Минприроды России от 29.12.2021 № 1024 «Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления».
7. Приказ Росгидромета от 07.10.2021 № 348 «Об утверждении Методики определения и предоставления значения показателя «Поглощения лесами углерода» Федерального проекта «Сохранение лесов» Национального проекта «Экология».
8. Распоряжение Правительства РФ от 26.09.2013 № 1724-р «Об утверждении Основ государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года».
9. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года».
10. Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021 № 296-ФЗ (последняя редакция).
11. Version 1.0 of this methodology was developed by Biochar Works, Delaney Forestry Services, Forliance and South Pole. The lead authors are H. Etter (South Pole), A.Vera (Forliance), C. Aggarwal (South Pole), M. Delaney (Delaney Forestry Services), and S. Manley (Biochar Works).

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке государственного задания Минобрнауки России № FZNS-2023-0019.

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ ИНВАЗИОННЫХ ДЕНДРОФАГОВ НА СВОЙСТВА ПОЧВ ПРИПОСЕЛКОВЫХ КЕДРОВНИКОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ГУМУСА

А.Н. НИКИФОРОВ, И.Г. ГРАЧЕВ

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск (a.nik-n@mail.ru, grachevimces@gmail.com)

Аннотация. В работе отражены исследования некоторых свойств почв припоселковых кедровников на разной стадии деградации древостоя под влиянием инвазионного вида короеда (*Ips amitinus*). Полученные результаты указывают на то, что каждая следующая стадия трансформации древесного компонента леса приводит к количественным изменениям показателей-маркеров.

INFLUENCE OF INVASIVE DENDROPHAGES ON THE PROPERTIES OF SOILS OF SEDAR VILLAGES AND THE ENERGY POTENTIAL OF HUMUS

A.N. NIKIFOROV, I.G. GRACHEV

Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk (a.nik-n@mail.ru)

Abstract. The work reflects studies of some properties of soils in cedar forests at different stages of forest stand degradation under the influence of the invasive species of bark beetle (Ips Amitinus). The results obtained indicate that each subsequent stage of transformation of the woody component of the forest leads to quantitative changes in marker indicators.

Припоселковые кедровники, являясь производными экосистемами, характеризуются разнообразием условий почвообразования (микроклимат, породы, характер и условия увлажнения, растительный покров). На высокогумусированных почвах формируются разреженные кедровники паркового типа с низкой устойчивостью к вредителям и болезням. Современные процессы деградации древесного компонента леса связаны с их интенсивным развитием, высокой антропогенной нагрузкой и отсутствием лесовозобновительных процессов [1].

В последние несколько лет отмечается появление нового для региона вида насекомых-дендрофагов – союзного короеда *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872), широко распространенного на территории Европы [4]. Первые сведения о распространении союзного короеда в Томской области появились в 2019 г. и отражали специфические признаки усыхания стоящих деревьев кедра по вершинному типу, а также наличия мелкой буровой муки на кустарниках и травянистых растениях подчиненных ярусов [2, 3].

Целью исследования послужило выявление воздействия чужеродного для региона короеда на свойства почв припоселковых кедровников и их энергетический потенциал.

В качестве объектов выступили темно-серые и серые почвы припоселковых кедровников юга Томской области (Нагорный Иштан, Зоркальцево, Белоусово). Кедровники находятся на разных стадиях деградации древесного компонента леса.

Так как ряд свойств и признаков почв являются консервативными к резким (импактным) изменениям условий внешней среды, то в качестве маркеров для оценки состояния и изменчивости объектов исследования выбраны основные из них: содержание и запасы углерода в верхнем полуметре (органогенные и минеральные горизонты) и энергетический потенциал.

В условиях подтаежной и южнотаежной подзон Западной Сибири факторы внешней среды действуют на развитие почв примерно одинаково. Флуктуации в свойствах и морфологических признаках почвенных профилей возникают при участии микроклиматических параметров и особенностей микрорельефа. Проведенные исследования показали, что почвы, находящиеся в близких условиях интенсивности влияния фактора деградации древостоя, имеют схожие признаки и свойства.

Участок, расположенный в Нагорном Иштане, по всем признакам относится к слабонарушенному древостою. Верхний грубогумусовый горизонт темно-серой почвы содержит 37.7 % общего углерода. Его содержание в гумусо-аккумулятивном горизонте в среднем составляет 6.5 %, а вниз по профилю довольно резко уменьшается (рис. 1). Запасы углерода в подстилке (мощность 3 см) составляют 23 тС/га, а в минеральных горизонтах в пределах верхней полуметровой толщи достигают 76.2 тС/га. При этом энергетический потенциал гумуса в указанном слое составляет 2951.8 ГДж/га.

Зоркальцевский припоселковый кедровник характеризуется большим нарушением древесного компонента леса, а следовательно, и изменением индикаторных показателей. Так, содержание углерода в поверхностном органогенном горизонте мощностью 2 см составляет 42 % при запасе 11.5 тС/га. Запасы углерода в минеральных горизонтах профиля повышаются незначительно и составляют 77.3 тС/га, что может быть связано с краткостью периода изменения компонентов биогеоценоза и слабым откликом почв на эти трансформации. Результаты отчасти подтверждаются оценкой энергетического потенциала гумуса почв, которые составляют 2992.8 ГДж/га.

Последним в ряду сукцессионных изменений рассматривается участок, расположенный в Белоусовском припоселковом кедровнике. Содержание углерода в грубогумусовом горизонте составляет 49.3 % (в гумусо-аккумулятивном – 6.0 %). При мощности в 2 см запасы углерода существенно отличаются и составляют 5.6 тС/га. Такая величина может быть обусловлена более интенсивными процессами деструкции, минерализации и гумификации органогенного материала в условиях меняющейся среды. Вместе с этим и в сравнении с предыдущими стадиями трансформации биогеоценоза в ключе деградации древостоя и его влияния на почву как на компонент ландшафта запасы углерода в минеральной толще разительно отличаются. В результате интенсивного разложения органогенного материала в почвах участка депонируется 122.5 тС/га. При этом профильное распределение углерода имеет более равномерный и сглаженный характер (рис. 1). Энергетический потенциал гумусированной толщи существенно возрастает и составляет 3285.6 ГДж/га.

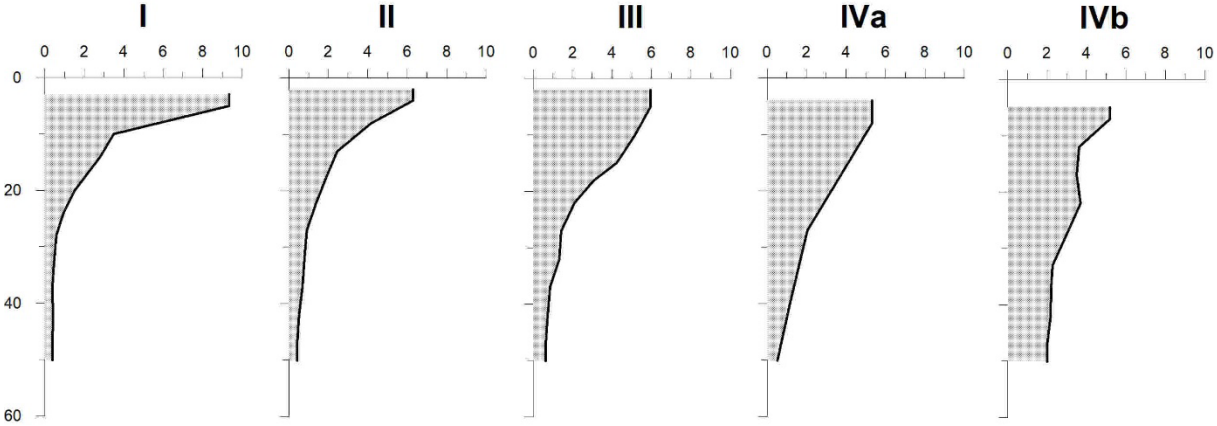


Рис. 1. Профильное распределение общего углерода в исследованных припоселковых кедровниках: I – Нагорный Иштан; II – Зоркальцево; III – Белоусово; IVa – Лучаново-Ипатово (1998 г.); IVb – Лучаново-Ипатово (2023 г.)

Для сравнения потенциала роста запасов углерода в подстилках и минеральных горизонтах, а также энергетической составляющей гумуса минеральной части почв в живом (до вспышки сибирского шелкопряда) и мертвом (после вспышки сибирского шелкопряда) кедровом древостое приведем данные по сопредельной территории (Лучаново-Ипатовский припоселковый кедровник). Почвенный разрез на указанном участке был заложен в 1998 г. в ненарушенном кедровом древостое с разнотравным напочвенным покровом. Запасы углерода в органогенном и минеральных горизонтах (в пределах верхней 50-сантиметровой толщи) составляли 7.6 и 38.1 тС/га, а расчетный энергетический потенциал – 1047.1 ГДж/га. В 2016–2018 гг. произошла крупнейшая вспышка массового размножения сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus*, результатом чего стало практически полное усыхание сосны сибирской кедровой. Повторные исследования, проведенные в 2023 г., показали, что запасы углерода в мортмассе и минеральной части за 25-летний период (между живым и мертвым древостоем) возросли в несколько раз. Так, в подстилочном горизонте при учете несущественного увеличения его мощности (до 1 см) запасы углерода составили уже 17.3 тС/га, а в минеральной толще возросли до 141 тС/га. Все это сопровождалось увеличением энергетического потенциала почв до уровня 5266.9 ГДж/га.

Таким образом, изменения свойств почв (особенно маркирующих трансформации) в припоселковых кедровниках, подверженных влиянию чужеродных видов дендрофагов, носят длительный характер и могут приводить к необратимым изменениям всех компонентов биогеоценоза. Последовательная смена естественных сукцессионных стадий лесовозобновления затронет временной интервал, существенно превышающий возраст изученных насаждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н.* Почвы припоселковых кедровников // Вестник Том. гос. ун-та. Биология. 2013. № 2. С. 7–22.
2. *Керчев И.А., Мандельштам М.Ю., Кривец С.А., Ильинский Ю.Ю.* Союзный короед *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) – новый чужеродный вид в Западной Сибири // Энтомологическое обозрение. 2019. Т. 98. № 3. С. 592–599.
3. *Керчев И.А., Кривец С.А., Бисирова Э.М., Смирнов Н.А.* Распространение союзного короеда *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) в Западной Сибири // Российский журнал биол. инвазий. 2021. Т. 14. № 4. С. 77–84.
4. *Cognato A.I.* Biology, systematics, and evolution of Ips // Bark beetles. Biology and ecology of native and invasive species / eds. F.E. Vega, R.W. Hofstetter. Oxford: Academic Press of Elsevier, 2015. P. 351–370.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках научной темы: «Развитие системы мониторинга и комплексного анализа пулов и потоков парниковых газов болотных и лесных экосистем Западной Сибири», код научной темы FWRG – 2022-0001.

УДК 630*182.2:630*182.5

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА КЕДРОВНИКОВ ЗЕЛЕНОМОШНЫХ В БАССЕЙНЕ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ОБИ

С.А. НИКОЛАЕВА, Д.А. САВЧУК

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск (sanikol1@rambler.ru, savchuk@imces.ru)

Аннотация. Проведено сравнение двух подходов (статического и динамического) для анализа динамики лесных сообществ. Выделены этапы восстановительно-возрастной динамики кедровников зеленомошных в бассейне среднего течения р. Оби с использованием перечетных материалов и дендрохронологических данных.

GREEN MOSSY SIBERIAN STONE PINE FOREST STRUCTURE AND DYNAMICS IN THE MIDDLE OB RIVER BASIN

S.A. NIKOLAEVA, D.A. SAVCHUK

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk (sanikol1@rambler.ru, savchuk@imces.ru)

Abstract. A comparison was made of two approaches (static and dynamic) for analyzing the dynamics of forest communities. The stages of the regeneration and age dynamics of green mossy Siberian stone pine forests in the Middle Ob River basin are identified by inventory materials and dendrochronological data.

Согласно оценкам, основанным на дистанционном зондировании, около 84 % лесов России [2] подвергалось существенному воздействию. На освободившихся территориях идут процессы восстановления лесной растительности. При этом пристальное внимание уделялось отдельным аспектам восстановительно-возрастной динамики кедровых лесов Сибири, Урала и Дальнего Востока [1, 4, 5 и др.].

Для отнесения растительных сообществ к определенному этапу восстановительно-возрастной динамики обычно используются статические методы анализа перечетных материалов. Критерии – изменения в эдификаторной роли и составе лесообразователей, морфоструктуре сообществ, интенсивности продукционного процесса (биомассе) доминанта, реже – другие признаки [4, 5 и др.]. Мы предлагаем дополнить их ретроспективными методами выделения этапов динамики лесных сообществ, при которых критериями служат изменения показателей прироста и плодоношения [3], т. е. ретро- и дендрохронологическими методами.

Особенности выделения этапов растительных сообществ будут показаны на примере восстановительно-возрастной динамики кедровников зеленомошных в бассейне среднего течения р. Оби (юго-восток Западно-Сибирской равнины, Кеть-Чулымское междуречье).

Изменения в динамике запасов древостоев показывают переход доминирования от лиственных видов к хвойным в интервале от 110–120 (березняки) до 160–165 (осинники) лет. В дальнейшем как минимум до 500 лет по запасу преобладают хвойные виды (рис. 1А). Большая часть этого запаса приходится на кедр сибирский (рис. 1Б). Его запас достигает максимума в 170–200 лет и держится на этом уровне до 350–370 лет, затем после кратковременного спада в 370–450 лет опять увеличивается. Запас до 370–380 лет обеспечивается в основном деревьями кедра первого поколения, после 380 лет – с началом активного выпадения деревьев первого поколения из состава древостоя – деревьями второго и третьего поколений. Лиственные виды после 250–260 лет представлены последующими поколениями деревьев с минимальными запасами.

Плодоношение древостоев кедра во времени изменяется аналогично изменениям его запасов (рис. 1В), как и вклад отдельных его поколений в общий урожай.

Начало перехода от доминирования лиственных видов к хвойным на графиках прироста по площади поперечного сечения ствола деревьев кедра первого поколения (рис. 1Г, отмечено стрелками) соответствует примерно 110 годам после пожара в березняках (три верхних графика, где средний возраст деревьев кедра первого поколения – 240, 260, 346 лет) и 165 годам в осиннике (средний возраст деревьев осины – 140 лет). Резкий спад прироста деревьев кедра в это время обусловлен изменением фитоценотической обстановки в лесу, вызванной началом активного выпадения деревьев березы и осины из состава древостоя. У деревьев кедра первого поколения начинают более-менее регулярно формироваться первые шишки. На графиках прироста деревьев кедра в 80-летнем березняке (второй нижний график) такого спада не наблюдается, поскольку еще не начался процесс активного выпадения березы из верхнего полога, а наиболее крупные деревья кедра только начали врастать в подчиненную часть древостоя.

Переход от более-менее стабильного существования древостоя к активному выпадению деревьев кедра первого поколения из его состава на графиках прироста (рис. 1Г) удалось проследить в одном древостое (первый верхний график, средний возраст деревьев первого поколения кедра – 346 лет). В это

время нулевая тенденция прироста по площади сечения сменилась на отрицательную, что соответствует 380 годам.

Результаты, полученные статическими (по перечетным данным) и ретроспективными (дендрохронологическими) методами, оказались сходными. Критические точки в развитии лесных сообществ практически совпали. С учетом обоих подходов выделены периоды и фазы восстановительно-возрастной динамики кедровников (рис. 1Д). Каждым периоду и фазе соответствуют не только определенные состав и доминанты древостоя и нижних ярусов леса, численность, запасы и плодоношение древостоев, распределения по диаметру, но и определенное соотношение онтогенетических групп деревьев и 1 (2) этапа роста деревьев кедра. В частности, каждой фазе I и II периода и III периоду в целом соответствует одно, реже два онтогенетических состояния большинства деревьев кедра первого поколения (рис. 1Д).

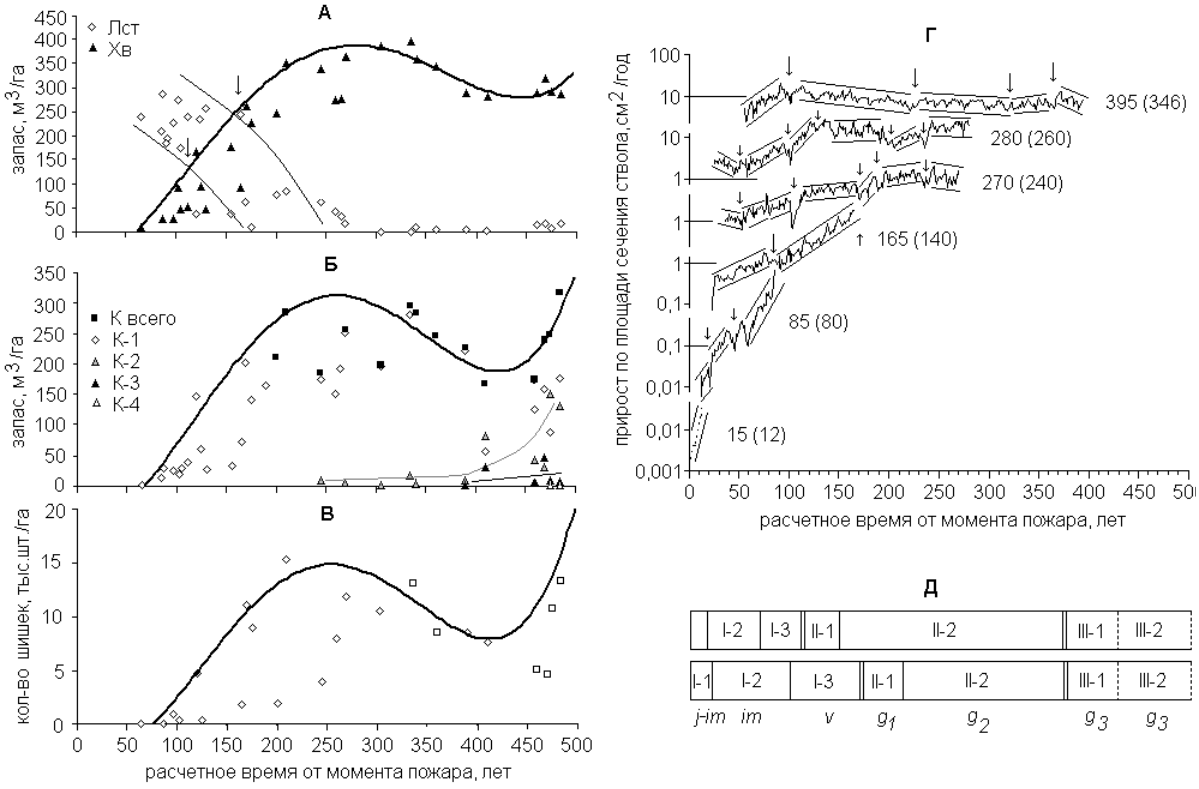


Рис 1. Динамика запасов (А, Б), плодоношения (В) древостоев, прироста по площади поперечного сечения ствола деревьев первого поколения (Г), этапы развития лесных сообществ и преобладающее онтогенетическое состояние деревьев (Д) в восстановительно-возрастном ряду кедровников зеленомошных (бассейн среднего течения р. Оби).
А, Б, В – по перечетным материалам, Г – по модельным деревьям; Д – периоды (I – восстановление, II – стабилизация, III – распад) и фазы (1–3).
Б, В, Г – древостои и деревья кедра. Около графиков (Г) указано время, прошедшее с момента пожара (и средний возраст) первого поколения деревьев кедра. Трендами по максимальным и минимальным значениям прироста отмечены этапы роста деревьев, стрелками – их границы.
Лст – лиственные (береза, осина), Хв – хвойные (кедр, пихта, ель, сосна); К-1 – К-4 – поколения кедра. Онтогенетические состояния первой генерации деревьев кедра: *j* – ювенильное, *im* – имматурное, *v* – виргинильное, g_1 – молодое генеративное, g_2 – зрелое генеративное, g_3 – старое генеративное

Таким образом, продолжительность I периода (восстановление) динамики кедровников зеленомошных в бассейне среднего течения р. Оби составила 110–165 лет, II (стабилизация) – 210–270, III (распад) – 120 лет (III период, по нашим данным, еще не завершен). Соответственно, I период закончился в березняках в ≈110 лет после пожара, в осинниках – в 160 лет, II период – в ≈370 лет, III период отслежен до 480–500 лет после пожара (рис. 1Д).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кедровые* леса Сибири / И.В. Семечкин, Н.П. Поликарпов, А.И. Ирошников и др. Новосибирск: Наука, 1985. 257 с.
2. *Лукина Н.В., Барталев С.А., Гераськина А.П.* и др. Роль старовозрастных лесов в аккумуляции и хранении углерода // Изв. РАН. География. 2023. 83 (4). С. 536–557.
3. *Николаева С.А., Савчук Д.А.* Комплексный подход и методика реконструкции роста и развития деревьев и лесных сообществ // Вестник ТГУ. Биология. 2009. 2 (6). С. 111–125.
4. *Седых В.Н.* Формирование кедровых лесов Приобья. Новосибирск: Наука, 1979. 11 с.
5. *Смолоногов Е.П.* Эколого-географическая дифференциация и динамика кедровых лесов Урала и Западно-Сибирской равнины. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 286 с.

УДК 630:575.174.015.3

ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ АДАПТАЦИИ К СТРЕССОВЫМ ФАКТОРАМ У СОСНЫ СИБИРСКОЙ КЕДРОВОЙ (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕНДРОГЕНОМНОГО ПОДХОДА И ПОЛНОГЕНОМНОГО ГЕНОТИПИРОВАНИЯ

С.В. НОВИКОВА[1, 2], Н.В. ОРЕШКОВА[1, 2, 3] , В.В. ШАРОВ[1, 2], Д.Ф. ЖИРНОВА[2, 4], Л.В. БЕЛОКОПЫТОВА[2, 4], Е.А. БАБУШКИНА[2, 4], Д.А. ДЕМИДКО[3, 5], К.В. КРУТОВСКИЙ[2, 6, 7, 8]

[1]ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск (serafi-ma_novikova_11@mail.ru, vsharov@sfu-kras.ru, oreshkova@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск
[3] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
[4] Хакасский технический институт, Сибирский федеральный университет, Абакан (dina-zhirnova@mail.ru, white_lili@mail.ru, babushkina70@mail.ru)
[5] Сибирский государственный университет им. М.Ф. Решетнева, Красноярск (sawer_beetle@mail.ru)
[6] Гёттингенский университет Георга-Августа, Гёттинген, Германия (konstantin.krutovsky@forst.uni-goettingen.de)
[7] Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва
[8] Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж

Аннотация. Путем секвенирования участков генома, ассоциированных с сайтами рестрикции, 234 дерева из шести природных популяций сосны сибирской кедровой были индивидуально прогенотипированы по 84 853 генетическим маркерам – SNP. Была изучена связь индивидуальной генетической изменчивости с изменчивостью индивидуальных характеристик деревьев, включая адаптивные дендрофенотипы, отражающие индивидуальные реакции деревьев на стресс. Изучена генетическая структура популяций и определены основные популяционно-генетические параметры изменчивости и дифференциации.

STUDY OF GENETIC MECHANISMS OF ADAPTATION TO STRESS IN SIBERIAN STONE PINE (*PINUS SIBIRICA* DU TOUR) USING DENDROGENOMIC APPROACH AND WHOLE GENOME GENOTYPING

S.V. NOVIKOVA[1, 2], N.V. ORESHKOVA[1, 2, 3], V.V. SHAROV[1, 2], D.F. ZHIRNOVA[2, 4], L.V. BELOKOPYTOVA[2, 4], E.A. BABUSHKINA[2, 4], D.A. DEMIDKO[3], K.V. KRUTOVSKY[2, 5, 6, 7]

[1] Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Krasnoyarsk (serafima_novikova_11@mail.ru, oreshkova@ksc.krasn.ru, vsharov@sfu-kras.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk
[3] V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk
[4] Khakass Technical Institute, Siberian Federal University, Abakan (dina-zhirnova@mail.ru, white_lili@mail.ru, babushkina70@mail.ru)
[5] M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk (sawer_beetle@mail.ru)
[6] Georg-August University of Göttingen, 37077 Göttingen, Germany (konstantin.krutovsky@forst.uni-goettingen.de)
[7] N.I. Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, Moscow
[8] G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh

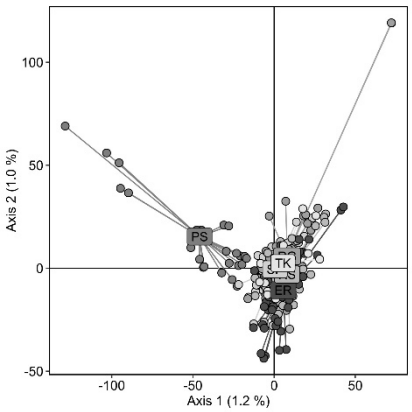
Abstract. We have genotyped 234 trees from six natural populations of Siberian stone pine using 84 853 genetic markers – SNPs, obtained by restriction site associated sequencing (ddRAD-seq). The relationship between individual genetic variation and variation of individual tree characteristics was studied, including adaptive dendrophenotypes that reflect individual tree responses to stress. The genetic structure of populations was studied and the main population genetic parameters of variability and differentiation were determined.

С использованием новейших подходов и методов дендрогеномики [1] нами был проведен совместный анализ дендрологических и геномных данных, позволивший изучить временную динамику роста и формирования деревьев сосны сибирской кедровой, определить пространственную и временную структуру популяций, индивидуальные реакции деревьев на абиотические и биотические стрессы, а также предположительно оценить адаптивный генетический потенциал изученных популяций. С целью этого была собрана хвоя для выделения ДНК и получены керны для дендрохронологического анализа 234 деревьев из шести природных популяций юга Красноярского края, Республики Хакасия и Томской области (табл. 1). Сбор и обработку образцов проводили стандартными методиками дендрохронологии [2]. Для анализа влияния стресса на рост кедровой сосны были рассчитаны адаптивные дендрофенотипы – индексы сопротивления, восстановления, устойчивости и относительной устойчивости [1, 3]. Секвенирование геномных участков, ассоциированное с сайтами рестрикции, проводили методом ddRADseq с использованием двух рестриктаз *Eco*RI и *Mse*I на приборе Illumina NovaSeq 6000. Полученные геномные нуклеотидные прочтения выравнивали на геномную сборку близкородственного вида – сосны белокорой (*Pinus albicaulis* Engelmann) [4], средний показатель выравнивания – 78.6 %. Было получено порядка 11 млн локусов, 40 553 из которых содержали 84 853 полиморфных позиций. На их основании были рассчитаны основные популяционно-генетические статистики.

Таблица 1. Размер и обозначение выборок и значения наблюдаемой (H_o) и ожидаемой (H_e) гетерозиготности и индекса фиксации (F_{IS}), рассчитанные для 6 популяций сосны сибирской кедровой

Обозначение и кол-во образцов	Популяция	$H_o \pm SE$	$H_e \pm SE$	$F_{IS} \pm SE$
ER (50)	Ергаки, оз. Уютное, Радужное	0.220 ± 0.001	0.222 ± 0.001	0.017 ± 0.007
RG (47)	Саяно-Шушенский заповедник, р. Малая Голая	0.204 ± 0.001	0.219 ± 0.001	0.072 ± 0.008
RS (47)	Саяно-Шушенский заповедник, р. Сарла	0.198 ± 0.001	0.212 ± 0.001	0.065 ± 0.008
SP (48)	Саянский перевал	0.214 ± 0.001	0.219 ± 0.001	0.028 ± 0.008
TK (17)	Ергаки, Тенсин ключ	0.210 ± 0.001	0.212 ± 0.001	0.028 ± 0.003
PS (25)	Белоусовский припоселковый кедровник, г. Томск	0.204 ± 0.001	0.204 ± 0.001	0.016 ± 0.005

Максимальная дифференциация между популяциями наблюдалась между TK и PS ($F_{ST} = 0.19$), а минимальная – между TK и RG ($F_{ST} = 0.003$). Полученные относительно низкие значения F_{ST} свидетельствуют о том, что изученные выборки относительно мало дифференцированы и принадлежат к генетически сходным популяциям. Анализ по методу главных компонент (PCA) с использованием частот аллелей показал, что изученные образцы не образуют четко выраженных однозначных кластеров (рис. 1). AMOVA анализ показал, что генетическая изменчивость сосредоточена в основном внутри популяций (98.3 %). Тест Мантеля с использованием корреляции Пирсона не выявил линейной связи между генетическим и географическим расстоянием ($r = 0.103$, $p = 0.313$). Только для дендрофенотипа Rt13, отображающего индекс сопротивления в популяции RG в период засухи 1959–1961 гг., была получена достоверная и высокая корреляция с индивидуальной гетерозиготностью ($r = 0.616$, $p = 0.0006$).



При использовании подхода, основанного на обобщенной линейной модели (GLM), изменчивость 15 214 SNP-маркеров достоверно коррелировала как минимум с одним из 55 дендрофенотипов ($p \leq 0.05$). Однако по данным метода, основанного на Байесовской разреженной линейной смешанной модели (BSLMM), только для 38 SNP была обнаружена связь с 11 дендрофенотипами. В итоге 13 SNP-маркеров, чья изменчивость была связана с изменчивостью дендрофенотипов, были обнаружены обоими методами. Были проанализировали геномные регионы, в которых эти SNP локализованы. Основываясь на аннотации сосны белокорой, можно сделать вывод, что все аннотированные адаптивные маркеры были расположены в межгенных регионах. Один из маркеров (Chr8.915883384) находился на расстоянии 1450 нуклеотидов от гена, кодирующего изопренилированный белок, и было обнаружено, что этот маркер связан с индексами сопротивления и устойчивости в период засухи 1988 г. Практически все найденные маркеры находились на большом удалении от кодирующих областей генома сосны белокорой. В дальнейшем планируется детальное изучение этих участков, в том числе с использованием черновой сборки генома сосны сибирской кедровой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Krutovsky K.V.* Dendrogenomics is a new interdisciplinary field of research of the adaptive genetic potential of forest tree populations integrating dendrochronology, dendroecology, dendroclimatology and genomics // Russ. J. Genet. 2022. 58. С. 1273–1286. DOI: 10.1134/S1022795422110059.
2. Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences / E.R. Cook, L.A. Kairiukstis (eds.). Netherlands, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. 394 p.
3. *Novikova S.V., Oreshkova N.V., Sharov V.V., Zhirnova D.F., Belokopytova L.V., Babushkina E.A., Krutovsky K.V.* Study of the genetic adaptation mechanisms of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) regarding climatic stresses based on dendrogenomic analysis // Forests. 2023. *14 (*12): 2358. DOI: 10.3390/f14122358.
4. *Neale D.B., Zimin A.V., Meltzer A. et al.* A genome sequence for the threatened whitebark pine // G3: Genes Genomes Genet. 2024. 14 (5). Article number jkae061. DOI: 10.1093/g3journal/jkae061.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено в рамках проекта «Дендрогеномное изучение адаптации кедра сибирского в Западном Саяне к экстремальным средовым факторам» (грант РНФ 22-14-00083).

УДК 58.006 + 502.75

РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

С.Д. ОЗЕРОВА[1], Е.С. ДЕРКАЧ[1, 2]

[1] Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург (svetluna96@gmail.com)
[2] Санкт-Петербургский государственный университет (katya.d96@bk.ru)

Аннотация. В работе приводятся площадной и пространственный анализы различных типов лесной растительности Санкт-Петербурга, а также рассматриваются факторы, влияющие на это распределение.

BIODIVERSITY OF ST. PETERSBURG'S FORESTS

S.D. OZEROVA[1], E.S. DERKACH[1, 2]

[1] V.L. Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg (svetluna96@gmail.com)
[2] Saint Petersburg State University (katya.d96@bk.ru)

Abstract. Area and spatial analyses of different forest vegetation types of St. Petersburg are given. Furthermore the factors affecting this distribution are considered.

Санкт-Петербург – крупнейший из городов мира, расположенных на 60-й параллели Северного полушария, площадью 1439 км^2. Городские застроенные территории соседствуют с относительно ненарушенными участками природных южнотаежных ландшафтов, занимающих около 30 % территории города. Леса составляют 20 % территории, 5 % занимают болота. Природные ландшафты Петербурга испытывают интенсивную антропогенную нагрузку. За последние столетия они были сильно преобразованы: причинами стали мелиоративные работы, вырубки, создание сельскохозяйственных угодий, а также пожары и рекреация [1]. Это привело к высокой степени неоднородности и мелкоконтурности растительного покрова. Кроме того, разнообразие растительных сообществ обусловлено различными экотопическими условиями.

На протяжении многих лет в Санкт-Петербурге проводятся комплексные экологические обследования территории города с целью обоснования целесообразности создания на них особо охраняемых природных территорий (ООПТ). В настоящее время в Санкт-Петербурге существует 17 ООПТ регионального значения общей площадью 92 км^2. Еще 17 территорий общей площадью около 70 км^2 обследованы и признаны обладающими высокой природоохранной ценностью (рис. 1).

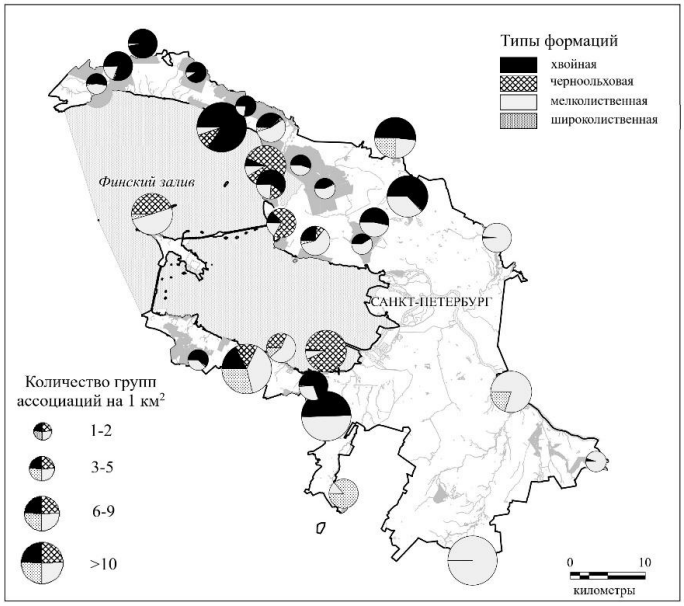


Рис. 1. Картодиаграмма соотношения площадей лесных классов формаций и количества составляющих их групп ассоциаций

Анализ разнообразия лесных сообществ проводился по геоботаническим данным исследований на территории города, которые заключались в составлении карт и описаний растительности на основании полевых работ. Легенды к картам созданы на основе эколого-фитоценотической (доминантной) классификации растительных сообществ. В ходе анализа карт были подсчитаны количество лесных групп

ассоциаций на 1 км^2 и доли площадей, занятые хвойными, черноольховыми, мелколиственными и широколиственными лесами (рис. 1).

Город занимает часть Приневской низменности, террасированный рельеф которой связан с понижениями уровня послеледниковых водоемов. По побережью Финского залива произрастают коренные для Приневской низины черноольховые (*Alnus glutinosa*) леса. Со времени основания Санкт-Петербурга их площадь значительно сократилась и в настоящее время составляет 3 % (4.3 км^2) (здесь и далее площади указаны от обследованных территорий), 80 % черноольшанников представлены гигрофитнотравяными типами. Увеличение разнообразия лесных сообществ, их видового состава и появление широколиственных пород в древостоях на побережье Финского залива связано с отепляющим влиянием Балтийского моря.

К условно коренным хвойным лесам города относятся различные типы ельников, а также сосняки сфагновые и зеленомошные, приуроченные к самым бедным субстратам. Среди еловых (*Picea abies, P.* × *fennica)* лесов преобладают еловые зеленомошные леса (8 %; 12.2 км^2). На втором месте – ельники сфагновые (5 %; 8.1 км^2), также встречаются еловые кисличные леса (1.9 %, 2.9 км^2). Малые площади занимают ельники неморальнотравные, приуроченные к Литориновому уступу, и ельники папоротниковые, произрастающие по речным долинам и оврагам. Сосновые (*Pinus sylvestris*) леса на большей части территории представлены сосняками сфагновыми (13 %; 20.2 км^2) и зеленомошными (11 %; 17.4 км^2). Незначительные площади (3.4 км^2, 2.2 %) занимают сосновые травяные леса, в том числе с участием неморальных видов, тяготеющие к Литориновому уступу.

Мелколиственные леса занимают треть от всей площади. Эти леса, как правило, вторичные и связаны с интенсивным антропогенным воздействием в прошлом. Они представлены как монодоминантными лесами, так и лесами смешанного состава. Преобладают леса с доминированием берез (*Betula pubescens, B. pendula*) (22 %; 33.5 км^2) от мезофитнотравяных до сфагновых. Леса с доминированием осины (*Populus tremula*) (3%; 4.7 км^2) произрастают на более богатых почвах. Сероольховые (*Alnus incana*) леса, являющиеся одной из начальных стадий зарастания сельскохозяйственных угодий, занимают 2.2 км^2 (1.4 %).

Участки широколиственных лесов встречаются в различных районах города и связаны как с особыми экотопическими условиями, так и с историей освоения территории. Основной их массив изолированно расположен на юге города, на Дудергофских высотах, – щебнистой карбонатной морене, обусловливающей богатство почв. Эти леса по своему составу и структуре полностью соответствуют зональным широколиственным лесам, произрастающим значительно южнее. Они характеризуются развитым ярусом нескольких видов широколиственных деревьев (*Acer platanoides, Fraxinus excelsior, Tilia cordata, Quercus robur, Ulmus glabra*) с общей сомкнутостью 60–80 %. Преобладают сообщества с господством клена и ясеня. В сложении сообществ участвуют от 2 до 7 видов деревьев, в том числе хвойные (*Picea abies, Pinus sylvestris*).

На севере города благодаря смягчающему влиянию Финского залива, особенно сильно проявляющемуся в зимний период, широколиственные леса приурочены к морским береговым валам. Здесь встречаются сообщества, образованные широколиственными разновозрастными деревьями (*Quercus robur, Tilia cordata, Acer platanoides, Fraxinus excelsior, Ulmus laevis*) с активным возобновлением этих видов. В древостое этих лесов, в отличие от древостоя Дудергофских высот, из-за невысокого уровня залегания грунтовых вод часто присутствует черная ольха (*Alnus glutinosa*); постоянным видом является *Betula pendula*, изредка участвует *Picea abies*.

Анализ данных показал, что, помимо абиотических факторов, на разнообразие растительных сообществ также влияет историческое развитие города. Строительство загородных резиденций вдоль Литоринового уступа на южном побережье Финского залива привело к практически полному уничтожению коренной таежной растительности, в связи с чем на юге города доля хвойных лесов незначительна, но при этом высока доля неморальных видов в травяно-кустарничковом ярусе. Для северной части города, где были распространены дачи и хутора, характерно наличие больших по площади участков относительно ненарушенных таежных ландшафтов.

В настоящее время многие крупные лесные массивы города являются ООПТ. Охрана лесных массивов – это важная задача для поддержания экологического баланса и сохранения биоразнообразия города. Леса являются местообитаниями для редких видов растений и животных, что подтверждается комплексными исследованиями. Наиболее уязвимыми сообществами в городе являются еще не взятые под охрану, но обладающие большим разнообразием лесные массивы, приуроченные преимущественно к побережью Финского залива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга / отв. ред. В.Н. Храмцов, Т.В. Ковалева, Н.Ю. Нацваладзе. СПб., 2016. 176 с.

УДК 556.5 (630*0)

ПАРАДИГМА УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСАМИ: ДАНЬ МОДЕ ИЛИ СТРАТЕГИЯ

А.А. ОНУЧИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (onuchin@ksc.krasn.ru)

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы охраны, рационального использования и воспроизводства лесов как одной из важнейших и наиболее распространенных экосистем суши на нашей планете. Предложено решение задачи рационального лесопользования на ближайшую и отдаленную перспективу в рамках парадигмы устойчивого управления лесами, которая должна опираться на ряд концепций и моделей, адаптированных к региональным и локальным условиям с учетом интересов всех субъектов лесных отношений, включая пользователей экосистемных услуг, предоставляемых лесами независимо от региональной и государственной принадлежности таковых.

A PARADIGM FOR SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT: HOMAGE TO FASHION OR STRATEGY

A.A. ONUCHIN

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (onuchin@ksc.krasn.ru)

Abstract. The article examines the problems of protection, rational use and reproduction of forests, as one of the most important and most widespread land ecosystems on our planet. A solution to the problem of rational forest management for the short and long term is proposed within the framework of the paradigm of sustainable forest management, which should be based on a number of concepts and models adapted to regional and local conditions, taking into account the interests of all subjects of forest relations, including users of ecosystem services provided by forests, regardless of regional and state belongings.

Леса являются важнейшими и наиболее распространенными природными экосистемами суши на планете Земля, они выполняют целый комплекс биосферных, социальных и ресурсных функций, что требует особого к ним отношения, обеспечивающего их охрану, защиту, рациональное использование и воспроизводство. Одной из характерных особенностей лесных экосистем является способность оказывать трансграничное влияние на состояние природной среды в районах, расположенных далеко за пределами произрастания самих лесов. Это касается состава атмосферного воздуха, влияющего на парниковый эффект, гидрологического режима, динамики и качества речного стока. В то же время леса являются источником лесных ресурсов, от которых во многом зависит состояние экономики лесных регионов, местом проживания коренных малочисленных народов, а также экосистемами, характеризующимися высоким уровнем биологического разнообразия.

Учитывая многофункциональную роль лесных экосистем, а также тот факт, что один вид пользования лесными ресурсами может входить в противоречие с другими видами лесопользования, становится очевидной необходимость разработки соответствующих правил пользования лесами, которые обеспечивали бы рациональное лесопользование на ближайшую и отдаленную перспективу. Такая задача может решаться в рамках парадигмы устойчивого управления лесами (УУЛ), которая должна опираться на ряд концепций и моделей, адаптированных к региональным и локальным условиям с учетом интересов всех субъектов лесных отношений, включая пользователей экосистемных услуг, предоставляемых лесами независимо от региональной и государственной принадлежности таковых.

Парадигма (УУЛ) считается философской и методологической основой коэволюции системы «человек – природа» и, очевидно, должна являться неотъемлемой частью стратегий национальных лесных политик. Вопрос состоит в том, какими критериями успешности реализации УУЛ следует руководствоваться применительно к лесоуправлению в России, в условиях неопределенности прогнозов динамики лесов и отсутствия четкого международного лесного права, которое должно предусматривать глобальную ответственность за леса [5].

Реализацию системы УУЛ в России с учетом масштабов объектов управления следует начать с зонирования лесного фонда и районирования системы УУЛ, обеспечивая пространственное разграничение для основных категорий лесов различного целевого назначения. Такие категории должны выделяться для эксплуатационных лесов, включая леса интенсивной и экстенсивной модели ведения лесного хозяйства, которые по возможности должны сосредотачиваться на ранее освоенных территориях; защитных лесов различных категорий, включая климаторегулирующие, и резервных лесов, недоступных в настоящее время для промышленного освоения. Очевидно, что резервные леса до тех пор, пока они не станут доступными, следует рассматривать как климаторегулирующие и включать в международную климатическую повестку [1, 2]. Такое ранжирование лесов позволит избежать скрытого переруба расчетной лесосеки, когда в нее включаются леса, которые фактически являются транспортно и экологически недоступными. Таким образом, будет обеспечено соблюдение принципа постоянства лесопользования.

Переходу к системе устойчивого управления лесами и решению проблемы негативных изменений лесного фонда, грозящих усилением дефицита качественных лесных ресурсов, может способствовать широкое использование модели интенсивного использования и воспроизводства лесов. Такой подход может эффективно применяться не только в целях ускоренного выращивания древесины, но и для формирования карбоновых ферм, которые создаются с целью усиления поглощения парниковых газов лесными экосистемами посредством соответствующих лесохозяйственных мероприятий, обеспечивающих максимальный прирост древостоев и соответственно поглощение атмосферного CO_2 [4].

Эта модель должна реализовываться в лучших лесорастительных условиях – даже в Сибири при должном уходе за лесом она может обеспечивать ежегодный прирост не менее 10 м^3/га, что в разы выше, чем в среднем по региону (1.4 м^3/га). По экспертным оценкам, доля лесов интенсивной формы ведения хозяйства в Сибири составляет 10–15 % от площади лесного фонда, в которых можно заготавливать от 45 до 60 % от общего объема потребной лесной продукции [3].

В условиях возрастающей обеспокоенности общества климатическими изменениями все большее внимание уделяется климаторегулирующей функции лесов, в том числе гидрологическим функциям леса, и это требует адекватного совершенствования законодательной базы, которая должна обеспечивать экономические рычаги для поддержания баланса интересов ресурсной и экосистемной составляющих в лесном секторе. При этом включение категории климаторегулирующих лесов в международную климатическую повестку обеспечит защиту национальных интересов России [2].

Важным условием устойчивого развития лесной отрасли является наличие соответствующей законодательной базы, отвечающей интересам всех субъектов лесных отношений, включая бизнес, лесную науку и органы власти, которые должны скоординированно действовать в интересах общего дела, обеспечивая рациональное и неистощительное пользование лесами. Органы власти обязаны создавать условия поддержки представителям добросовестного бизнеса, которые ведут дело на научной основе, используя передовые разработки и технологии. Действующий Лесной кодекс признает лес в первую очередь сырьевым ресурсом и слабо ориентирует субъектов лесных отношений на парадигму устойчивого управления лесами, которое обеспечивает выполнение лесом всего комплекса экосистемных услуг и сохранение биологического разнообразия. Эти принципы должны лежать в основе государственного управления лесами по всей вертикали, от арендатора и лесничего до всех специалистов региональных и федеральных структур, имеющих отношение к лесам. В этой связи особую роль в решении прикладных задач, способствующих развитию лесной отрасли, следует отвести лесной науке, а также университетам, занятым подготовкой квалифицированных специалистов-лесоводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Онучин А.А.* Стратегические задачи перехода к устойчивому управлению лесами в Сибири // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски: Матер. Всеросс. конф. с участием иностр. ученых, Красноярск, 26–31 августа 2019 г. Красноярск, 2019. С. 307–310.
2. *Макарьева А.М., Нефёдов А.В., Морозов В.Е., Алейников А.А., Василов Р.Г.* Наука в авангарде переосмысления роли лесов в третьем тысячелетии: комментарии к проекту концепции федерального закона «Лесной кодекс Российской Федерации» // Вопросы лесной науки. 2020. Т. 3. № 3. Вып. «Лесная политика и лесное законодательство РФ». DOI: 10.31509/2658-607x-2020-3-3-1-25.
3. *Онучин А.А., Соколов В.А., Рыбаков Г.К.* К вопросу эффективного использования и воспроизводства лесов России // Pulp & Paper Industry. 2018. № 1/5. С. 6–10.
4. *Онучин А.А., Данилин И.М.* Способы формирования лесных карбоновых ферм в целях достижения углеродной нейтральности. Тезисы докладов Междунар. конф. «Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования. Климат – 2023», Москва, 9–13 октября 2023 г. М.: Физматкнига, 2023. С. 214.
5. *Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Кракснер Ф., Онучин А.А.* Переход к устойчивому управлению лесами в России: теоретико-методические предпосылки // Сиб. лесной журн. 2017. № 6. С. 3–25.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках базового проекта ИЛ СО РАН «Роль природных и антропогенных факторов в системе устойчивого управления лесами Сибири» (2024–2026 гг.) FWES-2024-0007, регистрационный номер НИОКТР 124012900559-4.

УДК 556.5 (630*0)

КЛИМАТ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС ЛЕСОВ

А.А. ОНУЧИН, А.В. МУСОХРАНОВА, Т.А. БУРЕНИНА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (onuchin@ksc.krasn.ru, nastya.krasn@mail.ru, burenina@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Представленные результаты раскрывают важные причины противоречий, существующих в оценке гидрологического значения лесов. Они обусловлены тем, что вне поля зрения большинства лесных гидрологов оставалась специфика баланса снеговой влаги в лесу и на открытых участках в контексте фоновых условий окружающей среды, которые географически детерминированы.

CLIMATE AND HYDROLOGICAL STATUS OF FORESTS

A.A. ONUCHIN, A.V. MUSOKHRANOVA, T.A. BURENINA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (onuchin@ksc.krasn.ru, nastya.krasn@mail.ru, burenina@ksc.krasn.ru)

Abstract. The presented results reveal important reasons for the contradictions that existed in the assessment of the hydrological significance of forests. They are because the specifics of the balance of snow moisture in the forest and in open areas in the context of background environmental conditions, which are geographically determined, remained outside the field of view of most forest hydrologists.

Общепризнанным считается положительное влияние лесов на качество воды, снижение поверхностного стока и сглаживание пиков паводков, тогда как в отношении влияния лесов на водность рек такого единодушия не существует. Сторонники концепции всеобщей увлажняющей роли лесов аргументируют свои утверждения тем, что сток с лесных водосборов больше, поскольку леса в силу шероховатости поверхности способствуют возникновению восходящих потоков воздушных масс и конденсации атмосферной влаги в верхних слоях атмосферы, что приводит к увеличению осадков. Их оппоненты утверждают, что лес снижает объем стока, поскольку способствует интенсивному испарению выпадающих на землю атмосферных осадков как за счет перехвата их пологом, так и за счет транспирации с использованием влаги нижних почвенных горизонтов [1].

В ряде работ приводятся факты, подтверждающие положительное влияние лесов на объем годового стока, – в частности, это касается бореальных лесов [3, 6]. Такие оценки чаще имеют место в бореальных лесах, где велика доля атмосферных осадков, выпадающих в виде снега, но механизмам, которые могли бы объяснить причины таких различий, уделяется мало внимания [7]. Причины таких различий, по нашему мнению, кроются в недооценке специфики баланса снеговой влаги в лесу и на открытых участках в различных климатических условиях [6].

На уровне древостоев в теплом климате зимой лес по сравнению с безлесными угодьями работает как лучший испаритель и выступает как фактор снижения стока. В холодном жестком климате с повышенной ветровой активностью и низкой влажностью воздуха, который характерен для континентальных регионов лесотундры и северной тайги, в лесу, напротив, формируется более мощный снежный покров, чем на безлесных участках. Такой эффект обусловлен тем, что сухой мелкий снег под действием ветра легко осыпается с крон деревьев и хорошо сохраняется под пологом леса, будучи защищенным от выдувания и испарения. В то же время на открытых участках активизируются метели, и испарение поднятого в воздух снега за счет увеличения площади его испаряющей поверхности существенно возрастает. Это способствует увеличению снегозапасов в лесу по сравнению с полем [6] и соответственно повышению стока рек.

Необходимо отметить, что эти выводы относятся к случаям, когда влияние лесов на структуру водного баланса рассматривается на локальном уровне, без учета трансгрессивного аспекта воздействия лесов, т. е. их влияния на водный баланс территорий, расположенных далеко за пределами произрастания этих лесов. Оценка гидрологической и в целом климаторегулирующей роли лесов на глобальном уровне, безусловно, имеет важнейшее значение для сохранения стабильности биосферы и условий, пригодных для жизни на планете Земля [2, 4], но это требует отдельного рассмотрения.

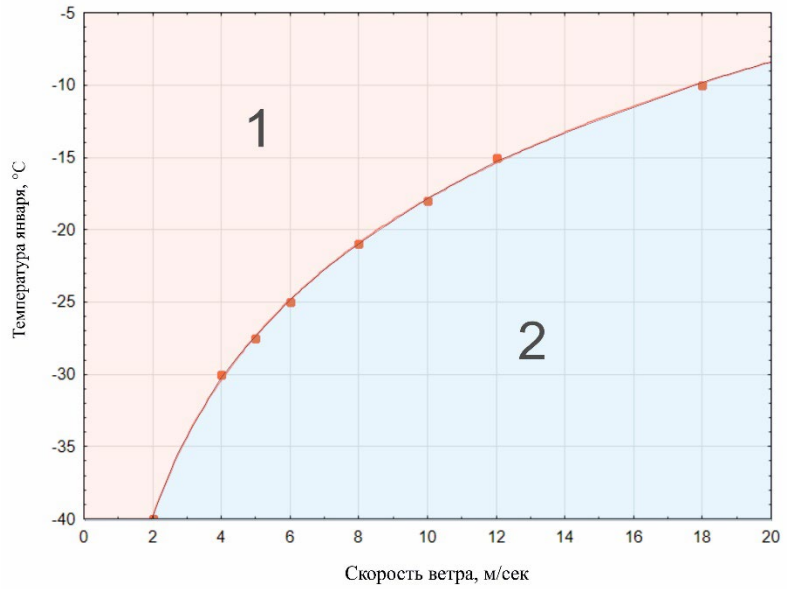


Рис. 1. Климатический барьер в координатах температуры воздуха и скорости ветра, определяющий гидрологический статус лесных экосистем: 1 – снижение стока, 2 – увеличение стока рек

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что важную роль в оценке влияния лесов на сток играет климат. Очевидно, что определенное значение в этом случае могут иметь и свойства водосборов, уклон, экспозиция, почвы и т. д. Однако свойства водосборов и трансгрессивный аспект влияния лесов на их гидрологическую роль остаются наименее изученными; требуется расширение наших знаний в этой области [7]. В отличие от свойств водосборов влияние климата на гидрологическое значение бореальных лесов в значительной степени выяснено. Так, в координатах двух климатических параметров (температуры воздуха и скорости ветра) установлен климатический барьер при переходе, через который лес меняет свой гидрологический статус и из фактора снижения стока становится источником его формирования [5]. Кривая на рис. 1 показывает параметры климатического барьера, который позволяет определить гидрологический статус лесных экосистем.

При сочетании температур воздуха и скоростей ветра, попадающих в зону 2 ниже этой кривой, лес с большой вероятностью будет являться источником формирования стока, а в ином случае (зона 1), наоборот, будет снижать сток с водосборных бассейнов.

Важным шагом в понимании гидрологического значения бореальных лесов является установление климатических рубежей, при которых леса меняют свой гидрологический статус и из потребителей влаги переходят в источники формирования стока по сравнению с безлесными территориями.

Исследования показали, что специфика баланса снеговой влаги кардинально различается в зависимости от условий окружающей среды. Это позволяет объяснить, почему в условиях северной тайги сток с лесных водосборов больше, чем с безлесных, а в южной тайге, наоборот, с увеличением лесистости сток снижается.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воронков Н.А.* Роль лесов в охране вод. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 286 с.
2. *Горшков В.Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни. Москва: ВИНИТИ, 1995. [Электронный ресурс]. URL: https://bioticregulation.ru/pubs/kniga95/vgg95- 150dpi.pd.
3. *Ellison D. Futter M.N., Bishop K.* On the forest cover-water yield debate: from demand- to supply-side thinking // Global Change Biol. 2012. 18 (3). 806–820. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02589.x.
4. *Makarieva A.M.,* Gorshkov *V.G.* Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land // Hydrology and Earth System Sciences. 2007. V. 11. N 2. P. 1013–1033. DOI: 10.5194/hess-11-1013-2007.
5. *Onuchin A.* The climatic conditionaliti of hydrological functions of forest ecosistems // FEB RAS – AASSA regional Workshop on Impacts and Mitigations of Climate Change in Asia and Oceania. July 29 – August 1, 2012. Vladivostok, Russia. Pp. 103–104.
6. *Onuchin A.* The reasons for conceptual contradictions in evaluating hydrological role of boreal forests // Sibirskij Lesnoj Žurnal. 2015. 2. DOI: 10.15372/SJFS20150204.
7. *Wei X., Giles-Hansen K., Spencer S., Ge X., Onuchin A., Li Q., Burenina T., Ilintsev A., Hou Y.* Forest harvesting and hydrology in bcoreal forests: Under an increased and cumulative disturbance context // Forest Ecology and Management. 2022. V. 522.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках базового проекта ИЛ СО РАН «Роль природных и антропогенных факторов в системе устойчивого управления лесами Сибири» (2024–2026 гг.) FWES-2024-0007, регистрационный номер НИОКТР 124012900559-4.

УДК 630*114.351

КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ ПОСТУПЛЕНИЕМ ДРЕВЕСНОГО ОПАДА И ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДРЕВОСТОЕВ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ СОСНЯКОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

А.Ф. ОСИПОВ

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар (osipov@ib.komisc.ru)

Аннотация. Приведены данные по поступлению древесного опада на поверхность почвы среднетаежных сосняков. Выявлена положительная достоверная корреляция общей массы опада, опада хвои и коры сосны, листвы, ветвей с характеристиками древостоев, такими как запасы древесины, сумма площадей сечений деревьев, фитомасса хвои, кроны, ветвей, коры и общая надземная фитомасса. Взаимосвязь густоты древостоя с количеством поступающего опада статистически незначима.

THE CORRELATION BETWEEN LITTERFALL AND THE CHARACTERISTICS OF PINE FORESTS IN THE MIDDLE TAIGA OF THE NORTH-EAST OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

A.F. OSIPOV

Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the RAS, Syktyvkar (osipov@ib.komisc.ru)

Abstract. Data on litterfall on the soil surface of medium taiga pine forests are presented. Positive and reliable correlations were found between the total mass of leaf litter, needle and bark litter, leaves and branches of pine trees and stand characteristics: wood reserves, sum of tree cross-sectional areas, biomass: needles, crowns, branches, bark and total aboveground biomass. The relationship between number of trees in stand and the amount of litterfall is not statistically significant.

Поступление растительного опада на поверхность почвы является фундаментальным компонентом круговорота веществ, который обеспечивает связь между фитоценозом и почвой и определяется широким спектром абиотических и биотических факторов [3]. Корреляция между его количеством и скоростью разложения во многом определяет формирование лесной подстилки и, следовательно, оказывает влияние на динамику накопления пула почвенного углерода [1]. Среди комплекса биотических факторов, определяющих поток органического вещества из древесных растений на поверхность почвы в бореальных лесах, наиболее значимыми являются класс бонитета, или индекс H_{100}, объем древесины в древостое, сумма площадей сечений и густота деревьев, стадия развития [5]. Следует отметить, что исследований, показывающих корреляцию поступающего древесного опада с характеристиками древостоев, для лесов России явно недостаточно. Это затрудняет его количественные оценки на ландшафтном или региональном уровне, что может привести к неопределенностям при анализе накопления углерода в лесной подстилке и почве. Цель работы – охарактеризовать взаимосвязь поступления древесного опада с отдельными таксационными показателями древостоев среднетаежных сосняков на европейском Северо-Востоке России.

Работа выполнена в среднетаежной подзоне Республики Коми на территории Чернамского лесного стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН и Краснозатонского участкового лесничества. Объектами исследования послужили приспевающие и спелые сосняки разных типов: брусничнo-лишайниковый, черничный влажный и сфагновый. Была заложена 21 круговая пробная площадь (ПП) радиусом 9.78 м (0.03 га), в центре которой располагался опадоуловитель размером 50 × 50 см. На ПП проведен сплошной перечет и определены основные таксационные характеристики. Сбор образцов древесного опада выполняли в течение 4–5 лет два раза в год: в середине мая после схода снега и в середине октября после листопада; дальнейший разбор образцов проводили в лаборатории. Выделялись следующие фракции с учетом вида растения: хвоя, листья, ветви, кора, шишки. Небольшие по массе фракции (эпифитные лишайники, почечные чешуи) и сильно измельченные фракции относили к растительным остаткам [4]. Разобранные образцы при 105 °С высушивались до абсолютно сухого веса и взвешивались с точностью 0.01 г. При оценке взаимосвязи между массой общего надземного опада и отдельных его фракций (опад листвы (хвоя + листья), хвоя сосны, ветви, кора сосны) и характеристиками древостоев (густота деревьев, запас древесины, сумма площадей сечений деревьев, фитомасса: листвы, хвои сосны, крон (ветви + листва), ветвей, коры сосны и надземная фитомасса) использовали коэффициент корреляции Пирсона при 95%-м уровне значимости.

Поступление древесного опада в среднетаежных сосняках варьировало от 81.9 до 283 г/м^2 в год с более высокими величинами в спелом сосняке черничном, меньшими – в приспевающем сосняке сфагновом. Анализ фракционного состава показал, что доминирующей фракцией является хвоя сосны, которая образует 42–78 % массы опада. На долю листвы (хвоя + листья) приходится 50–78 % с бóльшими значениями в сосняке сфагновом. Вклад ветвей в поступление органического вещества из древесных

растений на поверхность почвы варьирует в широких пределах от 1 до 29 %. Так же существенно (10–18 %) участие коры.

Корреляционный анализ поступления опада и его отдельных фракций и характеристик древостоев сосняков показал отсутствие статистически достоверной связи густоты древостоя и сравниваемых фракций опада ($p > 0.05$). Коэффициент корреляции между поступлением древесного опада и объемом древесины изменяется от 0.63 до 0.90. Близкие значения ($R = 0.58–0.89$; $p < 0.01$) выявлены для взаимосвязи с суммой площадей сечения деревьев. Значимые связи установлены также между массой опада и фитомассой отдельных органов с вариацией коэффициента корреляции от 0.43 до 0.88. При анализе взаимосвязи отдельных фракций определено, что опад ветвей имеет меньшую корреляцию ($R = 0.43–0.67$; $p < 0.05$) со сравниваемыми параметрами древостоев, что обусловлено существенным влиянием снега и ветра на этот процесс, вследствие чего наблюдается значительная межгодовая вариация опада ветвей [2, 4]. Касаемо остальных фракций следует отметить, что связь общей массы опада и исследуемых характеристик древостоев описывается $R = 0.63–0.90$, сосновой хвои – $R = 0.56–0.86$, листвы в целом – $R = 0.59–0.82$, сосновой коры – $R = 0.61–0.80$. Статистически достоверная положительная взаимосвязь массы крон, хвои сосны и листвы в целом с фракциями опада связана с продукционными процессами и небольшой продолжительностью жизни ассимиляционного аппарата. По полученным данным выведены аллометрические ($\ln Опад = a \times \ln X + b$, где X – параметр древостоя, a и b – коэффициенты) уравнения зависимости количества поступающего опада от характеристик древостоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Никонов В.В.* Почвообразование на северном пределе сосновых биогеоценозов. Л.: Наука, 1987. 142 с.
2. *Федорец Н.Г., Бахмет О.Н.* Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. 240 с.
3. *Jevon F.V., Polussa A., Lang A.K., Munger J.W., Wood S.A., Wieder W.R., Bradford M.A.* Patterns and controls of aboveground litter inputs to temperate forests // Biogeochem. 2022. 161: 335–352.
4. *Portillo-Estrada M., Korhonen J.F.J., Pihlatie M., Pumpanen J., Frumau A.K.F., Morillas L., Tosens T., Niinemets Ü.* Inter- and intra-annual variations in canopy fine litterfall and carbon and nitrogen inputs to the forest floor in two European coniferous forests // Ann. For. Sc. 2013. 70: 367–379.
5. *Starr M., Saarsalmi A., Hokkanen T., Merilä P., Helmisaari H.-S.* Models of litterfall production for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland using stand, site and climate factors // For. Ecol. Manag. 2005. 205: 215–225.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках темы НИР ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России», номер государственной регистрации 122040100031-8.

УДК 631.433.3

ДЫХАНИЕ ПОЧВЫ ВОЛОКОВ НА ВЫРУБКЕ СРЕДНЕТАЕЖНОГО ХВОЙНО-ЛИСТВЕННОГО НАСАЖДЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧИСЛА ПРОХОДОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

А.Ф. ОСИПОВ, А.А. ДЫМОВ

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар (osipov@ib.komisc.ru)

Аннотация. Приведены данные по динамике дыхания почвы отдельных технологических элементов вырубки среднетаежного хвойно-лиственного насаждения в первые три года после сплошной рубки с учетом техногенной нагрузки на почвы. Выявлено, что возрастание количества проходов лесозаготовительной техники и рекультивация оказывают отрицательное влияние на эмиссию CO_2 с поверхности волоков. По мере восстановительной сукцессии скорость выделения CO_2 из почв пасечных участков и волоков увеличивается.

SOIL RESPIRATION OF SKIDDING TRACKS ON FEELING AREA OF CONIFEROUS-DECIDUOUS FOREST DEPENDING ON NUMBER OF FORWARDER PASSES AND RECULTIVATION

A.F. OSIPOV, A.A. DYMOV

Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the RAS, Syktyvkar (osipov@ib.komisc.ru)

Abstract. Data are presented on the dynamics of soil respiration of technological elements of a coniferous-deciduous forest clear-cut in the first three years after clear-cutting, taking into account the technogenic load on soils. It has been shown that the increasing number of passes of the forwarder and reclamation has a negative effect on the CO_2 emission from the skidding tracks surface. The rate of CO_2 emission from the soils of undisturbed elements and skidding tracks rises in the process of regenerative succession.

Понимание влияния человеческой деятельности на лесные экосистемы представляет особый интерес в условиях изменения климата, вызванного накоплением в атмосфере парниковых газов, что требует оценки круговорота углерода в нарушенных биогеоценозах. Среди антропогенных факторов наиболее негативное влияние на углеродный цикл бореальных лесов оказывают промышленные рубки, в числе которых преобладают сплошные [3, 7]. Использование тяжелой лесозаготовительной техники служит причиной повреждения почвенного покрова и формирования пространственной неоднородности послерубочных сообществ с разной степенью нарушения почв [1]. Вырубка состоит из чередующихся участков с относительно слабо нарушенным почвенным покровом и путей передвижения лесозаготовительной техники, почвенный покров которых наиболее поврежден. К настоящему времени дыхание почвы насаждений, формирующихся после сплошных рубок, для территории Российской Федерации освещено достаточно детально, но при этом не учитывается интенсивность техногенного воздействия [4, 5, 6, 8], что требует накопления эмпирических данных для оценки роли заготовки древесины на углеродный цикл лесов. Цель работы – оценить эмиссию CO_2 с поверхности почвы волоков в зависимости от количества проходов форвардера и выравнивания колей на вырубке среднетаежного хвойно-лиственного насаждения на северо-востоке европейской части России.

Исследования выполнены в подзоне средней тайги на вырубке хвойно-лиственного насаждения, формирующегося на типичной подзолистой почве (61°55′ с. ш., 50°32′ в. д.) на северо-востоке Восточно-Европейской равнины в течение бесснежных периодов (май – октябрь) 2021–2023 гг. Сплошная рубка с сортиментной вывозкой древесины форвардером PONSSE ELEPHANT ERG08W A090626 была проведена в декабре 2020 г. Для эксперимента было заложено девять волоков, каждый протяженностью около 50 м. На трех волоках число проходов форвардера составило 3 (3П), на других трех – 10 (10П). На трех волоках с десятью проходами форвардера было проведено выравнивание колей (10Р) для оценки успешности последующего лесовозобновления при применении данного мероприятия. Укрепление волоков порубочными остатками не проводили. Суммарная доля волоков в общей площади лесосеки – 17 %. Более подробно описание объектов представлено нами ранее [2].

Измерения эмиссии CO_2 с поверхности почвы проводили один раз в месяц при помощи инфракрасного газоанализатора LI COR 8100 (LI-COR Inc., USA) с почвенной камерой 20 см, которая устанавливалась на пластиковые основания, заглубленные в почву на 5 см. На пасечных участках было установлено 7 оснований, волоках – по 5-6 оснований. Всего за период исследований 2021 г. выполнено 366 определений скорости дыхания почвы, в 2022 г. – 336, в 2023 г. – 308. Во время определения скорости эмиссии CO_2 измеряли температуру (глубина 10 см) и влажность (в слое 0–5 см) почвы датчиками, входящими в комплектацию прибора. Взаимосвязь между дыханием почв технологических элементов вырубки с температурой и влажностью почвы характеризовали при помощи экспоненциальных уравнений, приведенных к линейному виду. Расчет поступления углерода в атмосферу с дыханием почвы

выполняли по уравнению Вант-Гоффа и данным непрерывных измерений температуры почвы метеостанциями фирмы HOBO (Onset, США).

Установлено, что умеренная нагрузка на волоки (три прохода форвардера) привела к незначительному, но недостоверному увеличению дыхания почвы по сравнению с пасечными участками. Так, в течение бесснежного периода 2021 г. с эмиссией CO_2 в атмосферу поступило 460.1 гС/м^2, в 2022 г. – 339.3 гС/м^2, тогда как на пасечных участках эта величина составила 441.9 и 336.8 гС/м^2 соответственно. Рост числа проходов и рекультивация ведут к ингибированию (в 1.5–1.9 раза на 10П и в 3.6 раза на 10Р) эмиссии CO_2 в первые два года после рубки. Сочетание процесса лесовосстановления и благоприятных погодных условий привели к росту почвенного дыхания на третий год после рубки, которое достигало 531.3 гС/м^2 на пасечных участках, 560.9 гС/м^2 на 3П, 466.9 гС/м^2 на 10П. В результате выравнивания колей выявлено снижение эмиссии CO_2 с поверхности почвы 10Р. Положительная и достоверная взаимосвязь (R^2 = 0.08–0.79) между потоком CO_2 с поверхности волоков выявлена в годы исследований на всех технологических элементах вырубки с более тесной корреляцией на 10Р. Также отмечено возрастание температурного коэффициента Q_{10} по мере восстановления с относительно высокими величинами на третий год после сплошной рубки. Корреляция дыхания и влажности почвы волоков отрицательная, часто недостоверная, однако она становится теснее на третий год после сплошной рубки. Полученные данные найдут применение при оценке углеродного цикла вырубок в процессе восстановительной сукцессии, а также разработке лесохозяйственных мероприятий по снижению их негативного влияния на почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дымов А.А.* Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение. 2017. 7. С. 787–798.
2. *Дымов А.А., Старцев В.В., Горбач Н.М., Севергина Д.А., Кутявин И.Н., Осипов А.Ф., Дубровский Ю.А.* Изменения почв и растительности при разном числе проездов колесной лесозаготовительной техники (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. 2022. 11. С. 1426–1441.
3. *Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В.* Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России // Лесоведение. 2013. 5. С. 36–49.
4. *Молчанов А.Г., Курбатова Ю.А., Ольчев А.В.* Влияние сплошной вырубки леса на эмиссию CO_2 с поверхности почвы // Изв. РАН. Биол. 2017. 2. С. 190–196.
5. *Осипов А.Ф.* Влияние сплошной рубки на дыхание почвы среднетаежного сосняка черничного Республики Коми // Лесоведение. 2022. 4. С. 395–406.
6. *Осипов А.Ф.* Эмиссия CO_2 с поверхности почвы на 10-летней вырубке среднетаежного сосняка черничного на европейском Северо-Востоке России // Почвоведение. 2023. 9. С. 1049–1058.
7. *Kuuluvainen T.* Forest management and biodiversity conservation based on natural ecosystem dynamics in northern Europe: the complexity challenge // Ambio. 2009. 38 (6): 309–315.
8. *Osipov A.F., Startsev V.V., Dymov A.A.* Influence of clear felling on CO_2 emission from surface of podzolic soil of coniferous-deciduous forest (middle taiga, Komi Republic) // Eurasian Soil Sci. 2024. 57 (5): 806–813.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках проекта РНФ 23-74-10007 «Изменение почв и компонентов цикла углерода в ходе восстановительной сукцессии после сплошной рубки в средней тайге европейского северо-востока России», https://rscf.ru/project/23-74-10007/.

УДК 57.045

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НА СЕВЕРЕ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ ПО ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

В.А. ОСКОЛКОВ, Р.С. МОРИЦ, Н.Н. МИЧУРИН, В.И. ВОРОНИН

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск (vosk@sifibr.irk.ru)

Аннотация. Проведена реконструкция атмосферного увлажнения за отдельные периоды голоцена на севере Республики Бурятия по хронологии радиального прироста лиственницы сибирской. Выявлены периоды аномально низкого увлажнения, характеризующиеся продолжительными депрессиями прироста. Периоды с низкой синхронностью описаны как периоды с мягкими условиями и обильным увлажнением.

RECONSTRUCTION OF NATURAL PROCESSES IN THE NORTH OF THE REPUBLIC OF BURYATIA ACCORDING TO DENDROCHRONOLOGICAL DATA

V.A. OSKOLKOV, R.S. MORITZ, N.N. MICHURIN, V.I. VORONIN

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk (vosk@sifibr.irk.ru)

Abstract. A reconstruction of atmospheric humidification for certain periods of the Holocene in the north of Buryatia was carried out according to the chronology of the radial growth of Siberian larch. Periods of abnormally low moisture, characterized by prolonged depressions in growth, have been identified. Periods with low synchrony are overviewed as periods with abundant moisture and mild conditions.

Понимание динамики природных процессов прошлого необходимо для формирования прогнозов грядущих изменений, что в свою очередь имеет определяющее значение при долгосрочном планировании хозяйственных мероприятий и выборе стратегических путей развития инфраструктуры и хозяйства. В настоящее время ввиду усложнения экономической и внешнеполитической обстановки особую актуальность приобретает вопрос развития инфраструктуры БАМа. Этот регион обладает множеством уникальных определяющих свойств и при этом имеет важнейшее инфраструктурное значение. Помимо поддержания объектов транспортной инфраструктуры немаловажно обеспечение исправного функционирования местного хозяйства, поддержание комфортной социально-экономической среды. Таким образом, остается актуальным вопрос выявления и моделирования природных процессов, имеющих как кратковременную, так и длительную динамику. Дендрохронологический метод позволяет получить информацию, отражающую динамику природных процессов с годичным разрешением. Погребенная в многолетнемерзлотных песчаных толщах древесина может сохраняться многие столетия, что позволяет получать обширный материал для древесно-кольцевого анализа, охватывая периоды времени в тысячи лет [2, 3, 4].

Целью данной работы является выявление отклика природных процессов на севере Республики Бурятия в радиальном приросте лиственницы сибирской.

Нами были получены образцы древесины живых деревьев с островов, образованных древесными завалами и песчаными наносами, и берегов р. Муи, а также погребенной древесины, обнажившейся на берегах.

Измерение ширины годичных колец производилось на полуавтоматической установке LINTAB с применением программного пакета TSAP-win. Перекрестная датировка и контроль качества ДКХ осуществлялись в программе TSAP-win [7]. Удаление возрастного тренда и построение хронологии производились в пакете dplR для среды R [6, 9].

Анализ климатического отклика проводился путем определения скользящих корреляций с применением скользящей функции отклика и пакета Dendrotools для среды R [7].

Древесно-кольцевые хронологии (ДКХ) по образцам живых деревьев, полученным на островах, отличались низкой межсериальной корреляцией и синхронностью. Дендроклиматический анализ не показал значащих корреляций с климатическими параметрами. ДКХ по образцам живых деревьев с берегов показала, напротив, значительный отклик атмосферного увлажнения в летний период текущего года. Различия в климатической чувствительности деревьев с берегов и островной популяции говорят о критическом различии в условиях произрастания. Атмосферная влага не задерживается в почве и дренируется вглубь песчаных толщ. Таким образом, погребенная древесина может иметь как береговое, так и островное происхождение, что накладывает определенные ограничения на использование погребенного материала.

Нами была получена непрерывная 2000-летняя ДКХ радиального прироста лиственницы сибирской на основе кернов живых деревьев с берегов и образцов погребенной древесины. Кроме этого, был получен также ряд плавающих хронологий, состоящих из перекрестно-датированных серий, временная привязка которых осуществлялась на основании радиоуглеродного анализа отдельных образцов на период голоцена и раннего плейстоцена. Разрывы между плавающими хронологиями могут быть как обусловлены

недостаточностью имеющегося материала, так и являться следствием явлений катастрофического характера, например, затопления. В пользу последнего свидетельствует высокая наполненность некоторых имеющихся ДКХ, датирующихся 6000 и 9000 годами до нашей эры, и достаточно близкие по времени даты гибели деревьев в хронологии SUH, датируемой 11 500 годом до нашей эры. Древесно-кольцевая хронология обладает выраженной цикличностью и имеет период в 500–600 лет, а также ряд более высокочастотных осцилляций [5], в том числе с периодом 11 лет, который соответствует циклу солнечной активности.

Обнаружен выраженный отклик атмосферного увлажнения, который позволил реконструировать динамику атмосферного увлажнения за 2000-летний период (рис. 1), а также фрагментарно (с небольшими прерываниями/разрывами) за практически весь период голоцена и частично раннего плейстоцена. Установлены достаточно часто повторяющиеся периоды критически низкого увлажнения разной длительности.

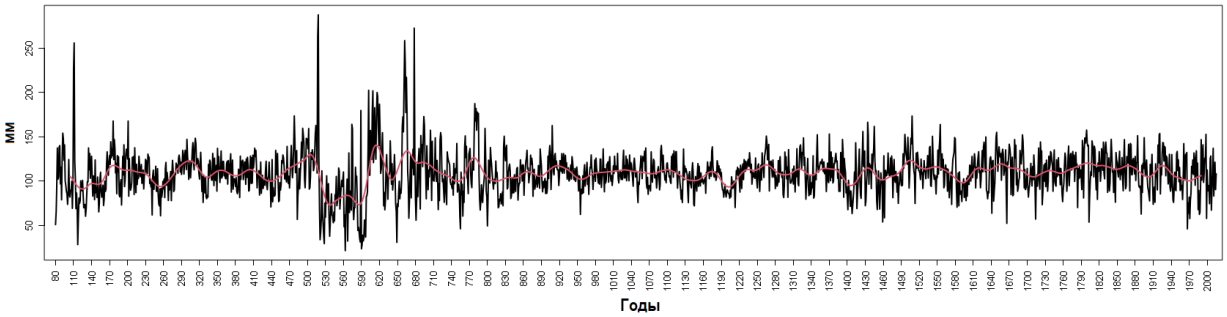


Рис. 1. Реконструкция атмосферного увлажнения мая – июня на севере Республики Бурятия

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мориц Р.С., Осколков В.А., Буянтуев В.А.* Выявление климатического сигнала в древесно-кольцевых хронологиях древостоев долины реки Муя, Республика Бурятия // Наука и образование в XXI в.: Сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф.: в 8 частях, Москва, 30 декабря 2013 г. Ч. I. М.: ООО «АР-Консалт», 2014. С. 118–120.
2. *Швецов С.Г., Воронин В.И.* Субфоссильная древесина в песчаных отложениях Муйско-Куандинской котловины // Евразийское Научное Объединение. 2018. № 5–4 (39). С. 245–246.
3. *Швецов С.Г., Осколков В.А., Буянтуев В.А.* Ископаемая древесина в пойменных отложениях реки Муя // EUROPEAN RESEARCH: Сб. ст. XII Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 7 октября 2017 г. Пенза: «Наука и просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017. С. 287–290.
4. *Швецов С.Г., Осколков В.А., Буянтуев В.А.* Условия образования субфоссильной древесины в Муйско-Куандинской котловине // INTERNATIONAL INNOVATION RESEARCH: Сб. ст. XIII Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 7 апреля 2018 г. Пенза: «Наука и просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.), 2018. С. 255–258.
5. *Воронин В.И., Осколков В.А., Буянтуев В.А., Мориц Р.С., Швецов С.Г.* Многовековая цикличность динамики природных условий, зафиксированная в сверхдлинной древесно-кольцевой хронологии «Муя» [и др.] // Евразия в кайнозое. Стратиграфия, палеоэкология, культуры. 2017. № 6. С. 72–78.
6. *Bunn A.G.* A dendrochronology program library in R (dplR) //Dendrochronologia. 2008. Т. 26. №. 2. С. 115–124.
7. *Jevšenak J., Levanič T.* DendroTools: R package for studying linear and nonlinear responses between tree-rings and daily environmental data // Dendrochronologia. 2018. Т. 48. С. 32–39.
8. *Rinn F.* TSAP-Win. Time series analysis and presentation for dendrochronology and 409 related applications // User reference. 2003.
9. Team R.C. R language definition // Vienna, Austria: R foundation for statistical computing. 2000. Т. 3. №. 1.

УДК 574*23+574*24

РАСПРОСТРАНЕНИЕ *PINUS SIBIRICA* ВЫШЕ ГРАНИЦЫ ЛЕСА НА СКЛОНАХ ХРЕБТА БОРУС (ЗАПАДНЫЙ САЯН)

Н.В. ПАХАРЬКОВА[1], Е.А. ШИКАЛОВА[2], К.М. МАКСИМОВА[1], И.И. КУППЕР[1], А.А. КАЛАБИНА[1], Е.Е. ПОЗДНЯКОВА[1]

[1] Сибирский федеральный университет, Красноярск (nina.pakharkova@yandex.ru, mmx03@inbox.ru, ivankupper76@gmail.com, sipanna@yandex.ru, e.pozdniakova34@gmail.com)
[2] Объединенная дирекция заповедника «Саяно-Шушенский» и национального парка «Шушенский бор», Шушенское, Красноярский край (e.shikalova@mail.ru)

Аннотация. Изменение климата влияет на лесные экосистемы и перераспределяет виды-лесообразователи. Особенно контрастно такие изменения проявляются в зоне высотной поясности, где сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica* Du Tour) распространяется выше границы леса. На склоне хребта Борус были заложены три пробные площади на высоте от 1347 до 1411 м над ур. м. На основании анализа длины и массы хвои, размера и количества устьиц выявлено, что лимитирующим фактором для *Pinus sibirica* в летний период может являться не столько температура, снижающаяся с увеличением высоты над уровнем моря, сколько крутизна склона и маломощность почв, приводящая к водному дефициту у растений.

DISSEMINATION OF *PINUS SIBIRICA* ABOVE THE TIMBERLINE ON THE SLOPES OF THE BORUS RIDGE (WESTERN SAYAN)

N.V. PAKHARKOVA [1], E.A. SHIKALOVA [2], K.M. MAKSIMOVA [1], I.I. COOPER [1], A.A. KALABINA [1], E.E. POZDNYAKOVA [1]

[1] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (nina.pakharkova@yandex.ru, mmx03@inbox.ru, ivankupper76@gmail.com, sipanna@yandex.ru, e.pozdniakova34@gmail.com)
[2] Joint Directorate of the Sayano-Shushensky Nature Reserve and the Shushensky Bor National Park, Shishenskoye, Krasnoyarsk region (e.shikalova@mail.ru)

Abstract. Climate change affects forest ecosystems and redistributes forest-forming species. Such changes are especially contrasting in the area of high-altitude zonation, where the Siberian cedar pine (*Pinus sibirica* Du Tour) spreads above the timberline. Three samples plots were laid on the slope of the Borus ridge at an altitude of 1347 to 1411 m above sea level. Based on the analysis of the length and mass of needles, the size and number of stomata, it was revealed that the limiting factor for *Pinus sibirica* in the summer period may be not so much the temperature, which decreases with increasing altitude above sea level, as the steepness of the slope and low soil power, resulting to water shortage in plants.

Для горных экосистем характерно разнообразие климатических и эдафических условий, что дает возможность наблюдать разнообразие адаптивных изменений растений на уровне как структурных параметров, так и основных физиологических функций. Происходящие в настоящее время изменения климата оказывают влияние на лесные экосистемы, вызывая изменения в фитоценозах и перераспределение видов-лесообразователей. Особенно контрастно такие изменения проявляются в условиях высотной поясности, где сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica* Du Tour) успешно преодолевает верхнюю границу леса [3]. Однако из-за высокой мозаичности горных лесных экосистем и извилистости границы леса необходимо уделять внимание влиянию действующих в этих условиях на ее распространение лимитирующих факторов. Территорией проведения исследования является хребет Борус Западного Саяна, который входит в состав Горного лесничества национального парка «Шушенский бор». На склоне северной экспозиции были заложены три пробные площади. Пробная площадь 1 (52°48′21,4″ с. ш., 91°31′04,6″ в. д.; высота над ур. м. 1411 м) расположена на пологой части склона, где произрастают отдельно стоящие искривленные экземпляры сосны сибирской кедровой с кроной неправильной формы, часто изреженной. Пробная площадь 2 (52°48′23,7″ с. ш., 91°31′06,3″ в. д.; высота над ур. м. 1389 м) расположена на склоне крутизной 25°, а подстилающая поверхность представлена участками почвы между курумами. Деревья *Pinus sibirica* растут в промежутках между камнями, форма кроны – вытянутая вверх. Пробная площадь 3 (52°48′26.2″ с. ш., 91°31′01,1″ в. д.; высота над ур. м. 1347 м) расположена в нижней выположенной части склона, деревья имеют типичную форму кроны, сомкнутость древостоя 0.7.

Побеги сосны сибирской кедровой были собраны во второй половине июня, использовали полностью сформированную двухлетнюю хвою. В лабораторных условиях были определены сырая, воздушно-сухая и абсолютно сухая массы хвои сосны сибирской на аналитических весах с точностью до 0.0001 г. Количество и размеры устьиц были определены для средней части хвои при помощи микроскопа Nikon Eclipse LV100 с широкопольными объективами.

Водный баланс – один из основных параметров, характеризующих жизнедеятельность растений. Обязательное условие для протекания всех физиологических процессов в них – достаточное водообеспечение. Даже незначительное нарушение водного режима способно спровоцировать существенные изменения в метаболизме растений [1]. Фракционный состав и соотношение фракций в воде

определяют состояние водного баланса и водоудерживающую способность растений – защитную реакцию организма в условиях нарушенного водообмена [2]. Определение сырой массы хвои и ее усреднение по пробным площадям показало, что наибольшую сырую массу имеет хвоя побегов сосны сибирской, отобранных с третьей пробной площади, а наименьшую – со второй пробной площади, на первой же (верхней) пробной площади получены средние результаты (рис. 1). Высокие показатели массы хвои *Pinus sibirica* с третьей пробной площади объясняются тем, что данный участок располагается в самом низу склона, и атмосферные осадки, поступающие на участки выше, спускаются к нему с поверхностным стоком. Вторая пробная площадь отличается от остальных наибольшей крутизной склона. Данная тенденция сохранялась и при определении воздушно-сухой и абсолютно сухой масс хвои.

Максимальное соотношение свободной и связанной воды в хвое на верхней пробной площади (ПП1) может свидетельствовать о лучших условиях увлажнения в верхней выположенной части склона. Это может способствовать более активному фотосинтезу и, как следствие, большему накоплению биомассы. В летний период сосна сибирская не испытывает недостатка влаги в верхней части склона.

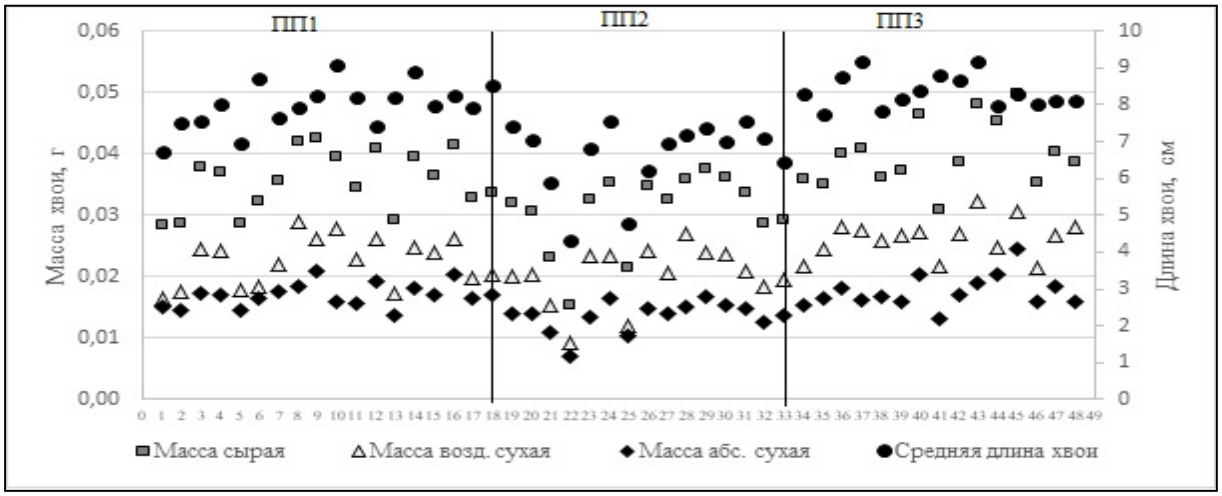


Рис. 1. Масса и длина хвои исследуемых деревьев *Pinus sibirica*

Деревья, расположенные на более крутых участках склона или участках с густой растительностью, в большей степени могут быть подвержены водному дефициту. Наименьшей длиной хвои также характеризуется вторая пробная площадь. Количество устьиц в хвое со второй пробной площади в среднем больше, а их размеры меньше, чем в хвое с других пробных площадей. Это свидетельствует о том, что растения на этой площадке испытывают водный стресс и имеют потребность в экономии влаги, что обусловлено интенсивным поверхностным стоком.

Таким образом, можно заключить, что на верхней границе леса северного склона хребта Борус Западного Саяна лимитирующим фактором для *Pinus sibirica* в летний период может являться не столько температура, снижающаяся с увеличением высоты над уровнем моря, сколько крутизна склона и маломощность почв, приводящая к водному дефициту у растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бендер О.Г., Зотикова А.П., Велисевич С.Н.* Особенности водного обмена и состояния пигментного комплекса хвои кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в горах Северо-Восточного Алтая // Вестник Томского гос. ун-та. Биология. 2009. № 3 (7). С. 63–72.
2. *Клушевская Е.С., Кузнецова Н.Ф.* Реакция *Pinus sylvestris* засухоустойчивого сорта «Острогожская» на гидротермический стресс в условиях ex situ и ex vivo // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55. № 3. С. 362–376.
3. *Пахарькова Н.В., Масенцова И.В., Гетте И.Г., Позднякова Е.Е., Калабина А.А.* Фотосинтетический аппарат хвои сосны сибирской кедровой в период выхода из состояния зимнего покоя в условиях высотной поясности Западного Саяна // Сиб. лесной журн. 2024. № 2. С. 41–49.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ 23-24-00251 «Внутрипопуляционная изменчивость экофизиологических признаков деревьев сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) в условиях изменения климата».

УДК 574.24

МИКОАССОЦИАНТЫ СОЮЗНОГО КОРОЕДА В ИНВАЗИОННЫХ СИБИРСКИХ ПОПУЛЯЦИЯХ ВРЕДИТЕЛЯ

Н.В. ПАШЕНОВА[1], М.Р. КАБИЛОВ[2], И.А. КЕРЧЕВ[3]

[1] Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (pasnat@ksc.krasn.ru)
[2] Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск (kabilov@niboch.nsc.ru)
[3] Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск (ivankerchev@gmail.com)

Аннотация. Изучена структура микобиомов, ассоциированных с союзным короедом (СК) в его первичном и инвазионном ареалах. Показано, что в зоне инвазии (Сибирь), где СК выступает в качестве вредителя кедровых сосен, доля офиостомовых грибов в микобиоме этого жука заметно увеличилась. Этот факт вполне соответствует успешному расселению и повышению агрессивности СК в зоне инвазии.

MYCOASSOCIATES OF THE SMALL SPRUCE BARK BEETLE IN ITS INVASIVE SIBERIAN POPULATIONS

N.V. PASHENOVA[1], M.R. KABILOV[2], I.A. KERCHEV[3]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (pasnat@ksc.krasn.ru)
[2] Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine SB RAS, Novosibirsk (kabilov@niboch.nsc.ru)
[3] Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk (ivankerchev@gmail.com)

Abstract. The structure of mycobiomes associated with the small spruce bark beetle (SSBB) in its native and invasive ranges was studied. It was shown that in the invasion area (Siberia), where SSBB acts as a pest of cedar pine trees, the proportion of ophiostomoid fungi in this beetle mycobiome increased markedly. This fact well corresponds to the successful dispersal and increasing aggressiveness of SSBB in the invasion area.

Союзный короед (*Ips amitinus* Eich.) хорошо известен в первичном ареале как не имеющий экономического значения спутник более агрессивных стволовых вредителей елей и некоторых видов сосен в среднегорье Южной и Центральной Европы. С начала XX в. отмечается расширение первичного ареала этого короеда по равнинной части в северо-восточном направлении. К середине века, достигнув Фенноскандии, *I. amitinus* продолжил движение на север в Финляндию, Швецию и в восточном направлении в северо-западные регионы РФ, что связывают с изменением климата. Здесь он встречается на деревьях *Picea abies* (L.) H. Karst. и *Pinus sylvestris* L. и до сих пор имеет довольно разреженные популяции.

В 2019 г. *I. amitinus* был впервые зарегистрирован в Томской, Кемеровской и Новосибирской областях РФ. Дизъюнкция ареала и стремительное формирование очагов массового размножения вблизи вероятного коридора инвазии – Транссибирской магистрали – указывает на непреднамеренный завоз вредителя в неокоренной древесине. В Западной Сибири *I. amitinus* вызывает патологическое усыхание нового для него кормового растения − сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour). Площадь очагов массового размножения стремительно увеличивается и в 2021 г. приближалась к 3000 га, что имеет негативные экономические, экологические и социальные последствия [1].

Согласно концепции холобионта, короеды являются элементом симбиотического комплекса с микроорганизмами, где насекомое обеспечивает форезию, а микроорганизмы активно участвуют в его жизнедеятельности. Несмотря на заметный прогресс последних лет в развитии этой парадигмы, ряд вопросов взаимодействия короедов с их симбиотической микрофлорой остаются малоизученными. Особый научный интерес представляют структурные и функциональные изменения микробиома, связанные со сменой параметров окружающей среды (климата, кормовой породы, сообщества микроорганизмов) в инвазионном ареале короедов. Эти изменения могут иметь критическое значение для успешности инвайдера. Целью нашей работы являлась характеристика структуры микобиома союзного короеда в сибирских инвазионных популяциях вредителя.

Для изучения грибов, ассоциированных с союзным короедом в Сибири, образцы собирали в Томской области (в границах инвазионного ареала) в период массового лёта и строительства маточных галерей (конец мая – начало июня). Материал был представлен имаго *I. amitinus* и гнездами в выпиленных отрезках ветвей кедра сибирского. Кроме этого, для сравнения использовались жуки *I. amitinus* из первичного ареала (Австрия, Швейцария) с ели европейской, повреждаемой короедом-типографом в качестве первопоселенца. Структуру микобиомов союзного короеда исследовали с помощью метагеномного анализа гомогенизированных взрослых жуков (высокопроизводительное секвенирование ITS-последовательностей на платформе MiSeq Illumina). В сибирских популяциях эти исследования были дополнены изучением офиостомовых грибов, развивающихся на поврежденных короедом растительных тканях во влажных камерах.

По данным метагеномного анализа, ядро микобиомов союзного короеда в нативном и инвазионном ареалах составляют сумчатые грибы, доля OTU которых достигает 89–96 %. При этом независимо от ареала доминирующим компонентом были дрожжи из класса *Saccharomycetes* O.E. Erikss. & Winka: 63, 67 % (соответственно для Австрии и Сибири) и 35 % (для Швейцарии) (табл. 1). Во всех образцах преобладали дрожжи рода *Ogataea* Yamada, Maeda & Mikita (от 30 до 48 % от общего количества OTU грибов). Доля представителей дрожжей родов *Kuraishia* Yamada, Maeda & Mikata и *Nakazawaea* Yamada, Maeda & Mikata также достигала значительных величин (9 и 18 % соответственно), но только в сибирской популяции. По мицелиальным формам инвазионный ареал выделялся самой высокой долей офиостомовых грибов (17.6 % от общего количества OTU грибов) и низкой долей дотидеомицетов (0.1 %) (таблица).

Из офиостомовых грибов, связанных с *I. amitinus* в сибирском ареале, по частоте встречаемости (около 100 %) доминировал гриб, который на основании генетической идентификации (по ITS-областям) отнесен к виду *O. brunneociliatum* Math.-Käärik. Кроме него, с союзным короедом в Сибири были связаны грибы *O. bicolor* R.W. Davidson & D.E. Wells, *Ceratocystiopsis minuta* (Siemazko) H.P. Upadhyay & W.B. Kendr. и *Leptographium truncatum* (MJ Wingf. & Marasas) MJ Wingf. (текущее название *Leptographium lundbergii* Lagerb. & Melin). Тестирование показало наличие фитопатогенных свойств только у культур *O. brunneociliatum* и *L. truncatum*: длина искусственно вызванных некрозов флоэмы кедра сибирского достигала соответственно 30–40 мм и более 100 мм. Оба этих вида можно рассматривать в качестве первопоселенцев.

Таблица 1. Соотношение представителей грибных таксонов в микобиомах союзного короеда в сибирском (инвазионном) и европейском (первичном) ареалах по данным метагеномного анализа: доля OTU (%)

Грибы	Сибирь	Австрия	Швейцария
Сахаромицеты (дрожжевые формы)	67.3	63.3	34.9
Сордариомицеты (в том числе офиостомовые грибы)	25.7 (17.6)	19.0 (2.7)	12.2 (4.1)
Дотидеомицеты	0.1	5.3	22.9
Прочие аскомицеты	2.7	0.9	18.5
Всего аскомицетов	95.8	88.5	88.6
Другие грибы (базидиомицеты, лишайники, неидентифицированные)	4.2	11.5	11.4

Дрожжи родов *Kuraishia*, *Ogataea* и *Cyberlindnera* Minter называют типичными представителями микобиомов, связанных с короедами на хвойных. Показано, что они облигатно вовлечены в питание короедов, их феромонную коммуникацию и детоксикацию защитных веществ колонизируемого дерева [3]. Для офиостомовых грибов также показана способность в результате метаболизма превращать защитные вещества хвойных в источники углерода и поддерживать в субстрате азотный баланс, который имеет решающее значение для развития потомства переносчика [2]. В Европе первостепенное значение при заселении ели европейской *P. abies* имеют короед-типограф и связанный с ним микобиом, что позволяет союзному короеду выступать в роли его комменсала. В сибирских популяциях относительная доля дрожжей и офиостомовых грибов в микобиоме *I. amitinus* выше, чем в европейских, что может способствовать колонизации живых деревьев и объяснить возросшую агрессивность короеда в инвазионном ареале.

Полученные нами результаты отличались от данных других авторов, работавших с материалом, собранным также в сибирских инвазионных популяциях *I. amitinus*, но на погибших и умирающих деревьях кедра. В этом случае доля дрожжей в микобиоме достигала 80−90 %, а доля офиостомовых грибов не превышала 7 % [4]. Однако поскольку речь идет о деревьях, почти утративших способность вырабатывать защитные вещества, низкая доля офиостомовых в микобиоме, возможно, связана с их элиминированием в ходе сукцессий под давлением сапротрофных грибов. Исследователи, работавшие с короедом *Dendroctonus ponderosae* Hopkins, высказали предположение о том, что высокий уровень колонизации дерева дрожжами-симбионтами короеда сигнализирует о непригодности ствола для репродукции вредителя. Действительно, при высокой плотности заселения ствола высока и суммарная численность дрожжей, трансформирующих цис- и транс-вербенол (агрегационные феромоны) в вербенон (феромон репеллентного действия) [3]. Но эти же условия (высокая плотность гнезд вредителя и обильно развитые микробные сообщества, обитающие в ходах на буровой муке), как правило, присутствуют в отмирающих и уже погибших деревьях.

Исследования показали, что в инвазионном ареале жуки *I. amitinus*, нападающие на живые деревья сосны кедровой, характеризовались высокой долей офиостомовых микобионтов, что, вероятно, способствовало успешности инвазии и усилению агрессивности этого короеда в Сибири. Вместе с тем очевидны недостаток информации в этой области и необходимость дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кривец С.А., Керчев И.А., Бисирова Э. М. и др.* Союзный короед – новый вызов для лесозащиты в Сибири // Сиб. лесной журн. 2023. 1. С. 43–57.
2. *Chakraborty A., Modlinger R., Ashraf M.Z. et al.* Core mycobiome and their ecological relevance in the gut of five *Ips* bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) // Front. Microbiol. 2020. 11: 568853.

3. *Malassigné S., Minard G., Vallon L. et al.* Diversity and functions of yeast communities associated with insects // Microorganisms. 2021. 9: 1552.
4. *Pavlov I.N., Vasaitis R., Litovka Y.A. et al.* Infestation by *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872), its associated fungi, and butt rots in stands of *Pinus sibirica* in South-Western Siberia // Forests. 2023. 14: 2383.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ грант № 22-16-00075.

УДК 574.1

ОЦЕНКА БИОРАЗНООБРАЗИЯ В ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОФИЛЯ

А.А. ПЕРЕВОЩИКОВА[1, 2], Н.В. МИТРАКОВА[1], Е.А. ХАЙРУЛИНА[1]

[1] Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь (aaperevoshchikova@yanex.ru, mitrakovanatalya@mail.ru, elenakhay@gmail.com)
[2] Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

Аннотация. Разработка мероприятий по сохранению биоразнообразия актуальна для горнодобывающих, обрабатывающих и лесных производств. С помощью стандартных полевых маршрутных исследований, проведенных с 2021 по 2022 г. на территории двух типичных ландшафтов (отвальный горнопромышленный ландшафт и однородный болотный ландшафт) Верхнекамского месторождения солей (Россия, Пермский край), была выполнена оценка биоразнообразия.

ASSESSMENT OF BIODIVERSITY IN NATURAL-TECHNOGENIC MINING LANDSCAPE

A.A. PEREVOSHCHIKOVA[1, 2], N.V. MITRAKOVA[1], E.A. KHAYRULINA[1]

[1] Institute of Natural Science, Perm State National Research University, Perm (aaperevoshchikova@yanex.ru, mitrakovanatalya@mail.ru, elenakhay@gmail.com)
[2] Perm National Research Polytechnic University, Perm

Abstract. Conservation strategies aimed at protecting biodiversity are essential for the mining, processing, and forestry sectors. Standard field route surveys were carried out between 2021 and 2022 to undertake a thorough assessment of biodiversity. The assessment took place in two distinct landscapes – the dump mining landscape and the homogeneous bog landscape – within the Verkhnekamskoe Potash Deposit in Perm region, Russia.

Экологическая безопасность является одной из важнейших глобальных проблем и входит в перечень основных целей в области устойчивого развития. Многолетняя экстенсивная и интенсивная антропогенная нагрузка на окружающую среду вызвала ряд экологических последствий. На глобальном уровне главной проблемой является сокращение биоразнообразия на Земле, которое связано с изменением видового состава флоры и фауны, численности видов и их количества, нарушением и сокращением мест их обитания [1]. Горнодобывающая деятельность на всех этапах жизненного цикла вызывает изменения ландшафтной структуры и рельефа, физико-химических свойств почв [2] и химического состава водных объектов [3, 4]. Измененный ландшафт, который был создан в результате строительства и эксплуатации объектов горной промышленности, увеличивает риск инвазии чужеродных видов в коренное сообщество и сокращения типичных биотопов.

Объектом исследования являются таежные ландшафты горнопромышленного профиля Верхнекамского месторождения солей (ВМС) (рис. 1).

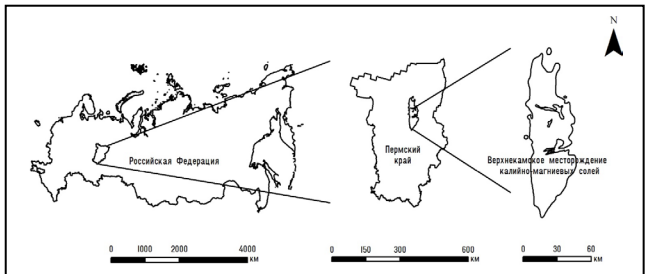


Рис. 1. Район исследования

Проведена биоиндикация двух типичных ландшафтов южнотаежной зоны ВМС: это техногенный отвальный горнопромышленный ландшафт (рис. 2А), подверженный антропогенной деятельности, – объект размещения промышленных отходов, и однородный болотный ландшафт (рис. 2Б), не подверженный прямой антропогенной деятельности, но находящийся в пределах лицензионного добывающего участка.

Техногенный отвальный горнопромышленный ландшафт сформирован на возвышенных платформенных равнинах покровных суглинков на техногенно-поверхностных образованиях с луговыми ассоциациями. Однородный болотный ландшафт представлен болотом осокового типа с торфяными залежами и прибрежно-водными растительными группировками по берегам зарастающего озера, а также торфяными почвами.

С помощью стандартных полевых маршрутных исследований, проведенных с 2021 по 2022 г., качественных и количественных биоиндикаторов была проведена оценка биоразнообразия.

Основные биоиндикаторы:

– растительность – видовое богатство, концентрация видового богатства, редкие и исчезающие виды (включенные в Красные книги разного уровня), доля адвентивных видов во флоре, проективное покрытие, фитосанитарный контроль;



А Б

Рис. 2. Территория исследования: А – техногенный отвальный горнопромышленный ландшафт; Б – однородный болотный ландшафт

– беспозвоночные животные подстилки и верхнего слоя почвы – видовое богатство и численность, концентрации видового богатства, биомасса дождевых червей, наличие личинок, куколок;

– позвоночные животные – видовое богатство, доля инвазивных видов, наличие следов, отходов жизнедеятельности, лежанок, наличие краснокнижных видов.

Техногенный отвальный горнопромышленный ландшафт почти полностью находится на городской территории, он сильно видоизменен, ненарушенных растительных группировок не отмечено. Имеется большое количество нарушенных участков с сорно-рудеральным разнотравьем. Ландшафт характеризуется низким таксономическим разнообразием. Здесь обнаружены беспозвоночные из двух типов: кольчатые черви (Annelida) и членистоногие (Arthropoda). Биоразнообразие млекопитающих животных на горнопромышленном отвальном ландшафте составляет примерно 13 видов. Среди зверей, обитающих на анализируемой территории, большинство являются охотничьими объектами. На исследуемом ландшафте не зафиксировано редких видов растений и животных, занесенных в Красные книги разного уровня.

Однородный болотный ландшафт практически полностью находится на территории южной части добывающего лицензионного участка. В пределах данного ландшафта отмечены заболоченные смешанные и мелколиственные леса, болота преимущественно переходного типа и прибрежно-водные растительные группировки по берегам зарастающего озера. Таксономическое разнообразие беспозвоночных животных на описываемом биотопе низкое и представлено тремя типами: кольчатые черви (Annelida), моллюски (Mollusca) и членистоногие (Arthropoda). Млекопитающие относятся к 6 отрядам (насекомоядные, рукокрылые, зайцеобразные, грызуны, хищные, парнокопытные) и 13 семействам. Видовое разнообразие данной группы животных составляет 30 видов. На исследуемом ландшафте зафиксированы редкие виды растений и животных, занесенные в Красную книгу Пермского края.

По результатам исследований выявлены следующие тенденции: техногенный отвальный горнопромышленный ландшафт характеризуется низким уровнем биоразнообразия и высокой долей синантропизации растительности и беспозвоночных, отсутствием краснокнижных видов и низким уровнем проективного покрытия; однородный болотный ландшафт характеризуется высоким уровнем концентрации видового богатства растительности, беспозвоночных, низким показателем адвентивных видов и наличием краснокнижных видов в сравнении с отвальным горнопромышленным ландшафтом.

Большинство программ по оценке биоразнообразия направлены на оценку флоры и фауны на охраняемых территориях с целью сохранения ландшафтов с особой ценностью биоразнообразия, однако наибольшую угрозу деградации экосистем представляют промышленные территории. Оценка биоразнообразия с помощью биоиндикаторов особенно актуальна для предприятий, использующих природные ресурсы, поскольку растет потребность в добыче полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бродский А.К., Бобылев Н.Г.* Биоразнообразие в преодолении современного экологического кризиса: исследование экосистемного и антропоцентричного подходов в стратегии устойчивого развития // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2017. Т. 62. № 3. С. 237–253.
2. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения / Н.Г. Максимович, С.В. Пьянков. Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2018. 288 с.
3. *Ushakova E., Perevoshchikova A., Menshikova E. et al.* Environmental aspects of potash mining: A case study of the Verkhnekamskoe Potash Deposit // Mining. 2023. V. 3. N 2: 176–204.
4. *Ushakova E., Menshikova E., Blinov S. et al.* Environmental assessment impact of acid mine drainage from Kizel Coal Basin on the Kosva Bay of the Kama Reservoir (Perm region, Russia) // Water (Switzerland). 2022. V. 14. N 5.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, проект FSNF-2020-0021.

УДК: 632.934

НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ СЕЛЕНА И МАРГАНЦА В ПРИРОДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦАХ КАК СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ОТ БАКТЕРИОЗОВ

А.И. ПЕРФИЛЬЕВА[1], К.В. КРУТОВСКИЙ[2, 3, 4, 5]

[1] Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск (alla.light@mail.ru)
[2] Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Гёттинген, Германия (kkrutovsky@gmail.com)
[3] Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва
[4] Сибирский федеральный университет, Красноярск
[5] Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж

NANOCOMPOSITES BASED ON SELENIUM AND MANGANESE NANOPARTICLES IN NATURAL POLYMER MATRIXES AS MEANS OF PROTECTING PLANTS FROM BACTERIOSIS

A.I. PERFILEVA[1], K.V. KRUTOVSKY[2, 3, 4, 5]

[1] Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry RAS, Irkutsk (alla.light@mail.ru)
[2] Georg-August University of Göttingen, Göttingen, Germany (konstantin.krutovsky@forst.uni-goettingen.de)
[3] N.I. Vavilov Institute of General Genetics RAS, Moscow
[4] Siberian Federal University, Krasnoyarsk
[5] G.F. Morozov Voronezh State University of Forestry and Technologies, Voronezh

Нанотехнологии активно внедряются в различные аспекты хозяйственной деятельности человека. Одним из направлений исследований в этой области является применение наноматериалов для защиты растений от фитопатогенных микроорганизмов. С этой целью нами исследуются биологические эффекты химически синтезированных нанокомпозитов (НК), представляющих собой наночастицы (НЧ) металлов или неметаллов, плотно упакованных в матрицы природного происхождения. Ранее нами было показано наличие фунгицидного эффекта НК селена и арабиногалактана (НК Se/АГ) по отношению к фитопатогенному грибу *Phytophthora cactorum* [10] и антибактериального воздействия НК селена, НК марганца на грамположительную фитопатогенную бактерию *Clavibacter sepedonicus*, поражающую картофель [4, 9]. Было выявлено, что НК селена способны снижать прирост бактериальной культуры *C. sepedonicus*, ингибировать биопленкообразование и повышать число мертвых клеток в бактериальной суспензии [9]. НК марганца вызывают деформацию бактериальной клетки и разрывы ее клеточной стенки [4]. При этом НК, использованные в низких концентрациях (0.000625 % НЧ в конечном растворе), не оказывали негативного воздействия на рост и развитие растений, а также не накапливались в их тканях [7, 9].

Среди фитопатогенных бактерий, поражающих многие культуры, в том числе деревья, широко распространена грамотрицательная бактерия *Pectobacterium carotovorum subsp. carotovorum* (ранее называвшаяся *Erwinia carotovora subsp. carotovora* [6]. Этот возбудитель распространен по всему миру, обладает чрезвычайно высокой выживаемостью и способен сохраняться в почве более года [5]. Патоген вызывает инфекционную болезнь мягкой гнили у различных видов культурных растений, в том числе у овощей в период послеуборочной обработки, включая китайскую капусту, салат, редис, картофель, помидоры и лук [3]. У картофеля *P. carotovorum* вызывает черную ножку – заболевание, которое приводит к увяданию всего растения, а также почернению и некрозу стебля [6]. У деревьев *P. carotovorum* вызывает бактериальную водянку, которая является самым распространенным бактериозом в российских лесах [2]. Симптомы поражения *P. carotovorum* включают увядание растений; сосуды чернеют на листьях, стеблях и черешках, по которым распространяется возбудитель заболевания. На этапе цветения начинается постепенное увядание сердцевины стебля начиная с корня. Это приводит к надламыванию стебля и гибели культурных растений [1]. Важно отметить, что благодаря производству биопленок этот патоген более устойчив к физической и химической обработке, что делает его более резистентным, чем свободноживущие бактерии, в различных средах даже в неблагоприятных условиях. Следовательно, химические противомикробные препараты для регуляции численности *P. carotovorum* необходимо использовать для получения положительных эффектов в больших количествах: это приводит к злоупотреблению ими, что серьезно угрожает здоровью человека и состоянию окружающей среды. Поэтому в последние годы увеличивается исследовательский интерес к использованию новых и экологически безопасных способов борьбы с этой инфекцией. НК рассматриваются в качестве перспективных средств регуляции численности фитопатогена *P. carotovorum*.

В наших экспериментах было выявлено, что НК Se/Аг оказывает бактериостатический, антибиопленочный, бактерицидный эффекты по отношению к *P. carotovorum*. Биопленкообразование – ключевой фактор вирулентности *P. carotovorum*, приводящий к образованию биопленок в проводящих путях растений, закупоривающих их. Негативный эффект может быть вызван подавлением дыхания бактерий, о чем свидетельствует снижение дегидрогеназной активности клеток под влиянием НК [8].

Также было показано, что НК Se повышает устойчивость проростков сои (*Glycine max* (L.) Merr.) к вызываемой ею инфекции, стимулируя биометрические параметры проростков и всхожесть семян сои [8].

Кроме того, были проведены исследования о влиянии нанопрайминга с применением НК на основе гидроксида марганца $Mn(OH)_2$ и сульфатированного арабиногалактана (НК Mn/АГ) на всхожесть семян, биометрические признаки (массу и длину корня и гипокотиля) и биохимические показатели (содержание активных форм кислорода, активность антиоксидантных ферментов, количество продуктов перекисного окисления липидов) проростков сои – как зараженных *P. carotovorum,* так и свободных от инфекции. Показано, что обработка НК Mn повышала всхожесть семян, зараженных *P. carotovorum,* на 50 %. При этом все биометрические показатели проростков улучшились по сравнению с контролем. Значительное увеличение диеновых конъюгатов (ДК) отмечено также в тканях гипокотилей и корней. Совместная обработка НК Mn/Аг в сочетании с НК Se/Аг также стимулировала увеличение длины и массы корней как у незараженных семян, так и у зараженных проростков, снижала количество активных форм кислорода и активность пероксидазы в тканях корня и уровня ДК в тканях гипокотиля, а кроме того, уменьшала количество бактерий в эндомикробиоме проростков сои.

Таким образом, НК Se/Аг и НК Mn/Аг можно рассматривать как эффективные агенты, оказывающие антибактериальное действие по отношению к фитопатогенам, в том числе *P. carotovorum*, для защиты и оздоровления как сельскохозяйственных растений, так и лесных культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бородин С.Б., Котлярова И.А., Терещенко Г.А., Пашаян Н.В.* Бактериальные болезни подсолнечника // Масличные культуры. 2012. В. 1 (150). С. 5–17.
2. *Воронин В.И., Морозова Т.И., Ставников Д.Ю., Нечесов И.А., Осколков В.А., Буянтуев В.А., Михайлов Ю.З., Говорин Я.В., Середкин А.Д., Шуварков М.А.* Бактериальное повреждение кедровых лесов Прибайкалья // Лесное хозяйство. 2013. 3. С. 39–41.
3. *Kang M., Kim S.J., Lee J.Y., Yoon S.R., Kim S.H., Ha J.H.* Inactivation of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* on Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. subsp. *pekinensis*) by wash treatments with phenolic compounds // LWT. 2018. 93: 229–236. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.03.045.
4. *Khutsishvili S.S., Perfileva A.I., Nozhkina O.A., Ganenko T.V., Krutovsky K.V.* Novel nanobiocomposites based on natural polysaccharides as universal trophic low-dose micronutrients // Int. J. Mol. Sci. 2021. 22: 12006. DOI: 10.3390/ijms222112006.
5. *Li B., Huang J., Yi Y., Liu S., Liu R., Xiao Z., Li C.* Effects of rhapontigenin as a novel quorum-sensing inhibitor on exoenzymes and biofilm formation of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* and its application in vegetables // Molecules. 2022. 27: 8878. DOI: 10.3390/molecules27248878.
6. *Marković S., Komić S.M., Jelušić A., Iličić R., Bagi F., Stanković S. and Popović T.* First report of *Pectobacterium versatile* causing blackleg of potato in Serbia // Plant Dis. 2022. 106: 312. DOI: 10.1094/PDIS-06-21-1128-PDN.
7. *Perfileva A.I., Graskova I.A., Sukhov B.G., Krutovsky K.V.* Effect of selenium nanocomposites based on natural polymer matrices on the biomass and storage of potato tubers in a field experiment // Agronomy. 2022. 12: 1281. DOI: 10.3390/agronomy12061281.
8. *Perfileva A.I., Kharasova A.R., Nozhkina O.A., Krutovsky K.V.* Effect of nanopriming with selenium nanocomposites on potato productivity in a field experiment, soybean germination and viability of *Pectobacterium carotovorum* // Horticulturae. 2023. 9: 458. DOI: 10.3390/horticulturae9040458.
9. *Perfileva A.I., Nozhkina O.A., Ganenko T.V., Graskova I.A., Sukhov B.G., Artemyev A.V., Trofimov B.A., Krutovsky K.V.* Selenium nanocomposites in natural matrices as potato recovery agent // Int. J. Mol. Sci. 2021. 22: 4576. DOI: 10.3390/ijms22094576.
10. *Perfileva A.I., Tsivileva O.M., Nozhkina O.A., Karepova M.S., Graskova I.A., Ganenko T.V., Sukhov B.G., Krutovsky K.V.* Effect of natural polysaccharide matrix-based selenium nanocomposites on *Phytophthora cactorum* and rhizospheric microorganisms // Nanomaterials. 2021. 11: 2274. DOI: doi.org/10.3390/nano11092274.

УДК 630.12+630.16

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА У ОТДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ И В ИХ ГРУППАХ В СРЕДНЕВОЗРАСТНОМ СОСНЯКЕ

А.Е. ПЕТРЕНКО, С.Г. ПРОКУШКИН, О.А. ЗЫРЯНОВА

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (alcorsci@bk.ru, stanislav@ksc.krasn.ru, zyryanova-oa@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Рассматривается экологическая роль отдельных деревьев сосны обыкновенной и их групп внутри ценоза в процессе формирования лесорастительных условий и структуры живого напочвенного покрова в лесостепной зоне Красноярского края.

FORMATION OF ECOLOGICAL CONDITIONS AND GROUND VEGETATION IN INDIVIDUAL TREES AND IN THEIR GROUPS IN A MIDDLE-AGE PINE STAND

A.E. PETRENKO, S.G. PROKUSHKIN, O.A. ZYRYANOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (alcorsci@bk.ru, stanislav@ksc.krasn.ru, zyryanova-oa@ksc.krasn.ru)

Abstract. The ecological role of individual Scots pine trees and their groups within a cenosis in the process of formation of forest conditions and the structure of ground vegetation in a middle-age pine stand in the Krasnoyarsk forest-steppe is considered.

В лесных ценозах в результате неравномерной дифференциации деревьев у отдельных особей (эдификаторов) формируются индивидуальные экологические зоны с оптимальными ресурсами для их функционирования: свет, тепло, влага и трофность [3, 4, 6]. Кроме того, в данных зонах за счет биохимического, биофизического, физического и трофического влияния растения создают свою специфическую фитоценотическую среду – эдафитосферу [1], или фитогенное поле, с определенными экологическими и эдафическими особенностями [2, 5, 7, 8, 9, 11]. При этом в процессе дифференциации у эдификаторных деревьев формируются сферы влияния: приствольная, подкроновая, прикроновая и внешняя зона [5, 7, 8, 10].

Однако все отмеченные исследования были проведены в спелых и перестойных древостоях или на гарях разного возраста. В связи с этим следует выяснить, в каком возрасте в древостое начинается формирование сфер влияния у отдельных деревьев и в их группах с индивидуальными экологическими условиями и живым напочвенным покровом. Объектом изучения был средневозрастной высокополнотный сосняк I бонитета со сложными составом, возрастной, вертикальной и горизонтальной структурой в Красноярской лесостепи (э/х «Погорельский бор»). В нем была заложена пробная площадь (ПП) размером 0.175 га. На ПП отмечено 290 деревьев, которые представлены тремя возрастными группами: средние (основная его часть, 192 шт.) – деревья в возрасте 55 лет, старшие – 16 шт. в возрасте 70–75 лет и молодые – 82 дерева в возрасте 35–40 лет. Кроме того, в сосняке хорошо прослеживаются два яруса: нижний с высотой до 10 м и запасом 22.5 $м^3$/га и верхний – 22.5 м и 489 $м^3$/га соответственно. При этом в горизонтальной структуре древостоя отмечена высокая полнота – 0.052 в нижнем ярусе и 1.14 в верхнем.

Для оценки экологической роли отдельных деревьев и их групп в древостое из многих существующих способов был выбран метод площадок (5 × 5 м). Число деревьев на площадках варьирует в пределах 0–8 шт. В углах каждой площадки в середине июля проведены замеры освещенности, температуры и относительной объемной влажности почвы на глубине 10 см и температуры на поверхности почвы. Кроме того, в течение вегетационного периода (с мая по сентябрь) проводился замер осадков (сбор в расположенные в углах площадок емкости с последующим измерением объема осадков в каждой). На основании полученных параметров определены связи между их величинами и количеством деревьев на каждой площадке.

В целом в насаждении выделено 15 вариантов, неравномерно встречаемых в отдельных группах древостоя: молодых – 1; старших – 2; средних – 5; смешанных –7.

В древостое в целом все значения рассматриваемых параметров среды по сравнению с контролем К1 (открытый участок) несколько ниже (кроме влажности почвы) и в среднем составляют: температура воздуха на поверхности почвы – 87 %, почвы на глубине 10 см – 83.8 %, влажность почвы – 113.9 %, освещенность – 49 %, осадки – 66 % от контроля. При этом и на площадках с единичными деревьями почти все изучаемые параметры среды также существенно ниже, чем на открытом участке. Однако и внутри ценоза на площадках с разной численностью деревьев по сравнению с контролем К2 (площадки с одним деревом) также прослеживаются некоторые изменения в экологических параметрах среды. В частности, влияние деревьев на изучаемые факторы среды в середине вегетации наблюдается лишь незначительно в отдельных группах – от двух до восьми деревьев. Так, температура воздуха на поверхности почвы в основной, смешанной группах и древостое в целом под единичными деревьями и их группами (до 8

деревьев на площадке) изменяется в незначительных пределах – от 19.20 до 19.83 °С, а температура на глубине 0–10 см – от 14.20 до 14.92 °С. Подобные изменения наблюдаются и в других показателях среды. Однако все выявленные изменения находятся в пределах статистической ошибки.

Основу (91 %) видового состава живого напочвенного покрова формируют представители светлохвойнолесной, лесолуговой и уремной, луговой, лугово-степной и бореальной ботанико-географических групп. В исследуемом сосняке выявлены три микроассоциации. В основной группе древостоя кошачьелапковая микроассоциация преобладает в вариантах с одним, тремя и четырьмя деревьями (28.3, 35.7, 35.4 % соответственно); костяниковой микроассоциации много во всех вариантах (до 92.5 %) с наименьшим содержанием в варианте с тремя деревьями; разнотравная ассоциация встречается неравномерно от 0 до 57.7 %. В смешанной группе кошачьелапковая микроассоциация в вариантах от двух до семи деревьев на площадке встречается в диапазоне от 1 до 27 %, и лишь в варианте с восемью деревьями данная ассоциация занимает 55.4 % площади; костяниковая ассоциация со второго по шестой вариант встречается в диапазоне от 29 до 52 % и полностью отсутствует в восьмом варианте; разнотравная ассоциация преимущественно преобладает в пяти вариантах (2, 4, 6, 7, 8), где ее площадь составляет от 40.6 до 69.8 %. В третьем и пятом вариантах ее площадь равна 24 и 27 % соответственно. В древостое в целом кошачьелапковая микроассоциация равномерно встречается в вариантах с 1–5 и 7 деревьями, где она занимает от 11 до 27 % площади, и лишь в варианте с максимальным количеством деревьев на площадке ее площадь достигает 55 %; костяниковая ассоциация равномерно распространена в первых семи вариантах (от 29 до 46 %) и отсутствует в вариантах с максимальным числом деревьев; разнотравная микроассоциация существенно представлена во всех вариантах.

На ПП по встречаемости из выявленных микроассоциаций преобладающей является разнотравная, в то время как кошачьелапковая и костяниковая ассоциации занимают меньшие площади. Во всех случаях их распределение на участках не связано с экологическими условиями в них (температура воздуха, почвы и освещенность). Однако в распределении костяниковой и разнотравной ассоциаций в смешанной группе и древостое в целом прослеживается лишь тенденция к увеличению их площади на некоторых участках с более чем шестью деревьями. Роль отдельных деревьев и их групп в формировании и распределении живого напочвенного покрова в рассматриваемом сосняке незначительна. Расчет корреляций суммы площадей сечений деревьев на каждой площадке как со значениями экологических параметров, так и с площадью микроассоциаций показал практически отсутствующую связь между ними ($R < 0.2$ для всех вариантов).

Таким образом, средневозрастный сосняк с высокой продуктивностью и сложной структурой еще не прошел стадию дифференциации деревьев. В связи с этим из-за высокой полноты в ценозе не сформированы сферы влияния как у отдельных деревьев, так и в их группах. Поэтому в нем преобладает единое фитогенное поле, создающее свою экологическую среду. В связи с этим в фитоценозе отмечается лишь незначительная тенденция изменения некоторых параметров фитоценотической среды и распределения микроассоциаций живого напочвенного покрова. Однако следует ожидать, что с увеличением возраста в процессе дифференциации древостоя также сформируются индивидуальные сферы влияния, регулирующие фитоценотические условия в лесном ценозе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Быков Б.А.* Фитоценология темнохвойного леса // Ботанический журнал. 1957. Т. 42. № 8. С. 1254–1258.
2. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ / А.М. Гродзинский. Киев: Наукова думка, 1965. 200 с.
3. *Карпов В.Г.* Взаимные отношения между растениями как фактор динамики лесного биогеоценоза // Лесоведение. 1967. № 6. С. 8–17.
4. Биохимические взаимовлияния древесных растений / М.В. Колесниченко. М.: Лесная пром-ть, 1976. 184 с.
5. *Крышень А.М.* Фитогенное поле: теория и проявления в природе // Известия РАН. Биол. 2000. № 4. С. 437–443.
6. Взаимодействие древесных пород / Д.Д. Лавриненко. М.: Лесная пром-ть, 1965. 230 с.
7. *Норин Б.Н.* Некоторые вопросы теории фитоценологии. Ценотическая система, ценотические отношения, фитогенное поле // Ботан. журн. 1987. Т. 72. № 9. С. 1161–1174.
8. *Прокушкин С.Г., Бугаенко Т.Н., Сорокин Н.Д., Каверзина Л.Н., Зырянова О.А.* Роль фитогенного поля лиственниц допожарной генерации в формировании эдафических условий на гари // Известия РАН. Биол. 2004. № 1. С. 49–58.
9. *Уранов А.А.* Фитогенное поле // Проблемы современной ботаники. Т. 1. М.–Л.: Наука, 1965. С. 251–254.
10. *Уфимцев В.И., Беланов И.П., Бочаров Д.А.* Зонирование фитогенных полей деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих на участках лесной рекультивации Кедровского угольного разреза // Вестник Кемеровского гос. ун.-та. 2015. № 1–2 (61). С. 44–48.
11. *Черняева Е.В., Викторов В.П.* История и современное состояние изучения фитогенных полей // Социально-экологические технологии. 2016. № 1. С. 89–105.

УДК 577.151

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ПИРОГЕННОЙ ДИНАМИКИ НА АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ УГЛЕРОДНОГО ЦИКЛА В ЛЕСАХ ПРИАМУРЬЯ

О.А. ПИЛЕЦКАЯ, С.В. БРЯНИН

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск (olgapiletskaya1988@gmail.com)

Аннотация. В данном исследовании изучалась активность ферментов β-глюкозидазы, ксиланазы и целлюлазы в лесах Амурской области. Целью исследований было установить влияние разных уровней пирогенного воздействия на активности гидролитических ферментов углеродного цикла. Активность β-глюкозидазы и ксиланазы снижалась в почвах на площадках с высокой степенью пирогенного нарушения. Максимальная активность данных ферментов выявлена на площадках с низкой степенью пирогенного воздействия. Наше исследование показало, что лесные пожары высокой интенсивности могут снижать активность ферментов, ограничивая потребность микробов в питательных веществах.

THE INFLUENCE OF MODERN PYROGENIC DYNAMICS ON THE ACTIVITY OF CARBON CYCLE ENZYMES IN THE FORESTS OF THE AMUR REGION

O.A. PILETSKAYA, S.V. BRYANIN

Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern Branch, RAS, Blagoveshchensk (olgapiletskaya1988@gmail.com)

Abstract. This research studied the activity of enzymes of β-glucosidase, xylanase and cellulase in the forests of the Amur region. The purpose of the research was to establish the influence of different levels of pyrogenic exposure on the activity of hydrolytic enzymes of the carbon cycle. The activity of β-glucosidase and xylanase decreased in soils on sites with a high degree of pyrogenic disorders. The maximum activity of these enzymes is detected on sites with a low degree of pyrogenic exposure. Thus, our study showed that forest fires of high intensity can reduce the activity of enzymes, limiting the need for microbes in nutrients.

Внеклеточные ферменты являются индикаторами биологической активности, выполняют важнейшие каталитические функции в разложении органических субстратов и играют центральную роль в глобальных биогеохимических циклах. В почвах активность некоторых ферментов отражает процессы разложения органических веществ, интенсивность минерализации [5]. Содержание ферментов в почвах, подвергшихся пирогенному влиянию, широко варьирует, так как при разных уровнях пирогенной нагрузки в почвах изменяются содержание органического вещества, микробный пул, интенсивность биологических процессов. Таким образом, учитывая, что внеклеточные ферменты являются индикаторами интенсивности круговорота питательных веществ в почве, катализируя разложение подстилки и органического вещества, существует необходимость в выявлении пирогенного воздействия на энзиматическую активность. Нами исследовалась активность гидролитических ферментов, осуществляющих разложение полимерных и олигомерных соединений до мономеров – β-глюкозидазы, ксиланазы и целлюлазы, вовлеченных в углеродный цикл. Ксиланаза гидролизует полисахариды (ксилан) с образованием ксилозы и других сахаров. β-глюкозидаза и целлюлаза расщепляют целлюлозу, лактозу и другие биополимеры на простые сахара, которые затем могут быть использованы микроорганизмами в качестве источника энергии и питательных веществ. Данные гидролитические ферменты играют важную роль в почвах лесных экосистем, отражая интенсивность разложения лабильных органических субстратов.

Исследования проводили на 16 исследовательских площадках в лиственничных (*Larix Gmelinii* Rupr.) лесах Амурской области. Исследовательские площадки различались по 4 категориям пирогенного воздействия: негоревшие (фон), низкая, средняя и высокая степень повреждения леса. На каждой площадке были выбраны три точки отбора (3-кратная повторность), в каждой точке образцы отобраны на глубину 0–10 см. Исследуемая почва – бурозем темный (dystric cambisols).

Активности внеклеточных почвенных ферментов β-глюкозидазы, целлюлазы и ксиланазы определяли с помощью микропланшетного анализа с использованием флюорогенно-меченых субстратов в соответствии с протоколами Marx M.C. [6] и German D.P. [2]. Статистическая обработка и визуализация результатов выполнены в программе R Studio, версия 4.0.3. Для проверки значимых различий непараметрических данных применяли тест Краскела – Уоллиса, параметрических – дисперсионный анализ.

Активность гидролитических ферментов на исследовательских площадках варьирует в зависимости от пирогенного нарушения (рис. 1). Потенциальная активность β-глюкозидазы и ксиланазы снижалась от низкой к высокой степени пирогенного нарушения лесной экосистемы.

На площадках с низкой степенью пирогенного нарушения выявлено повышение активности β–глюкозидазы и ксиланазы, что, вероятно, связано с доступностью питательных веществ в почве. Активность ферментов совместно регулируется доступностью питательных веществ, размером и составом микробного сообщества. Согласно исследованиям M. Hu [4], неполное сгорание подстилки и органического вещества, вызванное низкоинтенсивными пожарами, может увеличить доступность питательных веществ в почве, впоследствии стимулируя почвенные микробные сообщества и активность внеклеточных ферментов. Кроме того, из-за неполного

окисления органического вещества в результате пожаров низкой интенсивности может увеличиться минерализация азотсодержащих органических соединений за счет стимуляции pH и температуры почвы, а также первичной продукции растений. Вдобавок низкая сила пожара, снижая влажность в почве, может стимулировать рост корней и быстрое восстановление растительности. Это может способствовать накоплению питательных веществ в почве и повышению активности ферментов. Что касается состава микробного сообщества, то, согласно исследованиям G. Bárcenas-Moreno [1], пожары низкой интенсивности могут увеличивать бактериальную биомассу, способствуя высвобождению питательных веществ в почвах. Относительно высокая бактериальная биомасса приводит к тому, что почвенные микроорганизмы будут продуцировать больше гидролитических ферментов С-цикла и таким образом стимулировать микробное разложение лабильного органического вещества. Данный вывод согласуется и с результатами исследований S. Güsewell [3], в которых показано, что бактериальные редуценты предпочитают лабильные субстраты и их увеличение после пожара способствует росту активности гидролитических ферментов. При этом после пожара при увеличении количества сложных субстратов развиваются грибковые сообщества, которые с большей вероятностью продуцируют окислительные ферменты.

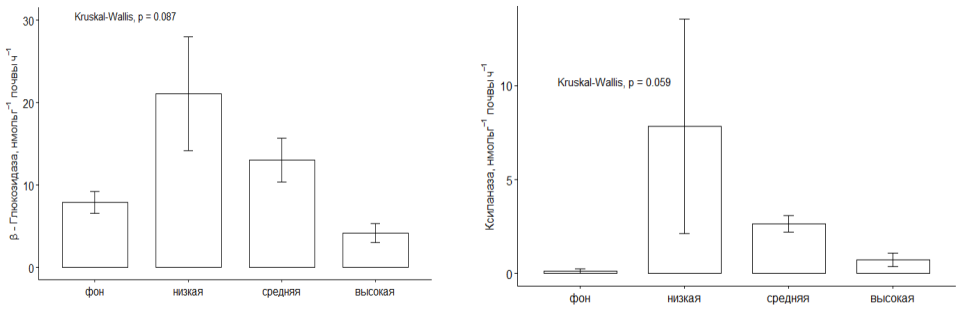


Рис. 1. Активность β–глюкозидазы и ксиланазы в почвах в зависимости от степени пирогенного воздействия

Снижение активности β-глюкозидазы и ксиланазы на площадках с высокой степенью пирогенного нарушения, вероятно, связано с более интенсивным пиролизом органического вещества и, как следствие, снижением количества доступных субстратов для функционирования микроорганизмов и возможной денатурацией белковых молекул самих ферментов. Активность целлюлазы в изучаемых почвах не проявила отчетливых тенденций изменения в зависимости от степени пирогенного воздействия.

Наше исследование показало, что интенсивность пирогенного воздействия оказывает влияние на активность ферментов углеродного цикла. Снижение ферментативной активности прослеживается на участках с высокой степенью пирогенного нарушения, что может быть связано со снижением содержания органического углерода и уменьшением микробиологической активности почвы. Увеличение активности гидролитических ферментов прослеживается на участках с низкой интенсивностью пирогенного воздействия, что может быть связано с неполным окислением органического вещества, увеличением бактериальных процессов и лабильных органических субстратов в результате низкоинтенсивных пожаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Bárcenas-Moreno G., Garcна-Orenes F., Mataix-Solera J., Mataix-Beneyto J., & Beeth E.* Soil microbial recolonisation after a fire in a Mediterranean forest // Biology and Fertility of Soils. 2011. 47 (3). P. 261–272.
2. *German D.P., Weintraub M.N., Grandy A.S., Lauber C.L., Rinkes Z.L., Allison S.D.* Optimization of hydrolytic and oxidative enzyme methods for ecosystem studies // Soil biology and Biochemisrty. 2011. V. 43. P. 1387–1397.
3. *Güsewell S., Gessner M.O.* N : P ratios influence litter decomposition and colonization by fungi and bacteria in microcosms // Funct. Ecol. 2009. 23 (1). P. 211–219.
4. *Hu M., Wang J., Lu L., Shao P., Zhou Zh., Wang D., Han S., Osborne B.* Post-fire soil extracellular enzyme activities in subtropical-warm temperate climate transitional forests // Land Degradation & Development. 2023. V. 34. I. 7. P. 1973–1983.
5. *Keller N., Bol R., Herre M., Marschner B., Heinze S.* Catchment scale spatial distribution of soil enzyme activities in a mountainous German coniferous forest // Soil Biology and Biochemistry. 2023. V. 177. P. 108885.
6. *Marx M.-C., Wood M., Jarvis S. C.* A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soils // Soil Biology and Biochemistry. 2001. V. 33. P. 1633–1640.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 571.1:574

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСОБОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.В. ПИМЕНОВ, С.П. ЕФРЕМОВ, Т.Т. ЕФРЕМОВА, Т.С. СЕДЕЛЬНИКОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (pimenov@ksc.krasn.ru)

Аннотация. В статье обсуждаются биоэкологические особенности лесоболотных экосистем Западной Сибири, определяющие их высокое биологическое разнообразие, биосферную значимость и ресурсный потенциал. Обосновывается необходимость дальнейшего изучения и бережного использования болотных лесов с обязательным проведением научно-технологических экспертиз территориально-экономической доступности и регенерационной способности отдельных категорий биологических ресурсов.

BIODIVERSITY AND RESOURCE POTENTIAL OF FOREST BOG ECOSYSTEMS IN WESTERN SIBERIA

A.V. PIMENOV, S.P. EFREMOV, T.T. EFREMOVA, T.S. SEDELNIKOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest, RAS, Krasnoyarsk (pimenov@ksc.krasn.ru)

Abstract. The bioecological features of forest bog ecosystems in Western Siberia determine their high biological diversity, biosphere significance and resource potential are discussed in the article. The necessity of further study and careful use of bog forests, with the mandatory conduct of scientific and technological examinations of the territorial and economic accessibility and regenerative capacity of certain categories of biological resources is substantiated.

Лесоболотные экосистемы Западной Сибири – наиболее заболоченного региона России – охватывают территории с уникальными по структуре, разнообразию и ресурсной емкости типами ландшафтов. Характерными их геоморфологическими элементами являются речные поймы, надпойменные террасы и водоразделы, пересекаемые сетью таежных речек, проточных болот и озер. Значительные площади занимают избыточно влажные леса различных типов водно-минерального питания, поливариантные по составу древесных видов и структуре наземного яруса растительности [2]. Особый интерес представляет фитоценотическая мозаичность, формирующаяся на положительных и отрицательных элементах микро- и мезорельефа, локально повышающая биологическое разнообразие лесных болот.

К настоящему времени типологический спектр лесоболотных фитоценозов Западной Сибири включает уже более 160 подразделений. Наиболее широко распространены лесоболотные экосистемы травяно-древесного, сфагново-древесного, кустарничково-мохового, кустарничково-травяного, кустарничково-лишайникового, мохово-лишайникового и кустарникового типов [3]. Наряду с коренными вариантами болотных лесов значительные площади в регионе занимают фитоценозы, возникшие в результате воздействия сильных торфяных пожаров, осушительной мелиорации и лесокультурных мероприятий. Биологическое своеобразие таких сообществ существенно отличается от немодифицированных аналогов по темпам сукцессий, видовому составу растительных группировок, продукционному потенциалу и устойчивости. Нередко в антропогенно преобразованных болотных лесах наблюдаются альтернативные векторы развития, связанные с увеличением видовой насыщенности ассоциаций и повышением продуктивности ресурсно значимых видов.

Для лесоболотных экосистем Западной Сибири, как и в целом для лесов бореальной зоны, характерно относительно небольшое количество видов растений; основное биоразнообразие сосредоточено на фитоценотическом (ассоциации и синузии), внутривидовом (экотипы и морфотипы) и организменном (адаптивные модификации морфогенеза и анатомического строения) уровнях экосистемной организации. Разнообразие условий произрастания и низкие темпы конкурентного исключения в сочетании со стресс-воздействиями (осушение болот) способствуют усилению мутагенеза и формообразования – формированию в болотных популяциях хвойных повышенного внутривидового разнообразия. Лесоболотные экосистемы в целом являются своеобразными «рефугиумами» редких генотипов, в них наблюдаются наибольшая концентрация и широкий диапазон внутривидовых форм хвойных деревьев [4]. Широко распространенные на лесных болотах мутантные формы – низкорослые, карликовые, с «ивановыми побегами», с различной окраской хвои и формой кроны, сформированные по типу «ведьминых метел» – представляют собой базовый селекционный уровень в технологиях садово-паркового строительства, ландшафтного дизайна и функционального озеленения.

Лесные болота вследствие их труднодоступности, сложной ценотической структурированности и высокой продуктивности относительно смежных открытых болот и суходолов являются также естественными резерватами повышенного фаунистического разнообразия. Так, прирусловые согры (темнохвойные леса на низинных болотах) служат местами размножения, кормовыми угодьями и путями

миграции для многих млекопитающих и птиц, в том числе ценных охотничьих видов, таких как лось, бобр, норка, глухарь, рябчик и др.

Экономически наиболее значимым ресурсом лесоболотных экосистем является древесина, качественные характеристики которой существенно отличаются от аналогичных сортиментов суходольного происхождения. Заболоченные и болотные леса Западной Сибири как две системообразующие категории растительных сообществ гидроморфного ряда развития занимают площадь более 45.5 млн га с запасом стволовой древесины в коре свыше 7.7 млрд м^3. Нестволовая фитомасса болотных древостоев в Западной Сибири (свыше 1.2 млрд тонн) распределяется следующим образом: корни – 660 млн тонн, скелетные ветви крон – 481 млн тонн, зеленая фитомасса крон – 80 млн тонн [1]. Особую ценность представляет древесина хвойных, формирующаяся на олиготрофных болотах в древостоях постпирогенного генезиса. Обладая высокими показателями прочности, долговечности и декоративности, эта имеющая узкие годичные кольца древесина высоко ценится в мебельном производстве, элитном домостроении и других премиальных сегментах лесопромышленного сектора.

Вторым не менее значимым ресурсом является торф. Мощность торфяной залежи в болотных лесах Западной Сибири достигает нескольких метров, причем отдельные слои торфа в профиле могут значительно различаться между собой по ботаническому и химическому составу, обладая тем самым технологически различным ресурсным потенциалом. В настоящее время наряду с традиционным использованием торфа в виде топливных брикетов развиваются новые направления его применения: производство теплоизоляционных материалов, фильтров, сорбентов, красителей, сельскохозяйственных субстратов и кормовых добавок, фармацевтических и косметологических препаратов и др. Важным и до настоящего времени недооцененным бальнеологическим ресурсом являются воды и донные отложения внутриболотных озер в олиготрофных экосистемах атмосферного типа водно-минерального питания.

Лесоболотные ландшафты, особенно включающие суходольные острова и гряды, являются местом произрастания наиболее ценных таежных ягод (клюква, голубика, черника, брусника) и грибов (белые, подберезовики, лисички). Перспективные технологии их использования могут включать не только диагностику потенциала экстенсивной заготовки дикоросов, но и методы содействия их естественной регенерации и плантационного выращивания. Значительный интерес представляют также технологии формирования в болотных березняках «плантаций» ценного древесного гриба – чаги, обладающего широким спектром лечебно-оздоровительных свойств. Важную ресурсную роль на лесных болотах играют к тому же лекарственные и медоносные растения: сабельник болотный, багульник болотный, андромеда многолистная, вахта трехраздельная и др.

Биологическое разнообразие лесоболотных экосистем Западной Сибири, несмотря на их значительные площади и труднодоступность, достаточно уязвимо, требует дальнейшего изучения и бережного использования. Совершенно очевидно, что их эксплуатация должна опираться на результаты научно-технологических экспертиз территориально-экономической доступности, продукционного потенциала и регенерационной способности отдельных категорий биологических ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ефремов С.П., Ефремова Т.Т.* Типологические спектры и углеродный пул лесоболотных экосистем Западной Сибири // Лесоведение. 2007. № 6. С. 80–92.
2. *Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Пименов А.В., Седельникова Т.С.* Экосистемы гидроморфного ряда развития // Разнообразие и динамика лесных экосистем России. В 2 кн. М: Товарищество научных изданий КМК, 2012. Кн. 1. С. 190–227.
3. *Ефремов С.П., Ефремова Т.Т., Пименов А.В., Седельникова Т.С.* Фитоценотическая и таксационная индикация болотных сосняков междуречья Оби и Томи // Сиб. лесной журн. 2022. № 5. С. 3–21.
4. *Седельникова Т.С., Пименов А.В.* Репродуктивный потенциал хвойных в лесоболотных экосистемах // Исследование природно-климатических процессов на территории Большого Васюганского болота (Интеграционные проекты СО РАН. Вып. 38) / отв. ред. М.В. Кабанова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. С. 177–188.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КНЦ СО РАН (FWES-2024-0028 «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты»).

УДК 574.9:004.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕСУРСА О БИОРАЗНООБРАЗИИ GBIF ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ФАУНЫ РЕГИОНА И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОВЕДЕННОГО МОНИТОРИНГА

Е.В. ПЛАКХИНА, Е.Е. МАЛЫШКИНА

Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь (plakkhinaevg@gmail.com, malyshkinaeliz@gmail.com)

Аннотация. В экологических работах данные GBIF чаще всего используются для моделирования пространственного распространения видов, но ничто не мешает использовать их в рамках экологических мониторингов. Одна из групп-биоиндикаторов, класс Annelida, представлен на ресурсе GBIF >6 млн записей (>94 тыс. относятся к территории России). На основе датасета ИЭРиЖ УРО РАН проведен предварительный анализ фауны кольчатых червей лесов Южного Урала и дана оценка качества полученных в результате мониторинга данных.

USING GBIF FOR PRIMARYAN ALYSIS OF REGIONAL FAUNA AND ASSESSMENT OF MONITORING QUALITY

E.V. PLAKKHINA, E.E. MALYSHKINA

Perm State University, Natural Science Institute, Perm (plakkhinaevg@gmail.com, malyshkinaeliz@gmail.com)

Abstract. GBIF data are frequently used in environmental research to model the spatial distribution of species. They can also be used in environmental monitoring applications. The class of annelids forms an important group of bioindicators and is presented in the GBIF database by more than 6 million records (>94,000 of these records originating from the territory of Russia). A preliminary analysis of earthworm faunas in the forests of the Southern Urals was conducted using the dataset from IPAE. The quality of the data collected as part of this monitoring effort was assessed.

Появление нового подхода в проведении научных исследований, в рамках которого решение прикладных и фундаментальных задач основано не на результатах новых наблюдений или экспериментов, а на анализе массивов ранее собранных данных, полученных из разных источников, позволяет проводить исследования макрорегионального и глобального охвата [1]. Для публикации информации о биологическом разнообразии в открытом доступе широко используется глобальная информационная система GBIF (Global Biodiversity Information Facility). Первичные данные о мировом биоразнообразии, содержащие сведения о распространении растений, животных, грибов и микробов, а также данные о таксономии, предоставляются многими научными учреждениями [4]. В экологических работах данные GBIF чаще всего используются для моделирования пространственного распространения отдельных видов или групп видов (в том числе инвазивных видов, видов, представляющих опасность для жизни и здоровья человека, а также вредителей сельскохозяйственных и других культур) [1]. Однако ничто не мешает использовать наборы данных GBIF в рамках экологических мониторингов по оценке воздействия на окружающую среду промышленных предприятий.

Одной из наиболее удобных групп для оценки качества окружающей среды являются дождевые черви. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с другими видами-биоиндикаторами: таксономия люмбрицид относительно хорошо известна в регионах с умеренным климатом [6]; они быстро размножаются и легко культивируются в лабораторных условиях; являются чувствительными ко многим антропогенным загрязнителям [5]; на данный момент накоплен значительный объем исследований, проведенных на этих беспозвоночных [6]. Наиболее информативными индикационными показателями при оценке состояния среды являются видовая структура, численность и биомасса, степень выживания, степень повреждения внешних покровов и интенсивность метаболизма [3]. К концу мая 2024 г. на GBIF доступно почти 3 млрд записей о находках около 5 млн видов, организованных в >105 тыс. наборов данных. Подавляющее большинство находок животных организмов (81 % от общего числа записей) фиксируют информацию о позвоночных животных (71 %). Тем не менее класс Annelida представлен на ресурсе >6 млн записей, из которых 94 304 относятся к территории России.

В период, предшествующий сбору материала для экологического мониторинга, был проведен анализ фауны кольчатых червей лесов Южного Урала на основании набора данных Long-term dynamics of the abundance of earthworms and enchytraeids (Annelida, Clitellata: Lumbricidae, Enchytraeidae) in forests of the Central Urals, Russia от ИЭРиЖ УРО РАН [7] (составлен список видов, которые потенциально могут быть собраны на данной территории в соответствующий месяц, проанализированы состав фауны и количественные показатели). Анализ собранных в ходе мониторинга данных в сравнении с данными из датасета (табл. 1) продемонстрировал, что полученные результаты в целом соответствуют ожидаемым. Незначительные расхождения по видовому составу и численности могут быть вызваны особенностями выбранных площадок, а также климатическими особенностями отдельных лет. Этот опыт может быть расширен на другие группы биоиндикаторов.

Таблица 1. Показатели численности дождевых червей на юге Урала в августе (сумма находок по всем площадкам), отраженные на GBIF (2019 г.) и полученные в результате мониторинга (2023 г.).

	GBIF	Мониторинг
Aporrectodea caliginosa (Savigny, 1826)	26	6
Aporrectodea rosea (Savigny, 1826)	14	
Bimastos rubidus (Savigny, 1826)	1	2
Dendrobaena octaedra (Savigny, 1826)	14	
Lumbricus rubellus (Hoffmeister, 1843)		45
Octolasion lacteum (Örley, 1881)	4	22
Perelia tuberosa (Svetlov, 1924)	2	4
Riphaeodrilus diplotetratheca (Perel, 1967)	59	12
Всего особей	120	91

В заключение важно подчеркнуть насущную необходимость в создании наборов данных по биоразнообразию регионов России, основанных не только на актуальных сборах, но и на архивных и литературных источниках. Такие большие наборы, затрагивающие длительную ретроспективу, позволят более полно и подробно оценить многолетние изменения в биологическом разнообразии различных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванова Н.В., Шашков М.П.* Возможности использования данных глобального портала о биоразнообразии GBIF в экологических исследованиях // Экология. 2021. № 1. С. 3–11.
2. Информационный сайт Глобальной информационной системы о биоразнообразии GBIF. [Электронный ресурс]. URL: http://gbif.ru/ (дата обращения: 29.05.2024).
3. *Попович В.В.* Биоиндикация техногенных эдафотопов свалок с помощью изучения жизнедеятельности *Lumbricus terrestris* // Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование. 2016. Т. 2. № 2. С. 64–78.
4. *Рудыкина Е.А., Добрынина А.С.* Промежуточные итоги оцифровки литературных данных о биоразнообразии грибов Западной Сибири и публикация результатов в GBIF // Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири: Сб. тез. X Регион. мол. конф. им. В.И. Шпильмана, 7–8 апреля 2022 г. Ханты-Мансийск: Югорский гос. ун-т, 2022. С. 134–137.
5. *Callahan C.A.* Earthworms as ecotoxicological assessment tools. United States Environmental Protection Agency. EPA – 600 / D – 48 – 272. 1984.
6. *Paoletti M.* The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators // Agriculture, Ecosystems & Environment. 1999. V. 74. I. 1–3. P. 137–155.
7. *Vorobeichik E., Nesterkov A., Golovanova E., Nesterkova D., Ermakov A., Grebennikov M.* Long-term dynamics of the abundance of earthworms and enchytraeids (Annelida, Clitellata: Lumbricidae, Enchytraeidae) in forests of the Central Urals, Russia. Institute of Plant and Animal Ecology (IPAE), 2022. Sampling event dataset. DOI: 10.15468/8dq2w8 accessed via GBIF.org on 2024.05.30 (accessed 29.05.2024).

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, проект FSNF-2020-0021.

УДК 631.4

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ ПО ДАННЫМ КОНСОРЦИУМА «РИТМ УГЛЕРОДА»

А.С. ПЛОТНИКОВА[1], Н.В. ГОПП[2], Ю.Л. МЕШАЛКИНА[3], А.Н. НАРЫКОВА[1], О.В. ЧЕРНОВА[4], О.В. ЧЕСТНЫХ[5]

[1] Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва (plotnikova-as-cepl@yandex.ru)
[2] Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск (gopp@issa-siberia.ru)
[3] МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва (jlmesh@list.ru)
[4] Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва (ovcher@mail.ru)
[5] МГУ им. М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва (ochestn@mail.ru)

Аннотация. Геопространственное моделирование запасов почвенного органического углерода лесных экосистем выполняется посредством использования методов машинного обучения и предикторов. Предикторами создаваемой модели выступают геопространственные данные – климатические, почвенные, дистанционного зондирования Земли, морфометрические параметры рельефа и др. Обучение модели выполняется на основе лабораторно-полевых измерений запасов углерода, полученных организациями – участниками консорциума «РИТМ углерода», а также существующих баз данных почвенных свойств национального и регионального уровней.

CONSORTIUM "RITM CARBON": GEOSPATIAL MODELING OF SOIL ORGANIC CARBON STOCS IN FOREST ECOSYSTEMS AT THE REGIONAL LEVEL

A.S. PLOTNIKOVA[1], N.V. GOPP[2], YU.L. MESHALKINA[3], A.N. NARYKOVA[1], O.V. CHERNOVA[4], O.V. CHESTNYKH[5]

[1] Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS, Moscow (plotnikova-as-cepl@yandex.ru)
[2] Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk (gopp@issa-siberia.ru)
[3] M.V. Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty, Moscow (jlmesh@list.ru)
[4] A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow (ovcher@mail.ru)
[5] M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow (ochestn@mail.ru)

Abstract. Geospatial modeling of soil organic carbon stocks in forest ecosystems is carried out using machine learning techniques and predictors. Predictors for the model include geospatial data such as climatic, soil, and remote sensing data, as well as morphometric parameters of the terrain. Training of the model is based on laboratory and field measurements of carbon stock obtained by organizations participating in the “RITM Carbon” consortium, as well as existing soil property databases at national and regional levels.

Приоритетным методическим подходом к картографированию содержания и запасов почвенного органического углерода (ПОУ) в настоящее время является цифровое картографирование, подразумевающее использование методов машинного обучения и предикторов для создания регрессионной модели [1]. Цифровое почвенное картографирование основано на модели SCORPAN (S – почва, C – климат, O – организмы/растительность, R – рельеф, P – материнская порода, A – возраст, N – пространственное положение) [2]. Основными этапами подхода являются: (1) подготовка обучающей, валидационной выборки и предикторов; (2) моделирование факторно-индикаторных связей и пространственных зависимостей; (3) оценка качества моделирования (рис. 1).

Геопространственное моделирование запасов почвенного органического углерода лесных экосистем по данным консорциума «РИТМ углерода» планируется выполнить на территории четырех пилотных регионов – республик Карелия и Коми, Московской и Новосибирской областей. По каждому региону собраны данные по запасам ПОУ, необходимые для обучения моделей, реализации методов машинного обучения и картографирования. Первым источником данных являются результаты полевых измерений в 2023 г. организаций – участников консорциума на: тестовых полигонах интенсивного уровня 1 и 2 типа, тестовых полигонах экстенсивного уровня, постоянных пробных площадях в репрезентативных биогеоценозах. Ко второму источнику данных относятся существующие базы данных почвенных свойств национального и регионального уровней. Были получены значения запасов ПОУ в слое 0–30 см почвенных разрезов, входящих в БД «Почвенные характеристики Северной Евразии» и Почвенно-географическую базу данных России (ПГБД).

В рамках первого этапа геопространственного моделирования запасов ПОУ лесных экосистем выполнена подготовка предикторов модели SCORPAN, характеризующих почвы, климат и рельеф пилотных регионов. Предикторы с почвенными характеристиками подготовлены по данным *SoilGrids,* климатические характеристики получены из глобальной климатической базы данных *WorldClim-2.1*, для создания морфометрических величин рельефа была использована цифровая модель рельефа *ASTER GDEM V.2.* Растровые карты предикторов приведены к пространственному разрешению 30 × 30 м, определена географическая проекция WGS84 **(EPSG:4326).**

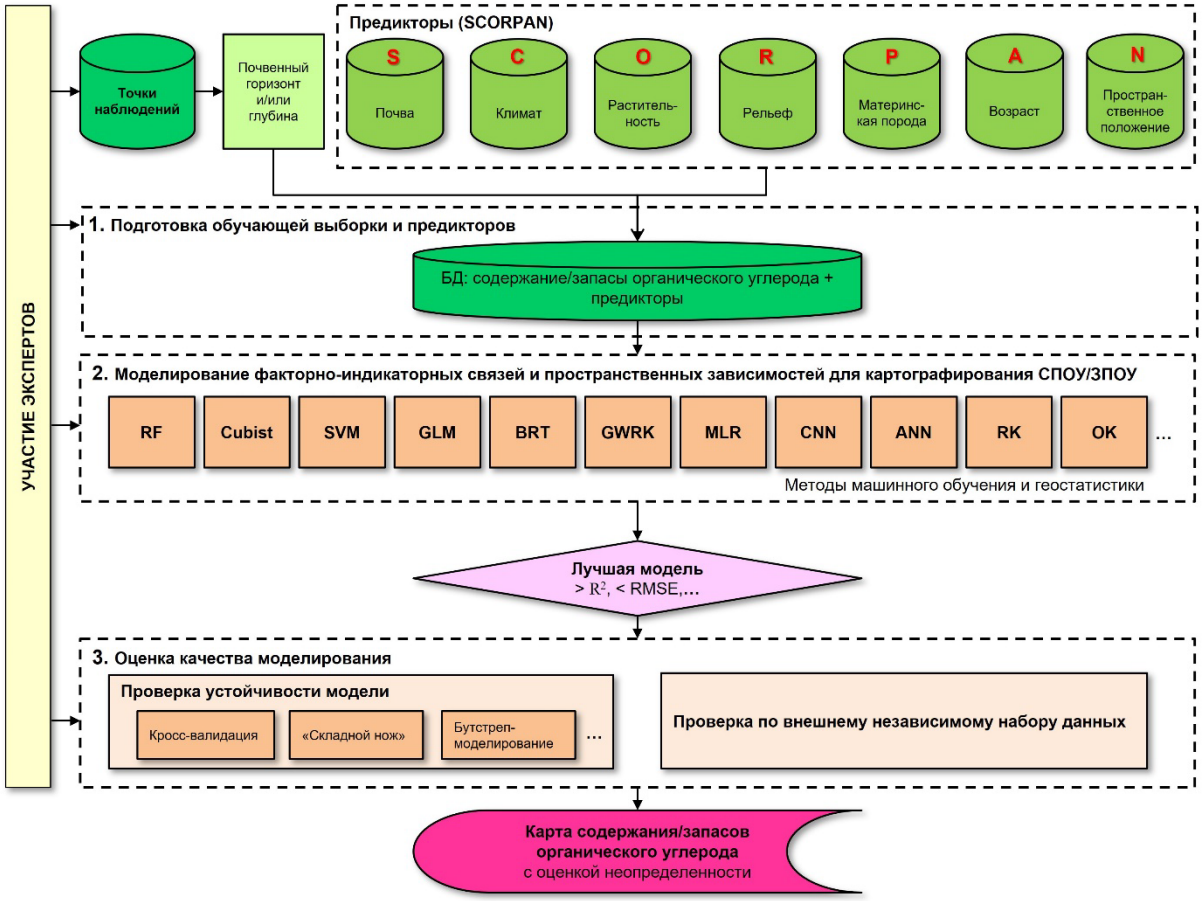


Рис. 1 Блок-схема цифрового почвенного картографирования содержания и запасов органического углерода. Условные обозначения: R^2 – коэффициент детерминации; RMSE (Root Mean Square Error) – корень из среднеквадратичной ошибки; СПОУ – содержание ПОУ; ЗПОУ – запасы ПОУ

Дальнейшее исследование будет включать моделирование запасов почвенного органического углерода лесных экосистем на основе подготовленных предикторов и значений запасов ПОУ, полученных посредством лабораторно-полевых измерений организаций – участников консорциума и существующих БД почвенных свойств. На заключительном этапе исследования планируется оценка качества выполненного геопространственного моделирования запасов почвенного органического углерода лесных экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гопп Н.В., Мешалкина Ю.Л., Нарыкова А.Н., Плотникова А.С., Чернова О.В.* Картографирование содержания и запасов органического углерода почв на региональном и локальном уровнях: анализ современных методических подходов // Вопр. лесной науки. 2023. Т. 6. № 1. Статья № 120. DOI: 10.31509/2658-607x-202361-120.
2. *McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B.* On digital soil mapping // Geoderma. 2003. V. 117. N 1–2. P. 3–52.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 543.613.3+630.27

ЛЕТУЧИЕ СОЕДИНЕНИЯ РАСТЕНИЙ-ИНТРОДУЦЕНТОВ ДЕНДРАРИЯ ИНСТИТУТА ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЕВА СО РАН

М.А. ПЛЯШЕЧНИК, А.А. АНИСКИНА

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (lilwood@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Впервые охарактеризован компонентный состав летучих органических соединений (ЛОС) листьев 20 растений-интродуцентов из коллекции дендрария Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. С помощью метода газовой хромато-масс-спектрометрии в сочетании с парофазным пробоотбором было идентифицировано 72 компонента. Для каждого растения определены мажорные и минорные соединения, содержание которых различается существенно, а в ряде анализируемых проб – на порядки.

VOLATILE COMPOUNDS OF INTRODUCED PLANTS FROM ARBORETUM OF THE V.N. SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST SB RAS

M.A. PLYASHECHNIK, A.A. ANISKINA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (lilwood@ksc.krasn.ru)

Abstract. The volatile organic compounds (VOCs) composition of 20 introduced plants leaves from the collection of the arboretum of V.N. Sukachev Institute of Forestry SB RAS was characterized for the first time. 72 components were identified using headspace gas chromatography-mass spectrometry. Major and minor compounds were identified for each plant, differing in relative content significantly.

В 1977 г. в Красноярском Академгородке по инициативе академика РАН И.Ю. Коропачинского был заложен интродукционный питомник и начал создаваться дендрологический сад. В настоящее время дендрарий Института леса им. В.Н. Сукачева является единственным в Красноярском крае объектом, где на территории 4.17 га произрастает 203 вида растений, которые относятся к 32 семействам. На базе дендрологической коллекции ведутся разноплановые научные исследования: фенологические наблюдения древесных растений, изучение репродуктивных процессов и возможности семенного размножения интродуцированных растений, кариологических особенностей и микроклонального размножения хвойных, биохимического разнообразия видов. Дендрарий используется как тестовый участок для исследования повреждаемости насекомыми и грибными фитопатогенами древесных растений-интродуцентов [1, 2].

Цель нашей работы – изучение качественного состава летучих соединений на примере ряда интродуцированных растений из коллекции дендрария ИЛ СО РАН по методу парофазного газохроматографического анализа.

Сбор образцов листьев (20 видов листопадных деревьев и кустарников) для исследования проводился в начале августа 2022 г. Листья высушивали до воздушно-сухого состояния. Навеску измельченных листьев ~0.1 г помещали в хроматографическую виалу для последующего парофазного анализа (ПФА). Качественное определение компонентного состава ЛОС выполняли на хромато-масс-спектрометре Agilent 5975C-7890A (США) с использованием парофазного пробоотборника HeadSpace Sampler G 1888.

В ходе исследования было обнаружено 102 летучих органических соединения, из них 72 идентифицированы с помощью библиотеки масс-спектров (вероятность идентификации не менее 75 %). Основная часть компонентов газового экстракта состоит из альдегидов (8.5–92.4 %), эфиров (0.13–31.1 %), уксусной кислоты (0.5–17 %), спиртов (0.5–13.5 %) и кетонов (0.5–6.8 %). Монотерпены (до 15.6 %) и сесквитерпены (до 2.8 %) встречаются только в 11 образцах.

Хроматографические профили, полученные в ходе ПФА, можно разбить по времени удерживания на фрагменты, соответствующие группам мажорных и минорных компонентов. На рис. 1 представлены примеры хроматограмм черемухи Маака (*Padus Maakii* (Rupr.) Kom.) и бархата амурского (*Phellodendron amurense* (Rupr.)). Мажорными ЛОС листьев *P. Maakii* являются пропаналь (8.38 %), гексаналь (2.32 %), (E)-2-гексеналь (6.05 %), 1-гексанол (3.17 %), бензальдегид (21.23 %); к минорным соединениям можно отнести (Z)-2-пентен-1-ол (0.67 %), 6-метил-5-гептен-2-он (1.16 %), α-фелландрен (0.45 %), гексиловый эфир уксусной кислоты (0.31 %). Мажорными компонентами газового экстракта *P. amurense* являются 2-этил-фуран (5.53 %), 3-гексен-1-ол (7.95 %), α-пинен (7.47 %), β-фелландрен (7.27 %), β-транс-оцимен (4.1 %); минорными – 3-гидрокси-2-бутанон (0.57 %), (Z)-2-пентен-1-ол (0.61 %), гексаналь (0.84 %), 2-гексен-1-ол (0.63 %), 1-гексанол (0.87 %).

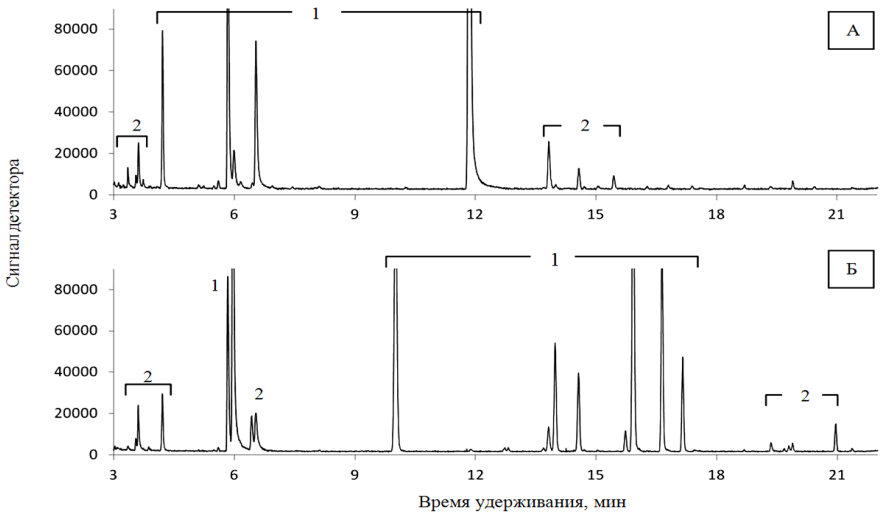


Рис. 1. Фрагменты хроматограмм ЛОС листьев черемухи Маака (*Padus Maakii* (Rupr.) Kom.) (А) и бархата амурского (*Phellodendron amurense* (Rupr.)) (Б) с указанием мажорных (1) и минорных (2) групп соединений

В состав ЛОС деревьев входят биологически активные компоненты – фитонциды, отвечающие за взаимодействия между растениями, конститутивную и индуцированную защиту от бактерий, грибов, насекомых и травоядных животных, а также за привлечение насекомых для опыления и естественных врагов травоядных насекомых [3]. В листьях большинства исследованных деревьев обнаружены вещества-репелленты: бензальдегид, 2-гексеналь (Е), β-линалоол, фенилэтиловый спирт, лимонен, α-пинен. Вещества-аттрактанты также определяются в газовом экстракте анализируемых образцов: диметилсульфид, 6-метил-5-гептен-2-он, нонаналь, октенол, 3-гексен-1-ол.

Исследованные нами ЛОС являются вторичными метаболитами, отличающимися высоким химическим и структурным разнообразием, и представлены группой летучеизменчивых соединений. Возможно, в результате эволюции они приобрели специфические физиологические и экологические функции, связанные с адаптацией растений к условиям произрастания. ЛОС образуются разными путями метаболизма, и многие компоненты специфичны для родов или семейств растений. В лесных экосистемах взрослые деревья способны продуцировать значительное количество ЛОС, играющих важную роль в защите растений в условиях изменяющегося климата, биотического и абиотического стрессов [4]. В связи с этим использование коллекции дендрария ИЛ СО РАН как «платформы» для изучения химического разнообразия вторичных метаболитов (ЛОС) интродуцированных растений является предметом наших дальнейших исследований.

Практическое значение полученных знаний о компонентном составе эмиссии летучих органических веществ декоративными древесными растениями из коллекции дендрария ИЛ СО РАН заключается в возможности создания экологически комплиментарных групповых посадок нового ассортимента высокого эстетического и оздоровительного качества при озеленении территорий городов и поселков.

При использовании интродуцированных декоративных видов в зеленом строительстве важно также учитывать экономическую целесообразность введения в культуру нового растения и возможные последствия для экологической безопасности и здоровья населения. Полученные нами результаты исследования, несомненно, будут полезны для ученых-дендрологов, биохимиков и физиологов растений; специалистов по зеленому строительству в городах и поселках Центральной Сибири.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Коропачинский И.Ю., Лоскутов Р.И.* Древесные растения для озеленения Красноярска. Новосибирск, 2014. 320 с.
2. *Пименов А.В., Кириенко М.А., Пляшечник М.А., Анискина А.А., Лоскутов С.Р.* Прошлое и настоящее дендрария института леса имени В.Н. Сукачева СО РАН // Сиб. лесной журн. 2023. 5. С. 14–22.
3. *Токин Б.П.* Целебные яды растений. Повесть о фитонцидах. Л., 1974. 344 с.
4. *Holopainen J.K., Virjamo V., Ghimire R.P., Blande J.D., Julkunen-Tiitto R. and Kivimäenpää M.* Climate change effects on secondary compounds of forest trees in the northern hemisphere // Front. Plant Sci. 2018. 9: 1–10.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках базового проекта «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (2024–2026 гг.) FWES-2024-0028.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТОЯНКАХ БОЛЬШОЙ ВАЛДАЙСКОЙ ТРОПЫ

А.Е. ПОЖИДАЕВА, В.М. КОЛЕСНИКОВА

МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва (anastasiapo322000@gmail.com)

Аннотация. Работа посвящена комплексному исследованию влияния антропогенной нагрузки на различные природные ландшафты национального парка «Валдайский». Проведена оценка дигрессии ландшафтов с акцентом на индивидуальную устойчивость к рекреационной нагрузке каждого биогеоценоза. Были проведены следующие исследования: геоботанические описания, определение плотности сложения почв, определение содержания органического углерода в почвах; оценено состояние туристических стоянок (благоустройство, замусоренность). Для корректной оценки рекреационной нагрузки необходима организация мероприятий по ежегодному мониторингу. Результаты мониторинга 2021–2023 гг. продемонстрировали, что массовый и неконтролируемый туризм приводит к потерям качества ландшафтов: уничтожению почвенной подстилки, уплотнению почв, сокращению площади напочвенного растительного покрова и снижению биоразнообразия.

TRANSFORMATION OF FOREST ECOSYSTEMS UNDER THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC IMPACT AT THE SITES OF THE GREAT VALDAI TRAIL

A.E. POZHIDAEVA, V.M. KOLESNIKOVA

M.V. Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty, Russia, Moscow (anastasiapo322000@gmail.com)

Abstract. The investigation is dedicated to a comprehensive study of the impact of anthropogenic stress on various natural landscapes of Valdai National Park. The assessment of landscape digression was conducted with a focus on the individual resistance to recreational load. The following studies were carried out: geobotanical descriptions, determination of soil composition density, determination of organic carbon content in soils, and evaluation of the current state of tourist sites (landscaping, littering). To accurately assess the recreational load, it is necessary to organize annual monitoring activities. The results of monitoring from 2021 to 2023 demonstrated that mass and uncontrolled tourism leads to a loss of landscape quality: destruction of soil litter, soil compaction, reduction of ground vegetation area, and a decrease in biodiversity.

Национальный парк (НП) «Валдайский» – особо охраняемая природная территория, включающая природно-исторические комплексы и объекты северной части Валдайской возвышенности [2]. Один из видов деятельности НП «Валдайский» – организация экологического туризма. Развитие туризма на территории парка ведет к увеличению турпотока, что в свою очередь усиливает антропогенную нагрузку на природные ландшафты. Для того чтобы минимизировать это воздействие, необходимо грамотно регулировать рекреационную нагрузку и принимать во внимание индивидуальные характеристики естественных природных ландшафтов [1]. Учитывая растущую актуальность данной проблемы, целью работы стала оценка антропогенного воздействия на ландшафты в пределах рекреационной зоны НП «Валдайский» и маршрута Большой Валдайской тропы (БВТ).

В качестве объектов исследования было выбрано 5 ключевых участков, в разной степени подверженных рекреационной нагрузке, в типичных ландшафтах парка (елово-сосновый лес, ельник, сосняк беломошник). Исследования проводились на участках, примыкающих к организованным стоянкам БВТ, у озера Находно, д. Заборовье, озера Велье, а также на участке на севере парка, который планируется включить в маршрут экотропы.

В ходе исследований была проведена оценка степени дигрессии ландшафтов, определялись плотность сложения почв, актуальная кислотность и содержание в них органического углерода. Дополнительно была произведена оценка пространственной неоднородности почв, связанной с разрастанием дорожно-тропиночной сети, а также оценка корректности применения методик предельно допустимой нагрузки (ПДН) и предельно допустимых изменений (ПДИ), включая выбор критериев для оценки количественных характеристик. Для корректного регулирования рекреационной нагрузки необходимы мероприятия по ежегодному рекреационному мониторингу [3].

Рекреационный мониторинг показал, что за два туристических сезона происходит существенная трансформация ландшафта: возникновение новых стихийных стоянок и расширение зоны высокого антропогенного воздействия, что приводит к деградации природно-территориальных комплексов (ПТК) [4]. Рекреационная нагрузка сказывается на развитии дорожно-тропиночной сети, состоянии лесной подстилки, что проявляется в слабом развитии подроста, повреждении деревьев, сокращении видового разнообразия, увеличении количества лесо-луговых и луговых видов. С увеличением туристического потока растет риск распространения инвазивных видов. Переход комплексов к III–IV стадиям дигрессии характеризуется появлением в биоценозе сорных, луговых видов [5].

Исследования почв показали, что в автоморфных позициях под еловыми и елово-сосновыми лесами формируются дерново-подбуры и подбуры иллювиально-железистые, на нарушенных в процессе оборудования стоянок участках встречаются стратоземы. Серогумусовые (дерновые) почвы преобладают на участке у озера Вилье. Сравнение с эталонными разрезами, заложенными в сходных литолого-геоморфологических условиях вне рекреационной зоны, показало повышенное содержание органического

углерода в лесных почвах нарушенных участков. Почвы дорожно-тропиночной сети значительно уплотнены (до 1,6 г/см^3). Уплотнение почв приводит к изменению водного и воздушного режима почв, способствует развитию эрозионных процессов. В верхних горизонтах почв дорожно-тропиночной сети и на стихийных стоянках содержание органического углерода меньше, чем в фоновых.

Полученные данные подтверждают необходимость комплексных исследований перед расширением маршрута БВТ и необходимость проведения ежегодного рекреационного мониторинга в конце туристического сезона.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Казанская Н.С.* Изучение рекреационной дигрессии естественных группировок растительности // Изв. АН СССР. Геогр. 1972. № 1. С. 52–59.
2. Летопись природы, кн. 1. Национальный парк «Валдайский», 2015. С. 288.
3. *Непомнящий В.В.*, *Завадская А.В., Чижова В.П.* Методические рекомендации по определению рекреационной емкости особо охраняемых природных территорий. Новосибирск: Наука, 2021. 96 с.
4. *Пожидаева А.Е., Колесникова В.М.* Влияние рекреационной нагрузки на состояние растительности и почвенного покрова на стоянках Большой Валдайской тропы // Летописи природы. Валдайский национальный парк. Государственный экологический мониторинг. Кн. 8. Р. 4. Национальный парк «Валдайский», 2023. С. 67–104.
5. *Терентьева О.С., Рохлова Е.Л., Хмельщикова И.Г.* Дигрессия напочвенного покрова растительных сообществ рекреационных стоянок на территории национального парка «Валдайский» // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2023. Т. 27. № 1. С. 35–44.

УДК 630*56+582.4/9:574.24

ДЕГРАДАЦИЯ ПРИГОРОДНЫХ СОСНЯКОВ КРАСНОЯРСКА, ВЫЗВАННАЯ ТОКСИЧНОСТЬЮ ВОЗДУХА

Г.Г. ПОЛЯКОВА[1], Н.В. СОКОЛОВА[2], В.А. СЕНАШОВА[1], Н.М. ПОДОЛЯК[2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (ggpolyakova@mail.ru)
[2] Сибирский институт бизнеса, управления и психологии, Красноярск (docent-245@mail.ru)

Аннотация. Алюминиевый завод (РУСАЛ Красноярск) испускает в атмосферу 97 % всех выбросов бенз(а)пирена в городе. Концентрация этого токсичного газа хронически превышает ПДК на два порядка. Ежегодный мониторинг пригородных сосняков проводили в 2002–2023 гг. Обесцвечивание хвои, увеличение отпада деревьев, увеличение балла по категории состояния леса (6-балльная шкала) свидетельствуют о резкой деградации сосняков в 2020–2023 гг. Результаты подтвердили, что сосняки являются биоиндикаторами токсичности воздуха.

DEGRADATION OF SUBURBAN PINE FOREST CAUSED BY THE AIR TOXICITY IN KRASNYARSK CITY

G.G. POLYAKOVA[1], N.V. SOKOLOVA[1], V.A. SENASHOVA[1], N.M. PODOLYAK[2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (ggpolyakova@mail.ru)
[2] Siberian Institute of Business, Management and Psychology, Krasnoyarsk (docent-245@mail.ru)

Abstract. The Smelter (RUSAL Krasnoyarsk) emits 97 % of the total benzo(a)pyrene emissions in the city. The concentrations of this toxic gas, up to two orders of magnitude higher than the MPC, have been chronically recorded in the air. Annual monitoring of suburban pine forest stands was conducted in 2002–2023. Needle discoloration, an increase in tree mortality, and an increase in the score for the forest vigor state category (6-point scale) prove sharply increased degradation of pine forests in 2020–2023. The results have confirmed that suburban forests are bioindicators of the urban air toxicity.

Красноярск – один из лидеров в РФ по антропогенному загрязнению воздуха [1, 2, 3, 4, 5]. Целью исследования было оценить возможность использования пригородных сосняков как индикаторов токсичности воздуха Красноярска, а также проанализировать метеоданные для выявления основных причин высокой токсичности воздуха в городе.

Ежегодный мониторинг состояния пригородных сосняков проводили на постоянных пробных площадях, заложенных в 2002 г. в двух сосновых древостоях "А" и "В" близкого строения, происхождения, возраста, различающихся по местоположению. Сосняк "А" (Березовский бор), расположенный по розе ветров, в 2002 г. представлял собой пример загрязненного древостоя [5]. Сосняк "В" с противоположной стороны города, у Плодово-ягодной станции (сейчас гольф-клуб и Юдинский экопарк), относился в 2002 г. к фоновому древостою (табл. 1).

Таблица 1. Таксационная характеристика древостоев на постоянных ПП на 1 га

№ ПП	Год учета	Состав	Основной элемент леса	Сумма площадей сечения, м^2	Возраст, лет	Категория	Высота, м	Диаметр, см	Запас растущих сосен, м^3	Запас сухостоя, м^3	Густота растущих сосен, шт.	Густота сухостоя, шт.
1	2002	10С*II* + С*I*	С*II*	45.0	57	1.6	18.1	18.5	396	6	1671	56
1	2023	10С*II* + С*I*	С*II*	56.4	78	2.7	22.3	23.4	589	20	1308	105
2	2002	9С*II* + С*I* ед. Б	С*II*	48.7	58	1.4	21.3	21.9	489	10	1286	36
2	2023	10С*II* + С*I*	С*II*	59.0	79	2.2	26.2	27.5	701	16	993	71
3	2002	9С1Б ед. Л	С	46.7	62	1.3	21.1	20.4	472	8	1430	81
3	2023	9С1Б ед. Л	С	55.3	84	2.7	25.9	26.1	656	23	1030	89
4	2002	9С1Л + Б	С	50.0	62	1.4	20.9	19.6	503	9	1664	172
4	2023	9С1Л + Б	С	56.7	85	3.0	26.2	26.7	667	15	1016	86
6	2005	10С + Л	С	55.6	73	1.3	22.3	22.0	583	4	1456	38
6	2023	10С + Л	С	65.7	93	2.3	25.4	26.2	763	20	1219	100
7	2005	9С*II*1С*I*	С*II*	42.1	59	1.5	16.3	16.4	339	3	1980	41
7	2023	9С*II*1С*I*	С*II*	49.7	77	2.2	19.3	19.7	458	10	1622	95

Для проведения мониторинга были заложены три постоянные пробные площади (ПП) в сосняке "А" и три – в "В". Возраст деревьев – порядка 60–80 лет. На каждой ПП было обмеряно 200–300 сосновых деревьев, имеющих индивидуальный номер. Определены диаметр, категория состояния каждого дерева. Высота и возрастные керны измеряли в выборках каждой ступени толщины. Ежегодно определяемые параметры деревьев вносятся в базу данных, созданную в среде MS ACCESS для расчета таксационной характеристики древостоев, – возраста, высоты, категории состояния, запаса растущих деревьев и сухостоя и др.

Многолетние метеоданные с января 2017 г. по декабрь 2023 г. министерства экологии Красноярского края касаются измерения концентрации канцерогенного газа бенз(а)пирена, 97 % выбросов которого приходится в городе на долю завода КрАЗ [1, 3, 5].

Химические ожоги хвои в сосняке "B" начались раньше (с 2012 г.), чем в "A" (с 2020 г.) (рис. 1, ожоги обозначены стрелкой с буквой "D"). Микробиологический анализ исключил повреждение хвои какими-либо патогенами [5]. Отпад в массиве "B" был достоверно больше, чем в "A"; с 2020 г. в обоих сосняках было зарегистрировано резкое ухудшение категории состояния, более сильное в массиве "B".

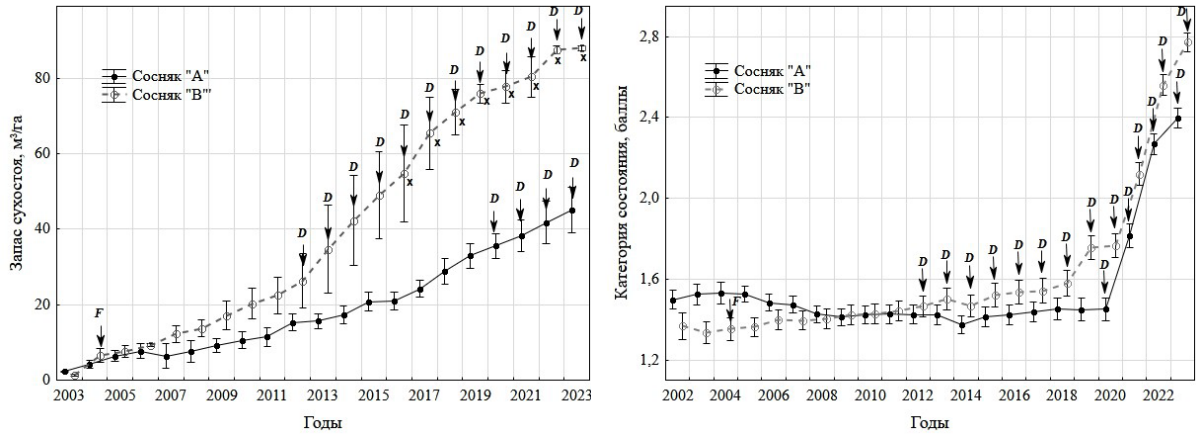


Рис. 1. Динамика отпада и категории состояния деревьев в сосняках "A" и "B"

Концентрация бенз(а)пирена в Красноярске в десятки раз превышала ПДК в течение всех лет наблюдения краевым министерством экологии в 2017–2023 гг. [3]; в частности, в марте 2019 г. зарегистрировано 100 ПДК с эпицентром над Красноярским алюминиевым заводом (рис. 2) [3, 5].

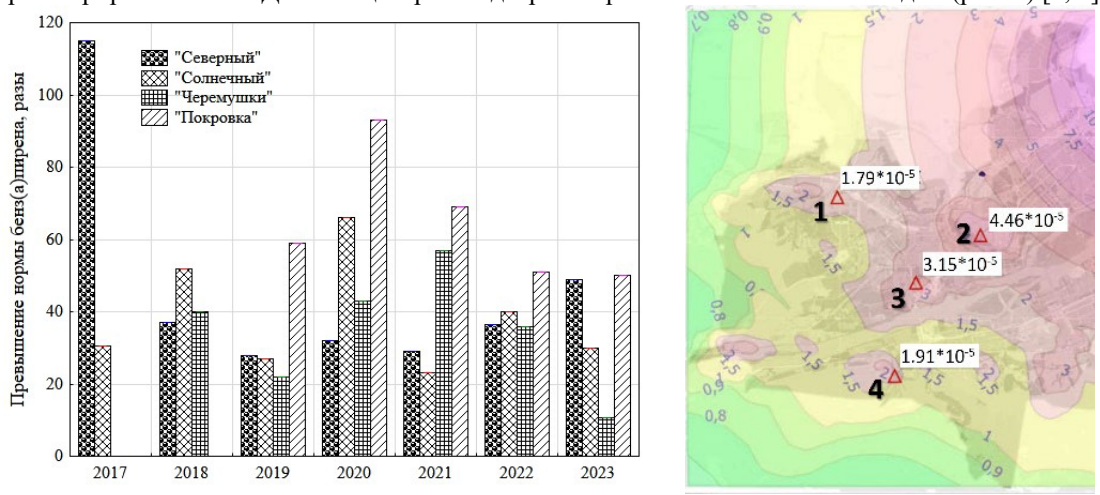


Рис. 2. Превышение ПДК по бенз(а)пирену в Красноярске. Эпицентр выбросов на алюминиевом заводе – участок в правом верхнем углу карты; здесь изолиния со значением 10 указывает на концентрацию бенз(а)пирена $10*10^{-5}$ мг/м^3, что в 100 раз превышает ПДК [5]; цифрами 1–4 отмечены районы города с печным отоплением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аналитический обзор состояния загрязнения атмосферного воздуха в г. Красноярске за период 2017–2023 гг. [Электронный ресурс]. URL: http://krasecology.ru/Air/LabReportSplit?year=2023.
2. Красноярский алюминиевый завод. Экологическая реконструкция. Проектная документация. Р. 8. Перечень мероприятий по охране окружающей среды. 2022. Кн. 1. Т. 8.1. 445 с. 449.00821.000000.2.4-ООС1.
3. Министерство природных ресурсов Красноярского края. Сводные тома предельно допустимых выбросов. 2012. [Электронный ресурс]. URL: http://krasecology.ru/About/PDV.
4. *Сибгатулин В.Г., Шишацкий Н.Г.* Красноярский алюминиевый завод: экологический фактор // ЭКО. 2018. 4. С. 58–68. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2018-4-48-66.
5. *Polyakova G.G., Senashova V.A., Podolyak N.M., Kolovskaya A.V., Kudryasheva N.S.* Assessment of air toxicity in the megalopolis of Krasnoyarsk using long-term monitoring of suburban pine forests // Integrated Environmental Assessment and Management. 2023. 19 (4): 980–987. DOI: 10.1002/ieam.4675.

УДК 630*43; 528.88

ИНТЕНСИВНОСТЬ ПОЖАРОВ СИБИРИ И ПРЯМЫЕ ПОЖАРНЫЕ ЭМИССИИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СЪЕМОК

Е.И. ПОНОМАРЁВ[1, 2], А.Н. ЗАБРОДИН [3]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (evg@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск (azabrodin@ksc.krasn.ru)
[3] ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск (azabrodin@ksc.krasn.ru)

Аннотация. В работе представлены результаты спутникового мониторинга энергетических характеристик пожаров Сибири и анализ многолетней вариации прямых пожарных эмиссий. Инструментально вычисляемый показатель мощности теплоизлучения активных зон горения (Fire Radiative Power) использован для анализа интенсивности горения доминирующих древостоев Сибири. Показан тренд увеличения доли пожаров высокой интенсивности, для которых характерен рост удельных эмиссий с единицы площади. Прогнозируемые на период до 2027 г. объемы выбросов от пожаров составляют >300 Тг С/год, что определяет 5–20 % нетто-эмиссий парниковых газов РФ. Показано, что ежегодные пожарные эмиссии части лесов Сибири в перспективе могут превышать приводимые оценки стока углерода.

INTENSITY OF SIBERIAN WILDFIRES AND DIRECT FIRE EMISSIONS ESTIMATED FROM SATELLITE DATA

E.I. PONOMAREV[1, 2], A.N. ZABRODIN [3]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (evg@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (azabrodin@ksc.krasn.ru)
[3] Federal Research Center “Krasnoyarsk Science center SB RAS”, Krasnoyarsk (azabrodin@ksc.krasn.ru)

Климатические изменения последних десятилетий обусловливают динамику пожарных режимов Сибири в направлении увеличения горимости и усиления тяжести послепожарных эффектов [10]. Одно из самых значимых проявлений повышения активности пожаров – фиксируемый рост пожарных эмиссий углеродосодержащих соединений в атмосферу [7]. При использовании классического мультипликативного выражения для расчета углеродных эмиссий, предложенного в работе Seiler, Crutzen [8], оперируют, как правило, экспертными оценками требуемых входных параметров. С появлением инструментальных данных о площадях пожаров, регистрируемых со спутников, проблема точности расчетов не была решена в полной мере, и опубликованные [9] цифры пожарных эмиссий для Сибири (300–500 Тг С/год), по всей вероятности, были завышены.

С другой стороны, спутниковые методы мониторинга пожаров и тематической обработки данных в различных диапазонах спектра, которые развиваются с середины 90-х гг. прошлого века, позволяют сегодня не только регистрировать все пожарные события, но и наполнять базу данных пожаров качественно новыми атрибутами, например, данными о динамике энергетических характеристик зон активного горения. В сопряжении с пространственными данными о растительных покровах могут быть выявлены также пределы вариативности энергетических характеристик пожаров в доминирующих древостоях [2]. На основе таких данных методика вычисления пожарных эмиссий была адаптирована так, что уровень неопределенности расчетов эмиссий снижен посредством учета интенсивности фаз каждого пожара, характерных для доминирующих вариантов растительного покрова Сибири [4].

Обобщение сведений о характеристиках пожаров на территории Сибири выполнялось по материалам банка спутникового мониторинга пожаров ИЛ СО РАН за период 2002–2023 гг. Оценки интенсивности пожаров выполнялись на основе методики Fire Radiative Power (FRP) стандартных продуктов MOD14/MYD14, коллекции 6 каталога данных со спутников Terra и Aqua (https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/, дата обращения 10.04.2024). Сведения о растительности актуализировались из данных сервиса ИКИ РАН «Вега-Pro» (http://provega.ru/maps, дата обращения 10.04.2024). Для вычислений эмиссий использовалась адаптированная методика [4], где входные параметры рассматривались как функции интенсивности пожара f(FRP).

Проведенный анализ вариативности данных об энергетических характеристиках пожаров позволил констатировать, что значения теплоизлучения в терминах FRP при пожарах в лиственничных древостоях Сибири на 15 % превышают этот показатель для древостоев с преобладанием сосновых насаждений и на 25–35 % – характерные значения для пожаров в темнохвойных лесах. Интегральные значения теплоизлучения от пожара были пропорциональны площади активного горения, достоверность линейной аппроксимации – $R^2 = 0.6$ ($p<0.05$) [2]. Мощность теплоизлучения пропорциональна объемам сгорающей биомассы, следовательно, степень воздействия пожаров на растительность и напочвенный покров также повышается по мере увеличения доли лиственничных древостоев. С другой стороны, это определяет и диапазоны объемов эмиссий в результате пожаров разной интенсивности; таким образом, в лиственничных древостоях не только общая площадь пожаров, но и более частая реализация

высокоинтенсивного горения определяют наибольшую для Сибири долю (51–62 % суммарных эмиссий ежегодно) выбросов углеродосодержащих соединений.

В целом для территории Сибири за период 2002–2023 гг. был характерен тренд роста пожаров высокой интенсивности прежде всего за счет снижения площадей низкоинтенсивного горения. Усреднение по двум последним десятилетиям позволяет говорить, что площади высокоинтенсивных пожаров возросли в три раза, с 0.63 ± 0.31 млн га/год (за период 2002–2011 гг.) до 1.70 ± 0.49 млн га/год в 2012–2019 гг. и до 2.5 ± 0.92 в 2020–2023 гг. [7]. Такая тенденция была зафиксирована на значительной ~30 % части территории Сибири, преимущественно в ареале произрастания лиственничных (*Larix sibirica, L. gmelinii*) лесов и редколесий (севернее 60° с. ш.), а также в зоне тундры (севернее 67° с. ш.).

При сопоставлении данных о площадях низко-, средне- и высокоинтенсивного горения с оценочными значениями объемов пожарных эмиссий для трех временных интервалов 2002–2011, 2012–2019 и 2020–2022 гг. аналитически было получено решение для динамики удельных эмиссий с единицы площади в условиях горения различной интенсивности. Показано, что на фоне относительно стабильных значений удельных эмиссий при низкоинтенсивных (9.0–10.0 т/га) и среднеинтенсивных пожарах (12.0–14.5 т/га) пожары высокой интенсивности характеризуются двукратным увеличением: с ~15.0 т/га с начала 2000-х гг. до >30.0 т/га в 2020–2022 гг.

Полученные оценки позволяют утверждать, что современный уровень пожарных эмиссий определяют не только площади природных пожаров. Климатические изменения на качественном уровне меняют режимы горения в лесах Сибири: повышается интенсивность пожаров и соответственно удельные значения пожарных эмиссий. Фиксируемый уровень пожарных эмиссий показывает устойчивый тренд роста от 60.0 ± 25.8 Тг/год в 2002–2011 гг. до 137.0 ± 60.0 Тг/год в 2012–2019 гг. и до 296.0 ± 102.0 Тг/год в течение трех сезонов 2020–2022 гг. Интегральный объем эмиссий парниковых газов в РФ оценивается в 1584 Тг С/год [6]. Прогнозируемые на период до 2027 г. объемы выбросов от пожаров составляют >300 Тг С/год, что определяет 5–20 % нетто-эмиссий парниковых газов РФ. В то же время оценки показывают вариативность стока углерода в лесах Сибири на уровне 200–700 Тг С/год [1, 3, 5]. Таким образом, ежегодные пожарные эмиссии части лесов Сибири в перспективе могут превышать приводимые оценки стока, определяя положительный баланс углерода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ваганов Е.А., Порфирьев Б.Н., Широв А.А., Колпаков А.Ю., Пыжёв А.И.* Оценка вклада российских лесов в снижение рисков климатических изменений // Экономика региона. 2021. 17 (4). С. 1096–1109.
2. *Забродин А.Н., Пономарёв Е.И.* Вариативность интегрального теплоизлучения пожаров в условиях лиственничников Сибири // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. 21 (2). DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-2-166-176.
3. *Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Честных О.В.* Динамика баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации // Вопр. лесной науки. 2018. Т. 1 (1). С. 1–24.
4. *Пономарёв Е.И.* Способ расчета прямых пожарных эмиссий углерода с учетом пороговой классификации интенсивности пожара растительности по спутниковым съемкам в ИК-диапазоне // Патент на изобретение. 2021. RU 2755936 C1. 7 с.
5. *Сергиенко В.Г.* Влияние ожидаемого изменения климата на баланс углерода и продуктивность экосистем в лесном секторе Российской Федерации // Тр. Санкт-Петербургского науч.-иссл. ин-та лесного хоз-ва. 2018. 1. С. 74–90. DOI: 10.21178/2079–6080.2018.1.74.
6. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года // Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021. № 3052-р. [Электронный ресурс]. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202111010022 (дата обращения: 10.04.2024).
7. *Ponomarev E.I., Zabrodin A.N., Shvetsov E.G., Ponomareva T.V.* Wildfire intensity and fire emissions in Siberia // Fire. 2023. 6 (7). 246. DOI: 10.3390/fire6070246.
8. *Seiler W., Crutzen P.J.* Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and atmosphere from biomass burning // Clim. Change. 1980. 2: 207–247.
9. *Soja A., Cofer W., Shugart H. et al.* Estimating fire emissions and disparities in boreal Siberia (1998–2002) // J. Geophys. Res. 2004. 109: 1–22.
10. *Williams N.G., Lucash M.S., Ouellette M.R. et al.* Simulating dynamic fire regime and vegetation change in a warming Siberia // Fire ecology. 2023. 19 (33). DOI: 10.1186/s42408-023-00188-1.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках государственных заданий № FWES-2024-0023 (ИЛ СО РАН) и FWES-2024-0027 (ФИЦ КНЦ СО РАН).

СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ КРИОЛИТОЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Т.В. ПОНОМАРЁВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (bashkova_t@mail.ru)

Аннотация. В работе представлен обзор применяемых подходов для исследования состояния почвенного покрова, а также результаты натурных экспериментов и численного моделирования состояния криогенных почв естественных и трансформированных в результате воздействия техногенных факторов ландшафтов в пределах распространения сплошной многолетней мерзлоты на территории Средней Сибири.

MODERN TECHNOLOGIES IN SOIL RESEARCH IN TRANSFORMED LANDSCAPE OF THE CRYOLITHOZONE OF CENTRAL SIBERIA

T.V. PONOMAREVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (bashkova_t@mail.ru)

Abstract. The paper presents an overview of the approaches used to study the state of soil cover, as well as the results of field experiments and numerical modeling of the state of cryogenic soils in natural and landscapes transformed as a result of the influence of technogenic factors within the distribution of continuous permafrost in the territory of Central Siberia.

Масштабное освоение северных территорий приводит к глубокой трансформации как локальных экосистем, так и ландшафтов с появлением новых геоструктур, характеризующихся новыми свойствами компонентов. Значительную трансформацию претерпевает растительный и почвенный покров. Данные преобразования обусловливают необходимость изучения процессов, влияющих на формирование и восстановление почвенного покрова на изменяющихся под воздействием техногенных и природных факторов территориях [1].

Для исследования обширных территорий криолитозоны Средней Сибири необходимы подходы, обеспечивающие возможность оценки масштабных объектов [2, 3]. Для оценки экологического состояния в пределах Норильского промышленного района выполнялись классификация и геопространственный анализ типофакторов состояния подстилающей поверхности в привязке к заложенным в 2023 г. пробным площадям на основе мультиспектральных композитных снимков Landsat-8 OLI/TIRS с использованием стандартных методов классификации (пороговая классификация, метод максимального правдоподобия). При выборе эталонных сигнатур классов состояния подстилающей поверхности были обобщены также данные натурных наблюдений территории исследований и материалы спутниковой съемки высокого пространственного разрешения WorldView-4 (до 30 см). Анализ соотношения типофакторов состояния фоновых и трансформированных участков выполнялся для трех вариантов территории исследования: преимущественно фоновые территории; территории с присутствием естественной и техногенной трансформации; территории с преимущественно техногенной/аэротехногенной трансформацией растительного покрова подстилающей поверхности. Для выявления первичного набора выделяемых типофакторов трансформации подстилающей поверхности проводился анализ спутниковых снимков среднего пространственного разрешения Landsat-8 OLI/TIRS в широком спектре длин волн, включая тепловой диапазон (средние длины волн $\lambda = 0.43$ мкм, $\lambda = 0.48$ мкм, $\lambda = 0.56$ мкм, $\lambda = 0.65$ мкм, $\lambda = 0.86$ мкм, $\lambda = 1.61$ мкм, $\lambda = 2.2$ мкм, $\lambda = 10.8$ мкм, каналы B2–B7, B10). Фиксировались характерные различия отражательной способности поверхности в терминах спектральной яркости в отдельных каналах (спектрограммы) и диапазоны варьирования предварительно вычисляемых спектральных индексов LST и NDVI.

Для калибровки спутниковых данных были заложены пробные площади в естественных и техногенно трансформированных ландшафтах с контрастными вариантами состояния почв, что обусловливало различную глубину залегания сезонно-талого слоя на время полевых экспериментов. В ходе 2 экспедиций заложено 18 почвенных профилей. На каждой заложенной пробной площади выполнялся следующий перечень работ:

– описание состояния растительного покрова;
– морфологическое описание почвенного профиля, отбор образцов для определения физических свойств почв (влажности, плотности, гранулометрического состава, содержания органического вещества) для использования в моделях и уточнения входных параметров численных решений;
– дискретные измерения температурного профиля по глубине с шагом 2–5 см с точностью регистрации температуры 0.1 °C;
– измерение альбедо различных вариантов поверхностей на пробных площадях (в июне и в августе);
– георадарное сканирование почвы комплексом «ОКО-2»/«ОКО-3» с рабочим блоком антенн АБ700М, 1200М, 1700М, центральная частота – 700, 1200 и 1700 МГц.

По материалам наземных экспериментов, проведенных в июне и августе 2023 г., сформирован банк данных подповерхностной георадарной съемки почв «ОКО-2»/«ОКО-3» на рабочих частотах

сканирования, содержащий >70 радарограмм для экспериментов, проведенных в июне 2023 г., и >160 радарограмм за август 2023 г. Установлено, что на радарограммах присутствие границы мерзлоты определяется качественно по характерным признакам волновой картины, таким как: 1) наличие непрерывной или квазинепрерывной оси синфазности сигнала с положительной фазой и большой амплитудой, 2) изменение на границе слоев типа волновой картины, интенсивности и конфигурации осей синфазности, 3) наличие экстремумов спектра. В процессе дешифрирования кадров радарограмм эффективно применение процедур калибровки шкалы времени задержки отраженного сигнала относительно поверхности, регулировки амплитуды, фильтрации и пиковой деконволюции. Зафиксирован высокий коэффициент корреляции (r = 0.997) между натурными измерениями и инструментальными георадарными данными о глубине СТС при инструментальном пороге чувствительности по глубине для георадарного сканирования на частоте 700 МГц не выше ~0.05 м.

На основе радарограмм и их обработки стандартным программным продуктом GeoScan32 вер. 2020.11.12.664 вычислялись параметры отраженного сигнала (время прохождения сигнала и скорость сигнала в слое почвы), а также интегральные значения диэлектрической проницаемости надмерзлотного и мерзлого слоев. Вычисленные по известному времени задержки сигнала (t, нс) значения скорости (V = 5.28–8.63 см/нс) распространения волны в надмерзлотном слое соответствуют диапазону, характерному для переувлажненных почв. Вычисленные значения диэлектрической проницаемости (ε = 12–32) соответствуют параметрам сезонно-талого слоя почвы с преобладанием торфа с высоким влагосодержанием. Для большинства рассмотренных вариантов почв нижележащий слой мерзлоты характеризовался диапазоном значений диэлектрической проницаемости, близким к мерзлым суглинкам, содержащим воду в твердой фазе ε = 2.2 ± 1.1.

На каждой пробной площади проведены замеры теплового потока в минеральной толще ниже органогенного горизонта с применением измерителя теплового потока ИТП-МГ4.03/5(III) «Поток». Получены значения коэффициентов теплопроводности (λ, [Вт/м·К]) для всех рассмотренных в натурных экспериментах 2023 г. почвенных разрезов исходя из прямой зависимости от результатов измерений теплового потока [Вт/м2], толщины слоя почвы [м], а также обратной пропорциональности со значениями температуры на границе слоя [К]. Характерные значения для торфяных горизонтов были в диапазоне λ = 0.23–0.44 Вт/м·К, для супесей и суглинков – λ = 0.40–1.50 Вт/м·К, для глинистых горизонтов – λ = 1.30–3.20 Вт/м·К. Качественно зафиксирована вариация коэффициента теплопроводности в зависимости от влажности слоя, однако детализация этой зависимости требует проведения серии дополнительных натурных измерений на следующем этапе реализации проекта.

Таким образом, теплофизические характеристики рассмотренных вариантов почв являются одним из определяющих условий вариации уровня сезонного протаивания. Прямые инструментальные измерения теплового потока и его вариации в почвах позволяют дополнить перечень входных условий для дальнейшего моделирования температурных режимов почв криолитозоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лигаева Н.А., Пономарёва Т.В.* Почвенный покров криолитозоны Красноярского края: состояние и перспективы исследований // Почвы и окружающая среда: Всеросс. науч. конф. с междунар. участием, посвященная 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, 2–6 октября 2023 г. Новосибирск: ФГБУН Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН, 2023. С. 128–132.
2. *Финников К.А., Пономарёва Т.В., Пономарёв Е.И., Литвинцев К.Ю.* Исследование влияния последствий лесных пожаров на перенос тепла и влаги в сезонно-талом слое почвы методами численного моделирования // Теплофизика и аэромеханика. 2023. № 6. С. 1215–1222.
3. *Якимов Н.Д., Пономарёв Е.И., Пономарёва Т.В.* Спутниковый мониторинг техногенно трансформированных участков золоторудных месторождений Сибири // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности: Сб. матер. XII Всеросс. науч.-практ. конф., Железногорск, 26 мая 2023 г. Железногорск: ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия» Государственной противопожарной службы Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий, 2023. С. 30–32.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-14-20007, https://rscf.ru/project/23-14-20007/, Красноярского краевого фонда науки.

УДК 630.181 (575.21)

ВЫДЕЛЕНИЕ КОНТРАСТНЫХ ФОРМ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ

А.А. ПОПОВА, Д.А. ЛИТОВЧЕНКО, С.М. МАТВЕЕВ

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж (logachevaaa@rambler.ru)

Аннотация. Проведены исследования четырех происхождений дуба черешчатого в географических культурах (в Воронцовском лесничестве Воронежской области). На основе показателей роста, категории санитарного состояния, особенностей взаимосвязи параметров «высота» и «диаметр» среди происхождений дуба черешчатого определены контрастные формы, из которых возможно выделение дендрофенотипов по климатическому отклику.

CONTRASTING FORMS OF PEDUNCULATE OAK SELECTION IN FOREST GEOGRAPHICAL CULTURES

A.A. POPOVA, D.A. LITOVCHENKO, S.M. MATVEEV

G.F. Morozov Federal State Voronezh State Forestry Engineering University, Voronezh (logachevaaa@rambler.ru)

Abstract. Studies of four origins of the pedunculate oak in geographical forest cultures (Vorontsov forestry of the Voronezh region) carried out. Contrasting forms were determined by analyses of the growth indicators, the category of sanitary condition, and the features of the relationship between the parameters “height” and “diameter”" among the origins of the pedunculate oak. Dendro phenotypes can be distinguished among contrasting based on forms for climatic response.

На территории России созданы уникальные селекционно-генетические объекты лесообразующих пород. Селекция лесообразующих пород в России в настоящее время проводится путем отбора географических происхождений, плюсовой селекции, отбора генотипов по потомству, селекции популяций (происхождений, плюсовых насаждений и т. д.), гибридизации [4]. Географические культуры дуба черешчатого в Центрально-Черноземном регионе немногочисленны. Один из уникальных селекционно-генетических объектов дуба заложен в 1976–1978 гг. под руководством А.М. Шутяева в кварталах 26, 42 Красного участкового лесничества Воронцовского лесничества Воронежской области и включает 37 происхождений для изучения особенностей роста региональных популяций дуба черешчатого в условиях Центральной лесостепи [3]. Культуры заложены на черноземе среднемощном глинистом на лессовидной карбонатной глине среднего механического состава. Тип условий местопроизрастания – Д2. Тип леса – кленово-ясеневая дубрава.

Целью нашего исследования явилась первичная оценка контрастных по происхождению региональных популяций с целью изучения влияния происхождения на рост дуба черешчатого и отбора контрастных фенотипов для проведения последующих дендрохронологических и генетических анализов. Для изучаемых происхождений измерены высота и диаметр дерева, определены категория санитарного состояния и запас древесины. Полученные данные для происхождения представлены в табл. 1.

Таблица 1. Таксационные показатели потомств региональных популяций в географических культурах дуба черешчатого в Воронцовском лесничестве Воронежской области, Красном участковом лесничестве

Климатип	N, шт.	Высота дерева, м				Диаметр дерева, см				КСС	Запас, $Vм^3$
		Min	Max	M	SE	Min	Max	M	SE		
ДЧ (15)	25	8	20	16.0	0.64	9.3	28.7	18.0	0.99	2	4.2
ДЧ (34)	25	13	20	17.0	0.46	10.4	26.7	19.0	0.83	3	5.4
ДЧ (24)	25	10.5	22	18.0	0.52	10.9	42.9	21.0	1.47	1	5.6
ДЧ (7)	25	5	21	15	1.10	7.3	39.9	20.0	1.99	2	4.8

Примечание. N – Количество деревьев; КСС – Категория санитарного состояния; M – среднее значение признака; SE – Стандартное отклонение. ДЧ (15) Воронежская, Теллермановский, ДЧ (34) Дагестан, Дербентский, ДЧ (24) Россия, Башкортостан, Туймазинский, ДЧ (7) Беларусь, Гомельская, Буда-Кошелевский. ДЧ (15) Воронежская – пример записи названия происхождения, где ДЧ – дуб черешчатый, (15) – № происхождения, «Воронежская» – название климатипа, соответствующее происхождению семенного материала.

Проведенный анализ происхождений показывает наличие среди потомства деревьев с низкими показателями роста, средних деревьев и деревьев с максимальными показателями, среди которых возможно выделение дендрофенотипов по климатическому отклику. Наибольший прирост по диаметру отмечен для происхождений «Башкортостан» и «Гомельская», средние значения высоты деревьев среди происхождений достоверно не отличаются. Для происхождения «Дагестан» характерной особенностью является кривизна ствола (рис. 1).

Для определения степени взаимосвязи параметров высоты и диаметра дерева рассчитан коэффициент корреляции (рис. 2).



Рис. 1. Кривизна ствола у дерева дуба черешчатого, «Дагестан»

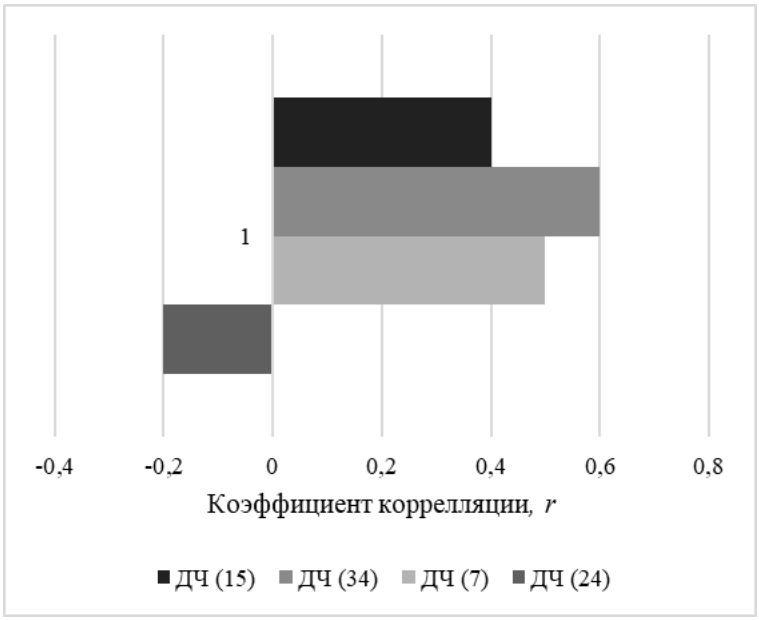


Рис. 2. Коэффициент корреляции параметров «высота» и «диаметр»

Для дуба черешчатого «Башкортостан» выявлена низкая отрицательная взаимосвязь, однако среди проанализированных деревьев диаметры ствола имеют наибольшие значения, деревья характеризуются прямоствольностью, а по шкале санитарного состояния – как не имеющие признаков ослабления.

Для остальных происхождений взаимосвязь высоты и диаметра средняя (от 0.4 до 0.6).

Лебедев и Кузьмичев [2] показали, что модели «высота – диаметр» значительно различались для разных экологических регионов и пород. Анализ информативности морфологических параметров для дуба черешчатого в географических культурах, выполненный Демаковым с соавт. [1], показал, что в качестве информативного показателя для отбора происхождений предлагают использовать, кроме общепринятых, высоту ствола до кроны.

Таким образом, анализ роста потомства региональных происхождений дуба черешчатого для Центральной лесостепи показал наличие контрастных по интенсивности роста в высоту и диаметру происхождений и возможности выделения контрастных дендрофенотипов для отбора на устойчивость и хозяйственную ценность.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Демаков Ю.П., Краснов В.Г., Кириллов С.В., Смышляева М.И., Антропова А.В.* Информативность морфометрических параметров деревьев, желудей и листьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в географических культурах // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 3 (27). С. 45–53.
2. *Лебедев А.В.* Верификация трехпараметрических моделей зависимости высоты от диаметра на высоте груди для березовых древостоев европейской части России // Сиб. лесной журн. 2020. 5. С. 45–54.
3. Опытно-производственные селекционно-семеноводческие объекты НИИЛГиС / под общ. ред. Ю.П. Ефимова. Воронеж: Изд-во ООО «Биомик», 2004. Т. 2. 196 с.
4. *Царев А.П., Лаур Н.В., Царев В.А., Царева Р.П.* Современное состояние лесной селекции в Российской Федерации: тренд последних десятилетий // Известия вузов. Лесной журн. 2021. № 6 (384). С. 38–55.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РНФ (грант 24-16-20047).

УДК 630*654

ХАРАКТЕРИСТИКА ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛЕСОВ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ

О.Ю. ПРИХОДЬКО

Приморский государственный аграрно-технологический университет, Уссурийск (Kravchenko_olia@list.ru)

Аннотация. Одной из ключевых задач лесной отрасли является интенсификация воспроизводства лесов. Природные условия Приморского края и предпочтение выборочных рубок при лесозаготовках способствуют естественному лесовосстановлению. Для реализации планов по искусственному лесовосстановлению в крае выращивают посадочный материал, однако в настоящее время его объемы не покрывают потребности. Сбор семенного сырья осуществляется в нормальных насаждениях, с объектами лесного семеноводства работа не проводится. Агротехнические и лесоводственные уходы не осуществляются в необходимом количестве. В связи с этим перевод площади лесных культур к землям, на которых расположены леса, не реализуется.

CHARACTERISTICS OF FOREST REPRODUCTION IN PRIMORSKY TERRITORY

O.Yu. PRIKHODKO

Primorsky State Agrarian-Technological University, Ussuriysk (Kravchenko_olia@list.ru)

Abstract. One of the key tasks of the forest industry is the intensification of forest reproduction. The natural conditions of the Primorsky Territory and the preference for selective felling during logging contribute to natural reforestation. To implement plans for artificial reforestation, planting material is grown in the region, but currently its volumes do not cover the needs. The collection of seed raw materials is carried out in normal plantings; no work is carried out with forest seed production objects. Agrotechnical and forestry treatments are not carried out in the required quantities. In this connection, the transfer of the area of forest crops to the lands on which forests are located is not being implemented.

Общеизвестно, что процесс воспроизводства лесов состоит из семеноводства, питомнического хозяйства и лесовосстановительных мероприятий, к которым относятся искусственное лесовосстановление, содействие естественному возобновлению леса, комбинированное лесовосстановление, а также агротехнические и лесоводственные уходы [1, 2, 3, 4].

Природно-экологические условия Приморского края весьма сложны и многообразны. Центральную и восточную части края занимают горы Сихотэ-Алинь, западную – Уссурийская и Приханкайская низменности. Климат умеренный, муссонный. Здесь присутствуют три лесорастительные зоны: на севере края – таежная зона, представляющая собой типичные северные леса с преобладанием хвойных деревьев (ель, пихта), в центре края – кедрово-широколиственные леса, обладающие самым высоким уровнем биоразнообразия, а на юге – лесостепная зона, представляющая собой разреженные леса с преобладанием в составе дуба.

Большая часть разрешенного объема заготовки древесины приходится на север Приморского края. Это обусловлено наличием простых по составу насаждений, в которых по лесоводственным причинам предпочтительно проведение сплошных и постепенных рубок. В центральной и южной частях края преобладают выборочные рубки средней и низкой интенсивности, из насаждений изымается только 15–25 % растущих деревьев.

Способ восстановления леса и его успешность зависят от степени нарушения лесных экосистем. При выборочных рубках нарушения фитоценозов близки к уровню естественной динамики. По этой причине на выборочных рубках оптимальным способом лесовосстановления является естественное возобновление. Получив доступ к свету и питательным веществам, подрост и деревья второго яруса начинают стремительно расти, и уже через 15–30 лет насаждение достигает исходных параметров.

В Приморском крае политикой в области лесовосстановления является проведение щадящих видов рубок, которые гарантируют естественное возобновление лесов целевыми породами. В 2023 г. 92 % всех рубок по площади производились в виде выборочных. Площадь сплошных рубок в крае в 2023 г. составила 7.4 тыс. га. В связи с этим объемы создания лесных культур невелики (рис. 1, 2).

При этом по материалам Государственного лесного реестра по состоянию на 01.01.2024 фонд лесовосстановления в крае (гари, погибшие насаждения, вырубки, прогалины, пустыри) составил 53.6 тыс. га.

Компенсационное лесовосстановление в целом положительно влияет на динамику баланса выбытия и восстановления лесов. Площадь земель, для которых наступили обязательства по компенсационному лесовосстановлению, с 2019 г. в регионе составила 1340.87 га; на сегодняшний день существующие объемы выполнены на 70 %. Полагаем, что монетизация компенсационных мероприятий позволила бы снизить риски невыполнения объемов по компенсационному лесовосстановлению, а также более рационально использовать силы и средства для достижения большего лесоводственного эффекта.



Рис. 1. Сведения об изменении лесных культур последнего десятилетия



Рис. 2. Сведения о закладке лесных культур по породам, га

Рубки ухода в 2023 г. проведены на площади 3514.4 га, из них уходы в молодняках – на площади 1320.9 га, проходные рубки – на площади 2107.5 га, рубки реконструкции – на 86 га. Отсутствие в крае уходов за лесными культурами, а также последующих рубок ухода в молодняках в большинстве случаев обесценивает ранее проведенные лесокультурные мероприятия.

В регионе существует острая нехватка посевного материала местных лесообразующих пород. Приморские арендаторы лесного фонда не имеют обременений по заготовке семян. При этом в 2023 г. было заготовлено семян ели 60 кг, лиственницы – 15 кг, кедра – 14 592.6 кг, ясеня – 53 кг и других пород – 118.5 кг. Существующие объекты ЕГСК требуют инвентаризации и ухода. Необходима разработка региональной программы сохранения и рационального использования генетических ресурсов богатого биоразнообразием региона.

В 2023 г. в Приморском крае был введен в эксплуатацию тепличный комплекс, который позволит ежегодно получать до 1.5 млн сеянцев с закрытой корневой системой. Кроме того, с 2021 г. были восстановлены лесные питомники на общей площади 50 гектаров, в которых посадочный материал выращивается в открытом грунте. В общей сложности в 2023 г. на питомниках выращивалось более 8 млн сеянцев, из которых около 6 млн достигнет стандартного размера уже в 2024 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Брындина Л.В., Корчагина А.Ю., Репникова Л.А.* Интенсификация воспроизводства лесов // Столяровские чтения, СПб.: Санкт-Петербургский НИИ лесного хоз-ва, 2023. С. 13–15. DOI: 10.21178/05102023.4.
2. *Малькова Т.М.* Нормативно-правовое регулирование арендных отношений в области использования и воспроизводства лесов // Актуальные направления науч. иссл. XXI в.: теория и практика. 2014. Т. 2. № 5–3 (10–3). С. 397–400. DOI: 10.12737/7011.
3. *Никитенко Е.А.* Воспроизводство лесов на Дальнем Востоке // Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона: Матер. Междунар. науч.-практ. форума. Хабаровск: Тихоокеанский гос. ун-т, 2013. С. 131–133.
4. *Русецкая Г.Д., Санина Л.В.* Переход к освоению интенсивной модели использования и воспроизводства лесов // Baikal Research Journal. 2023. Т. 14. № 1. С. 91–104. DOI: 10.17150/2411-6262.2023.14(1).91-104.

УДК: 575.8 + 574.9

НЕМОРАЛЬНЫЕ РЕЛИКТЫ КАК КОМПОНЕНТ ГЕМИБОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОЙ СИБИРИ: МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИХ ИЗУЧЕНИЮ

М.В. ПРОТОПОПОВА[1], В.В. ПАВЛИЧЕНКО[1], П.Е. НЕЛЮБИНА[1, 2]

[1] Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск (marina.v.protopopova@gmail.com)
[2] Иркутский государственный университет, Иркутск (nelubina01@mail.ru)

Аннотация. Работа была направлена на определение филогеографической структуры модельных неморальных реликтовых видов растений Южной Сибири. В качестве объектов исследования были использованы *Anemone altaica* Fisch. ex C. A. Mey., *A. baicalenseis* Turcz., *Eranthis sibirica* DC. и *Waldsteinia ternata* (Stephan) Fritsch. Анализ показал наличие схожих филогеографических паттернов у всех исследованных видов. Было показано наличие западных и восточных филогеографических надгрупп популяций для каждого вида. Выявленные филогеографические паттерны модельных видов на хр. Хамар-Дабан хорошо соответствуют модели четырех основных микрорефугиумов.

NEMORAL RELICS AS A COMPONENT OF HEMIBOREAL FOREST ECOSYSTEMS IN SOUTH SIBERIA: MOLECULAR GENETIC APPROACHES FOR THEIR STUDY

M.V. PROTOPOPOVA[1], V.V. PAVLICHENKO[1], P.E. NELYUBINA[1, 2]

[1] Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk (marina.v.protopopova@gmail.com)
[2] Irkutsk State University, Irkutsk (nelubina01@mail.ru)

Abstract. The study was aimed to determine the phylogeographic structure of the model nemoral relict plant species in Southern Siberia. *Anemone altaica* Fisch. ex C. A. Mey., *A. baicalenseis* Turcz., *Eranthis sibirica* DC., and *Waldsteinia ternata* (Stephan) Fritsch were used as the objects for the research. The analysis showed similar phylogeographic patterns in all studied species. Western and eastern phylogeographic supergroups of populations were identified for each species. The revealed phylogeographic patterns of model species on the Khamar-Daban Ridge correspond well to the model of four main microrefugia.

Работа была направлена на определение филогеографической структуры модельных неморальных реликтовых видов растений Южной Сибири. В качестве объектов исследования были использованы *Anemone altaica* Fisch. ex C. A. Mey., *A. baicalenseis* Turcz. *Eranthis sibirica* DC. и *Waldsteinia ternata* (Stephan) Fritsch. Все виды относятся к третичному гемибореальному растительному комплексу и в настоящее время имеют сильно дизъюнктивное распространение. Наблюдаемый в настоящее время разрыв ареалов видов произошел в результате резких изменений климатических условий в позднем кайнозое, включая прогрессивное похолодание и усиление континентальности, достигших кульминации в плейстоцене. Несмотря на то что территория Северной Азии в течение плейстоцена не была покрыта сплошным ледяным щитом, ее растительность все же претерпела значительные изменения по сравнению с состоянием в плиоцене [7]. В частности, деградация третичного гемибореального флористического комплекса в конечном итоге привела к фрагментации транспалеарктической зоны широколиственных лесов, образовав европейский и восточноазиатский фрагменты, разделенные и обширной дизъюнкцией, охватывающей континентальную Восточную Сибирь и Центральную Азию [2]. Горы юга Сибири сыграли решающую рефугиальную роль в сохранении мезофильных остатков широколиственных лесов в плейстоцене [2, 7], что подчеркивает большое значение этих гор в сохранении экологического разнообразия региона. В пределах Южной Сибири четко выраженные рефугиумы расположены в предгорьях и горных районах Горной Шории, Северо-Восточного и Юго-Западного Алтая, Западных и Восточных Саян, хребта Хамар-Дабан [3].

Сбор образцов для молекулярно-генетического анализа проводили из нескольких популяций на хр. Хамар-Дабан, Восточном Саяне (для *E. sibirica и W. ternata*), Западном Саяне и Алтае (для *A. altaica*). Также были использованы образцы, хранящиеся в гербарных фондах, в том числе с хр. Танну-Ола (для *E. sibirica*). Выделение общей ДНК проводили ЦТАБ методом [6] с авторскими модификациями. В качестве молекулярных маркеров использовали регионы пластидной (*trnL* и *trnL–trnF*, *trnH-psbA*) и ядерной (ITS1-ITS2) ДНК. Амплификацию проводили с использованием ДНК-полимеразы GoTaq Flexi (Promega, США) и праймеров, разработанных для цветковых растений с финальной концентрацией 250 нМ каждого. Ампликоны электрофоретически отделяли от компонентов реакции, очищали и секвенировали по методу Сэнгера на генетическом анализаторе серии 3500 (Applied biosystems). Филогенетический анализ проводили методом максимального правдоподобия (ML) в программе MEGA v. 6.06 и байесовским анализом (BI) на основе метода Монте-Карло для марковских цепей с учетом наиболее оптимальных моделей нуклеотидных замен. Анализ молекулярной дисперсии (AMOVA) и расчет индексов фиксации был проведен в программе PopART v. 1.7.

Анализ показал наличие схожих филогеографических паттернов у всех исследованных видов. Так, было показано наличие западных и восточных филогеографических надгрупп популяций для каждого вида

[4, 8, 9]. Западные надгруппы модельных видов объединяли популяции с Западного Саяна, а для *A. altaica* и с Алтая. Восточные надгруппы представлены популяциями с хр. Хамар-Дабан, а для части видов дополнительно и популяциями с Восточного Саяна и хр. Танну-Ола. В пределах хр. Хамар-Дабан с учетом видового разнообразия реликтов на различных его участках ранее нами было предложено существование четырех основных плейстоценовых микрорефугиумов, расположенных в долинах рек Утулик и Бабха (I), Снежная (II), Осиновка (пос. Танхой) (III), Мишиха (IV), где большинство реликтовых видов смогли пережить неблагоприятные для них периоды [5]. Существование микрорефугиумов в поймах этих рек также подтверждается данными о расположении ледников и уровня депрессии снеговой линии на хребте в течение Сартанского оледенения, соответствующего последнему ледниковому максимуму в Сибири [1]. Филогенетический анализ и AMOVA показали, что выявленные филогеографические паттерны модельных видов хорошо соответствуют модели четырех основных микрорефугиумов на хр. Хамар-Дабан, хотя для видов с наиболее протяженным ареалом таких рефугиумов может быть больше. Для *W. ternata* ввиду его более узкого распространения на хр. Хамар-Дабан относительно остальных видов рефугиальное значение могли иметь только первые три участка.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Еникеев Ф.И.* Палеогеография Сартанского оледенения хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Вестник Забайкальского гос. ун-та. 2020. 26 (7). С. 17–32.
2. *Крестов П.В., Баркалов В.Ю., Омелько А.М. и др.* Реликтовые комплексы растительности современных рефугиумов Северо-Восточной Азии // Комаровские чтения. 2009. Т. 56. С. 5–63.
3. *Положий А.В., Крапивкина Э.Д.* Реликты третичных широколиственных лесов во флоре Сибири. Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1985. 158 с.
4. *Протопопова М.В., Павличенко В.В., Орлова Д.А. и др.* Филогеографическая структура *Anemone baicalensis* (Ranunculaceae) на основе полиморфизма пластидной ДНК (*trnL-trnF*) как подтверждение существования плейстоценовых микрорефугиумов на хр. Хамар-Дабан // Известия Иркутского гос. ун-та. Серия Биология. Экология. 2019. Т. 30. С. 3–15.
5. *Чепинога В.В., Протопопова М.В., Павличенко В.В*. Выявление вероятных плейстоценовых микрорефугиумов на северном макросклоне хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Сиб. экол. журн. 2017. 24 (1). С. 44–50.
6. *Doyle J.J., Doyle J.L.* A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue // Phytochemical Bulletin. 1987. 19. P. 11–15.
7. *Krestov P.V., Omelko A.M., Nakamura Y.* Phytogeography of higher units of forests and krummholz in North Asia and formation of vegetation complex in the Holocene // Phytocoenologia. 2010. 40. P. 41–56.
8. *Protopopova M., Pavlichenko V., Chepinoga V. et al. Waldsteinia* within *Geum* s.l. (Rosaceae): Main aspects of phylogeny and speciation history // Diversity. 2023. 15 (4). 479: 1–30.
9. *Protopopova M.V., Pavlichenko V.V. Eranthis* Salisb. (Ranunculaceae) in South Siberia: Insights into phylogeography and taxonomy // Diversity. 2022. 14. 779. P. 1–19.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы благодарят ЦКП «Биоаналитика» СИФИБР СО РАН за предоставленный доступ к оборудованию, гербарий ИГУ за монтирование и возможность размещения и хранения ваучерных образцов, В.В. Чепиногу за помощь в полевых исследованиях и сборе некоторых образцов из гербарных фондов. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00501, https://rscf.ru/project/23-24-00501/.

УДК 502; 504.054

ЗОНИРОВАНИЕ БАССЕЙНА РЕКИ ЧЕРЕМУШКА Г. КРАСНОЯРСКА ПО УРОВНЮ ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Д.А. ПРЫСОВ[1], О.Н. ЗУБАРЕВА[1], А.В. МУСОХРАНОВА[1], М.А. ПЛЯШЕЧНИК[1], Л.К. КАЗАРЯН[1, 2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (prisov.krasn@gmail.com, zon@ksc.krasn.ru, nastya.krasn@mail.ru, lilwood@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск (kazaryan.lk@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Проведено зонирование бассейна р. Черемушка по уровню пылевого загрязнения снежного покрова. Определены основные загрязнители снежного покрова бассейна реки. На основании расчетов уровней пылевого загрязнения установлено, что наибольший уровень загрязнения снежного покрова наблюдается в пунктах отбора, находящихся в зоне влияния выбросов АО «РУСАЛ Красноярск».

ZONING THE CHEREMUSHKA RIVER BASIN, KRASNOYARSK CITY, BY DUST POLLUTION OF SNOW COVER

D.A. PRYSOV[1], O.N. ZUBAREVA[1], A.V. MUSOKHRANOVA[1], M.A. PLYASHECHNIK[1], L.K. KAZARYAN[1, 2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (prisov.krasn@gmail.com, zon@ksc.krasn.ru, nastya.krasn@mail.ru, lilwood@ksc.krasn.ru)
[2] M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk (kazaryan.lk@ksc.krasn.ru)

Abstract. The Cheremushka River basin was divided into snow cover dust pollution zones. We identified the major pollution sources for the basin. Our calculations of dust pollution levels revealed the heaviest snow cover pollution to occur at the sample points falling within the Russian Aluminum Plant foot-print.

Цель работы – провести оценку уровня загрязнения бассейна р. Черемушка, протекающей по территории г. Красноярска, на основе исследования химического состава снежного покрова.

Снегомерный маршрут на реке Черемушка в 2023 г. включал 11 пунктов отбора проб снежного покрова (рис. 1). Всего для анализа было отобрано 33 образца, которые подготовили и проанализировали в лаборатории по стандартным методикам [1, 4]. Содержание тяжелых металлов (водорастворимые формы), таких как железо общее, медь, алюминий, марганец, кадмий, никель, проводилось в фильтрате талой снеговой воды методом атомно-абсорбционной спектрометрии [3]. Определение массовой концентрации анионов (водорастворимых форм) – фторид-ионов, хлорид-ионов, сульфат-ионов, нитрит-ионов и нитрат-ионов – выполнялось методом капиллярного электрофореза [2]. Пылевая нагрузка рассчитывалась по стандартной методике [4].

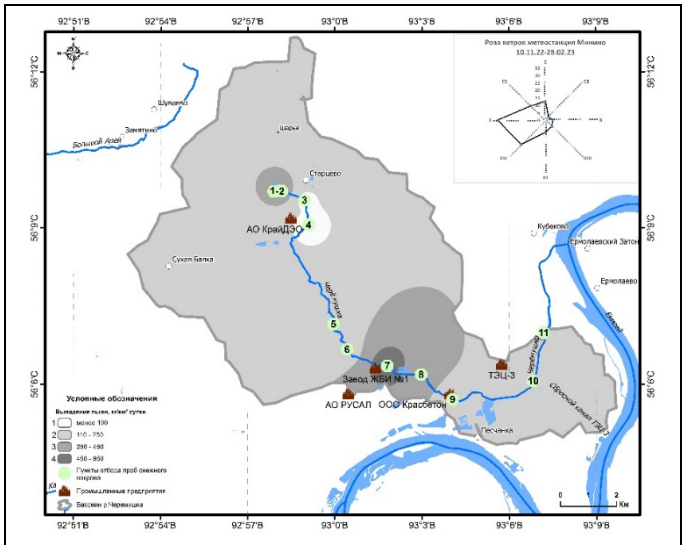


Рис. 1. Зонирование водосборного бассейна реки Черемушка по уровню пылевого загрязнения снежного покрова (P, кг/(км²·сут.): 1 – низкий (100–250); 2 – средний (250–450); 3 – высокий (450–850); 4 – очень высокий (850)

Ежесуточно в снежный покров бассейна р. Черемушка поступает значительное количество пыли: от 42.8 до 598.5 кг/(км²·сут.), что превышает фоновое значение в 4.3–60.5 раза (табл. 1). Наибольшее значение плотности выпадения пыли характерно для пункта 7 (598.5 кг/(км²·сут.), фон превышен в 60.5 раза), 2 (406.5 кг/(км²·сут.), фон превышен в 41 раз) и 8 (372.3 кг/(км²·сут.), фон превышен в 37.6 раза), что, вероятно, обусловлено влиянием близко расположенных промышленных предприятий и автомобильных дорог. Согласно градации уровней пылевого загрязнения снежного покрова, разработанной Институтом минералогии, геохимии и редких элементов [4] (табл. 1), уровень пылевого загрязнения за 2023 г. снега бассейна р. Черемушка оценивается как низкий – 216.9 кг/(км²·сут.) и превышает фоновый показатель в 21.9 раза.

Определение водорастворимых ионов алюминия, никеля, меди и марганца в образцах талой снеговой воды бассейна реки Черемушка выявило превышение их концентрации по сравнению с ПДК$_{р.х.}$ для рыбохозяйственных водоемов. Превышение

$ПДК_{р.х.}$ алюминия выявлено на всех пунктах отбора и составило от 3.2 до 222.7 раза, фоновый показатель превышен в 9–636 раз. Максимальные концентрации были отмечены в пунктах: 6 (69.8 $ПДК_{р.х.}$), 7 (222.7 $ПДК_{р.х.}$) и 8 (48.2 $ПДК_{р.х.}$), находящихся в зоне влияния выбросов завода по выплавке алюминия АО «РУСАЛ Красноярск». Концентрации меди в образцах талой снеговой воды колебались от 0.0015 до 0.0046 мг/л (1.5–4.6 $ПДК_{р.х.}$). При этом наибольшие концентрации меди были обнаружены в пунктах 5 (4.6 $ПДК_{р.х.}$) и 7 (3.4 $ПДК_{р.х.}$), а минимальные – в пунктах 2, 4 и 11 (1.5 $ПДК_{р.х.}$). Предельно допустимые концентрации для ионов марганца, имеющего 3 класс опасности, были превышены от 1.1 до 4.3 раза в образцах талой снеговой воды на десяти пунктах отбора из одиннадцати. Фоновый показатель для ионов марганца превышен на всех исследуемых пунктах отбора в 1.5–7.5 раза. Превышение $ПДК_{р.х.}$ для никеля отмечено только в трех пунктах отбора снежного покрова: 6 (2.2 $ПДК_{р.х.}$), 7 (6.4 $ПДК_{р.х.}$) и 8 (1.7 $ПДК_{р.х.}$), находящихся в зоне влияния выбросов КрАЗа.

Таблица 1. Средняя масса поступления пыли на территорию бассейна р. Черемушка за 2023 г.

Номер пункта отбора	Место отбора пробы	Выпадение пыли, кг/(км²·сут.)	Уровень пылевого загрязнения снежного покрова [4]
1	оз. Старцево	191.1	Низкий
2	д. Старцево (Енисейский тракт)	406.5	Средний
3	д. Старцево, ул. Центральная	57.2	Низкий
4	«ОКБ Микрон»	42.8	Низкий
5	ул. Кразовская, поле	114.8	Низкий
6	ул. Кразовская, ЛЭП	185.9	Низкий
7	ул. Кразовская, Индустриальный	598.5	Высокий
8	ул. Кразовская, склон	372.3	Средний
9	ул. Пограничников («Красбетон»)	114.8	Низкий
10	ул. Пограничников (ТЭЦ-3)	180.0	Низкий
11	ул. Пограничников, устье	122.1	Низкий
Фоновая проба			
57	руч. Собакина	9.9	Низкий

Согласно анализу данных, в фильтрате талой снеговой воды бассейна реки Черемушка наблюдается превышение установленных нормативов качества вод для фторид-иона и нитрит-иона. Концентрации водорастворимого фторид-иона в образцах талой снеговой воды в бассейне реки Черемушка колеблется в пределах 2.46–33.00 мг/л и превышает $ПДК_{р.х.}$ в 3.3–44 раза; фоновый показатель – в 11–143 раза. Высокое содержание фтора в пробах талой снеговой воды из окрестностей Красноярского алюминиевого завода связано со спецификой данного предприятия, т. к. оно является основным источником загрязнения территории Красноярска фторидами. Концентрации нитрит-ионов выявлены только на пяти пунктах отбора (5, 6, 7, 9 и 11). Значения нитрит-иона изменяются в диапазоне от 0.19 до 0.43 мг/дм³, превышающих $ПДК_{р.х.}$ в 2.4–5.4 раза. Максимальные концентрации, 0.39–0.43 мг/дм³, отмечены вблизи промышленных территорий КрАЗа и Красноярской ТЭЦ-3.

Уровень пылевого загрязнения снежного покрова бассейна р. Черемушка за 2023 г. оценивается как низкий. По результатам проведенных химических исследований снежного покрова бассейна реки Черемушка установлено, что в фильтрате талой снеговой воды превышены экологические нормативы ($ПДК_{р.х.}$) для алюминия, меди, никеля, марганца, фторид-иона и нитрит-иона. Основными загрязнителями снегового покрова бассейна реки являются алюминий и фтор.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д.* Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 181 с.
2. Количественный химический анализ вод. ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18. СПб.: ООО «Люмекс-маркетинг», 2018. 40 с.
3. Количественный химический анализ вод. ПНД Ф 14.1:2.253-09. СПб.: ООО «Люмекс-маркетинг», 2009. 32 с.
4. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (утв. главным государственным санитарным врачом СССР 15.05.1990, № 5174-90). М.: ИМГРЭ, 1990.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках базового проекта ИЛ СО РАН «Состояние и функционирование компонентов антропогенно-трансформированных экосистем в условиях крупных мегаполисов Сибири» (№ FWES-2022-0004).

УДК 630*

ДИНАМИКА ГОДОВОГО ХОДА ТЕМПЕРАТУРЫ ВАЛЕЖА И ПОЧВЫ В ЗОНЕ ЕГО ВЛИЯНИЯ В УСЛОВИЯХ СТАРОВОЗРАСТНОГО СРЕДНЕТАЕЖНОГО ЕЛЬНИКА ЧЕРНИЧНОГО (ЗАПОВЕДНИК «КИВАЧ»)

И.В. РОМАШКИН, А.В. КИКЕЕВА, А.Ю. НУКОЛОВА, Е.В. ФОМИНА, А.М. КРЫШЕНЬ

Институт леса Карельского Научного Центра РАН, Петрозаводск (romashkin@krc.karelia.ru)

Аннотация. Определены закономерности годовой динамики температуры валежа ели европейской и почвы в зоне его влияния и за ее пределами в условиях среднетаежного ельника черничного. Показано, что температурные условия, создаваемые в валеже, подвержены большим колебаниям в течение года по сравнению с таковыми в почве.

ANNUAL DYNAMICS OF THE TEMPERATURE OF DOWNED LOGS AND SOIL IN THE ZONE OF THEIR INFLUENCE IN AN OLD-GROWTH MIDDLE-BOREAL BLUEBERRY SPRUCE FOREST (KIVACH NATURE RESERVE)

I.V. ROMASHKIN, A.V. KIKEEVA, A.YU. NUKOLOVA, E.V. FOMINA, A.M. KRYSHEN

Forest Research Institute of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk (romashkin@krc.karelia.ru)

Abstract. The patterns of annual temperature dynamics of Norway spruce downed logs and soil in and beyond the deadwood influence zone the middle taiga blueberry old-growth spruce forest were determined. We found that temperature conditions created in deadwood have large fluctuations during year compared to those in the soil.

Древесный детрит, в частности, валеж вносит существенный вклад в формирование мозаичности лесного биогеоценоза. Валежный ствол, представляющий собой микроповышение органического происхождения, оказывает существенное влияние на окружающую среду, формируя экотоп, специфичный с точки зрения абиотических условий [4]. Процессы биогенного ксилолиза [1], происходящие в древесном субстрате, сопровождаются особым режимом температуры и влажности [2, 3], что определяет динамику микроклиматических показателей как внутри валежного ствола, так и в прилегающем пространстве. Среди вероятных причин этого явления выделяют процессы разложения древесины валежа [1, 7], структурные особенности которой приводят к снижению потерь влаги, а также регулирование влажностного режима плодовыми телами грибов [5]. Таким образом, вблизи валежного ствола следует ожидать более сглаженного суточного изменения температуры и влажности, а также меньших значений температурных экстремумов [5, 6].

Цель исследования – оценить роль валежа в формировании микроклиматических условий в лесном сообществе. Задача исследования заключалась в определении закономерностей годовой динамики температуры валежа ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) и верхних горизонтов почвы в зоне его влияния и за ее пределами в условиях среднетаежного ельника черничного.

Исследование проведено в старовозрастном еловом лесу на территории Государственного природного заповедника «Кивач» (Республика Карелия, Россия, 62°17′45″ с. ш., 33°46′46″ в. д.). Подобрано 18 валежных стволов ели 3–5 классов разложения в соответствии с пятистадийной классификацией [7] и диаметром в месте закладки пробной площадки не менее 20 см. Закладку пробных площадок прямоугольной формы размером 2 × 1 м осуществляли с помощью мерной ленты перпендикулярно валежному стволу по обе стороны от него. Для определения и изучения зоны влияния валежного ствола на прилегающие к нему участки в рамках пробной площадки использовали сетку с размером ячейки 10 × 33 см; в каждой из них проводили измерения. Измерение температуры валежа и верхних почвенных горизонтов осуществляли в течение года в период с 15 мая 2023 г. по 15 мая 2024 г. с использованием температурных датчиков термохрон марки ibutton. Периодичность измерений составляла 6 раз в сутки, точность – 0.5 °C. Измерение проводили на трех пробных площадках с валежными стволами 3-го, 4-го и 5-го классов разложения в подкроновом пространстве. Установку датчиков осуществляли на глубину до 2 см на поверхности валежного ствола, непосредственно под стволом, а также в подстилку на расстоянии 25, 50 и 100 см по обе стороны от ствола. Для измерения температуры приземного слоя воздуха датчик устанавливали на высоте 1.3 м на стволе дерева, расположенного вблизи. В качестве контрольных измерений за пределами пробных площадок вне возможного влияния валежа датчики устанавливали в почву на глубину 0.5 и 5 см в трехкратной повторности. В период июнь – июль 2023 г. проведены краткосрочные наблюдения динамики температуры валежного ствола и почвы на 18 пробных площадках. В дневное время с помощью портативного термометра HANNA Checktemp 1 измерены показатели температуры верхней, средней и нижней частей валежного ствола, а также почвы на глубине до 5 см на

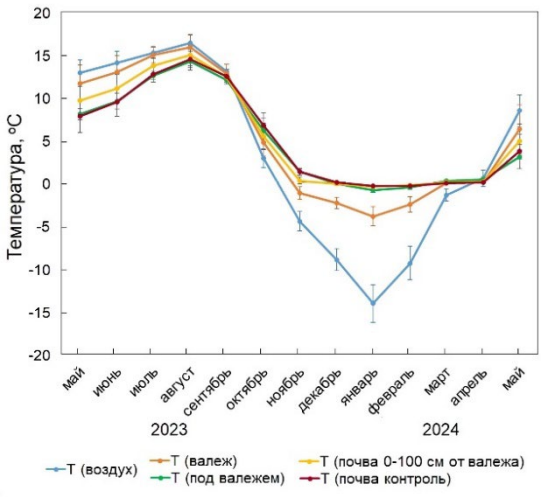


Рис. 1. Годовая динамика температуры воздуха, валежа и почвы в условиях ельника черничного (заповедник «Кивач»)

расстоянии 0–100 см от валежного ствола с шагом 10 см в трех повторностях. Валежный ствол ели независимо от степени разложения подвержен бóльшим суточным колебаниям температуры по сравнению с почвой как в прилегающих к нему, так и на контрольных участках (рис. 1). Представляя собой микроповышение, валежный ствол имеет бóльшую площадь соприкосновения со средой по сравнению с объемом, что объясняет полученные закономерности. По мере увеличения класса разложения различия между температурой валежа и почвы закономерно уменьшались. Различия (дельта) между температурой валежного ствола и почвы в зоне его влияния без учета удаленности уменьшались по мере увеличения класса разложения от 4.3 (3-й класс) до 1.7 °С (5-й класс). В начале вегетационного сезона (вторая-третья декады мая, июнь) температура валежного ствола в среднем ниже на 1.1–1.2 °С по сравнению с температурой воздуха, а также на 3.5 °С выше, чем температура почвы под ним, на 1.9–2.1 °С – почвы на расстоянии 0–100 см от него и на 3.5–3.9 °С – почвы в контроле. Схожие закономерности наблюдаются до конца вегетационного сезона, хотя различия между температурой воздуха, валежа и почвы заметно сглаживаются в течение теплого периода (июль, август, первая половина сентября). В течение лета наименьшая температура почвы отмечена под валежным стволом: она ниже температуры валежного ствола на 0.8–2.4 °С. На основе краткосрочных наблюдений в середине вегетационного периода (июнь, июль) установлено, что температура почвы на расстоянии 0–100 см от валежного ствола и в контроле ниже температуры валежного ствола, но значимо не отличается от температуры почвы под валежным стволом. Пространственное расположение пробных площадок относительно полога древостоя и сторон света, безусловно, оказывает влияние на их температурный режим, что, однако, не нарушает вышеописанные общие закономерности. В конце вегетационного сезона (октябрь) температура валежа снижалась вслед за температурой воздуха быстрее, чем температура почвы в контроле и непосредственно под валежным стволом. В зимний период (ноябрь – вторая декада марта) температура валежа выше температуры воздуха в среднем на 6.8 °С, но ниже температуры почвы на 1.4–3.5 °С. В весенний период (третья декада марта, апрель) температуры валежа и почвы наиболее близки к температуре воздуха – различия минимальны и не превышают 0.2 °С. Далее (первая декада мая) по мере увеличения температуры воздуха происходит рост температуры валежа, почвы в контроле и на расстоянии 0–100 см от валежного ствола и наименее интенсивно – у почвы под валежным стволом.

Наши данные показывают, что температурные условия, создаваемые в валеже, подвержены большим колебаниям в течение года по сравнению с таковыми в почве. В то же время показатели температуры почвы непосредственно под валежным стволом, на удалении от него и за пределами зоны его влияния независимо от сезона года в целом сопоставимы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Капица Е.А.* Микогенный ксилолиз пней и валежа в лесных экосистемах европейской части таежной зоны: Автореф. дисс. … канд. биол. наук: 03.00.16. Санкт-Петербург: БИН РАН, 2008. 23 с.
2. *Мухин В.А., Воронин П.Ю.* Микогенное разложение древесины и эмиссия углерода в лесных экосистемах // Экология. 2007. 1. С. 24–29.
3. *Мухин В.А., Диярова Д.К., Веселкин Д.В.* Влажность как фактор CO_2-эмиссионной активности древесного дебриса // Лесоведение. 2015. 3. С. 208–213.
4. *Сафонов М.А., Булгаков Е.А.* Вклад микогенной деструкции древесины в формирование микроклимата лесов Южного Приуралья // Фундаментальные исследования. 2013а. 10–12. С. 2674–2678.
5. *Сафонов М.А., Булгаков Е.А., Остапенко А.В., Тяпухин П.В.* Влияние деструкции древесины на температурный и влажностный режим в лесных биогеоценозах Южного Приуралья // Вестник ОГУ. 2013б. 10 (159). С. 333–335.
6. *Сафонов М.А., Остапенко А.В., Уварова А.И.* Специфика экотопов, формируемых древесным детритом в лесных экосистемах Южного Предуралья // Современные проблемы науки и образования. 2017. 6.
7. *Shorohova E., Kapitsa E.* Stand and landscape scale variability in the amount and diversity of coarse woody debris in primeval European boreal forests // For. Ecol. Manag. 2015. 356: 273–284.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РНФ (грант 23-24-00371).

УДК 582.9 : 911.5 + 502.7

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЛАНДШАФТНОГО РАЗНООБРАЗИЯ САЯНО-ШУШЕНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

В.А. РЫЖКОВА, И.В. ДАНИЛОВА, М.А. КОРЕЦ, Д.И. НАЗИМОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (vera@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Представлен геоинформационный подход к разработке ландшафтной карты Саяно-Шушенского биосферного заповедника на основе цифровой модели рельефа SRTM, спутниковых данных Landsat-OLI 8, материалов лесоустройства, наземных исследований, тематических карт. На исследуемую территорию составлена карта, отражающая особенности современной организации ландшафтов на топологическом (группы фаций и их пространственные модификации) и региональном (геомы) уровнях.

MAPPING AND LANDSCAPE DIVERSITY ESTIMATION OF SAYANO-SHUSHENSKIY BIOSPHERE RESERVE

V.A. RYZHKOVA, I.V. DANILOVA, M.A. KORETS, D.I. NAZIMOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (vera@ksc.krasn.ru)

Abstract. A geoinformation approach to compiling a landscape map of the Sayano-Shushensky Biosphere Reserve based on the SRTM digital elevation model, Landsat-OLI 8 satellite data, forest management materials, field research data, and thematic maps is presented. A map has been developed for the study area, reflecting the features of the current organization of landscapes at the topological (facies groups and their spatial variations) and regional (geomes) levels.

Картографический метод имеет важное значение в познании и представлении ландшафтной организации территории. Инвентаризация ландшафтного разнообразия сводится к выделению на исследуемой территории и на ее картографической модели (ландшафтной карте) некоторого количества контуров, каждый из которых занимает определенное место в ландшафтной иерархии и типологически соотносится с другими контурами того же иерархического уровня [14].

В 50-70-е годы XX в. ландшафтное картографирование опиралось в основном на маршрутные и стационарные исследования, аэрофотосъемку и первые космические снимки. Территории заповедников часто являлись полигонами, где происходила отработка методик полевого ландшафтного картографирования [14]. В настоящее время происходит совершенствование методов в направлении автоматизации процесса выделения ландшафтных единиц с помощью ГИС, цифровых моделей рельефа (ЦМР), данных дистанционного зондирования (ДДЗ), полевых описаний и измерений.

Объектом для изучения иерархической структуры и пространственного распределения ландшафтных единиц разного таксономического ранга выбрана территория Саяно-Шушенского биосферного заповедника (51°46′–52°37′ с. ш., 91°04′–92°26′ в. д.), расположенного в Алтае-Саянской горной стране на юге Красноярского края (площадь 390 368 га).

Цель работы – разработка ландшафтной карты заповедника с использованием ЦМР, данных спутниковых изображений, фондовых материалов, наземных исследований. Для этого были использованы картографические и таксационные данные лесоустройства (2016 г.); ЦМР SRTM [18]; снимки спутниковой системы Landsat-OLI 8; климатические базы данных [19, 20]; литературные данные [1, 4]; топографические и тематические карты: ландшафтные [5, 8, 9, 12], геоботаническая [1], почвенная [10].

Обработка и пространственный анализ данных проводились в пакетах ArcGIS 10.6, Trimble e-Cognition 8, ERDAS Imagine 9.2.

Для создания ландшафтной карты был использован разработанный ранее алгоритм сопряженного анализа разнородных данных в ГИС для автоматизированной классификации условий местопроизрастания как природной основы для создания различных тематических карт [10, 16]. Данный алгоритм был адаптирован под цели и задачи исследования, также определено относительное соответствие единиц разных классификаций (ландшафтной и классификации условий местопроизрастания). Предлагаемый подход используется для выделения пространственных границ классов, однородных по комплексу заданных факторов [11, 17], что позволяет обеспечить объективную природную основу в виде карты потенциальных условий местопроизрастания.

Классификация геосистем Саяно-Шушенского заповедника базируется на системно-иерархическом подходе [13, 7] и включает следующие иерархические уровни: подклассы геомов, группы геомов, геомы, группы фаций или их комплексы и сочетания при среднемасштабном картографировании.

Работа по созданию ландшафтной карты включала в себя следующие основные этапы.

1. Проведена инвентаризация и предварительная классификация представленных на исследуемой территории геосистем на основе анализа построенных с помощью ЦМР топографических профилей, тематических и общегеографических карт, литературных данных, материалов наземных исследований. На профилях выявлены закономерности распределения растительности по основным элементам

рельефа, приуроченность различных типов растительности к определенным интервалам абсолютных высот, формам и элементам мезорельефа, идентифицированы территориальные единицы регионального и топологического уровней.

2. Разработана сопряженная классификация растительности (на уровне формаций/субформаций) и условий местопроизрастания, а также классификация геосистем на основе принципов геосистемной теории [13, 7], определено относительное соответствие уровней и единиц разных классификаций.
3. Проведено автоматизированное выделение пространственных границ классов земного покрова, относительно однородных по комплексу анализируемых факторов (климат, орография, почвы, морфометрические показатели рельефа) с использованием алгоритма анализа разнородных данных в ГИС [11] и автоматизированной сегментации и классификации спектральных признаков ДДЗ и характеристик рельефа по ЦМР [6].
4. Для оценки разнообразия растительного покрова выполнено автоматизированное дешифрирование космических мультиспектральных изображений Landsat-OLI 8. Классификация спутниковых изображений проводилась с помощью метода максимального правдоподобия (MAXLIKE, Erdas Imagine V) на основе анализа лесоустроительной информации [3, 16, 15, 2].
5. На основе пространственного анализа тематических слоев, полученных на этапах 3 и 4, сформированы иерархические слои ландшафтной карты, проведена коррекция их границ с использованием информации об актуальной растительности заповедника (по результатам дешифрирования снимков Landsat), лесоустроительной информации, почвенной карты, литературных данных и результатов наземных исследований.

Разработана легенда ландшафтной карты. Легенда содержит 2 подкласса геомов, 4 группы геомов, 10 геомов, 38 подразделений сочетаний групп фаций. В легенде дана краткая характеристика рельефа, растительности, типов почв для геомов и их подразделений. Каждый геом характеризуется определенными параметрами факторов среды и рельефа (качественно и количественно), что отражается в специфике современного растительного покрова, сформированного в данных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Власенко В.И.* Закономерности распределения растительного покрова Саяно-Шушенского биосферного заповедника // Геогр. и природ. ресурсы. 1989. 1. С. 40–45.
2. *Данилова И.В., Корец М.А., Рыжкова В.А.* Картографирование возрастных стадий лесной растительности на основе анализа разносезонных спутниковых изображений Landsat // Исслед. Земли из космоса. 2017. 4. С. 12–24.
3. *Дуда Р., Харт П.* Распознавание образов и анализ сцен / пер. с англ. В.Л. Стефанюка. М.: Мир, 1976. 512 с.
4. *Ермаков Н. Б., Полякова М. А., Попов Д. Ю., Голомовзин В. В.* Моделирование пространственной организации растительности горных территорий на основе данных дистанционного зондирования и цифровой модели рельефа // Вычисл. технол.: Информ. технол. для эколого-биологических иссл. 2007. Т. 12. 2. С. 42–59.
5. *Калихман Т.П., Богданов В.Н, Огородникова Л.Ю.* Особо охраняемые природные территории Сибирского федерального округа. Атлас. Иркутск: ИГ СО РАН, изд-во «Оттиск», 2012. 386 с.
6. *Корец М.А., Скудин В.М.* Автоматизированное дешифрирование лесотаксационных выделов по материалам космической съемки и цифровой модели рельефа местности // ИнтерКарто/ИнтерГИС-24: Матер. Междунар. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. С. 94–105.
7. Ландшафтно-интерпретационное картографирование/ Т.И. Коновалова, Е.П. Бессолицына, И.Н. Владимиров и др. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 2005. 424 с.
8. Ландшафтная карта СССР. Масштаб: 1 :2 500 000 / отв. ред. И.С. Гудилин. М., 1987.
9. Ландшафтная карта СССР. Масштаб :4 000 000 / А.Г. Исаченко, А.А. Шляпников, О.Д. Робозерова и др. М.: ГУГК, 1988.
10. Почвенная карта Саяно-Шушенского биосферного заповедника / Н.Г. Ковалев, Н.В. Кабанова, И.А. Соколов, Е.Н. Руднева. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1985.
11. *Рыжкова В.А., Данилова И.В., Корец М.А.* Классификация лесного покрова и геоинформационное моделирование его восстановительной динамики (на примере южной части приенисейской Сибири) // Сиб. экол. журн. 2016. 6. С. 817–831.
12. Ландшафтная карта Алтае-Саянского экорегиона. Масштаб 1:200 000 / Г.С. Самойлова. М: ИГЕМ РАН, 2001.
13. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 318 с.
14. *Черных Д.В.* Ландшафтное картографирование в заповедниках // Тр. Тигирекского заповедника. Вып. 7. 2015. С. 176–180.
15. ERDAS Field Guide. Fifth edition. Atlanta, Georgia: USA: ERDAS Inc., 1999. 672 p.
16. *Richards J.A.* Remote sensing digital image analysis / 2-nd ed. Berlin: Springer, 1993. P. 340.
17. *Ryzhkova V.A., Korets M.A. and Danilova I.V.* GIS-based approach for development of the “natural basis” for thematic mapping // Proc. Int. Cartogr. Assoc. 2019. 2. 109. DOI: 10.5194/ica-proc-2-109-2019.
18. SRTM-3-DEM (Shuttle radar topography mission, digital elevation model). 2010. California Institute of Technology. [Электронный ресурс]. URL: http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/russia.htm.
19. WorldClim 2.1 – Global climate and weather data Ver. 2. [Электронный ресурс]. URL: http://worldclim.org/version2.
20. Лаборатории климатических исследований Университета Восточной Англии. CRU 4.1. Mitchell and Jones, 2005. [Электронный ресурс]. URL: https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.01/.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках базового проекта «Динамика компонентов углеродного цикла экосистем Сибири в меняющемся климате» (2024–2026 гг.). FWES-2024-0023. Регистрационный номер НИОКТР 124012900558-7.

УДК 630:582.475 (571.64)

ЦЕНОТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ДОЛИННЫХ ЛЕСОВ ОСТРОВА САХАЛИН

Р.Н. САБИРОВ

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск (r.sabirov@imgg.ru)

Аннотация. В долинных лесах Сахалина выделены 4 группы типов леса: травяная, кустарниковая, хвощовая и мертвопокровная, включающие множество типов леса и ценотических вариантов. Указанные группы типов леса представляют собой эколого-динамические или сукцессионные ряды развития долинных сообществ в зависимости от вариаций гидрологического режима рек (длительности и частоты затопления), удаленности от уреза воды и степени формирования речных террас.

COENOTIC DIVERSITY OF THE VALLEY FORESTS OF SAKHALIN ISLAND

R.N. SABIROV

Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk (r.sabirov@imgg.ru)

Abstract. In the valley forests of Sakhalin, 4 groups of forest types are distinguished: grass, shrub, horsetail and deadcover, including many types of forest and coenotic variants. These groups of forest types are ecological-dynamic or succession series of valley community development depending on variations in the hydrological regime of rivers (duration and frequency of flooding), remoteness from the water edge and the degree of formation of river terraces.

Остров Сахалин благодаря большому количеству осадков (800–1200 мм в год на юге острова), слабому испарению и наличию горного рельефа обладает густой речной сетью, которая насчитывает 65 тыс. рек и ручьев общей протяженностью около 105 тыс. км. Средняя густота речной сети составляет 1.3 км на кв. км [2]. В поймах и долинах многих рек формируются лесные сообщества с особым видовым составом и структурой, которые среди тайги Сахалина составляют интразональную растительность. Несмотря на незначительную занимаемую площадь (около 1 %) и хозяйственно-экономическую ценность, долинные леса имеют почвозащитные, берегоукрепляющие, водоохранные и другие очень важные экологические функции. Однако долинные леса, как и леса Сахалина в целом, в типологическом и фитоценотическом отношениях изучены еще недостаточно полно и неравномерно по отдельным районам и частям острова [1, 3, 5, 8 и др.]. В этой связи нами в течение более 20 лет с использованием известных методов и подходов [4, 6, 7] проводилось типологическое изучение долинных сообществ и лесной растительности Сахалина в целом. Исследования проводились не только на антропогенно трансформированных ландшафтах со вторичной лесной растительностью, характерных для большей части острова вследствие векового использования лесных ресурсов и произошедших пожаров, но также и на особо охраняемых природных территориях, где еще сохранились коренные и малонарушенные лесные сообщества.

Видовой состав долинных лесов весьма богат, существенно варьирует на разных участках и в районах острова, зависит от этапов синдинамики отдельных сообществ, разработанности долин и формирования террас рек. Доминантами и содоминантами долинных лесных сообществ являются тополь Максимовича (*Populus maximowiczii*), ивы сердцелистная, росистая, Шверина, удская (*Salix cardiophylla, S. rorida, S. schwerinii, S. udensis*), чозения (*Chosenia arbutifolia*), ольха волосистая (*Alnus hirsuta*). Кроме этого, в древостоях регулярно присутствуют ильмы (*Ulmus japonica, U. laciniata*), ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica*), ель аянская (*Picea ajanensis*), пихта сахалинская (*Abies sachalinensis*), лиственница Каяндера (*Larix cajanderi*) и др. В частности, лиственница принимает заметное участие в составе долинных лесов в северных районах острова, где она является доминантом зональной лесной растительности, а широколиственные породы встречаются в южной и гораздо реже в средней части Сахалина. Ель и пихта появляются в долинных лесных сообществах по всему острову, в основном на более поздних стадиях их формирования. В результате проведенных исследований в долинных лесах острова были выделены 4 группы типов леса со множеством ценотических вариантов (табл. 1).

Наиболее распространенной среди долинных лесов является травяная группа типов, которая, за исключением чозениевых, встречается во всех районах Сахалина и располагается по различным надпойменным террасам, предпочитая достаточно влажные и дренированные экотопы. Древостои – полидоминантные, среднеполнотные, нередко с примесью хвойных пород, в основном III–IV классов бонитета. Отличительной особенностью этой группы типов леса является ярко выраженный сомкнутый ярус из травянистых растений и значительное ценотическое разнообразие. В формировании основных типов леса участвуют такие виды, как вейник Лангсдорфа, представители лесного разнотравья и сахалинского крупнотравья, образуя соответствующие фитоценотические варианты (табл. 1).

Кустарниковая группа типов леса формируется на высоких речных террасах, как правило, на более поздних этапах их развития или в зрелых ценозах. В составе древостоев возрастает доля участия ели и

пихты, а в южных районах добавляется ряд широколиственных пород. Размещение видов в древостое преимущественно куртинно-групповое, среди них развиваются кустарниковые синузии.

В отдельную группу типов леса были выделены хвощовые, которые занимают особые ниши вдоль рек и речек, находящихся в длительном подтоплении не только во время сезонных паводков, но также и в другие периоды. В травяном ярусе в них массово произрастает хвощ зимующий (*Equisetum hyemale*), изредка встречаются и некоторые другие гигрофиты (табл. 1).

На участках, подверженных частым затоплениям и разрушительным действиям горных рек, в основном на молодых песчано-галечных отложениях, формируются мертвопокровные типы леса. Они состоят из пионерных видов ив, а также чозении и представляют собой начальные этапы развития в сукцессионном ряду. В целом ценотическое (типологическое) разнообразие долинных лесов Сахалина зависит от гидрологического режима рек и обусловлено прежде всего длительностью и масштабами затопления во время половодья, а также выраженностью речных террас и вариациями эдафотопа.

Таблица 1. Ценотическое разнообразие долинных лесов острова Сахалин

Группа типов леса	Типы леса и фитоценотические варианты	Характерные виды растений подчиненных ярусов	Распространение по острову
Травяная	Ивово-тополевый лес разнотравный; Тополево-ивовый лес разнотравный; Ивово-тополевый лес крупнотравный; Ивово-тополевый лес вейниковый; Ивово-чозениевый лес осоковый; Тополево-чозениевый лес травяной; Ивово-ольховый лес крупнотравный (лабазниковый, белокопытниковый); Ивово-ольховый лес разнотравный; Ольховник широкотравный	*Calamagrostis langsdorffii, Cardamine leucantha, C. regeliana, Trillium camschatcense, Cacalia auriculata, C. robusta, C. hastata, Angelica genuflexa, A. ursina, Filipendula camtschatica, F. palmata, Heracleum lanatum, Petasites amplus, Senecio cannabifolius, Urtica platyfilla, Cirsium kamtschaticum, Athyrium filix-femina, Matteuccia struthiopteris, Carex cryptocarpa, C. pallida, Fimbripetalum radians, Impatiens noli-tangere, Ranunculus acris, Veratrum grandiflorum, Rumex longifolius, Caltha fistulosa, Lysichiton camtschatcense*	Чозениевые леса встречаются по поймам и долинам в нижней трети горных рек, главным образом в средней части Сахалина, остальные – по всему острову
Кустарниковая	Ивово-тополевый лес кустарниковый; Тополево-ивовый лес кустарниковый; Тополево-ивовый лес разнотравно-кустарниковый; Ивово-тополевый лес разнотравно-кустарниковый с участием широколиственных пород	*Crataegus chlorosarca, Padus avium, Rubus sachalinensis, Rosa acicularis, R. amblyotis, Sorbaria sorbifolia, Spiraea salicifolia, Sambucus miquelii, Swida alba, Euonymus sieboldiana, Ribes latifolium, Lonicera glehnii, Aruncus dioicus, Anthriscus sylvestris, Equisetum sylvaticum, Cacalia auriculata, Calamagrostis langsdorffii, Artemisia montana, Cirsium kamtschaticum*	Высокие террасы рек по всему острову, в основном на терминальных стадиях формирования долинных сообществ; на юге – примесь широколиственных пород
Хвощовая	Ольхово-ивовый лес хвощовый; Ивово-ольховый лес хвощовый; Ивово-тополевый лес хвощовый; Ивняк хвощовый; Ольховник хвощовый	*Equisetum hyemale* – обильно; единично: *E. fluviatile, Carex rhynchophysa, C. cryptocarpa, C. dispalata, C. cinerea, C. sp., Matteuccia struthiopteris, Naumburgia thyrsiflora*	Припойменные длительно подтопляемые низкие террасы рек по всему острову
Мертвопокровная	Тополево-ивовый лес мертвопокровный; Ивняк мертвопокровный; Ивово-чозениевый лес мертвопокровный; Чозенник мертвопокровный	Единично встречаются *Carex rhynchophysa, C. sp., Calamagrostis langsdorffii, Equisetum hyemale*	Начальные этапы формирования сообществ, юг и средняя части острова

ЛИТЕРАТУРА

1. *Агеенко А.С., Клинцов А.П.* Леса о. Сахалин и Курил (Сахалинская область) // Леса Дальнего Востока. М.: Лесная пром-ть, 1969. С. 228–263.
2. Атлас Сахалинской области. М.: ГУГК, 1967. 136 с.
3. *Кабанов Н.Е.* Лесная растительность Советского Сахалина. Владивосток: ГТС АН СССР, 1940. 212 с.
4. *Методы* изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХ СПбГУ, 2002. 240 с.
5. *Моторина Л.В.* О растительности Тымьской низменности Сахалина // Географический сборник. Т. VIII. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 49–63.
6. *Полевая* геоботаника. Т. 3. М.–Л.: Наука, 1964. 532 с.
7. *Сукачев В.Н., Зонн С.В.* Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
8. *Толмачев А.И.* Геоботаническое районирование острова Сахалина. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1955. 80 с.

УДК 630*114.351:630*182.2:574.4

ТРАНСФОРМАЦИЯ НАЗЕМНОГО ОПАДА РАЗЛИЧАЕТСЯ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ПОСЛЕПОЖАРНОЙ СУКЦЕССИИ СРЕДНЕТАЕЖНОГО ЛЕСА: АНАЛИЗ С ПОМОЩЬЮ ИК-ФУРЬЕ СПЕКТРОМЕТРИИ

А.Ф. САБРЕКОВ[1], Ю.В. КУПРИЯНОВА[1], А.А. КОВАЛЬ[1], Д.В. ИЛЬЯСОВ[1], М.В. ГЛАГОЛЕВ[1,2], Е.Д. ЛАПШИНА[1]

[1] Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск (sabrekovaf@gmail.com)
[2] Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва (m_glagolev@mail.ru)

Аннотация. С помощью инфракрасной (ИК)-Фурье спектрометрии изучено разложение подстилки в лесах на различных стадиях послепожарной сукцессии. Показано, что этот процесс протекает по-разному на разных стадиях и не зависит только от состава поступающего опада. Наиболее сильное снижение доли легкоразлагаемых и увеличение доли устойчивых компонентов наблюдались на промежуточных стадиях сукцессии, а не на начальных, как это долженствовало, если бы качество опада было решающим фактором глубины его трансформации.

LITTER TRANSFORMATION ACROSS POST-FIRE SUCCESSION STAGES IN THE BOREAL FOREST ANALYSED BY FOURIER-TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY

A.F. SABREKOV[1], I.V. KUPRIIANOVA[1], A.A. KOVAL[1], D.V. ILYASOV[1], M.V. GLAGOLEV[1,2], E.D. LAPSHINA[1]

[1] Yugra State University, Khanty-Mansiysk (sabrekovaf@gmail.com)
[2] M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow (m_glagolev@mail.ru)

Abstract. We followed the forest litter decomposition at the different stages of post-fire succession using Fourier-transform infrared spectrometry. We found that this process varies at different succession stages and does not depend only on the initial litter quality. Both the strongest decrease in the fraction of labile organic matter and strongest increase in fraction of recalcitrant components was observed at the intermediate stages of succession, but not at the initial stages, as it would the case if the litter chemistry would primarily control litter decomposition.

Разложение органического вещества играет ключевую роль в углеродном цикле экосистем, регулируя поступление углекислого газа в атмосферу, накопление органического вещества в почве и доступность азота для растений [2, 3, 5]. Скорость разложения опада зависит от физических и химических условий, качества опада и активности организмов-деструкторов [1]. Смена видового состава деревьев в процессе послепожарной сукцессии влияет на качество опада и состав микробного сообщества [5]. Хотя скорость разложения опада на разных стадиях восстановительных сукцессий измерена многократно, исследований изменения химической структуры подстилки в ходе разложения сравнительно немного. Мы попытались восполнить этот недостаток с помощью ИК-Фурье спектрометрии, сочетающей простоту реализации с возможностью сравнивать долю тех или иных функциональных групп в составе органического вещества [4]. Цель работы – выявить изменения в химической структуре подстилки в процессе разложения на различных стадиях послепожарной сукцессии в среднетаежном лесу с помощью ИК-Фурье спектрометрии.

Исследование проводилось в типичных лесных экосистемах средней тайги Западной Сибири на территории международной полевой станции «Мухрино». Пробы подстилки отобрали на шести пробных площадях (ПП), представляющих разные стадии послепожарной сукцессии (табл. 1), дважды в течение 2023 г.: в августе (до листопада) и в октябре (после листопада). ПП пронумерованы по порядку от наиболее ранней (ПП1) к наиболее поздней стадии сукцессии (ПП6). Для снятия ИК-спектров прессовали смесь из 2 мг измельченной пробы и 200 мг бромида калия в трех повторностях для каждой ПП. Спектры снимали в режиме пропускания на ИК-Фурье спектрометре IR-8000 (САС, Россия) в диапазоне от 400 до 4000 $см^{-1}$ с разрешением 4 $см^{-1}$. Опад собирали на каждой ПП с помощью пяти опадоуловителей размером 0.25 $м^2$. После сбора опад сушили до воздушно-сухого состояния, разделяли по фракциям и взвешивали.

Таблица 1. Типы растительности на исследованных пробных площадях

№ ПП	Тип леса	Формула древостоя
1	Чернично-зеленомошный осиновый лес	10Ос
2	Мелкотравно-зеленомошный осиновый лес с темнохвойным возобновлением	9Ос1К + Б + П
3	Чернично-мелкотравный осиновый лес с темнохвойным вторым ярусом	6Ос2Е1К1П + Б
4	Смешанный мелкотравно-зеленомошный темнохвойно-осиновый лес	3Ос2К2П2Е1Б
5	Мелкотравно-зеленомошный темнохвойный лес с единичными осинами	3К3Е2П1Ос1Б
6	Кедрово-мелкотравный темнохвойный лес, близкий к климаксному	8К2Б + П

В соответствии со структурой древостоя доля листвы мелколиственных пород (осина, рябина) в опаде снижалась от ПП1 к ПП6, а доля опада темнохвойных пород (хвоя кедра, ели и пихты), наоборот, увеличивалась от ПП1 к ПП6. Анализ методом главных компонент (ГК) показал, что в октябре химический состав органического вещества подстилки определяется в первую очередь составом поступившего опада

(рис. 1а). Доля легкоразлагаемых целлюлозы и углеводов (положительные пики на волновых числах 1000–1100 см$^{-1}$ на обеих ГК, рис. 1в) была максимальной для ПП1 и снижалась на более поздних стадиях сукцессии к ПП6. Доля устойчивых к разложению ароматических соединений (отрицательные пики групп C=C, C=O и COOH в ароматических структурах на 1617 см$^{-1}$ на второй ГК, рис. 1в) и полиэфиров (отрицательные пики алифатических алкильных групп на 2850 и 2918 см$^{-1}$ и карбонильных групп на 1738 см$^{-1}$ на второй ГК), наоборот, росла от ПП1 к ПП5. Если бы разложение опада на разных стадиях сукцессии зависело исключительно от свойств опада, то полученные для подстилки в октябре закономерности сохранились и, вероятно, усилились бы к августу. Однако анализ ИК-спектров подстилки в августе (рис. 1б) показал, что доля целлюлозы и углеводов (положительный пик на 1000–1100 см$^{-1}$ на первой ГК, рис. 1г) была минимальной на ПП3, затем возрастала к ПП2 и ПП4, далее к ПП1 и ПП6 и была максимальной на ПП5. Иными словами, относительные позиции нескольких пробных площадей изменились в августе по сравнению с октябрем. Подстилка на ПП2 и ПП3 потеряла больше всех целлюлозы и углеводов, переместив эти ПП значительно левее всех остальных в августе по первой главной компоненте, хотя доля этих компонентов в них в октябре была выше, чем в других ПП, кроме ПП1. Наоборот, подстилки на ПП5 и ПП6 в октябре содержали меньше легкоразложимых компонентов, чем на остальных ПП, а в августе стали содержать больше всех. Подстилка осинового леса (ПП1), в октябре превосходившая по доле целлюлозы подстилку в темнохвойном зрелом лесу (ПП6), стала близка по этому показателю к ней в августе. Таким образом, интенсивность разложения целлюлозы и углеводов убывала в ряду ПП 3 > 2 > 4 > 1 > 6 > 5.

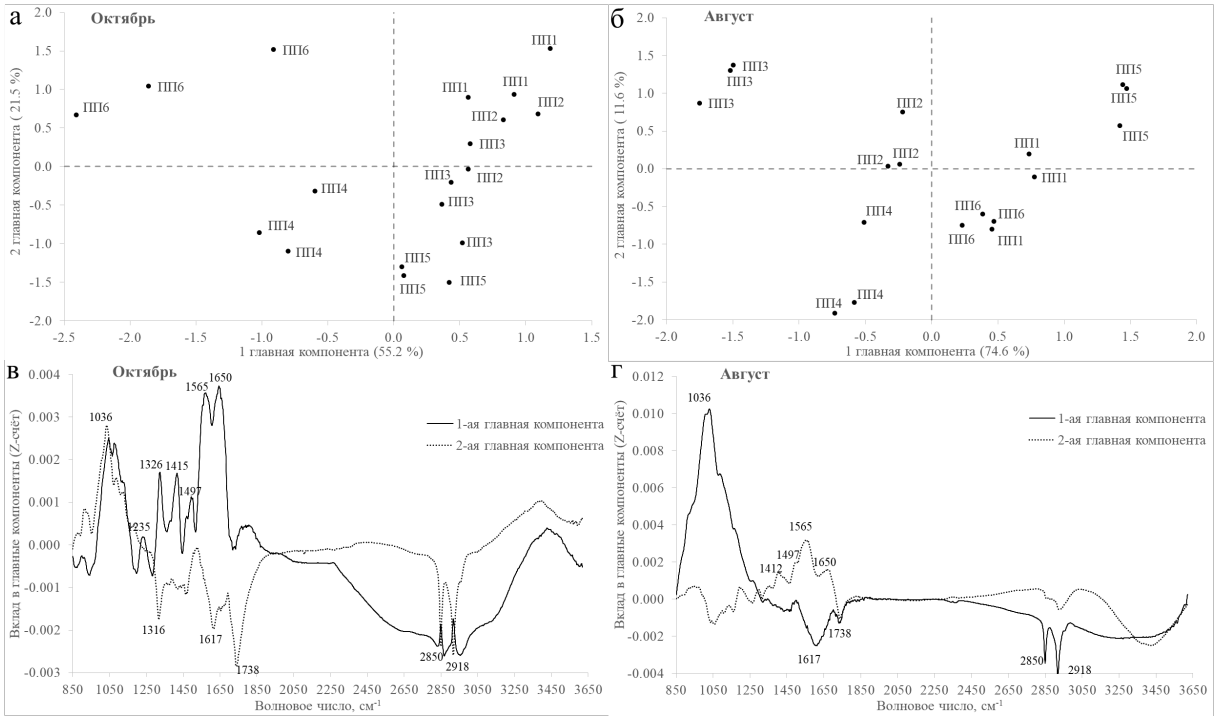


Рис. 1. (а, б) Положение спектральных характеристик в осях главных компонент для подстилок, собранных в октябре (а) и августе (б) на исследованных пробных площадях; (в, г) Вклад поглощения на разных волновых числах в первые две главные компоненты, полученные при анализе подстилок, собранных в октябре (в) и августе (г) на исследованных пробных площадях. Числа в подписях осей на графиках (а, б) показывают долю общей дисперсии спектров, объясненную каждой из главных компонент. На графиках (в, г) даны волновые числа, на которые приходятся экстремумы самых больших пиков, для удобства идентификации соответствующих функциональных групп

ЛИТЕРАТУРА

1. *Березин Г.В., Капица Е.А., Шорохова Е.В.* Современные представления о разложении древесного опада в лесных экосистемах // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Матер. VIII Всеросс. науч.-техн. конф., 24–26 мая 2023 г., Санкт-Петербург. Спб.: СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, 2023. С. 118–120.
2. *Кобак К.И.* Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 248 с.
3. *Семенов В.М., Тулина А.С., Семенова Н.А., Иванникова Л.А.* Гумификационные и негумификационные пути стабилизации органического вещества в почве (обзор) // Почвоведение. 2013. (4). С. 393–407.
4. *Heller C., Ellerbrock R.H., Roßkopf N., Klingenfuß C., Zeitz J.* Soil organic matter characterization of temperate peatland soil with FTIR-spectroscopy: effects of mire type and drainage intensity // Europ. J. of Soil Sci. 2015. 66 (5): 847–858.
5. *Wardle D.A., Bardgett R.D., Klironomos J.N., Setala H., Van Der Putten W.H., Wall D.H.* Ecological linkages between aboveground and belowground biota // Science. 2004. 304 (5677): 1629–1633.

УДК 581.92 (502.4)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛЕСНОЙ ФЛОРЫ ТУНКИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ И ОКРУЖАЮЩИХ ПРЕДГОРИЙ

Д.В. САНДАНОВ[1, 2], А.А. ЗВЕРЕВ[3, 4]

[1] Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ (sdenis1178@mail.ru)
[2] Национальный парк «Тункинский», Кырен
[3] Томский государственный университет, Томск (ibiss@rambler.ru)
[4] Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск

Аннотация. Лесная флора Тункинской котловины и окружающих ее предгорий характеризуется высоким типологическим и видовым разнообразием. Проведен анализ четырех парциальных флор, соответствующих разным поясно-зональным группам лесного комплекса и лесостепи. Выявлены сходства и различия между изученными парциальными флорами. Основные таксономические параметры светлохвойно-лесной группы имеют близкие значения с лесостепными видами.

COMPARATIVE ANALYSIS OF FOREST FLORA OF TUNKA DEPRESSION AND NEIGBORING FOOTHILLS

D.V. SANDANOV[1, 2], A.A. ZVEREV[3, 4]

[1] Institute of General and Experimental Biology of SB RAS, Ulan-Ude (sdenis1178@mail.ru)
[2] Tomkins National Park, Kyren
[3] Tomsk State University, Tomsk (ibiss@rambler.ru)
[4] Central Siberian Botanical Garden of SB RAS, Novosibirsk

Abstract. Forest flora of Tunka depression and its neighboring foothills characterized by high typological and species diversity. Analysis of four partial floras corresponded to belt-zone groups of forests and forest-steppe have been elaborated. Similarities and differences between studied groups have been revealed. Main taxonomic parameters of light-conifer-forest group have similar values with forest-steppe species.

Территория Тункинской котловины и окружающих ее предгорий по геоботаническому районированию отнесена к Окинско-Саянской горно-таежно-гольцовой провинции Южносибирской горной области. На изучаемой территории стыкуются три области: Алтае-Саянская, Восточно-Тувинско-Южнозабайкальская, Прибайкальская. На крайнем северо-востоке характерны леса Бирюсинско-Китойского округа с господством подтаежных сосновых и горно-таежных кедровых лесов. На западе ведущее значение имеют леса, относящиеся к Коа-Хемскому и Окинскому округам. Здесь доминируют горно-таежные, кедрово-лиственничные, лиственничные леса, а также подтаежные лиственничники с участием лесостепных ландшафтов в низкогорьях. Южная и юго-восточная оконечность относятся к Хамар-Дабанскому округу с преобладанием горно-таежных кедровых лесов, иногда с участием пихтовых. Из лесных пород преобладают насаждения сибирского кедра (*Pinus sibirica* Du Tour) и лиственницы *(Larix sibirica* Ledeb.): 25.5 и 52.8% соответственно [1]. Сосновые леса более характерны для Тункинской котловины и приурочены в основном к нижним частям горных склонов южной экспозиции и эоловым песчаным массивам. Лесостепь здесь, по-видимому, имеет вторичный характер и возникла в результате активного антропогенного воздействия на подтаежные леса, что вообще характерно для районов Южной Сибири, расположенных восточнее Канской котловины [5].

В рамках подготовки конспекта флоры национального парка «Тункинский» нами обобщены материалы по видам лесного комплекса изучаемой территории. Приуроченность видов к поясно-зональным и хорологическим группам соответствует принятым в монографии «Особенности и генезис флоры Сибири (Предбайкалье и Забайкалье)» [3], с уточнениями и дополнениями серии «Флора Сибири» [6], флористической базы данных (картотеки) лаборатории флористики и геоботаники ИОЭБ СО РАН. В выборку вошли 67 видов темнохвойно-лесной поясно-зональной группы, 267 – светлохвойно-лесной, 45 – пребореальной. Дополнительно также были проанализированы 118 видов лесостепной поясно-зональной группы. В целом число выявленных видов меньше, чем для всего Саяно-Байкальского района [3], т. к. изучаемая территория не охватывает часть Хамар-Дабана и Восточного Саяна.

Краткий анализ структуры лесного комплекса, проведенный в интегрированной ботанической информационной системе IBIS v.7.2 [2, 9], выявил сходства и различия между таксономическими параметрами и индексами в разных парциальных флорах (табл. 1). Для видов группы характерны низкие показатели доли одновидовых родов и семейств, а также доли однородовых семейств. Это связано с высоким числом и разнообразием видов в данной группе. Коэффициенты ранговых корреляций по Спирмену показывают относительно высокое сходство между видами светлохвойно-лесной, пребореальной и лесостепной групп. Наибольшие различия выявлены между лесостепной и темнохвойно-лесной группами (-0.0456). Виды из семи семейств (*Poaceae, Rosaceae, Ranunculaceae, Cyperaceae, Scrophulariaceae, Violaceae, Brassicaceae*) встречаются в каждой парциальной флоре.

Таблица 1. Таксономическая структура четырех парциальных флор

Параметры/парциальные флоры	Темнохвойно-лесная	Светлохвойно-лесная	Пребореальная	Лесо-степная
Общее число родов	54	146	32	79
Общее число семейств	32	52	25	29
Среднее число видов в роде	1.241	1.829	1.406	1.494
Среднее число видов в семействе	2.094	5.135	1.8	4.069
Среднее число родов в семействе	1.688	2.808	1.28	2.724
Доля одновидовых родов, %	81.48	68.49	78.13	77.22
Доля одновидовых семейств, %	53.13	34.62	60	48.28
Доля однородовых семейств, %	62.5	59.62	80	62.07
Доля видов в 10 ведущих семействах, %	59.7	64.04	66.67	77.97
Семейственно-родовой индекс автономности Л.И. Малышева (Байкальская Сибирь, Тува, Монголия) [4]	-1.617	-0.312	-3.043	-0.719
Родо-видовой индекс автономности Л.И. Малышева (Байкальская Сибирь, Тува, Монголия) [4]	-2.322	-0.235	-3.701	-1.05
Индекс выравненности Пилу [10] по семейственно-видовым спектрам [7, 8]	0.9353	0.8421	0.9312	0.8229

Отрицательные показатели индексов автономности Л.И. Малышева свидетельствуют о том, что в развитии изучаемой лесной флоры преобладали аллохтонные тенденции. При этом темнохвойно-лесная и пребореальная группы характеризуются довольно высокими отрицательными значениями индексов. Полученные результаты отличаются от данных по таксономической структуре флоры лесного комплекса всей Байкальской Сибири [3]. Возможно, это связано с горно-котловинным рельефом изучаемой территории и ее расположением на стыке различных флористических областей. Индекс сложности систематической структуры (индекс выравненности Пилу [9] по семейственно-видовым спектрам) выявляет близкие значения для видов светлохвойно-лесной и лесостепной групп. Это подтверждается близкими значениями количественных параметров: среднее число видов и родов в семействе или в роде, доля одновидовых родов и семейств.

Таким образом, проведенные расчеты выявили особенности лесного комплекса изучаемой территории на уровне различных поясно-зональных групп. Полученные результаты позволяют провести сравнение с другими лесными флорами Южной Сибири и являются основой для понимания самобытности и флорогенеза лесного комплекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Биличенко И.Н.* Тункинский национальный парк: природные условия и проблемы природопользования // Вестник ИрГТУ. 2012. № 7 (66). С. 55–59.
2. *Зверев А.А.* Информационные технологии в исследованиях растительного покрова: Уч. пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.
3. *Малышев Л.И., Пешкова Г.А.* Особенности и генезис флоры Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). Новосибирск: Наука, 1984. 264 с.
4. *Малышев Л.И.* Оценка оригинальности флоры по таксономической структуре // Бот. исслед. Сибири и Казахстана. 2000. Вып. 6. С. 3–10.
5. *Сочава В.Б., Ряшин В.А., Белов В.А.* Главнейшие природные рубежи в южной части Восточной Сибири // Доклады Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. 1963. Вып. 4. С. 19–24.
6. Флора Сибири. Т. 1–14. Новосибирск: Наука, 1987–2003.
7. *Хитун О.В., Зверев А.А.* Апробация редкоиспользуемых показателей для анализа локальных и парциальных флор // Вестник Удмуртского гос. ун-та. Биология. Науки о Земле. 2012. Вып. 3. С. 55–70.
8. *Шмидт В.М.* Математические методы в ботанике: Уч. пособие. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 288 с.
9. *Anenkhonov O.A., Korolyuk A.Yu., Sandanov D.V., Liu H., Zverev A.A., Guo D.* Soil-moisture conditions indicated by field-layer plants help identify vulnerable forests in the forest-steppe of semi-arid Southern Siberia // Ecological Indicators. 2015. V. 57. P. 196–207.
10. *Pielou E.C.* The measurement of diversity in different types of biological collections // Journal of Theoretical Biology. 1966. V. 13. P. 131–144.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены в рамках государственного задания по темам № 121030900138-8 и 2-22-128-1.

УДК 630.44:582.475(571.51)

МИКОБИОТА ПОДРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЕМЕЛЬЯНОВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА

И.Е. САФРОНОВА, Е.А. ШИЛКИНА, А.А. ИБЕ, Т.В. СУХИХ

Филиал ФБУ «Рослесозащита» – «Центр защиты леса Красноярского края», Красноярск
(safronovaie@rcfh.rosleshoz.gov.ru; shilkinaea@rcfh.rosleshoz.gov.ru; ibeaa@rcfh.rosleshoz.gov.ru; suhihtv@rcfh.rosleshoz.gov.ru)

Аннотация. В статье рассматривается фитопатологическое состояние соснового подроста в Устюгском участковом лесничестве Емельяновского лесничества Красноярского края. В результате исследования выявлены различные патогенные микромицеты, вызывающие некрозно-раковые заболевания и болезни филлосферы. Инфекционные агенты были отмечены в различных ассоциациях. Наибольшее распространение (27.3 %) имел язвенный рак, приводящий к значительному ослаблению и патологическому отпаду соснового подроста. Также выявлено малоизученное заболевание хвои, вызываемое несовершенным грибом *Hendersonia pinicola*.

MYCOBIOTA OF SCOTTS PINE UNDERGROWTH OF PRELIMINARY RENEWAL ON THE TERRITORY OF EMELYANOVSKY FORESTRY

I.E. SAFRONOVA, E.A. SHILKINA, A.A. IBE, T.V. SUKHIKH

Branch of the Russian Centre of Forest Health – Centre of Forest Health of Krasnoyarsk region, Krasnoyarsk
(safronovaie@rcfh.rosleshoz.gov.ru; shilkinaea@rcfh.rosleshoz.gov.ru; ibeaa@rcfh.rosleshoz.gov.ru; suhihtv@rcfh.rosleshoz.gov.ru)

Abstract. The article examines the phytopathological condition of Scots pine undergrowth in the Ustyug district forestry of the Emelyanovskoye forestry in the Krasnoyarsk region. The study identified various pathogenic micromycetes causing necrotic-canker and phyllosphere diseases. Infectious agents were found in various associations. The most prevalent disease was canker, with a prevalence of 27.3 %, leading to significant weakening and pathological dieback of the Scots pine undergrowth. Additionally, a little-studied needle disease caused by the imperfect fungus *Hendersonia pinicola* was identified.

Подрост является важным компонентом лесного ценоза, от качества и количества которого зависит успешное естественное лесовозобновление. Нередко он весьма уязвим к воздействию различных неблагоприятных факторов среды, одним из которых служат фитопатогенные организмы, способные при определенных условиях приводить к ослаблению и гибели растений.

С целью оценки фитопатологического состояния соснового подроста предварительного возобновления в 2023 г. специалистами Филиала ФБУ «Рослесозащита» – «Центр защиты леса Красноярского края» было проведено обследование территории Устюгского участкового лесничества Емельяновского лесничества. Для этого в чистых и смешанных сосновых древостоях по непровешенным ходовым линиям была заложена серия безразмерных временных пробных площадей [1]. При этом подбирались участки с подростом сосны с таким расчетом, чтобы на каждом было не менее 200 стволиков изучаемого вида. Всего были заложены 34 пробные площади. Обследование молодых растений проводилось путем сплошного перечета.

Идентификацию возбудителей болезней выполняли в лаборатории лесной фитопатологии отдела защиты леса и государственного лесопатологического мониторинга по общепринятым в микологии и фитопатологии методикам [3], а также методами молекулярно-генетической диагностики [2, 4, 5] в лабораторных условиях отдела оценки состояния лесных ресурсов генетическими методами филиала ФБУ «Рослесозащита» – «ЦЗЛ Красноярского края».

В результате проведенных обследований было выявлено комплексное присутствие патогенных микромицетов, вызывающих как некрозно-раковые заболевания, так и болезни филлосферы соснового подроста. При этом инфекционные агенты были отмечены в различных ассоциациях.

На стволиках молодых растений зафиксирован язвенный (биаторелловый) рак, возбудителем которого является аскомицет *Sarea difformis* (Fr.) Fr. (=*Biatora difformis* (Fr.) Tuck). У пораженного раком подроста затормаживаются ростовые процессы, нередко усыхают вершины, что приводит к развитию многовершинности, часто развивается кривизна стволиков, повышается опасность облома в местах образования раковых язв, особенно при заготовках древесины. Распространенность рака в среднем составила 27.3 %.

Ценангиевым некрозом (возбудитель – аскомицет *Cenangium ferruginosum* Fr. (=*Cenangium abietis* (Pers.) Rehm,)) поражено 7.2 % молодых растений. Мицелий гриба, развиваясь в коре и лубе, приводит к отмиранию побегов и преждевременному опадению хвои.

Среди болезней, поражающих хвою, диагностированы: обыкновенное шютте (*Lophodermium pinastri* (Schrad.) Chevall.), пожелтение хвои (***Cyclaneusma minus*** **(**Butin) DiCosmo, Peredo & Minter (**= *Naemocyclus minor*** Butin**.**)) и дотистромоз (*Dothistroma septospora* (Dorog.) Morelet). При этом наиболее распространенными заболеваниями из указанной группы являются обыкновенное шютте и пожелтение

хвои, их встречаемость составила 14.4 и 11.3 % соответственно. На долю молодых сосен с признаками дотистромоза (красной пятнистости) приходится 7.8 % от всех учтенных растений. Поражение ассимиляционного аппарата замедляет физиологические процессы и рост соснового подроста. А массовый сброс пораженной хвои может оказаться губительным для молодых растений.

Кроме указанных патогенов, на хвое обнаружен микроорганизм, определенный как несовершенный гриб *Hendersonia pinicola* Wehm., который удалось идентифицировать только молекулярно-генетическим методом. Для этого использовали ЦТАБ-метод выделения ДНК из тканей сеянцев [2], ПЦР-анализ с применением готовой смеси ScreenMix-HS (ЗАО «Евроген»), универсальные праймеры ITS1 и ITS4, фланкирующие регион рДНК: ITS1 – 5.8 S рРНК – ITS2 [5], электрофоретическое разделение ампликонов в 2%-м агарозном геле, секвенирование на анализаторе ABI Prism 310 (Applied Biosystems) с использованием набора BidDye Terminator Sequence Kit v. 1.1. Нуклеотидные последовательности анализировали в программе BLAST в открытой базе данных на сайте GenBank NCBI [4].

Распространенность заболевания, вызванного этим микромицетом, составила 6.9 %. Скудная информация в зарубежных источниках и отсутствие каких-либо сведений о *H. pinicola* в отечественной литературе указывают на малоизученность данного гриба. Работы по выяснению его свойств были проведены преимущественно иностранными исследователями, обнаружившими данный микромицет на различных видах сосен в Европе и Северной Америке. Исследователи рассматривают *H. pinicola* как слабого паразита или как эндофита, который при физиологическом стрессе из-за изменения определенных факторов окружающей среды может становиться латентным патогеном, ухудшающим состояние сосны. Данный микромицет существует в ассоциации с другими грибами и является вторичным колонизатором. Поражения хвои, вызванные грибом *Hendersonia pinicola*, характерны для заболевания типа шютте. Отмирание хвои происходит в верхней и средней части, и лишь основание остается зеленым. Признаки проявляются сначала в нижних частях крон, а затем в ее верхних частях. Гриб часто поражает хвою, зараженную грибами родов *Lophodermella* и *Lophodermium*, конкурируя с ними или паразитируя на них [6, 7].

Обращает на себя внимание тот факт, что в чистых борах численность соснового подроста с признаками поражения отмеченными патогенами, за исключением *H. pinicola,* почти в 2 раза превышает количество инфицированного подроста в смешанных древостоях (табл. 1).

Таблица 1. Распространенность инфицированного разными патогенами соснового подроста (%) под пологом древостоя различного видового состава

Состав материнского древостоя	Выявленная микобиота, % распространенности					
	Sarea difformis	*Cenangium ferruginosum*	*Dothistroma septospora*	*Lophodermium pinastri*	*Cyclaneusma minus*	*Hendersonia pinicola*
Чистый	34.6	8.6	10.1	18.1	13.8	7.4
Смешанный	19.0	5.6	5.2	10.2	7.3	6.4

Как было указано выше, выявленные микромицеты были отмечены в разных ассоциациях. Так, наряду с раковыми язвами на стволиках молодых сосен зачастую фиксировались и заболевания филлосферы, и ценангиоз. На хвое отмечалось совместное развитие *L. pinastri* и *D. septospora,* а также *L. pinastri и H. pinicola.*

Полученные данные указывают на то, что среди выявленных заболеваний серьезную угрозу естественному возобновлению коренных сосновых древостоев в Устюгском участковом лесничестве Емельяновского лесничества Красноярского края представляет язвенный рак, приводящий сосновый подрост к ослаблению и патологическому отпаду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней леса / Е.Г. Мозолевская, О.А. Катаев, Э.С. Соколова. М.: Лесная пром-ть, 1984. 152 с.
2. Методы молекулярно-генетического анализа / В.Е. Падутов, О.Ю. Баранов, Е.В. Воропаев. Минск: Юнипол, 2007. 176 с.
3. Методы экспериментальной микологи: справочник / под общ. ред. В.И. Билай. Киев: Наукова думка, 1982. 551 с.
4. The National Center for Biotechnology Information – NCBI, 2024. [Электронный ресурс]. URL: https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/ (дата обращения: 2024).
5. *White T.J., Bruns T., Lee S., Taylor J.* Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics // PCR Protocols: A guide to methods and applications / M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky, T.J. White eds. Academic Press, San Diego, CA, USA, 1990. Pp. 315–322.
6. *Broders K., Munck I., Wyka S., Iriarte G., Beaudoin E.* Characterization of fungal pathogens associated with white pine needle damage (WPND) in Northeastern North America // Forests. 2015. 6 (11): 4088–4104.
7. *Bencheva S., Doychev D.* Winter desiccation of dwarf pine (Pinus mugo Turra) needles in the area of Belmeken Dam // Silva Balcanica. 2002. 23 (1): 79–88.

УДК 632.76: 632.6: 632.4

АССОЦИАЦИИ ДЕНДРОФИЛЬНЫХ НАСЕКОМЫХ, НЕМАТОД И ГРИБОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

А.В. СЕЛИХОВКИН[1], А.Ю. РЫСС[2]

[1] Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Санкт-Петербург (a.selikhovkin@mail.ru)
[2] Зоологический институт Российской академии наук, Санкт-Петербург (nema@zin.ru)

Аннотация. Взаимодействие короедов, нематод и грибов в растении–хозяине строятся прежде всего на трофических и трансмиссивных связях. Эти ассоциации нередко становятся ключевым фактором ослабления и гибели древесных растений в лесных и в парковых экосистемах. Цель исследований – анализ трансмиссии нематод на разных стадиях жизненного цикла короедов и выяснение роли энтомохорных нематод в патогенезе сосны и ели.

ASSOCIATIONS OF DENDROPHYLIC INSECTS, NEMATODES AND FUNGI OF WOODY PLANTS: PROBLEM STATEMENT

Abstract. The interactions of bark beetles, nematodes and fungi in the host plant are based primarily on trophical and transmissible relations. These associations often become a key factor in the weakening and death of woody plants in forest and park ecosystems. The purpose of the research is to analyze the transmission of nematodes at different stages of the life cycle of bark beetles and to elucidate the true role of entomochoric nematodes in the pathogenesis of pine and spruce.

A.V. SELIKHOVKIN[1], A.Y. RYSS[2]

[1] St. Petersburg State Forest Technical University, Saint-Petersburg (a.selikhovkin@mail.ru)
[2] Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Siberian Federal University, Saint-Petersburg, (nema@zin.ru)

Исследование взаимодействия насекомых-дендрофагов с патогенными организмами и, прежде всего, короедов и фитопатогенных грибов, давно привлекает к себе внимание. Наличие симбиотических связей этих группах не вызывает сомнений. При этом трансмиссия короедами фитопатогенных грибов может способствовать развитию эпифитотий и вспышек массового размножения вредителей [8, 21, 18, 19, 28, 26, 13]. Тем не менее, остаётся неясным, способствуют ли фитопатогенные грибы, переносимые на теле короедов и в микангиях, преодолению защитных механизмов заселяемого дерева? Анализ опубликованных данных показал, что в отношении агрессивных видов стволовых вредителей, короеда-типографа *Ips typographus*, короеда-стенографа *I. sexdentatus*, сосновых лубоедов *Tomicus piniperda, T. minor*, и даже вязовых заболонников *Scolytus* spp., этот вопрос не решён [7].

Ещё один компонент комплекса живых организмов, развивающихся в ходах короедов – разнообразные группы нематод и, в том числе, участвующие в процессе патогенеза деревьев [33, 34]. Взаимоотношения в четырёхкомпонентном комплексе – короеды, нематоды, грибы и растение–хозяин, строятся на трофических и трансмиссивных связях. При этом формируются симбиотические взаимоотношения разного типа. Эти ассоциации нередко становятся ключевым фактором ослабления и гибели древесных растений как в лесных, так и в парковых экосистемах [4, 15, 20]. Экономический ущерб может достигать огромных значений [2, 30, 11]. Наиболее известны как возбудители экономически значимых болезней – стволовые нематоды фито-микофаги сем. Aphelenchoididae, преимущественно р. *Bursaphelenchus*, вызывающих энтомохорные мико-нематодозы. Эти нематоды могут питься как клетками тканей ствола, – древесины, луба и камбия, так и фитопатогенными или сапротрофными грибами, внесёнными насекомыми или попавшими в ткани дерева посредством потоков воды, воздуха и из веточного опада. Под надкрыльями и в трахеях жука находятся дауерличинки (трансмиссивная стадия) нематод. Попадая в ткани ствола, они линяют и дают начало пропагативным поколениям, питающихся клетками растения-хозяина и патогенными грибами [12]. Развиваясь в тканях ствола, нематоды способствуют ослаблению и гибели деревьев [4]. Примеры трансмиссивных взаимодействий хорошо известны. В частности в распространении и развитии вилта сосны участвуют жуки-усачи *Monochamus* spp., сосновая стволовая нематода *Bursaphelenchus xylophilus* и фитопатогенные грибы *Ceratocystis* spp. (*Ophiostoma piceae, O. minus*) [35, 17, 36]. Другой пример: переносчики голландской болезни вязов – жуки заболонники *Scolytus* spp., в патогенезе участвуют нематода *Bursaphelenchus ulmophilus* и грибы *Ophiostoma novo-ulmi* Brasier, 1991 [1, 10, 33, 31, 16]. Суховершинность ясеня *Fraxinus excelsior* и *F. angustifolia* вызывает гриб *Hymenoscyphus fraxineus* и нематода *Bursaphelenchus crenati*, а в качестве переносчика последней выступает *Hylesinus crenatus* [14, 32, 34, 25]. Немало публикаций посвящено исследованию ассоциаций короедов и патогенных организмов хвойных деревьев, особенно агрессивных вредителей ели и сосны – короеда-типографа, короеда-стенографа, сосновые лубоедов и некоторых других [3, 29, 27, 9, 22, 23, 24]. Тем не менее, роль трансмиссий патогенных организмов короедами в процессе ослабления и гибели растения хозяина нуждается в детальных исследованиях для каждого вида переносчика [7]. Связи стволовых нематод с грибами и насекомыми весьма лабильны. Переносчик переносит гриб и нематоду одновременно. Один из патогенов может выступать как оппортунист, а другой

– как настоящий патоген, или оба, и нематода и гриб, могут быть только оппортунистами, завершающими гибель дерева-хозяина. Процесс заселения дерева перечисленными выше видами короедов – формирование маточных и начало развития личиночных ходов занимает несколько дней, т.е. весьма короткий период. Если патогены (гриб и/или нематода), переносимые жуками, заражают дерево только в этот момент, то развитие заболевание, спровоцированное этими патогенами, не успеет оказать существенного влияния на состояния дерева-хозяина. Короеды приведут его к гибели за 2-3 недели без участия других патогенных организмов. Следовательно, чтобы патогены, переносимые короедами, могли способствовать гибели дерева-хозяина (ели или сосны), то короеды должны заражать дерево-хозяин до начала заселения ствола, например, во время дополнительного питания.

Цель наших дальнейших исследований – анализ трансмиссии нематод на разных стадиях жизненного цикла короедов. Для этого нами и нашими коллегами собраны жуки на разных стадиях жизненного цикла, т.е. сразу после вылета, из-под коры во время прокладки маточных ходов и молодые жуки и начат анализ видового состава нематод, присутствующие как в жуках, так и в их ходах на сосне и ели. К настоящему моменту получены первые результаты [5, 6].

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-16-00092 «Взаимосвязи насекомых-вредителей и патогенных организмов и ответные реакции древесных растений северо-запада европейской части России: мониторинг и методы контроля плотности популяций вредителей и патогенов».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Калько Г.В.* Голландская болезнь вязов в Санкт-Петербурге. Микология и фитопатология. 2008. Т. 42 (6). С. 564–571.
2. *Кулинич О.А., Тюльдюков П.В., Козырева Н.И.* Фитопаразитические нематоды, имеющие карантинное значение для России и других стран мира // Защита растений. 2003. С. 24–28.
3. *Леднев М.В., Левченко И.А. Казарцев Г.Р.* Грибы, ассоциированные с короедом-типографом (Ips typographus) в Ленинградской области. Микология и фитопатология, 2019, том 53, № 2, с. 80–89.
4. *Полянина К.С.; Мандельштам М.Ю., Рысс А.Ю.* Краткий обзор ассоциаций ксилобионтных нематод с жуками короедами (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae). Энт. обозрение. 2019. Т.98. С. 481–499.
5. *Рысс А.Ю., Мандельштам М.Ю., Полянина К.С., Селиховкин А.В.* Энтомохорные нематоды как потенциальные агенты биоконтроля короедов хвойных лесов: мониторинг трансмиссивных личинок нематод, переносимых *Ips typographus* на северо-западе европейской части России // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XIII Чтения памяти О.А. Катаева) / Материалы Всероссийской конф. Санкт-Петербург, 28.10– 01.11.2024 г. / под ред. А.В. Селиховкина, Ю.Н. Баранчикова, В.И. Пономарёва. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2024 (в печати)
6. *Рысс А.Ю., Селиховкин А.В.* Первая находка *Bursaphelenchus hofmanni* в России // Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XIII Чтения памяти О.А. Катаева) / Материалы Всероссийской конф. Санкт-Петербург, 28.10– 01.11.2024 г. / под ред. А.В. Селиховкина, Ю.Н. Баранчикова, В.И. Пономарёва. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2024 (в печати)
7. *Селиховкин А.В., Шабунин Д.А., Антонь В.В., Мартирова М.Б., Мандельштам М.Ю.* Ассоциации дендрофильных насекомых и грибов – фатальный фактор городских и пригородных насаждений? // Изучение и сохранение природной и антропогенной микобиоты / Материалы международной конф. И-т экологии растений и животных УрО РАН 25-31.08.2024 г., Свердловская обл., Красноуфимск (в печати).
8. *Basset Y., Favaro A., Springate N.D., Battisti A.* Observations on the relative effectiveness of Scolytus multistriatus (Marsham) and Scolytus pygmaeus (Fabricius) (Coleoptera : Scolytidae) as vectors of the Dutch elm disease [In German]. Mitteilungen der Schweizerischen Entomol. Gesellschaft, 1992. 65, 61–67.
9. *Bueno A., Diez J.J., Mercedes M.F.* Ophiostomatoid fungi transported by Ips sexdentatus (Coleoptera; Scolytidae) in Pinus pinaster in NW Spain. Silva Fennica, 2010. 44(3). Pp. 387–397.
10. *Et-Touil A., Rioux D., Mathieu F., Bernier L.* External symptoms and histopathological changes following inoculation of elms putatively resistant to Dutch elm disease with genetically close strains of Ophiostoma. Canadian Journal of Botany 2011, 83, 656-667, doi:10.1139/b05-037.
11. *Ferraz L.C., Brown D.J.* An in introduction to nematodes: Plant nematology/Sofia-Moscow: Pensoft. 2002. P. 269
12. *Futai, K.* Pine Wilt Disease and the Decline of Pine Forests; Cambridge Scholars Publishing ISBN: 978-1-5275-7224-9: 2021.
13. *Gomez D.F., Riggins J.J., Cognato A.I. Bark Beetles* // In: Forest Entomology and Pathology Volume 1: Entomology. Eds. Allison J.D., Paine T.D. Slippers B., Wingfield M.J. 2023. Switzerland: Springer. 810 p. pp. 299-337.
14. *Gu J.; Tomalak M., He J.; Fang Y.* Bursaphelenchus crenati Rühm, 1956 (Tylenchina: Aphelenchoididae), a nematode associated with the Greater ash bark beetle, HylesinuscrenatusFabricius, in dying ash, Fraxinus excelsior L., in Europe. Nematology 2017, 19, 413-426, doi:10.1163/15685411-00003058.
15. *Grucmanova S., Holusa J.* Nematodes associated with bark beetles, with focus on the genus Ips (Coleoptera: Scolytinae) in Central Europe. Acta Zoologica Bulgarica. 2013. №65. Т. 4. pp. 547–556.
16. *Jürisoo L., Selikhovkin A.V., Padari A., Shevchenko S.V., Shcherbakova L.N., Popovichev B.G., DrenkhanR.* The extensive damages of elms by Dutch elm disease agents and their hybrids in north-western Russia. Urban Forestry & Urban Greening, 2021 63 (9128): 127214 DOI:10.1016/j.ufug.2021.12721
17. *Hao X.; Liu X.; Chen J.; Wang B.; Li Y.; Ye Y.; Ma, W.; Ma L.* Effects on community composition and function Pinusmassoniana infected by Bursaphelenchusxylophilus. BMC Microbiology 2022, 22. Pp. 1-10.
18. *Harrington T.C.* Ecology and evolution of mycophagous bark beetles and their fungal partners. 2005. In: Ecological and Evolutionary Advances in Insect-Fungal Associations, F. E. Vega and M. Blackwell, eds. Oxford University Press. 352 p. Pp. 257-291
19. *Hofstetter R.W., Dinkins-Bookwalter J., Davis T.S., Klepzig D.* Symbiotic Association of Bark Beetles. 2015, pp. 209-238.

20. *Kanzaki N., Ekino T., Ide T., Masuya H., Degawa Y.* Three new species of parasitaphelenchids, Parasitaphelenchus frontalis n. sp., P. costati n. sp. and Bursaphelenchus hirsutae n. sp. (Nematoda: Aphelenchoididae), isolated from bark beetles from Japan // Nematology. 2018. № 20. T. 10. pp. 957–1005
21. *Klepzigl K.D., Six D.L.* Bark Beetle-Fungal Symbiosis: Context Dependency in Complex Associations. Symbiosis, 2004. 37. Pp. 189-205
22. *Krokene P.* Conifer defense and resistance to bark beetles. // in Bark beetles: Biology and ecology of native and invasive species, eds F. E. Vega and R. W. Hofstetter (Amsterdam: Elsevier), 2015. Pp. 177–207. doi: 10.1016/B978-0-12-417156-5. 00005-8
23. *Lieutier F., Yart A., Salle A.* Stimulation of defenses by ophiostomatoid fungi can explain attack success of bark beetles on conifers, 2009. Ann. For. Sci. 66, Pp. 1–22. doi: 10.1051/forest/2009066
24. *Lieutier F., Långström B., Faccoli M.* The Genus Tomicus // In: Bark Beetles Biology and Ecology of Native and Invasive Species. Fernando E. Vega F.V., Hofstetter R.W. (eds), 2015. Sustainable Perennial Crops Laboratory, USDA, Beltsville, MD, USA. Pp. 371-426.
25. *Marcais B.; Kosawang C.; Laubray S.; Kjaer E.; Kirisits T.* Ash dieback. In Forest Microbiology, Asiebu, F., Kovalchuk, Eds.; Forest Tree Health, Volume 2. Academic Press: 2022; pp. 215-237.
26. *Mayers C.G., Harrington T.C., Biedermann P.H.W.* Mycangia define the diverse ambrosia beetle-fungus symbioses. In: Schultz TR, Gawne R, Peregrine PN, eds., The Convergent Evolution of Agriculture in Humans and Insects, 2022. The MIT Press, Cambridge, MA, pp. 105–141.DOI: 10.7551/mitpress/13600.003.0013
27. *Masuya H., Kaneko S., Ymaoka Y.* Blue Stain Fungi Associated with *Tomicus piniperda* (Coleoptera: Scolytidae) on Japanese Red Pine. J. For. Res., 1998. V.3 pp. 213-219.
28. *Menkis A., Ostbrant I.L., Davydenko K., Bakys R., Balalaikins M., Vasaitis R.* Scolytus multistriatus associated with Dutch elm disease on the island of Gotland: phenology and communities of vectored fungi. Mycol. Prog. 2016. 15, 1–8. https://doi.org/10.1007/s11557-016-1199-3. DOI: 10.1649/0010-065X-71.3.589
29. *Pain T.D., Raffa K.F., Harrington T.C.* Interaction among Scolytid bark beetles, their associate fungi, and life host conifers. Annu Rev Entomol. 1997. 42. Pp. 179-206. doi: 10.1146/annurev.ento.42.1.179
30. *Ruehle J.L.* Nematodes of forest trees // In: «Economic nematology». L.; N. Y.: Acad, press. 1972. pp. 312–334.
31. *Ryss A.Y, Polyanina K.S.* Diagnostics of the stages of post-embryonic development in Bursaphelenchus ulmophilus (Nematoda: Aphelenchoididae). 2017. Паразитология, 201, 51(6):466-480.
32. *Ryss A.Y., Polyanina K.S.* Characterization of Juvenile Stages of Bursaphelenchus crenati Ruhm, 1956 (Nematoda: Aphelenchoidoidea). Journal of Nematology 2018, 50, 459-472.
33. *Ryss A.; Polyanina K.S.; Popovichev B.G.; Subbotin S.A.* Description of Bursaphelenchus ulmophilus sp. n. (Nematoda: Parasitaphelenchinae) associated with Dutch elm disease of Ulmusglabra Huds. in the Russian North West. Nematology 2015, 17, 685-703.
34. *Ryss A.Y.; Polyanina K.S.; Petrov A.V.; Sazonov A.A.; Mandelshtam M.Y.; Subbotin S.A.* Report of Bursaphelenchus crenati Rühm, 1956 (Nematoda: Parasitaphelenchinae) from Belarus and Russia with a diagnostic key and phylogeny of the Sexdentati group. Forest Pathology 2019, 49, e12534, https://doi.org/10.1111/efp.12534.
35. *Togash, K., Kasuga H., Kasuga S., Matsunaga K., Jikumaru S.* Pathogenicity and boarding ability of hybrid-derived populations between *Bursaphelenchus xylophilus* and *B. mucronatus* (Nematoda: Aphelenchoididae). Nematology 2023, 1- 13, doi:10.1163/15685411-bja10286.
36. *Ye J.-R.; Wu, X.-Q.; Sun, H.* Pine wilt disease. In Forest Microbiology; 2023; pp. 169-181.

УДК 630*8

МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ КОРЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД СИБИРИ

А.В. СЕМЕНОВИЧ, Г.В. ПЕРМЯКОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (semenovich_a@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Основными направлениями исследований лаборатории физико-химической биологии древесных растений ИЛ СО РАН являются поиск новых методов экстракции коры хвойных пород Сибири для извлечения биологически активных соединений и ее химическое модифицирование для получения сорбентов различного назначения.

METHODS OF UTILIZATION OF SIBERIAN CONIFEROUS BARK

A.V. SEMENOVICH, G.V. PERMYAKOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (semenovich_a@ksc.krasn.ru)

Abstract. The key research areas of the laboratory of physico-chemical biology of woody plants of V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS are: search for new extraction methods of bioactive compounds from Siberian coniferous bark and its chemical modification to obtain sorbents for various purposes.

Красноярский край – один из ведущих лесопромышленных регионов России. В результате окорки древесины хвойных пород *Larix sibirica* L., *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* Ledeb. на предприятиях образуются отходы, содержащие до 20 % коры от общей массы, скопление которых может приводить к самовозгоранию, образованию высококонцентрированных фенольных стоков, что ухудшает экологическую обстановку в регионе. Кора – ценное сырье для получения продуктов производственно-технического назначения благодаря разнообразию химического состава, анатомо-морфологическим особенностям, физико-механическим параметрам, размерно-качественным характеристикам [2].

В лаборатории физико-химической биологии древесных растений ИЛ СО РАН начиная с 1970-х гг. и по настоящее время проводятся исследования, посвященные поиску новых способов утилизации коры путем ее переработки. Все образцы коры заготавливаются в одной биогеографической области. Пробоподготовка, экстракция, определение содержания экстрактивных веществ проводятся согласно [1].

Определены для исследований два направления переработки коры: 1) комплексная переработка, основанная на извлечении биологически активных соединений из коры в виде экстрактов, перспективных для дальнейшей переработки и использования твердого остатка после экстракции как поглотителя нефти, углеводородных масел и эмульсии типа «масло в воде»; 2) переработка нестандартного и/или смешанного сырья (коры различных древесных пород) путем его химического модифицирования и применения препарата как сорбента для извлечения катионов металлов, красителей из водных растворов.

В рамках первого направления для экстрагирования коры применены различные растворители. Впервые в 1974 г. сотрудниками лаборатории Н.А. Ярцевой и Г.В. Пермяковой был разработан способ получения пектина из коры экстракцией 1%-м водным раствором щавелевокислого аммония [5].

Разработаны новые эффективные способы экстракции коры бинарными и трехкомпонентными водно-органическими экстрагентами (вода – моноэтаноламин; вода – триэтаноламин; вода – метилцеллозольв; вода – метилцеллозольв – диметилформамид). Способ экстракции горячей водой с добавлением триэтаноламина [4] может быть использован в химико-фармацевтической промышленности.

Предложены способы применения экстрактов. В лабораторных условиях получены и испытаны тонирующие составы для древесины на основе концентрированных экстрактов коры, которые можно применять в мебельном производстве с целью защиты деревянных конструкций от биодеградации (влаги, грибов) при помощи антисептирования или консервирования. Экстракты коры обладают бактериостатической активностью по отношению к патогенным и условно-патогенным микроорганизмам [3] и могут быть использованы для создания антимикробных композиций парфюмерно-косметического, медицинского назначения.

Твердые остатки коры после экстракции – отличные поглотители нефти, нефтепродуктов. Их способность без какой-либо дополнительной обработки поглощать сырую нефть с твердой поверхности достигала 3 г нефти/г возд.-сух. препарата. Гидрофобизация поверхности проэкстрагированной коры увеличивает поглотительную способность препарата по отношению к нефтепродуктам, разлитым на твердой поверхности. Применены различные способы гидрофобизации: собственными смолами коры; парафином, стеариновой кислотой, полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-100. Поглотительная способность гидрофобизированных твердых остатков коры после экстракции – до 5 г углеводородного масла/г возд.-сух. препарата и до 8 г концентрированной эмульсии «м/в»/г возд.-сух. препарата. Нефтепоглотитель, способный находиться на водной поверхности в течение трех суток без погружения на дно емкости, получен гидрофобизацией твердого остатка коры после экстракции смесью вода – метилцеллозольв – диметилформамид кремнийорганическим гидрофобизатором ПМС-100.

Исследование второго направления переработки коры включало ее химическое модифицирование, сущность которого состоит в переводе абсорбционно активных соединений коры в водонерастворимое состояние и/или их иммобилизации, а также экстрагировании неактивных окрашивающих соединений. Применены различные способы модифицирования: варьировали типы сырья (кора лиственницы, сосны, пихты), типы катализатора (кислотные HNO_3, H_2SO_4; щелочной NaOH), их концентрации (от 0.3 до 3 %), продолжительность химического воздействия (15 мин., 2 ч). Сорбционная способность модифицированной коры по отношению к катионам Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cr^{3+}, Pb^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+}, Ca^{2+} варьировала от 0.57 до 46.26 мг катиона/г возд.-сух. препарата по отношению к катионам метиленового голубого от 17.72 до 40.03 мг/г.

Модифицированная кора, насыщенная микро- и макроэлементами питания растений, содержащихся в удобрении «Люкс» в количестве: $N_{общий}$ – 16.0 %; P – 20.6 %; K – 27.1 %; Fe – 0.1 %; B – 0.02 %; Cu – 0.01 %; Mn – 0.1 %; Mo – 0.002 %; Zn – 0.01 % (рис. 1) испытана в лабораторных условиях как компонент субстрата для выращивания тест-растений (*Avena sativa*, *Phaséolus vulgáris*, *Vicia faba* L.).

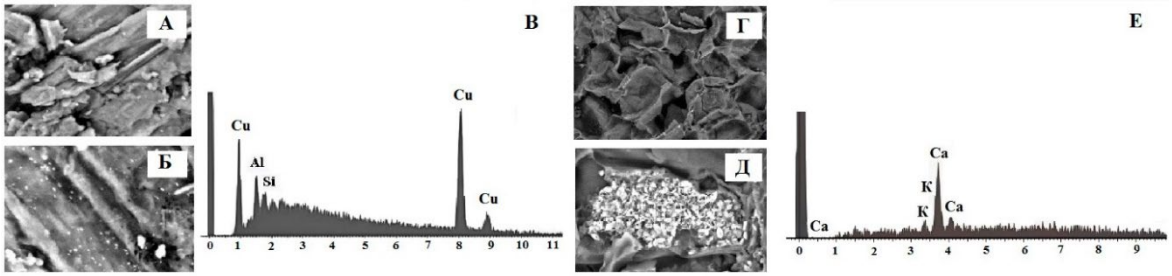


Рис. 1. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) модифицированной коры пихты (МКП) до контактирования с раствором $CuSO_4$ (А) и после (Б) (белые пятна, точки на фото Б – агрегаты металлов: Al – 11.8; Si – 5.1; Cu – 83.1 вес. %); рентгено-флуоресцентный анализ МКП, насыщенной катионами Cu^{2+} (В); СЭМ модифицированной коры сосны (МКС) до контактирования с раствором удобрения (Г) и после (Д) (белые пятна, точки на фото Д – агрегаты металлов: K – 12.1; Ca – 87.9 вес. %); рентгено-флуоресцентный анализ МКС, насыщенной микро- и макроэлементами (Е)

Способы получения субстрата различались: соотношением компонентов почва/препарат коры, катализатором модифицирования коры. Анализ биометрических показателей роста тест-растений, средних индексов токсичности оцениваемых факторов, кинетических параметров роста указывает на то, что наиболее благоприятные условия для роста и развития тест-растений создаются в субстратах с внесением в почву препарата коры в количестве 10 или 25 (мас. %). Сухая биомасса тест-растений, выращенных в этих субстратах, превышает этот показатель для тест-растений, выращенных в почве, в диапазоне от 15.5 до 40.9 % соответственно [6]. Субстрат может найти применение при выращивании овощных культур, для отсыпки приствольных кругов декоративных растений в садово-парковых насаждениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: Уч. пособие для вузов / А.В. Оболенская, З.П. Ельницкая, А.А. Леонович. М.: Экология, 1991. 320 с.
2. Продукты технического назначения из коры хвойных пород / С.Р. Лоскутов, А.В. Семенович, А.А. Анискина и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 114 с.
3. *Сенашова В.А., Пермякова Г.В., Гродницкая И.Д. и др.* Изучение антимикробных свойств экстрактивных веществ хвойных // Сиб. лесной журн. 2019. 3. С. 71–77.
4. Способ извлечения биологически активных соединений из коры хвойных древесных пород: пат. 2678683 РФ. № 2017145249; заявл. 21.12.2017; опубл. 30.01.2019. Бюл. № 4. 6 с.
5. Способ получения пектина из растительного сырья: авторское св-во СССР № 563154; заявл. 08.01.1974; опубл. 30.06.1977. Бюл. № 24. 2 с.
6. Способ получения субстрата для выращивания сельскохозяйственных культур на основе модифицированной коры хвойных древесных пород: пат. № 2775670 РФ,. № 2021130462; заявл. 20.10.2021; опубл. 06.07.2022. Бюл. № 19. 12 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках базового проекта «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (2024–2026 гг.) FWES-2024-0028.

УДК 630*232+631.46

ФОРМИРОВАНИЕ ПОЧВЕННЫХ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ПОД ГЕОГРАФИЧЕСКИМИ КУЛЬТУРАМИ *PINUS* SP. В ЗОНЕ ШИРИНСКОЙ СТЕПИ

В.А. СЕНАШОВА[1], И.Д. ГРОДНИЦКАЯ[1], О.А. СОРОКИНА[2], Г.И. АНТОНОВ[1], О.Э. ПАШКЕЕВА[1]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (vera0612@mail.ru, igrod@ksc.krasn.ru, egoan@yandex.ru, koeandkoe@mail.ru)
[2] ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ(geos0412@mail.ru)

Аннотация. В географических культурах под саженцами сосны идет процесс формирования специфических ризосферных микробиомов, что подтверждается анализом главных компонент. Главными критериями являются показатели микробной биомассы (МБ), базального дыхания (БД), соотношение эколого-трофических групп микроорганизмов и влажность почвы.

SOIL MICROBIAL COMMUNITIES FORMING UNDER PROVENANCE TRIALS OF *PINUS* SP IN SHIRINSKY STEPPE ZONE

V.A. SENASHOVA[1], I.D. GRODNITSKAYA[1], O.A SOROKINA[2], G.I. ANTONOV[1], O.E. PASHKEEVA[1]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (vera0612@mail.ru, igrod@ksc.krasn.ru, egoan@yandex.ru, koeandkoe@mail.ru)
[2] Krasnoyarsk State Agrarian University (geos0412@mail.ru)

Abstract. In provenance trials under the pine seedlings there is a process of formation of specific rhizosphere microbiomes, which is confirmed by the principal component analysis. The main criteria are indicators of microbial biomass (MB), basal respiration, (BR), the ratio of ecological-trophic groups of microorganisms and soil moisture.

Опустынивание и деградация земель для степных экосистем юга Красноярского края, республик Хакасия и Тыва являются одной из ключевых проблем, для решения которой прибегают к работам по обогащению биологических ресурсов, в частности, по созданию на эрозионно-опасных землях лесных насаждений, выполняющих водоохранную и почвозащитную функции.

Географические культуры – это опытные культуры древесных пород, созданные посадкой саженцев или посевом семян разного географического происхождения в однородных условиях среды или одного происхождения в различных географических районах, применяемые в лесной практике для изучения географической изменчивости растений. Взаимодействие наследственных свойств климатипов и условий среды определяет устойчивость и продуктивность лесных культур [2, 5].

Вопрос взаимодействия леса с почвами всегда вызывал интерес у исследователей, позволивший установить, что даже незначительное по продолжительности воздействие лесной растительности на почву приводит к изменению ее свойств, признаков и экологических функций [1, 3]. В процессе развития растения в окружающую среду выделяются продукты вторичного метаболизма – как надземной частью (филлосферой), так и подземной (ризопланой), что приводит к формированию микробного сообщества, характерного для конкретного вида растения при других равных гидротермических факторах.

Целью исследований являлась оценка первичных изменений в почвенном микробном сообществе, вызванных посадками географических культур *Pinus* sp. за период 2017–2023 гг.

Сотрудниками лабораторий генетики и лесной селекции, а также микробиологии и экологической биотехнологии ИЛ СО РАН в мае 2017 г. на территории ОЭП «Ширинский» ФИЦ КНЦ СО РАН (Республика Хакасия) была заложена опытная плантация географических культур *Pinus* sp. Высажены климатипы сосны сибирской *Pinus sibirica* Du Tour (далее в тексте кедр, К) – «Монголия» (КМ – происхождение Р. Монголия, Восточная Азия), «Байкал» (КБ – происхождение оз. Байкал, Иркутская область) и сосны обыкновенной *P. sylvestris* L. (далее сосна, С) – «Усть-кут» (СУ – г. Усть-Кут, Иркутская область), «Богучаны» (СБ – с. Богучаны, Богучанский район, Красноярский край), «Пудож» (СП – г. Пудож, Республика Карелия). Контролем служил целинный (нераспаханный) участок почвы, непосредственно прилегающий к посадкам.

Плантация климатипов заложена на склоне западной экспозиции на участке бывшей пашни. Микрорельеф выражен слабо, чередуются блюдцеобразные микрозападины и потяжины. Саженцы климатипов СУ, КМ, КБ, СБ высажены в блюдцеобразной западине у подножия склона, а саженцы климатипа СП – на верхней части склона. Контрольный участок расположен на выположенной верхней части склона западной экспозиции. Почвы под посадками культур и на контрольном участке являются генетически однородными и относятся к черноземам обыкновенным карбонатным среднегумусовым маломощным легкосуглинистым. По классификации 2004 г. [4], почвы являются агроземами (постагроземами) аккумулятивно-карбонатными темными, которые в основном формируются из черноземов с укороченным гумусовым горизонтом. Общее строение профилей таких почв следующее: AUpa (PA) – BCAdc – Cca. Почвы плантации характеризуются слабощелочной реакцией, достаточно узким

отношением C : N (от 7.6 до 9.7). Содержание минеральных форм азота низкое, подвижного фосфора – среднее, обменного калия – повышенное.

Образцы ризосферной почвы под саженцами отбирали в фенофазы набухания/распускания почек, летней вегетации и осеннего расцвечивания листвы. Непосредственно перед высадкой саженцев в I декаде мая также были отобраны образцы почвы с каждого участка (нулевая точка). В почвенных образцах исследовали соотношение эколого-трофических групп и суммарную (общую) численность микроорганизмов (ОЧМ), а также определяли респирометрические микробиологические показатели (МБ и БД) и ферментативную активность. При обработке результатов исследования применяли программу Microsoft Excel 97 и Past 3.0.

В первый год наблюдений значения pH_{H2O} в почвенных образцах находились в пределах 6.84–7.06 единиц. На седьмой год после высадки саженцев данный показатель сдвинулся в щелочную сторону и колебался в диапазоне 7.27–7.97 единиц.

Проведенные замеры саженцев климатипов показали, что максимальные значения высоты и годового прироста приходятся на вариант СУ: средние размеры составили 58.91 ± 0.019 и 11.61 ± 0.007 см соответственно, при этом отдельные экземпляры достигали 131 см. Следует отметить, что на данном участке не проводятся агротехнические мероприятия, направленные на улучшение состояния саженцев (укосы, поливы, подкормки и т. п.). Саженцы растут в естественных неконтролируемых условиях.

В среднем общая численность микроорганизмов (ОЧМ) в 2023 г. превышала таковой показатель 2017 г. в 1.6, а 2022 г. – в 1.9 раза. В 2023 г. значительно (до 2.4 раза) увеличилось число споровых бактерий, включая актиномицеты, и снизилось количество грибов и неспоровых бактерий. В почве под всеми климатипами отмечена довольно низкая активность гидролитических ферментов на фоне высокой активности оксидоредуктаз. Активность инвертазы под всеми климатипами на протяжении семи лет исследования повышалась, в среднем с 26.89 до 72.51 мг/г почвы, при этом данный контрольный показатель находился в пределах 37.33–79.4 мг/г почвы. Активность уреазы с 2017 г. упала в среднем в 1.7 раза, а фосфатазы, наоборот, повысилась в 3 раза.

В 2018 г. под посадками географических культур обозначились первые признаки изменения нативного почвенного микробоценоза. Несмотря на то, что все климатипы формируют схожие по таксономическому составу микробные сообщества, отмечены тенденции их изменения в сторону формирования специфических для видов хвойных микробиомов, обусловленного особенностями качественного состава экзометаболитов корневой системы. Данный факт подтверждает и метод главных компонент, примененный на основе биологических и физических параметров почвы исследуемых участков и показавший различия между вариантами. На первую компоненту приходилось 99.8 % общей дисперсии, на вторую – 0.8 %. В плоскости пересечения первой и второй компонент выделяется два облака: первое, образованное вариантами почвы СУ, СБ и СП, и второе, образованное вариантами КМ и КБ. В левой полуплоскости от этих двух облаков лежит контроль, чьи отличия обусловлены меньшим содержанием микробной биомассы (МБ) по сравнению с остальными вариантами. Внутри облака № 1 варианты схожи по содержанию МБ, но различаются скоростью базального дыхания (БД) (в варианте СП отмечается тенденция к понижению БД). В вариантах КМ и КБ внутри облака № 2 отмечается противоположная ситуация – схожесть обусловлена в большей степени скоростью базального дыхания, а различия – содержанием МБ и уровнем кислотности почвы.

В 2023 г. в плоскости двух главных компонент также выделяется два облака (№ 1 и 2), различающихся между собой в большей степени по содержанию МБ. Первое облако образовано вариантами КБ и СБ, второе – КМ и СП, различия между вариантами внутри облаков обусловлены разницей в значениях влажности почвы и численностью копиотрофов. Варианты контроль и СУ отличаются от облаков № 1 и № 2 влажностью почвы. При этом вариант СУ близок по содержанию МБ к вариантам, входящим в первое облако, а контроль – к вариантам, входящим во второе облако.

На участках с географическими культурами под саженцами *Pinus* sp. формируются специфические ризосферные микробные сообщества, что обусловлено влиянием не только абиотических факторов, но и корневых выделений растений. Об этом свидетельствуют значения общей численности микроорганизмов, перегруппировка эколого-трофической структуры микробных сообществ, изменение содержания микробной биомассы и энзиматической активности под климатипами *Pinus* sp.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зонн С.В.* Почва как компонент лесного биогеоценоза // Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. С. 372–495.
2. *Ирошников А.И.* Географические культуры хвойных в Южной Сибири // Географические культуры и плантации хвойных в Сибири. Новосибирск: Наука, 1997. С. 4–100.
3. *Карпачевский Л.О.* Роль биоценозов в формировании почв // Роль почвы в лесных биогеоценозах: XII Чтения памяти академика В.Н. Сукачева. М.: Наука, 1995. С. 38–52.
4. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
5. *Проказин Е.П.* Изучение имеющихся и создание новых географических культур / Программа и методика работ. М.: ВНИИЛМ, 1972. 52 с.

УДК 630.1

ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЗОНЕ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ НА СЕЛИТЕБНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ С ПОСАДКАМИ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА БЕРЕСКЛЕТОВЫХ

Л.Г. СЕРАЯ, Г.Е. ЛАРИНА

Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Большие Вяземы, Московская область (lgseraya@gmail.com)

PHYTOPATHOLOGICAL SITUATION IN THE ZONE OF BOREAL FORESTS IN RESIDENTIAL TERRITORIES WITH PLANTING OF PLANTS OF THE ENERGONIA FAMILY

L.G. SERAYA, G.E. LARINA

All-Russian Research Institute of Phytopathology, Bolshie Vyazemy, Moscow region (lgseraya@gmail.com)

В городских и сельских поселениях, расположенных в бореальной зоне, повсеместно отмечают негативные последствия влияния урбанизированной среды и деградацию компонентов лесных экосистем. Основными древесными породами являются холодостойкие вечнозеленые хвойные, такие как сосна, пихта и ель. Бореальные леса отличаются ярусностью и мозаичностью, созданием верхним ярусом лимитирующих рост условий в нижнем ярусе и др. Но селитебные территории представляют собой жилые строения и прилегающие к ним садово-парковые территории, в т. ч. приусадебные участки. Создание искусственных зеленых насаждений связано с цветными акцентами на уровне глаз человека. Декоративные кустарники широко используют для украшения городских аллей и скверов, в парках и садах создают живые изгороди, бордюры (из карликовых сортов), эффектные посадки из одиночных растений и групп. Поэтому в городском ландшафте в зоне бореальных лесов часто высаживают кустарники семейства бересклетовых (*Celastraceae*), украшающие посадки яркой осенней окраской. При выборе растений для озеленения учитывают их размеры и габитус во взрослом состоянии, расстояние между саженцами, сочетаемость разных видов, особенности цветения и плодоношения, возможные негативные факторы [1]. Бересклет отличается большим разнообразием культурных форм – от низкорослых ползучих кустарников до раскидистых деревьев. Побеги нередко украшены причудливыми пробковыми наростами. Бересклет неприхотлив, многие виды обладают хорошей зимостойкостью, а также теневыносливостью – например, бересклет карликовый (*Euonymus nanus*), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosus*), бересклет крылатый (*Euonymus alatus*). Цель работы – фитомониторинг зеленых насаждений на селитебных территориях в зоне бореальных лесов, изучение влияния природных зональных и интразональных антропогенных условий на состояние бересклета в составе зеленых насаждений.

Фитомониторинг включал визуальное обследование древесных растений в период 2020–2023 гг., отбор проб почвы и элементов растений для микологических и агрохимических исследований [2]. Селитебные участки разделили на две группы: (А) городские аллеи в мегаполисе и (Б) живые изгороди в сельских усадьбах. Систематизацию и анализ многолетних данных проводили с помощью программных средств MS Excell и Statistica. Оценили ряд показателей: частоту встречаемости, или ЧВ (степень равномерности размещения видов или плотность в микробоценозе с учетом присутствия прочих видов, т. е. вклад данного вида в структуру микробоценоза, %), биоразнообразие грибов по индексу S (альфа-разнообразие) и мере Уиттекера (бета-разнообразие) [3, 4].

Погодные условия отличались в мегаполисе и пригородах: так, средняя температура воздуха для вегетационного периода (апрель – октябрь) в разные годы наблюдений колебалась: группа А – от 13.1 до 13.9 °С и группа Б – от 13.5 до 14.4 °С. Определены различия и по средней сумме выпадающих осадков в период апрель – октябрь: группа А – от 57 до 75 мм и группа Б – от 25 до 70 мм. Получается, что погодные условия в сельских поселениях были более засушливыми, чем в мегаполисе. Почвенные условия связаны не только с природными факторами, но и с агрохимическими приемами. Так, в группе А определены $pH_{вод}$, равный 6.5–8.1, содержание гумуса – 4.7–19.8 %, NPK – 1–18 / 9–24 / 1–3 мг/кг, кальций/магний – 2–418 / 12–33 мг/кг; в группе Б – $pH_{вод}$, равный 6.4–7.8, содержание гумуса – 7.1–19.2 %, NPK – 2–157 / 7–1039 / 3–139 мг/кг, кальций/магний – 1–242 / 19–85 мг/кг. Данные ЧВ микромицетов в ризосфере бересклета отличались в разные годы наблюдений: для группы А – от 37.1 % до 52.0 %, группы Б – от 35 % до 65 %, по сравнению с почвой из посадочной ямы (зональные природные условия): для группы А – от 32.8 % до 54.1 %, группы Б – от 32 % до 48 %. Определен следующий состав грибного ценоза в живых изгородях из бересклета:

– побеги и листья – *Alternaria, Cladosporium, Epicoccum, Fusarium, Gibberella, Penicillium, Stemphylium, Trichothecium;*
– ризосфера и корни – *Alternaria, Aspergillus, Clonostachys, Fusarium, Humicola, Lecanicillium, Mucor, Paecilomyces, Penicillium, Trichoderma, Verticillium;*
– почва из корневого кома – *Actinomucor, Aspergillus, Clonostachys, Fusarium, Lecanicillium, Mucor, Paecilomyces, Penicillium, Pythium, Rhizoctonia, Rhizopus, Scedosporium, Trichoderma, Verticillium.*

Продемонстрированы различия в структуре микоценоза группы А, где зафиксированы с ЧВ выше 10 % плесневые грибы рода *Actinomucor, Cladosporium, Paecilomyces, Rhizopus, Scedosporium* и фитопатогены – *Pythium, Rhizoctonia, Verticillium*, отсутствующие в группе Б. В образцах сельских селитебных участков выделены с ЧВ выше 20 % почвенные и растительные сапрофиты рода *Epicoccum, Humicola*, не идентифицированные в группе А.

Видовое богатство, или альфа-разнообразие, в группе А колебалось от 18 до 37 микромицетов и в отличие от группы Б составило от 11 до 14 видов в разные годы наблюдений (рис. 1). Разница отмечена и в бета-разнообразии (ценотический уровень) с учетом особенностей выделенных групп и условий окружающей среды (погода, антропогенное воздействие): в группе А оно колебалось от 0.63 до 1.44, группе Б – от 0.51 до 1.14.

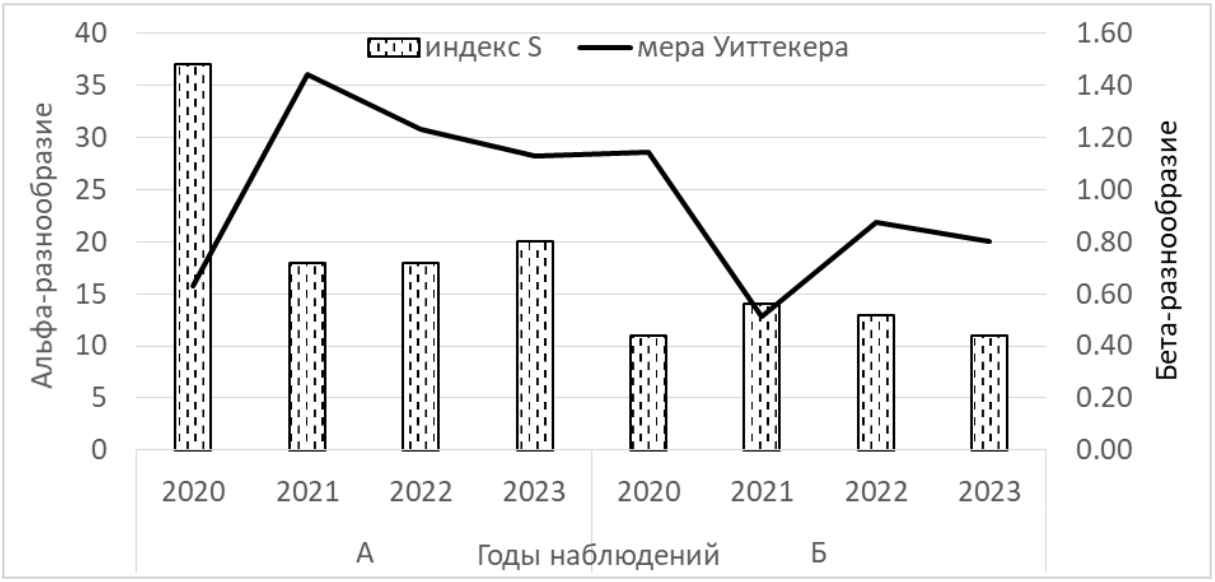


Рис. 1. Биоразнообразие в грибном сообществе на селитебных территориях в посадках растений семейства бересклетовых

Корреляционный анализ показал, что изменения в составе грибного сообщества существенно зависят от температуры воздуха. Но установлены отличия с учетом внешних условий для каждой из рассматриваемых групп селитебных участков. Для городских территорий в зоне бореальных лесов определено высокое влияние посадочного материала на условия места постоянной посадки ($|r| = 0.85–0.91$, $P \geq 0.95$), а для сельских территорий, наоборот, продемонстрировано существенное влияние местных условий ($|r| = 0.83–0.99$, $P \geq 0.95$). Этот вывод подтверждает и влияние почвенных условий места постоянной посадки (содержание фосфора, калия, кальция) на ЧВ микромицетов в почве из корневого кома для сельских селитебных участков ($|r| = 0.82–0.87$, $P \geq 0.95$), в отличие от городских селитебных участков, где отмечено значимое влияние антропогенных факторов, связанных с агротехническими приемами (в составе удобрений – органическое вещество, магний, калий), на ЧВ микромицетов в ризосфере и на корнях ($|r| = 0.91–0.97$, $P \geq 0.95$).

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* (утв. Приказом Минстроя России от 30.12.2016 № 1034/пр).
2. *Larina G.E., Seraya L.G., Ivanova I.O., Poddymkina L.M., Vershinin V.V.* Microbial complex adaptation in soils of different cultivation degrees // IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciencethis. 2020. 579 (1). 012068. DOI: 10.1088/1755-1315/579/1/012068.
3. Биоразнообразие: курс лекций / сост. Б.В. Кабельчук, И.О. Лысенко, А.В. Емельянов, А.А. Гусев. Ставрополь: Агрус, 2013. 156 с. [Электронный ресурс]. URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277475.
4. Биоразнообразие: методические указания к практическим занятиям для студентов направления подготовки 05.03.06 Экология и природопользование / сост. И.А. Луганская. Персиановский: Донской ГАУ, 2019. 34 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках государственного задания 0598-2019-0004.

УДК 620.22

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ АЛТАЯ: ОПТИМИЗАЦИЯ СПОСОБОВ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ

В.М. СИДОРЕНКОВ, Ю.С. АЧИКОЛОВА, О.В. РЯБЦЕВ, Д.О. АСТАПОВ

Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства, Пушкино (lesvn@yandex.ru)

Аннотация. Статья содержит результаты полевых исследований эффективности проведения мероприятий переформирования, обновления насаждений, различных видов выборочных рубок на территории ленточных боров Алтайского края. С учетом результатов исследований для территории ленточных боров Алтайского края разработана система нормативов проведения различных мероприятий ухода за лесами. При обобщении результатов полевых и экспериментальных исследований создана база данных пробных площадей.

RESULTS OF A COMPREHENSIVE STUDY OF ALTAI RIBBON PINE FORESTS: FOREST USE METHODS OPTIMIZATION

V.M. SIDORENKOV, I.S. ACHIKOLOVA, O.V. RYABTSEV, D.O. ASTAPOV

All-Russian Scientific Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization, Pushkino (lesvn@yandex.ru)

Abstract. The article presents the results of the field study efficiency for reformation measures, renewal of plantings, various types of selective cuttings in the territory of Altai ribbon pine forests. A system of standards for various forest tending measures for the territory of Altai ribbon pine forests has been developed. Sampling plots database generalizing field and experimental results has been created.

Территория ленточных боров характеризуется неблагоприятными природными условиями. Особенно тяжелыми для произрастания сосны они сложились в юго-западной части боров, которые прилегают к очень сухим (почти полупустынным) степям. Такие условия смягчаются краткостью вегетационного периода и наличием «ленточных» песчаных отложений по древним ложбинам стока [1]. Основным лимитирующим фактором распространения лесных экосистем являются неустойчивость увлажнения по годам, повышенная вероятность возникновения засухи, особенно в юго-западных районах, наличие ежегодных суховеев. Незначительное количество выпадающих атмосферных осадков способствует развитию засухи, понижению уровня грунтовых вод, снижению роста и продуктивности лесных насаждений, увеличению вероятности лесных пожаров [4].

Нами обследовано более 100 участков ленточных боров Алтая, в том числе проведены оценка запаса вырубленной древесины с целью определения интенсивности рубки, учет подроста и подлеска (рис. 1). Пробные площади закладывались на участках с проведенными более 5 лет назад различными вариантами группово-выборочных рубок, мероприятий обновления и переформирования насаждений, добровольно-выборочных рубок, а также в лесных культурах и модальных насаждениях.

Анализ типологических условий на большинстве участков показал наличие дерново-среднеподзолистых песчаных почв на древнеаллювиальных песках с условиями произрастания, близкими к типологической группе A_2B_2, A_1B_1, A_2 и B_2. Типы леса зависят от глубины залегания грунтовых вод и специфики рельефа участков. При глубоком залегании грунтовых вод (более 10 м) формируются условия, соответствующие сухому бору (сосняки лишайниковые), при небольшом залегании грунтовых вод (2–4 м) формируются травяные типы леса [4, 5].

Результаты обследования насаждений показывают, что значительная часть рубок проведена в средне- и низкополнотных древостоях. При проведении рубок независимо от их вида использовалась схема группового или куртинного удаления из насаждения деревьев верхнего полога. В связи с этим технологическая сеть на большинстве участков неявно выражена и связана с куртинным расположением деревьев верхнего полога и подроста в окнах насаждения. Обследование насаждений с интенсивностью выборочных рубок 30 % и менее показало достаточную эффективность применения этого типа рубки в среднеполнотных насаждениях, где полнота была снижена с 0.6 (0.5) до 0.4 (0.3).

В окнах насаждений и в местах группового удаления деревьев значительно повысилась жизнеспособность подроста сосны, появилось массовое возобновление сосны, особенно в местах минерализации почвы при трелевке древесины. Оценка возобновления сосны на участках, пройденных выборочными рубками низкой интенсивности, показала достаточную обеспеченность подростом. Его количество колеблется от 4 до 29 тыс. шт. на га. Средний прирост подроста в высоту – более 10 см в год. Практически весь подрост имеет высокую жизнеспособность. К факторам, ограничивающим рост подроста, можно отнести наличие корневой губки и нехватку почвенной влаги. Низкий процент (10 % от запаса) интенсивности выборочных рубок переформирования и обновления практически не повлиял на жизнеспособность подроста сосны. Его можно охарактеризовать средней категорией жизнеспособности. Средняя высота подроста на большинстве участков не превышает 1 м, возраст – 12 лет. Расположение

подроста можно охарактеризовать как групповое или куртинное. Подрост, произрастающий в окнах насаждений, характеризуется более высокой (на 1-2 класса) жизнеспособностью.

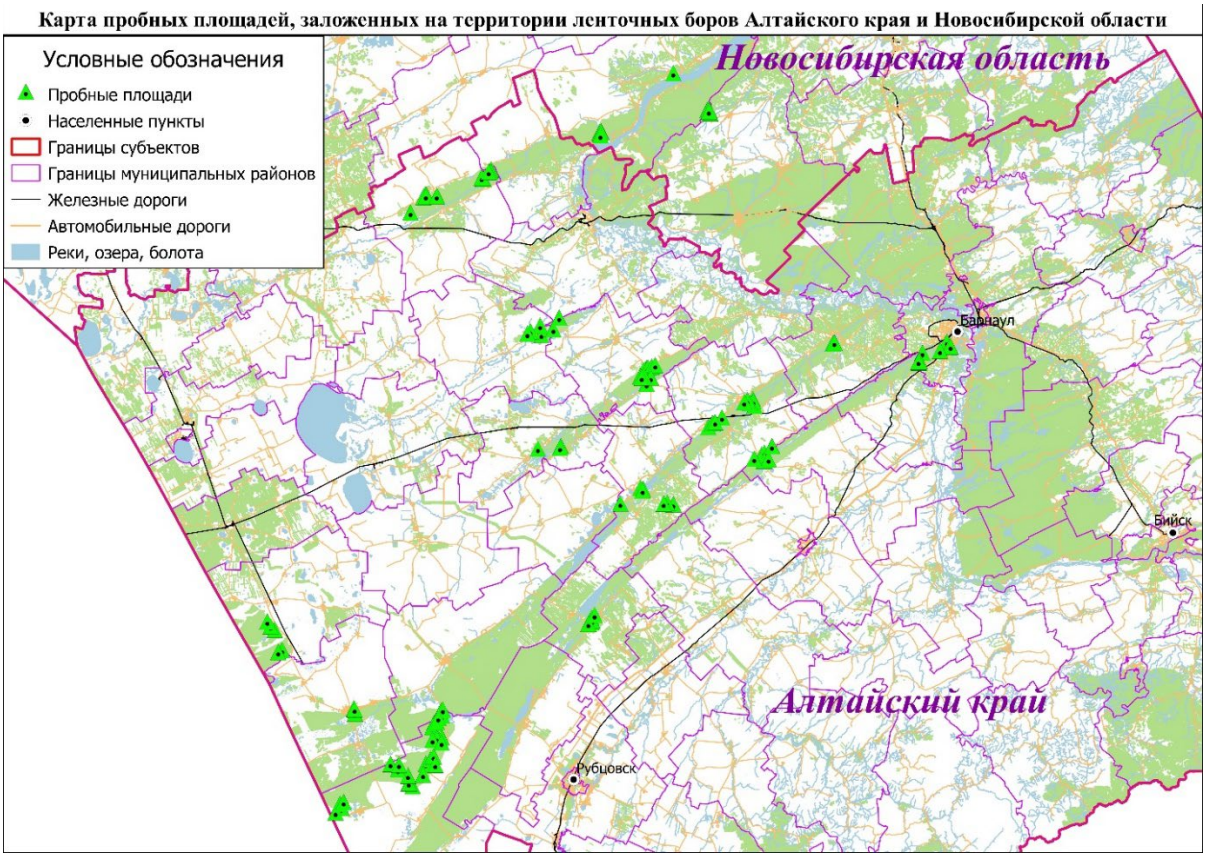


Рис. 1. Схема сети пробных площадей, заложенных на территории ленточных боров

Проведение выборочных, группово-выборочных рубок, мероприятий обновления и переформирования насаждений с высокой интенсивностью по запасу в среднеполнотных насаждениях позволило создать благоприятные условия для появления подроста сосны и его хорошей жизнеспособности [2]. При проведении рубок в ряде насаждений полнота была снижена до 0.3–0.4. Фактически данные варианты рубок по своему характеру приближаются к вариантам сплошных узколесосечных рубок с сохранением подроста. Другим вариантом данных мероприятий можно считать выборочные рубки слабой интенсивности в низкополнотных насаждениях.

Анализ участков, пройденных различными вариантами рубок, показал эффективность первого приема группово-выборочной рубки, а также мероприятий обновления насаждений со снижением полноты верхнего полога до 0.4, в ряде случаев – до 0.3. Теоретически во втором приеме насаждение должно вырубаться полностью. Обследованные насаждения после выборочных рубок (24 участка) характеризуются высокой устойчивостью к ветровалу, после 5 лет появляется жизнеспособный подрост сосны, что дает основание к проведению через 8-10 лет второго приема рубки с полным удалением верхнего полога древостоя. Данная схема вписывается в мероприятия по обновлению насаждений, но не может быть реализована для назначения группово-выборочных рубок, проведение второго приема которых должно осуществляться через один или два класса возраста. Проведение рубок в низкополнотных насаждениях сосны из-за достаточного ее возобновления должно осуществляться в виде одного приема с оставлением семенников. Анализ участков рубок переформирования показал их полную схожесть с рубками обновления и первыми приемами группово-выборочных рубок. Основной целью переформирования насаждений являлось создание из одновозрастных насаждений разновозрастных древостоев. В практическом плане первые приемы рубок переформирования носили характер обновления насаждений. Из-за их недостаточной интенсивности и отсутствия последующих приемов не удалось сформировать разновозрастные насаждения. Применение добровольно-выборочных рубок затруднено из-за особенностей возрастной структуры насаждений. На значительной части обследованных участков насаждения можно охарактеризовать как условно-разновозрастные. Установить разновозрастность деревьев сосны по диаметру и высоте сложно, особенно на участках с микроповышениями и холмистым рельефом. В более благоприятных условиях произрастания в микропонижениях (при наличии большего количества влаги в почве) деревья разного возраста на возвышенности и в понижениях имеют одинаковые диаметры.

Применение добровольно-выборочных рубок в условиях засушливой и сухой степи возможно только на равнинных участках при дифференциации деревьев по возрасту и диаметру [3]. Учитывая значительную обеспеченность большинства поступаемых в рубку участков с подростом сосны и его групповое и куртинное расположение, применение добровольно-выборочных рубок на таких территориях будет иметь низкую лесоводственную эффективность.

Применение группово-выборочных рубок средней и высокой интенсивности по запасу создает благоприятные условия для подроста сосны после 5-8 лет рубки, но отсутствие второго приема приводит к потере его жизнеспособности под оставленными куртинами верхнего полога [2, 3]. В низкополнотных насаждениях сосны, обеспеченных жизнеспособным подростом, предположительно будут эффективны одноприемные рубки обновления.

В районе ленточных боров засушливой степи и умеренно-засушливой колочной степи и лесостепи обследовано 30 участков различных вариантов выборочных рубок. Обследования проведены в Кулундинской, Касмалинской, Барнаульской лентах. Большая часть насаждений, пройденных выборочными рубками, представлена средне- и высокополнотными древостоями. На обследованных участках интенсивность рубок составила от 10 до 50 %, средняя интенсивность рубки на большинстве участков не превышала 25 % по запасу насаждений. По видам рубок преобладали участки, пройденные рубками: группово-выборочными, обновления, переформирования, добровольно-выборочными. Результаты исследования показали, что наличие подроста под пологом насаждения не имеет статистически достоверной зависимости от полноты насаждения. При этом категория жизнеспособности подроста сосны под пологом высоко сомкнутых насаждений ниже на 1-2 класса, чем категория жизнеспособности сосны под пологом низко сомкнутых насаждений. Применение добровольно-выборочных рубок в большей степени отражает черты равномерно-постепенных или группово-выборочных рубок. Низкая интенсивность по запасу в первый прием позволила добиться лесоводственного эффекта по повышению жизнеспособности подроста сосны только на участках средне- и низкополнотных насаждений. После рубки полнота насаждений не превышала 0.4. При низкой полноте выборки в высоко- и среднеполнотных насаждениях лесоводственный эффект по увеличению жизнеспособности и количества подроста сосны был достигнут только в окнах насаждения. Проведение мероприятий обновления и группово-выборочных рубок фактически осуществлялось по сходной схеме с аналогичными рубками, проводимыми в борах засушливой и сухой степи. Основное отличие заключалось в затруднении естественного возобновления сосны в травяных типах леса. Лучшие результаты по жизнеспособности подроста сосны и его росту наблюдаются в насаждениях, где полнота не превышает 0.4. Оптимальным показателем разреживания верхнего полога насаждения можно считать снижение полноты в первый прием в зеленомошных типах леса до 0.4, в травяных и переходных к ним типах леса – до 0.5. При этом большое значение имеет содействие естественному возобновлению сосны в виде минерализации почвы и посева семян, особенно в травяных типах леса.

Исключение из данной группы типов леса представляют насаждения, произрастающие на супесчаных почвах с прослойками или вкраплениями суглинка, неглубоким залеганием грунтовых вод. В таких условиях значительное развитие напочвенного покрова и зарастание акацией желтой создает неблагоприятные условия для возобновления и роста сосны под пологом. По результатам обследования данной группы участков большинство неудач при ведении хозяйства связано с ошибками, скорее всего, в системе мероприятий по лесовосстановлению, нежели в назначении и проведении выборочных рубок. В районе ленточных приобских боров одними из таких участков являются объекты чересполосно-постепенных рубок в травяных типах леса. Результаты обследования насаждений травяных типов леса, произрастающих в условиях B_2C_2, показывают сложность проведения мероприятий лесовосстановления из-за интенсивного развития напочвенного покрова и поросли мягколиственных пород (березы, реже осины). Учитывая ранее проведенный опыт в сходных типах леса, искусственное лесовосстановление должно включать возможность применения в последующем механизированных методов ухода, в том числе с использованием прикатывающих катков (КОК-2) или других вариантов.

Результаты комплексного обследования ленточных боров Алтая позволяют сделать вывод, что разработка системы оптимизации способов лесопользования существенно зависит от типологических условий и естественного потенциала возобновления сосны после проведения различных вариантов рубок.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гаель А.Г.* Ленточные боры Прииртышья: Тр. лаборатории лесоведения. АН СССР. Т. 4. М.: АН СССР, 1962. 223 с.
2. *Георгиевский Н.П.* Рубки ухода за лесом. М.: Гослесбумиздат, 1957. 142 с.
3. *Давыдов А.В.* Рубки ухода за лесом. М.: Лесная пром-ть, 1971. 184 с.
4. Ленточные боры и ведение хозяйства в них / В.И. Желдак, А.А. Маленко, А.А. Мартынюк и др. Пушкино: Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хоз-ва, 2022. 216 с.
5. *Маленко А.А*. Изменение уровня грунтовых вод в ленточных борах и факторы, на него влияющие // Матер. II междунар. конф. «Антропогенное воздействие на лесные экосистемы». Барнаул: Алтайский гос. ун-т, 2002. С. 160–162.

УДК 551.312.2+571.16

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ЗАБОЛОЧЕННЫХ ЛЕСОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ БОЛЬШОГО ВАСЮГАНСКОГО БОЛОТА

А.А. СИНЮТКИНА

Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, Томск (ankalaeva@yandex.ru)

ASSESSMENT OF CARBON STOCK IN SWAMP FOREST PEAT DEPOSITS IN THE ZONE OF GREAT VASYUGAN MIRE INFLUENCE

A.A. SINYUTKINA

Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of RAS, Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Tomsk (ankalaeva@yandex.ru)

Лесные болота и заболоченные леса, время формирования которых сопоставимо по времени с формированием крупных верховых болотных массивов, обладают значительными запасами углерода, однако их детальная оценка затруднительна. Сложность изучения заболоченных лесов, с одной стороны, связана с их труднодоступностью и высокой трудоемкостью при проведении полевых исследований, а с другой – со схожестью спектральных характеристик с суходольными лесами на оптических спутниковых снимках, что делает практически невозможным определение не только мощности торфяной залежи, но и ее наличия с использованием ДДЗ [4]. Одним из путей решения проблемы является использование георадиолокационной съемки, которая является надежным и быстрым методом картографирования грунтов, в том числе и торфяных, что при наличии единичных точечных данных контактных измерений позволяет достаточно точно оценить запасы углерода в торфяной залежи заболоченных лесов.

Цель исследования – разработать методологию и выполнить количественную оценку современных запасов углерода в торфяной залежи заболоченных лесов в зоне влияния Большого Васюганского болота с использованием данных георадиолокации и контактных определений физико-технических характеристик торфа. Объектом исследования является ключевой участок в заболоченном лесу на модельном водосборе р. Ключ (правобережный приток р. Бакчар) на северо-восточном отроге Большого Васюганского болота (Бакчарское болото) в Бакчарском районе Томской области (в районе с. Полынянка, стационар «Васюганский»). Для площадной оценки зоны распространения и мощности торфяной залежи использован метод георадиолокации. Георадиолокационная съемка проведена с использованием георадара ОКО-2 в комплекте с экранированным антенным блоком (частота зондирования – 250 МГц, шаг зондирования – 5 см). Пространственная привязка профилей проведена с использованием датчика перемещения и GPS- навигатора. В процессе съемки установлены метки на радарограмме, соответствующие точкам контактных исследований. Обработка и интерпретация данных георадиолокации проведена с использованием программы GeoScan32 (ООО «Логические системы»). Определение диэлектрической проницаемости и расчет мощности торфяной залежи проведены путем сопоставления глубин расположения границ между выделенными георадарными комплексами во временной шкале с данными контактных измерений на опорных точках [1]. Ландшафтные исследования на опорных точках включали определение уровня болотных вод относительно средней поверхности, определение мощности торфяной залежи, геоботанические описания. Отбор образцов торфа проведен на трех точках полевых исследований с шагом 10 см по всей глубине торфяной залежи в пластиковые контейнеры для исключения нарушения структуры образца торфа. Характеристика точек отбора проб представлена в табл. 1. Лабораторное определение физико-технических свойств торфа проведено в соответствии с ГОСТ 11306-2013 (определение влажности торфа), ГОСТ 11306-2013 (определение зольности торфа), ГОСТ 28245-89 (определение степени разложения и ботанического состава торфа). Плотность определялась по соотношению массы образца к его объему. Объем образца определялся при замораживании исходных образцов ненарушенной структуры.

Для расчета запасов углерода в торфяной залежи использовалась формула, предложенная О.В. Черновой и др. [3] для определения углерода в подстилке, модифицированная для торфяной залежи:

$$C = \frac{100 - \mathrm{A}}{100} * \frac{Kc}{100} * D * L * 10\,,$$

где С – запас углерода, кг/м^2;
А – зольность, %, 100 – А – содержание органического вещества, %;
Кс – содержание углерода в органическом веществе, % [2];
D – насыпная плотность торфа, г/см^3;
L – средняя толщина слоя, см.

Средняя мощность торфяной залежи ключевого участка определялась с использованием методов геоинформационного моделирования (инструмент «интерполяция растра») на основе данных георадиолокацинной съемки и контактного зондирования.

Таблица 1. Характеристика точек полевых исследований

№	Расстояние от границы Бакчарского болота, м	Растительность		Мощность торфа, см	УБВ, см
		Древесный ярус: формула; высота; сомкнутость крон	Видовой состав кустарникового, травяного, мохового ярусов		
1	350	6Б3К1Е + О 15.5 м 60 %	*Ledum palustre, Vaccinium vitis-idaea, V. uliginosum, Ribes nigrum, Rosa acicularis, Calamagrostis langsdorffii, Calla palustris*, *Pleurozium schreberi, Shagnum sp.* и др.	140	-6
2	550	4Б3С3К + Е 18.5 м 40 %	*L. palustre, V. vitis-idaea, Chamaedaphne calyculata, Ribes nigrum, Rubus idaeus*, *C. langsdorffii, Carex sp.* и др.	80	-11
3	650	6Б2К2Е + О 16.0 м 50 %	*V. vitis-idaea, C. neglecta, C. langsdorffii, Comarum palustre, Equisetum sylvaticum, Carex sp.* и др.	20	-30

Мощность торфяной залежи ключевого участка неоднородна, стандартное отклонение, по данным 70 контактных и георадарных измерений, составляет 0.4. Выделяется два изолированных контура с мощностью торфяной залежи более 1 м. Первый контур соответствует окраинной части Бакчарского болотного массива. В непосредственной близости с границей происходит быстрое уменьшение мощности торфяного горизонта от 1.7 в пределах березово-сосново-кустарничково-пушицево-сфагнового верхового болота до 0.3 м на расстоянии 50 м от границы болота в пределах кедрово-сосново-березового болотнотравного заболоченного леса. Второй изолированный контур, соответствующий котловине минерального дна, расположен на расстоянии 150–300 м от Бакчарского болотного массива. Дно котловины неоднородное, имеет несколько понижений, где мощность торфяной залежи достигает своего максимального значения – 1.5 м при среднем значении 1 м и стандартном отклонении 0.2 (по данным 30 измерений) [1].

Торфяная залежь в пределах точек отбора однородна по глубине и сложена древесным торфом с высокой степенью разложения (40–50 %). Средние значения влажности точек составляют 85.7, 84.2 и 83.1 % соответственно. Точки № 1 и № 2 характеризуются схожим распределением значений зольности по глубине. Верхняя часть торфяной залежи до глубины 40–50 см характеризуется высокими значениями зольности (12–13 %), глубже происходит снижение зольности в среднем до 9–10 % в средней части торфяной залежи. В придонном слое отмечено увеличение зольности до 33 % на точке № 1 и до 20 % на точке № 2. Среднее значение зольности на точке № 3 составило 23 %. Среднее значение объемной плотности составляет 0.180 г/см^3 и незначительно отличается как между точками, так и по глубине. Сравнение показателей с использованием теста Манна – Уитни ($p > 0.05$) не выявило достоверных различий в значениях влажности, зольности и плотности органического вещества между точками.

Таким образом, анализ физико-технических показателей и ботанического состава торфяной залежи показал однородность свойств как между точками отбора, так и по глубине в пределах одной скважины. Поэтому количественная оценка запасов органического вещества в торфяной залежи проведена с использованием среднего значения плотности 0.180 г/см^3. По данным георадиолокации и контактного зондирования, средняя мощность торфяной залежи ключевого участка (L) составила 0.7336 м, площадь ключевого участка – 178 882 м^2, среднее содержание углерода от массы органического вещества (Kc) для древесного торфа – 58.5 % [2]. Согласно расчету, запас углерода на ключевом участке оценивается в 11.9 тыс. тонн, или 66.5 кгС/м^2.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Синюткина А.А., Гашкова Л.П.* Оценка состояния окраинных частей Большого Васюганского болота (на примере Бакчарского болотного массива) // Почвы и окружающая среда. 2018. Т. 1. № 4. С. 243–255.
2. *Тюремнов С.Н.* Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 487 с.
3. *Чернова О.В., Голозубов О.М., Алябина И.О., Щепащенко Д.Г.* Комплексный подход к картографической оценке запасов органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2021. 3. С. 273–286.
4. *Amani M., Kakooei M., Ghorbanian A., Warren R., Mahdavi S., Brisco B., Moghimi A., Bourgeau-Chavez L., Toure S., Paudel A.* Forty years of wetland status and trends analyses in the Great lakes using Landsat archive imagery and Google Earth Engine // Remote Sens. 2022. 14. 3778.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено в рамках государственного задания FNUU-2024-0002.

УДК 630*181.28:581.824.1:581.824.2

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ПРИГОРОДНЫХ ЛЕСОВ В ФОРМИРОВАНИИ БЛАГОПОЛУЧНОЙ СРЕДЫ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Л.Н. СКРИПАЛЬЩИКОВА[1], И.А. ГОНЧАРОВА[1], Н.В. АСТРАХАНЦЕВА[1], А.П. БАРЧЕНКОВ[1], А.С. ШУШПАНОВ[1, 2], А.В. БЕЛЯНИН[3], И.В. ФОМИЧЕВ[3]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (lara@ksc.krasn.ru, iagoncharova007@mail.ru, alexbarchenkov@mail.ru, shushpanov.as@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск (shushpanov.as@ksc.krasn.ru)
[3] АО «РУСАЛ Красноярский алюминиевый завод» (Aleksandr.Belyanin@rusal.com, Igor.Fomichev@rusal.com)

Аннотация. Обозначена роль пригородных сосновых лесов при создании благоприятной экологической среды г. Красноярска. Установлено, что в настоящее время в исследуемых сосновых экосистемах наблюдаются покомпонентные процессы адаптации к современному уровню антропогенного воздействия на пригородные леса. Определены возможные сценарии изменения состояния пригородных насаждений Красноярска при снижении и увеличении техногенной нагрузки.

SUBURBAN FORESTS ECOLOGICAL ROLE IN THE FORMATION OF A WELL-BEING ENVIRONMENT IN URBANIZED TERRITORIES

L.N. SKRIPALSHIKOVA[1], I.A. GONCHAROVA[1], N.V. ASTRAKHANTSEVA[1], A.P. BARCHENKOV[1], A.S. SHUSHPANOV[1, 2], A.V. BELYANIN[3], I.V. FOMICHEV[3]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (lara@ksc.krasn.ru, iagoncharova007@mail.ru, alexbarchenkov@mail.ru, shushpanov.as@ksc.krasn.ru)
[2] M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk (shushpanov.as@ksc.krasn.ru)
[3] RUSAL Krasnoyarsk Aluminum Plant (Aleksandr.Belyanin@rusal.com, Igor.Fomichev@rusal.com)

Abstract. The suburban pine forests role in creating a favorable ecological environment in Krasnoyarsk is outlined. It has been established that at present, adaptation component-by-component process to current anthropogenic impact level on suburban pine forests are observed. Possible scenarios for state changes of Krasnoyarsk suburban stands under decreasing and increasing technogenic impact have been identified

Значимость лесов лесостепной зоны как стабилизаторов природной среды региона вообще не поддается измерению, она огромна и многогранна. Красноярская лесостепь характеризуется небольшой лесистостью – 5–12 % [1]. Хвойные насаждения, листовой индекс которых выше, чем у лиственных, играют значительную роль в формировании благополучной экологически чистой среды урбанизированных территорий, расположенных в границах лесостепной зоны.

Отсюда вытекает актуальность применения эффективных методов мониторинга, позволяющих с наибольшей достоверностью диагностировать изменения состояния этого важнейшего ресурса в условиях техногенеза и резко континентального климата. Значительным преимуществом отличаются методы, которые используют биологические индикаторы; в нашем случае это сосна обыкновенная. Мониторинг позволяет определить не только уровень загрязнения пригородных сосновых лесов, но и распространение загрязненных воздушных масс по территории исходя из данных о пространственной динамике накопления поллютантов в биологических объектах. Биологические индикаторы позволяют одновременно оценить и негативный эффект техногенных эмиссий для биоты, в данном случае для компонентов лесных экосистем, а именно выявить степень их ослабления, скорость развития патологического процесса и активность защитных реакций.

Поэтому мониторинг экологического состояния компонентов сосновых насаждений обязателен, а его результаты могут быть использованы при разработке рекомендаций по формированию благополучной экологической среды урбанизированных территорий и, в частности, крупного промышленного города Красноярска.

Исследования экологической изменчивости компонентов сосновых насаждений Красноярской лесостепи, произрастающих под многолетним техногенным воздействием Красноярска, показали, что в настоящее время отмечена стабилизация экологического состояния сосняков в сравнении с фоновыми объектами и результатами исследований, проведенных в сосняках до 2006 г. [2]. На наш взгляд, это вызвано уменьшением промышленных объектов в Красноярске и экологической модернизацией производственных процессов, вводом на промышленных предприятиях новых очистных сооружений. Кроме того, можно предположить, что сосновые биогеоценозы способны к долговременной адаптации к хроническим антропогенным воздействиям, которые не достигают критических значений [2].

Проведенные исследования, анализ многолетних наблюдений за изменениями, происходящими в компонентах пригородных сосновых насаждений, а также компиляция литературных данных позволили определить следующие возможные сценарии состояния пригородных насаждений Красноярска.

Снижение объемов выбросов за счет постоянного технического усовершенствования и модернизации производства промышленности Красноярка будет способствовать дальнейшему улучшению состояния и стабилизации сосновых насаждений как на территории города, так и в лесостепной зоне пригорода. В пригородных лесах важно соблюсти положительный баланс между антропогенной нагрузкой и возможностью полноценного отдыха жителей краевого центра. Отметим, что в лесных насаждениях, в первую очередь в городских лесах и лесопарках, необходимы природоохранные мероприятия и обязательный контроль за рекреационными нагрузками.

В случае увеличения антропогенных нагрузок, вызванных возникновением аварийных техногенных ситуаций, которые могут усугубляться географическими особенностями расположения Красноярска и климатическими аномалиями нашего региона (котловина, частая повторяемость мощных приземных инверсий, штиль, интенсивные речные туманы), произойдет ослабление неустойчивых к техногенным выбросам сосновых насаждений, что неизбежно приведет к снижению их средообразующих и средозащитных функций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Антипова Е.М.* Географические элементы широкоареальных групп видов лесостепных экосистем Средней Сибири // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 5. [Электронный ресурс]. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=4912 (дата обращения: 08.05.2024).

2. *Skripalshchikova L.N., Barchenkov A.P., Goncharova I.A., Ponomaryova T.V., Shushpanov A.S., Tatarintsev A.I.* Contemporary ecological state of pine иbiogeocenoses of the Krasnoyarsk Forest Steppe // Contemporary Problems of Ecology. 2022. V. 15. N. 7. P. 919–927. DOI: 10.1134/S1995425522070204 (Russian text published in Lesovedenie. 2022. N 1. P. 61–71. DOI: 10.31857/S0024114822010090).

УДК 630.181.9

ЗАПАС И СТРУКТУРА КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ В ПРИПОСЕЛКОВЫХ КЕДРОВНИКАХ ЮЖНО-ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Н.А. СМИРНОВ

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск (Niknov918@gmail.com)

Аннотация. Определены запас и структура крупных древесных остатков в припоселковых кедровниках Томского района. По пробным площадям запас валежа варьировал в пределах 25–300 м3/га$^{-1}$, а запасы углерода в нем – от 7 до 78 т/га$^{-1}$. Максимальные запасы КДО свойственны отмирающим и погибшим насаждениям. Обнаружена закономерность в накоплении КДО различных степеней разложения и стадии развития очага.

THE STOCK AND STRUCTURE OF LARGE WOOD DEBRIS IN SIBERIAN STONE PINE FORESTS NEAR SETTLEMENTS OF THE SOUTH TAIGA ZONE OF WESTERN SIBERIA

N.A. SMIRNOV

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems RAS, Tomsk (Niknov918@gmail.com)

Abstract. The stock and structure of large wood debris in the near-settlement stone pine forests of the Tomsk region have been determined. According to the test areas, the stock of deadwood varied in the range of 25–300 m^3/ha^{-1}, and its carbon reserves ranged from 7 to 78 t/ha^{-1}. The maximum reserves of debris are characteristic of dying and dead plantations. A pattern has been found in the accumulation of debris various degrees of decomposition and the stage of development of the foci.

В припоселковых кедровниках южнотаежной зоны Западной Сибири отмечается стремительное усыхание кедра сибирского *Pinus sibirica* Du Tour в результате инвазии нового агрессивного стволового вредителя – *Ips amitinus* Eichh [2]. Ранее главными факторами, влияющими на жизненное состояние чистых кедровников, были вспышки численности аборигенных хвоегрызущих лесных вредителей, очаги фитопатогенов и антропогенная нагрузка [5]. Вспышки размножения аборигенных вредителей, например, сибирского шелкопряда *Dendrolimus sibiricus* Tscetv., несмотря на обширность, довольно ограниченны по времени действия; также для их локализации на практике давно применяется ряд эффективных мер. Площадь очагов массового размножения союзного короеда на протяжении последних 5 лет стремительно увеличивается и уже превышает 2400 км^2 [3]. По мере гибели и вывала погибших деревьев накапливаются крупные древесные остатки (КДО), количественные и качественные характеристики которых имеют одно из ключевых значений в биогенном цикле углерода и азота в этих насаждениях. Цель работы – изучение вклада союзного короеда в накопление КДО в кедровых древостоях.

Учет крупных древесных остатков (ветви, валеж, пни, сухостойные деревья) с определением породной принадлежности и степени их разложения проведен в 2023 г. на 8 постоянных пробных площадях (ППП) на территории Томского района Томской области. Стадия разложения КДО определена согласно классификации Е.В. Шороховой, А.А. Шорохова [8]. Определение общего содержания углерода в КДО проведено на 135 образцах при помощи изотопного масс-спектрометра DELTA V Advantage, совмещенного с элементным анализатором Flash 2000 (Thermo Fisher Scientific, приборная база ТомЦКП СО РАН) методом Анстета в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Николаевой [7].

Здоровые и ослабленные кедровники изучаемого района имеют запас КДО 25–65 м^3/га$^{-1}$, что близко к среднему показателю по лесам России – 32.2 м³/га [6]. Отмирающие и погибшие участки кедровников, поврежденные союзным короедом, имеют запасы КДО, достигающие 300 м^3/га$^{-1}$, что соотносится с очагами сибирского шелкопряда в кедровниках Красноярского края, запасы КДО в которых составляли 200–400 м³/га$^{-1}$ [1].

Процентное содержание углерода (по массе) в живой стволовой древесине сосны кедровой сибирской составляет 50.6 %, в ветвях содержание углерода чуть выше – 53.46 %. При ксилолизе живой древесины до пятой стадии разложения происходит потеря ~39 % запасенного углерода.

Содержание углерода, депонированного в КДО, варьирует от 7 до 78 т/га$^{-1}$. Средние значения запасов КДО и находящегося в нем углерода увеличиваются по мере ухудшения состояния древостоя (рис. 1).

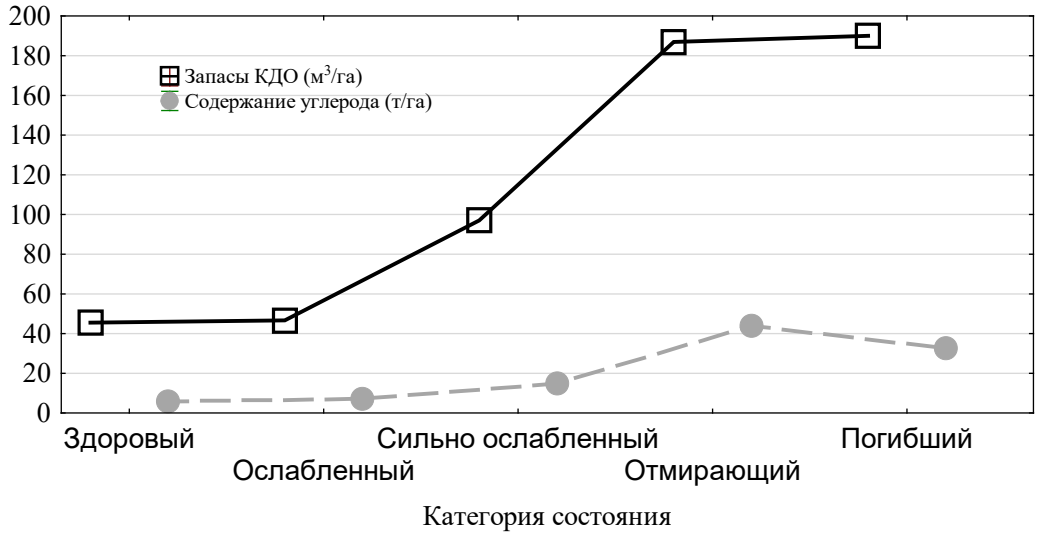


Рис.1 Запас КДО и содержание в них углерода относительно жизненного состояния древостоя

Запас и структура КДО в насаждениях зависят от стадии развития очага. В насаждениях, в которых очаги действовали с 2019 г., детрит составляют остатки 1 и 5 степени разложения, в виде сухостоя и снего- и/или буреломных ветвей соответственно. В миграционных очагах, сформировавшихся позже, запас КДО смещается в преобладание детрита 2-3 степеней разложения, представленного опавшими ветвями и вершинами.

В естественных ненарушенных древостоях главными факторами накопления КДО будут являться возраст, бонитет и доминирующая порода. С появлением агрессивного вредителя доминирующей породы основным критерием, влияющим на запас и структуру КДО, становится фаза развития очага и длительность его существования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа чрезвычайных мер биологического контроля насекомых-вредителей в лесах Красноярского края. Отчет по проекту Всемирного банка Loan 3806-RU / ред. А.С. Исаев. М., 1997. 151 с.
2. *Керчев И.А., Мандельштам М.Ю., Кривец С.А., Илинский Ю.Ю.* Союзный короед *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) (*coleoptera, curculionidae: scolytinae*) – новый чужеродный вид в Западной Сибири // Энтомологическое обозрение. 2019. Т. 98. № 3. С. 592–599.
3. *Керчев И.А., Кривец С.А., Бисирова Э.М., Смирнов Н.А.* Распространение союзного короеда *Ips amitinus* (Eichhoff, 1872) в Западной Сибири // Росс. журн. биол. инвазий. 2021. Т. 14. № 4. С. 77–84. DOI: 10.35885/1996-1499-2021-14-4-77-84.
4. *Кривец С.А., Керчев И.А., Бисирова Э.М. и др.* Вспышка массового размножения и оценка риска распространения союзного короеда в кедровых лесах Томской области // Лесоведение. 2023. № 2. С. 116–131. DOI: 10.31857/S0024114823020031.
5. *Кривец С.А., Бисирова Э.М., Чернова Н.А. и др.* Комплексная характеристика биологического разнообразия кедровых лесов на южном пределе их распространения в Западной Сибири // Вестник Томского гос. ун-та. Биология. 2014. № 2 (26). С. 130–150.
6. *Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г., Нильссон С.* Оценка древесного детрита в лесах России // Лесн. таксац. и лесоустр. 2009. № 1 (41). С. 133–147.
7. *Шеин Е.В., Карпочевский Л.О.* (ред.). Теории и методы физики почв. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
8. *Шорохова Е.В., Шорохов А.А.* Характеристика классов разложения древесного детрита ели, березы и осины в ельниках средней подзоны тайги. Тр. СПбНИИЛХа, 1999. № 1. С. 17–24.

УДК 630*18

УГЛЕРОДОДЕПОНИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ СОСНЯКОВ

Д.С. СОБАЧКИН, Р.С. СОБАЧКИН, А.Е. ПЕТРЕНКО

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (dens@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Исследования проводились в средневозрастных сосновых древостоях разнотравно-зеленомошного типа леса. Установлено, что среднее содержание запаса углерода в них составляет 163 т/га. Повышенная густота древостоев (более 1600 шт./га) оказывает негативное влияние на запас стволовой древесины, содержание углерода и углерододепонирующую способность.

CARBON-DEPOSITING ABILITY OF MEDIUM-AGED PINE FORESTS

D.S. SOBACHKIN, R.S. SOBACHKIN, A.E. PETRENKO

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (dens@ksc.krasn.ru)

Abstract. The research was carried out in medium-aged pine stands of a mixed-grass and green-mossy type of forest. It was found that the average carbon stock content in them is 163 t/ha. The increased density of stands (more than 1600 pcs./ha) has a negative impact on the stock of stem wood, carbon content and carbon-depositing ability.

Наряду с традиционным значением лесов (источник древесины и побочное пользование, оздоровительные, экологические, санитарно-гигиенические, защитные и другие функции) в последние десятилетия становятся актуальными исследования углерододепонирующей способности лесов. Интерес к этой теме обусловлен увеличением выбросов углекислого газа в результате промышленного и аграрного производства, работы автотранспорта, лесных пожаров и т. д. Сосновые древостои имеют высокий продукционный потенциал, обладают большей биомассой по сравнению с другими древесными породами, тем самым аккумулируя больше углерода и соответственно обладая большей углерододепонирующей способностью. Следовательно, изучение средневозрастных сосновых древостоев, их углерододепонирующей способности является актуальной задачей.

Исследования проводились на пяти постоянных пробных площадях (ППП) средневозрастного сосняка разнотравно-зеленомошного типа леса, расположенных в стационаре ИЛ СО РАН «ОЭХ Погорельский бор» Емельяновского района Красноярского края на территории Емельяновского лесничества, Устюгского участкового лесничества. Все древостои представлены чистыми разнотравно-зеленомошными сосняками с незначительной примесью лиственных пород в составе и характеризуются следующими лесоводственно-таксационными показателями: возраст – 53–56 лет, густота – 1096–2848 шт./га, средняя высота – 18.9–23.0 м, средний диаметр – 15.2–23.9 см. Особенностью пятой пробной площади является наличие в составе единичных деревьев сосны спелого класса возраста со средней высотой 26.7 м и средним диаметром 47.9 см. Запас стволовой древесины считали отдельно по каждой породе [3, 4] (табл. 1).

Для расчета запаса углерода в биомассе древостоев использовали формулу (27) [2]

$$〖CP〗_ij=V_ij\times〖KP〗_ij,$$ где:

CPij – запас углерода в биомассе древостоев группы возраста i преобладающей породы j, тонн углерода;
Vij – объемный запас стволовой древесины насаждений группы возраста i преобладающей породы j, м^3/га;
KPij – конверсионный коэффициент для расчета запаса углерода в биомассе древостоев группы возраста i преобладающей породы j, углерод т/м^3.

Значение KPij устанавливалось по табл. 24.4 [2] в зависимости от зоны, породы и возраста (табл. 1).

Таблица 1. Запас углерода в биомассе средневозрастного соснового древостоя разнотравно-зеленомошного типа леса

№ ППП	Древесная порода	Запас стволовой древесины, м^3/га	Конверсионный коэффициент	Запас углерода древостоев, т/га
1	Сосна	544.39	0.327	179.26
	Береза	2.94	0.423	
2	Сосна	531.45	0.327	174.97
	Береза	2.80	0.423	
3	Сосна	442.81	0.327	149.61
	Береза	11.38	0.423	
4	Сосна	456.34	0.327	152.00
	Береза	6.57	0.423	
5	Сосна	414.10	0.327	159.41
	Береза	21.23	0.423	
	Сосна спелая*	48.29	0.311	

Примечание. * Единичные деревья сосны спелого класса возраста.

Запас биомассы и, как следствие, содержание углерода в исследуемых древостоях находится в широком диапазоне от 149.61 до 179.26 т/га с разницей между крайними значениями около 30 т/га. Причина такой вариации, возможно, заключается в неоднородности древостоев по густоте, влияющей на основные лесоводственно-таксационные показатели [1].

Густота исследуемых древостоев варьировала от 1096 до 2848 шт./га, с разницей между максимальным и минимальным значениями в 2.6 раза. Максимальный запас стволовой древесины отмечен на ППП1 с густотой деревьев 1576 шт./га, минимальный – на ППП3 с густотой деревьев 2848 шт./га. Таким образом, древостой, имеющий максимальную густоту деревьев, характеризуется наименьшим запасом стволовой древесины.

Для определения зависимости содержания углерода от густоты древостоев был построен график (рис. 1).

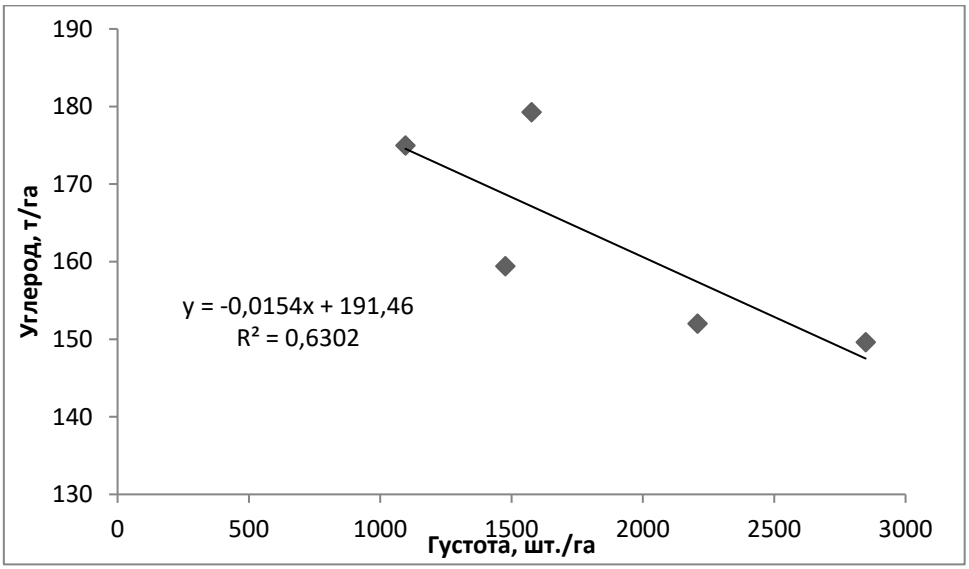


Рис 1. Содержание углерода в зависимости от густоты древостоев

Наибольшим содержанием углерода характеризуются древостои с густотой деревьев от 1000 до 1600 шт./га. С увеличением густоты древостоев содержание углерода снижается. Очевидно, что для повышения текущего прироста и углерододепонирующей способности насаждений следует заблаговременно проводить рубки ухода с таким расчетом, чтобы в средневозрастных сосняках густота деревьев не превышала 1600 шт./га.

Таким образом, средневозрастные сосновые древостои разнотравно-зеленомошного типа леса характеризуются содержанием углерода в среднем 163 т/га. Повышенная густота средневозрастных древостоев (более 1600 шт./га) оказывает негативное влияние на запас стволовой древесины, содержание углерода и углерододепонирующую способность. Регулирование густоты древостоев посредством своевременного проведения рубок ухода, направленных на формирование их структуры, позволит увеличить текущий прирост древостоев и соответственно повысить депонирование углерода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С., Суховольский В.Г.* Густота и продуктивность древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 2002. 152 с.
2. Приказ Минприроды России от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов».
3. Сибирский лесотаксационный справочник. Красноярское кн. изд-во, 1966. 377 с.
4. Сортиментные и товарные таблицы для древостоев Западной и Восточной Сибири. Красноярск, 1991. 146 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 630*25:630*228.12

ЗАПАС УГЛЕРОДА В СОСНОВЫХ МОЛОДНЯКАХ ПОСЛЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РУБОК

Р.С. СОБАЧКИН, Д.С. СОБАЧКИН, А.Е. ПЕТРЕНКО

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (romans@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Исследования проведены в сосновых молодняках на залежных землях Красноярской лесостепи. Экспериментальной рубкой деревьев сформированы насаждения из господствующих, согосподствующих и угнетенных деревьев. За 7-летний период наблюдений в молодняках после проведения рубок отмечено увеличение их биологической производительности и углерододепонирующей функции (более чем в 3 раза).

STOCK OF CARBON IN YOUNG PINE STANDS AFTER EXPERIMENTAL LOGGING

R.S. SOBACHKIN, D.S. SOBACHKIN, A.E. PETRENKO

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (romans@ksc.krasn.ru)

Abstract. The research was carried out in young pine forests on agricultural land in Krasnoyarsk forest-steppe. The forests stands were formed by experimental logging: dominant, co-dominant and oppressed trees. Over the 7-year observation period after logging, the biological productivity and carbon sequestration function of young trees increased (more than 3 times).

Формирование древесных ценозов – длительный процесс, в результате которого происходит взаимодействие всех элементов леса между собой и с комплексом природных и климатических факторов. Древесные растения уже в возрасте всходов испытывают конкуренцию со стороны травянистой растительности. В дальнейшем это перерастает в конкуренцию между деревьями за «жизненное» пространство. Деревья одной породы в одинаковых условиях произрастания могут значительно различаться по скорости биологического роста в одинаковом возрасте. Процесс дифференциации деревьев по росту и развитию наиболее остро наблюдается в молодом возрасте из-за, как правило, чрезмерной загущенности – недостатка площади почвенного питания и освещенности, необходимой каждой особи для успешного роста. В условиях сильного загущения деревьев наблюдается неравномерность прироста по диаметру в пользу увеличенного прироста по высоте с практически неразвитой, несформированной кроной [1]. Вследствие этого у значительного количества деревьев замедляется прирост биомассы (массы углерода). Проведение мероприятий, направленных на повышение производительности древесных ценозов, в частности, рубок ухода, в настоящее время является особенно актуальным, поскольку интенсивная эксплуатация лесов привела к значительному сокращению площадей высокопродуктивных хвойных древостоев. Пройденные рубками древостои в большинстве случаев зарастают малоценными лиственными породами либо хвойными молодняками, которые не выполняют свои экологические и хозяйственные функции. Цель исследования заключалась в установлении закономерностей роста древесных ценозов на залежных землях после экспериментальных рубок.

В сосновых молодняках э/х «Погорельский бор» на залежах заложены три постоянные пробные площади (ПП) (табл. 1). На ПП проведена экспериментальная рубка ручным способом, с равномерным распределением оставшихся деревьев по площади: ПП1 – сохранены деревья лучшего роста (господствующие), ПП2 представлена деревьями средних показателей высоты и диаметра (согосподствующие), ПП3 состоит из отставших в росте деревьев (угнетенных). На каждой ПП проведен сплошной перечет всех деревьев с замером высот у 25–30 учетных деревьев. Масса углерода на каждой ПП определялась как произведение стволового запаса древесины всех деревьев и переводного коэффициента (0.387 для молодняков сосны I и II классов возраста) [2].

До проведения рубок сосновый молодняк (15 лет) представлял собой загущенное насаждение, в котором 70 % всех деревьев имели таксационные показатели ниже размеров среднего дерева и только 30 % деревьев имели средние значения и более. При такой структуре насаждения не происходит «нормального» распределения деревьев, ценоз находится в стрессовом состоянии из-за высокой конкуренции. В результате проведения экспериментальных рубок густота деревьев на всех ПП существенно снизилась, что создало более благоприятные условия для дальнейшего роста и формирования сосновых ценозов.

Через 7 лет после рубки наилучшими таксационными показателями характеризовалась ПП1 (табл. 1). Следует отметить, что деревья на ПП1 в год проведения рубки отличались наилучшими таксационными показателями после удаления из ценоза средних по размеру (согосподствующих) и угнетенных деревьев. Густота деревьев сократилась с 35.6 до 4.3 тыс. шт./га. Древесный полог на ПП1 сомкнулся к третьему году исследований. Средний диаметр деревьев увеличился в 3.6 раза, средняя высота – в 1.9 раза по сравнению с дорубочными показателями. Масса аккумулированного углерода увеличилась в 3.1 раза (или на 37.39 т/га), что свидетельствует об интенсивном депонировании углерода и более полном использовании ресурсов на продуцирование древесной биомассы.

Таблица 1. Динамика таксационных показателей сосновых молодняков на ПП

№ участка	Годы	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Густота, тыс. шт./га	Стволовой запас древесины, $м^3$/га	Площадь поперечных сечений деревьев, $м^2$/га	Относительная полнота	Масса углерода, т/га
	до рубки	2.6 ± 0.1	4.2 ± 0.1	35.6	45.00	18.34	1.40	17.42
ПП1	после рубки	4.8 ± 0.1	4.8 ± 0.1	4.3	28.31	7.69	0.51	10.95
	через 3 года	7.9 ± 0.1	6.5 ± 0.1	4.3	70.72	21.12	1.06	27.37
	через 7 лет	9.4 ± 0.2	8.1 ± 0.1	4.3	141.63	29.85	1.27	54.81
ПП2	после рубки	2.3 ± 0.1	3.4 ± 0.1	6.5	7.92	2.82	0.27	3.06
	через 3 года	4.7 ± 0.1	4.9 ± 0.1	6.1	39.08	10.57	0.67	15.12
	через 7 лет	6.1 ± 0.1	5.7 ± 0.1	6.1	60.06	17.74	1.00	23.24
ПП3	после рубки	0.9 ± 0.1	2.3 ± 0.1	6.2	1.09	0.44	0.07	0.42
	через 3 года	2.6 ± 0.1	3.2 ± 0.1	5.9	9.00	3.24	0.35	3.48
	через 7 лет	4.2 ± 0.1	3.8 ± 0.1	5.9	17.23	8.14	0.69	6.67

После проведения рубки таксационные показатели согосподствующих деревьев на ПП2 увеличились по сравнению с первоначальными значениями, сомкнутость древесного полога зафиксирована на 7-й год наблюдений. В процессе адаптации деревьев после рубки незначительно уменьшилась густота деревьев (табл. 1). Средний диаметр согосподствующих деревьев через 7 лет увеличился в 2.3 раза, высота – в 1.3 раза. Масса депонированного углерода увеличилась в 1.3 раза (или на 5.82 т/га) по сравнению с исходным значением.

Наихудшими таксационными показателями характеризовалась ПП3, даже при увеличении значения среднего диаметра деревьев более чем в 4 раза за исследуемый период. Несмотря на увеличение массы углерода с 0.42 до 6.67 т/га, оно не достигло дорубочного показателя. Однако следует отметить, что древесный ценоз после рубки не погиб, угнетенные деревья смогли адаптироваться к новым условиям. Кроме того, на ПП3 можно отметить большее влияние рубок на увеличение массы углерода (в 15.8 раза) по сравнению с другими ПП.

Таким образом, проведение экспериментальных рубок в чистых сосняках на стадии молодняков (15 лет) показало, что можно существенно повысить их биологическую производительность и значительно увеличить углерододепонирующую функцию (более чем в 3 раза) за короткий промежуток времени. Повышением продуктивности хвойных молодняков, произрастающих на залежных землях, можно компенсировать потери эффективных площадей после рубок главного пользования и пожаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Высоцкий К.К.* Закономерности строения смешанных древостоев. М.: Лесная пром-ть, 1962. 177 с.
2. *Приказ* Минприроды России от 27.05.2022 № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/350962750.

УДК 630.9

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛЕСОУПРАВЛЕНИЯ В РОССИИ

В.А. СОКОЛОВ, О.П. ВТЮРИНА, А.А. ЗЛОБИН, О.Ю. МОСКВИЧ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (sokolovva@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Действующее лесное законодательство убедительно показывает несостоятельность лесоуправления и лесной политики в России. В результате исследований разработаны рекомендации по организации лесного хозяйства с учетом произошедших в лесном комплексе изменений, экономических требований, экологических ограничений и новых знаний в области лесоуправления и лесопользования.

IMPROVING FOREST MANAGEMENT IN RUSSIA

V.A. SOKOLOV, O.P. VTYURINA, A.A. ZLOBIN, O.YU. MOSKVICH

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (sokolovva@ksc.krasn.ru)

Annotation. The current forest legislation in Russia highlights significant shortcomings in forest management and forest policies. As a result of extensive research, forestry management recommendations have been developed that consider recent changes in the forest sector, economic demands, environmental constrains, and the latest insights in forest management and exploitation.

Глобализация мировой экономики, геополитические коллизии современности и климатические факторы оказывают существенное влияние на состояние и функционирование лесов, вызывая необходимость формирования соответствующей лесной политики, обеспечивающей сбалансированность экономических, экологических и социальных интересов. Решение этих проблем невозможно без серьезных знаний о природе лесных экосистем, их динамике и современных представлений о лесах как составной части глобальной природной системы, в которой человек играет все возрастающую роль.

Очевидно, что лесная политика и все соответствующие законодательные и нормативно-правовые акты должны учитывать природу лесов и специфику лесообразовательного процесса, включая естественные и антропогенные сукцессии, динамику растительности. Кроме того, за последние десятилетия в лесах существенно изменилась пирологическая ситуация в связи с изменениями климата и усилением антропогенной нагрузки, нарушилась природная цикличность и приуроченность возгораний, а значит, изменились и пирогенные сукцессии [2]. Появились и продолжают расширяться, с одной стороны, площади техногенно нарушенных лесов, с другой – площади заброшенных сельхозугодий, которые зарастают древесно-кустарниковой растительностью.

В связи с этим первоочередной задачей фундаментальных исследований в лесоведении должен быть анализ и изучение последствий антропогенного воздействия и климатических изменений для лесообразовательного процесса и динамики лесной растительности. Это позволит получить знания о закономерностях формирования насаждений при поливариантном использовании лесных ресурсов и провести корректировку нормативно-правовой базы лесопользования с учетом региональных природных, этнических и культурно-исторических особенностей.

Следует признать, что современное состояние лесоуправления в России многими экспертами оценивается как неудовлетворительное и даже критическое. Это обусловлено как отсутствием внятной лесной политики в целом, так и недооценкой перспективной роли лесного комплекса в системе экономических отношений в стране с учетом ожидаемого воздействия изменений климата.

В последние десятилетия ситуация ухудшилась в связи с реформой лесного хозяйства, передачей лесов в аренду, уменьшением количества работников лесного хозяйства, непосредственно занятых в лесу, бюрократизацией лесного хозяйства. В результате лесопользование приобрело криминогенный, стихийный характер получения краткосрочной прибыли с игнорированием традиций и без соблюдения лесоводственных требований. Частые «новаторские» изменения правил лесопользования искажают классические понятия лесоводства и снижают контроль за лесопользованием, переводя его в область формальной отчетности.

Для исправления сложившейся ситуации распоряжением Правительства Российской Федерации № 312-р от 11.02.2021 была разработана и утверждена Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. (далее Стратегия). Стратегия в основном повторяет ошибки и недостатки разработанных в последние годы различных концепций и стратегий развития лесного сектора РФ и ее субъектов. По своей сути, эти документы направлены на развитие лесопромышленного комплекса (ЛПК), т. е. на древесинопользование.

Необходимость разработки стратегии адаптивного управления бореальными лесами Сибири в условиях глобальных изменений диктуется законом от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» и указом Президента Российской Федерации от 8 ноября 2021 г. № 633 «Об утверждении Основ государственной политики в сфере стратегического планирования в

Российской Федерации». Решение этой задачи невозможно без оценки природных и антропогенных воздействий на лесные экосистемы и динамики лесов за максимально возможный период.

Необходимо понимать, что состоятельность Стратегии как системы управленческих действий и решений определяется обеспеченностью необходимыми материальными, финансовыми и трудовыми ресурсами, иначе этот документ превращается в набор добрых пожеланий. Низкая производительность лесов России (средний прирост не превышает 1.3 м^3/га) практически не учитывалась при разработке Стратегии. Принимающие решения ведомства и официальные лица дезориентированы громадной площадью лесов и завышенной ежегодной расчетной лесосекой (по данным последнего варианта Стратегии, она составляет уже 730 млн м^3). Наши данные показывают, что эколого-экономическая ежегодная расчетная лесосека не превышает 35 % от официально действующей [1].

Объем заготовки древесины предполагается довести до 286 млн м^3 к 2030 г. Это нереально, поскольку, по нашим экспертным расчетам, экономически доступная ежегодная расчетная лесосека не превышает 30–35 % от действующей, или 210–245 млн м^3. К тому же в Стратегии допущена серьезная ошибка при расчетах необходимого объема заготовки древесины с учетом внутреннего потребления и экспорта продукции лесного комплекса. Для внутреннего потребления к 2030 г. необходим объем заготовки от 150 до 200 млн м^3. Для экспорта по базовому варианту требуется заготовка в объеме 240 млн м^3, по стратегическому – 300 млн м^3. Следовательно, с учетом Стратегии в 2030 г. необходима заготовка древесины в объеме от 390 (минимум) до 500 млн м^3 (максимум). **Таким образом, переруб экономически доступной расчетной лесосеки составит двукратную величину, поэтому соответствующий раздел Стратегии следует критически пересмотреть.**

В Стратегии не показано решение проблемы финансирования лесного хозяйства в новых условиях. Оценки леса, исходящие только из учета древесины, наносят объективный вред лесному хозяйству, поскольку занижают ценность многих лесных участков, которые имеют большое экологическое и социальное значение. Да и сама оценка древесины базируется фактически на лесных таксах советских времен (прейскурант 07-01). **Поэтому необходимы разработка и внедрение методик и нормативов эколого-экономической оценки лесных ресурсов, соответствующих реальным социально-экономическим условиям.**

Лесное хозяйство – это отрасль материального производства, в которой, как и в ЛПК, действуют законы рыночной экономики. Исходя из этого и необходимо возрождать лесное хозяйство в России. Основой возрождения будет объективная рыночная эколого-экономическая оценка лесных ресурсов, позволяющая через механизмы лесной ренты перейти от дотационной схемы финансирования лесохозяйственного производства и лесоуправления к системе, обеспечивающей ведение правильного лесного хозяйства и прибыль.

Лесному хозяйству необходимо в полной мере использовать потенциал научных организаций для разработки эффективных способов борьбы с негативными процессами и явлениями в лесах Российской Федерации (борьба с лесными пожарами, защита от вредителей и болезней, новые методы инвентаризации лесов, применение биотехнологий для переработки и утилизации отходов лесозаготовки и т. д.). В этом контексте **следует рассмотреть вопрос о создании опытных лесных хозяйств с приданием им особого статуса, позволяющего апробировать инновационные методы ведения лесного хозяйства с последующим распространением положительного опыта.** Особое внимание следует уделить вопросу специфики организации лесного хозяйства в защитных лесах, включая кедровые. Грамотное ведение хозяйства в этой категории лесов должно быть направлено на поддержание и усиление их защитных функций с недопущением неоправданных потерь лесной продукции, генерируемой защитными лесами.

Для безболезненного перехода России к устойчивому управлению лесами в ближайшей перспективе лесной отрасли Сибири необходимо ориентироваться на более широкое внедрение модели интенсивного использования и воспроизводства лесов, которая предполагает повышение продуктивности лесов и комплексное использование лесных ресурсов. Такой подход невозможен без широкого применения достижений лесной науки, новейших технологий и технических средств.

Длительный период воспроизводства в лесном хозяйстве обусловливает необходимость принятия решений, результаты которых будут проявляться много десятилетий спустя. Система действий должна быть нацелена на адаптацию лесов к прогнозируемым природным и экономическим изменениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка лесов Сибири в условиях глобальных изменений / В.А. Соколов, С.К. Фарбер, Д.Г. Щепащенко и др. СПб.: Наукоемкие технологии, 2023. 326 с.
2. *Фуряев В.В., Ишутин Я.Н., Ключников М.В., Черных В.А.* Лесные пожары в экстремальных погодных условиях Южной Сибири // Лесное хоз-во. 2012. № 1. С. 41–44.

УДК 631.4

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА BIOCARBON, Г. НОВОСИБИРСК

Н.А. СОКОЛОВА[1, 2], Д.А. СОКОЛОВ[1], Н.Н. ЛАЩИНСКИЙ[2, 3]

[1] Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск (nsokolova@issa-siberia.ru, sokolovdenis@issa-siberia.ru)
[2] ИЦКП Новосибирского государственного университета, Новосибирск
[3] Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск (nnl630090@gmail.com)

Аннотация. Исследовано содержание и оценены запасы почвенного органического углерода (ПОУ) и подземной биомассы травянистой растительности и кустарничков в почвах карбонового полигона BioCarbon (г. Новосибирск). Показано, что минимальными запасами ПОУ и подземной фитомассы характеризуются почвы под сосновым лесом, максимальными – почвы под березовыми лесами.

ASSESSMENT OF CARBON POOL IN SOILS OF THE “BIOCARBON” CARBON LANDFILL, NOVOSIBIRSK

N.A. SOKOLOVA[1, 2], D.A. SOKOLOV[1], N.N. LASHCHINSKIY[2,3]

[1] Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk (nsokolova@issa-siberia.ru, sokolovdenis@issa-siberia.ru)
[2] The Carbon Landfill Research Center of Novosibirsk State University, Novosibirsk
[3] Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk (nnl630090@gmail.com)

Abstract. The content and pool of soil organic carbon (SOC) and underground biomass of herbaceous vegetation and shrubs in the soils of the “BioCarbon” carbon landfill (Novosibirsk) were estimated. It is shown that the soils under the pine forest are characterized by the minimal SOC pool and underground phytomass, and the soils under the birch forests are characterized by the maximum pool.

Проблема закрепления углерода в почвах и биомассе растительности в настоящее время достигла глобальных масштабов. Связано это с резким увеличением как температур, способствующих минерализации почвенного органического вещества, так и концентрации климатически активных газов в атмосфере. С другой стороны, повышение температур способствует и продуктивности биомассы растительности в бореальных лесах. Таким образом, прогноз динамики запасов углерода в почвах и биомассе лесов затруднен в связи с возможностью реализации различных климатических сценариев [4]. Целью работы является оценка запасов органического углерода, а также подземной фитомассы в почвах территории Новосибирского карбонового полигона.

Объектами исследования послужили дерново-подзолистые почвы четырех пробных площадей карбонового полигона BioCarbon (г. Новосибирск), сформированные под модельными типами лесов: сосновый спелый лес, березовый спелый лес, осиновый спелый лес, березовый молодой лес. Пробные площадки расположены в лесостепной зоне Западной Сибири в пределах древних надпойменных террас р. Обь. Определение органического вещества в почвах ($C_{орг}$) выполнено по [1]. Изученные почвы отнесены к серогумусовым, по содержанию гумуса – к мало- и среднегумусированным [3]. Запасы углерода в почвах определялись расчетным путем в слоях 0–20 см, 0–50 см и 0–100 см исходя из содержания органического углерода и физических свойств почв (плотности сложения) [2]. На всех постоянных пробных площадях определен запас корневой биомассы на начало августа. На каждом участке были взяты почвенные монолиты 20 × 20 × 20 см послойно до глубины 1 м. Корни растений были отмыты на почвенных ситах и высушены в сушильном шкафу до абсолютно сухого веса.

Общее количество углерода в профиле исследованных почв определяется содержанием специфического органического вещества почв (гумуса) и неспецифического органического вещества (неразложившегося опада, корней и т. д.). Поступление в почву и трансформация органического вещества в профиле почв начинается с поверхности, поэтому наиболее значительная аккумуляция его наблюдается в верхних горизонтах, уменьшаясь с глубиной. Характерной особенностью исследуемых почв является наличие мощных элювиальных горизонтов. Серогумусовые горизонты (AY) имеют небольшую мощность. Проведенные исследования показали, что содержание органического углерода в изученных почвах варьирует в сравнительно небольшом диапазоне значений и не превышает 2.5 %. Максимальные значения отмечаются в серогумусовых (AY) горизонтах, от 1.16 % до 2.15 %. Минимальное количество $C_{орг}$ ожидаемо фиксируется в элювиальных (EL) и текстурно-дифференцированных (BT) горизонтах, где значения опускаются до 0.10 % и не превышают 0.28 %.

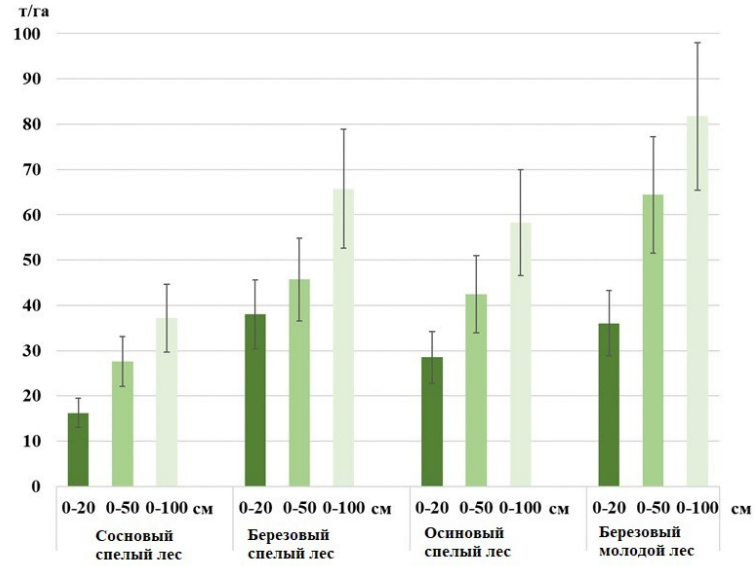


Рис.1. Запасы почвенного органического углерода в почвах карбонового полигона.

Наибольшими запасами углерода по всем глубинам характеризуется почва под зрелым березовым лесом (рис. 1). Немногим более низкие значения запасов углерода фиксируются в профиле почвы, сформированной под осиновым лесом. Связано это, с одной стороны, с особенностями гидротермических условий осинника, сказывающихся на особенностях трансформации органического вещества, с другой – со спецификой поступающих в почву растительных остатков. Почвы под спелым сосновым лесом характеризуются наименьшими запасами углерода. Запасы углерода в почвах карбонового полигона для слоя 0–100 см находятся в пределах 34.4–81.7 т/га и тем самым соответствуют значениям, характерным для естественных дерново-подзолистых почв Западной Сибири [2].

Легкий гранулометрический состав почвообразующих отложений исследованных почв, малое количество физической глины препятствуют накоплению гумусовых веществ в верхних горизонтах, в связи с чем в составе органосодержащих компонентов в почвах преобладают корни травянистых растений и кустарничков.

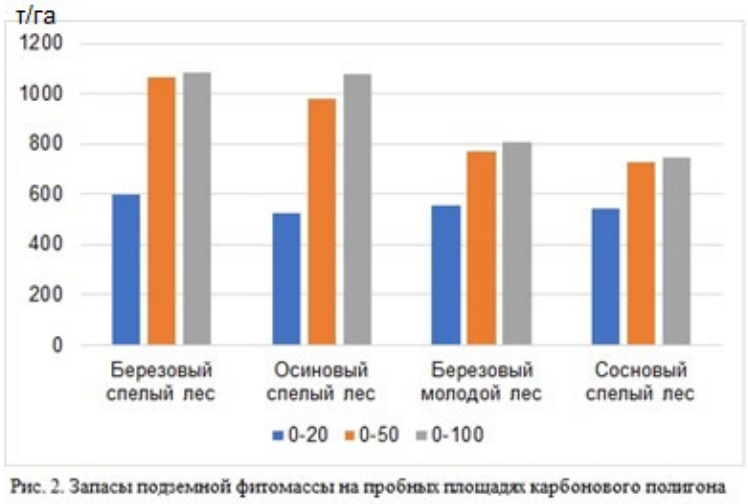


Рис. 2. Запасы подземной фитомассы на пробных площадях карбонового полигона

Распределение корней показало, что основная часть корневой массы концентрируется в слое 0–40 см (рис. 2). Глубже величина корневой массы резко уменьшается. Спелый березовый и осиновый леса характеризуются сходными показателями, тогда как в сосновом лесу запасы подземной фитомассы минимальны.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. 8 с.
2. *Кленов Б.М.* Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. 176 с.
3. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: ФГНУ Росинформагротех, 2003. 240 с.
4. Оценка средствами имитационного моделирования влияния внешних факторов на динамику органического углерода в лесах разных типов / В.Н. Шанин, С.С. Быховец, О.Г. Чертов, А.С. Комаров // Лесоведение. 2018. 5. С. 335–346.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в соответствии с государственным заданием ИЦКП НГУ и по договору о НИР № 1162-2022 от 01.12.2022.

УДК 630*1

КЛЮЧЕВЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ РИСКИ УЯЗВИМОСТИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

А.О. СОРОКА[1, 2], И.С. НЕДБАЕВ[1, 3], Е.И. СЕМЁНОВА[1, 2]

[1] Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Санкт-Петербург (a.soroka@spb-niilh.ru)
[2] Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург (e.semenova@spb-niilh.ru)
[3] Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Санкт-Петербург (i.nedbaev@spbu.ru)

Аннотация. В статье приведена оценка климатических рисков, характерных для лесов Красноярского края. Риски оценивались на основе ретроспективных и прогнозных данных по методике, разработанной Санкт-Петербургским научно-исследовательским институтом лесного хозяйства. По результатам оценки даны рекомендации о реализации мероприятий по адаптации к изменению климата.

KEY CLIMATE RISKS TO THE VULNERABILITY OF FOREST ECOSYSTEMS IN THE KRASNOYARSK REGION

A.O. SOROKA[1, 2], I.S. NEDBAEV[1, 3], E.I. SEMENOVA[1, 2]

[1] St. Petersburg Forestry Research Institute, St. Petersburg (a.soroka@spb-niilh.ru)
[2] St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, St. Petersburg (e.semenova@spb-niilh.ru)
[3] St. Petersburg State University, Institute of Earth Science, St. Petersburg (i.nedbaev@spbu.ru)

Abstract. The article provides an assessment of climatic risks characteristic of the forests of Krasnoyarsk region. The risks were assessed on the basis of retrospective and forecast data according to the methodology developed by the St. Petersburg Research Institute of Forestry. Based on the results of the assessment, recommendations on the implementation of measures to adapt to climate change were given.

Бореальные леса в настоящее время находятся в центре внимания ряда научных школ в связи с их высокой социальной значимостью и подверженностью негативным изменениям [1]. В частности, неблагоприятным фактором могут являться риски, вызванные климатическими изменениями [5]. Поэтому оценка уязвимости лесов к подобным рискам является актуальной задачей. В настоящем исследовании были оценены риски, вызванные климатическими изменениями, по степени опасности для лесов Красноярского края.

Методической основой оценки выступил алгоритм оценки уровня опасности климатических рисков для лесного хозяйства на региональном уровне, разработанный ФБУ «СПбНИИЛХ». Алгоритм включает ретроспективную и прогнозную оценки уровня опасности климатических рисков. Ранее основы данного подхода были изложены при описании методики оценки уязвимости лесов [4]. Материалами являлись статистические данные, включающие формы 2-ГЛР, 5-ГЛР, 7-ОИП, 10-ОИП, научно-прикладной справочник «Климат России» [3] и региональная климатическая модель Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова [2]. Был рассчитан уровень опасности для пяти рисков, вызванных климатическими изменениями.

Опасный уровень, согласно ретроспективным данным, характерен для следующих рисков: изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков, изменения в видовом (породном) составе лесов, увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами. По прогнозной оценке для этих рисков ожидается умеренный минимальный уровень опасности климатических рисков. То есть, вероятно, несмотря на негативные проявления рисков в настоящее время, их интенсивность будет снижаться. Рекомендуется продолжать реализацию адаптационных мероприятий (без снижения объемов мероприятий).

Для рисков увеличения частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах и увеличения частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах определен умеренный (минимальный) уровень опасности согласно ретроспективным данным. Однако по прогнозным оценкам этим рискам соответствует весьма опасный уровень, что может свидетельствовать об ожидаемой негативной динамике. Рекомендуется по отношению к указанным рискам реализовать адаптационные мероприятия в полном объеме, а также пересмотреть объемы адаптационных мероприятий в сторону увеличения (особенно адаптационные мероприятия по созданию лесной инфраструктуры).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бореальные леса и изменение климата – от воздействия до адаптации. Аналитическая записка. ЕЭК ООН, 2023. 22 с.

2. *Катцов В.М., Школьник И.М., Ефимов С.В., Константинов А.В., Павлова В.Н., Павлова Т.В., Хлебникова Е.И., Пикалева А.А., Байдин А.В., Борисенко В.А.* Развитие технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России и построение на ее основе сценарных прогнозов изменения климатических воздействий на секторы экономики. Ч. 1: Постановка задачи и численные эксперименты // Тр. Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2016. 583. С. 7–29.
3. Научно-прикладной справочник «Климат России». ВНИИГМИ-МЦД. 2024. [Электронный ресурс]. URL: http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/ (дата обращения: 23.05.2024).
4. *Недбаев И.С., Семенова Е.И., Сорока А.О.* Оценка уязвимости лесов к климатическим изменениям // Охрана, инновационное восстановление и устойчивое управление лесами. Forestry-2023: Матер. Междунар. лесного форума. Воронежский гос. лесотехнический ун-т им. Г.Ф. Морозова, 2023. С. 98–114.
5. *Торжков И.О., Королева Т.С., Константинов А.В., Кушнир Е.А.* Анализ комплекса адаптационных мер к ожидаемым изменениям климата в лесном секторе Российской Федерации // Тр. Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. 2017. 4. С. 64–77.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено в рамках государственного задания ФБУ «СПбНИИЛХ» по теме «Разработка системы планирования, реализации и оценки эффективности мер государственной климатической политики в лесном секторе Российской Федерации».

УДК 581.8

МОРФОЛОГО-АНАТОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХВОИ ПОБЕГОВ РАЗНОЙ СЕКСУАЛИЗАЦИИ У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

В.В. СТАСОВА, Н.В. АСТРАХАНЦЕВА, Л.Н. СКРИПАЛЬЩИКОВА, А.П. БАРЧЕНКОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (vistasova@mail.ru, astr_nat@mail.ru, lara@ksc.krasn.ru, alexbarchenkov@mail.ru)

Аннотация. Хвоя на побегах, несущих женские шишки, длиннее, шире и толще хвои с мужских побегов, соответственно площади поперечного сечения хвои, мезофилла, центрального цилиндра и проводящих пучков такой хвои больше. Пропорции тканей при этом не изменяются: площадь мезофилла составляет 40–45 % от площади поперечного среза, площадь центрального цилиндра – 30–35 %. В проводящих пучках соотношение площади ксилемы к флоэме – около 0.9.

MORPHOLOGICAL AND ANATOMICAL CHARACTERISTICS OF SCOTS PINE NEEDLES ON SHOOTS OF DIFFERENT GENDER

V.V. STASOVA, N.V. ASTRAKHANTSEVA, L.N. SKRIPALSHCHIKOVA, A.P. BARCHENKOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (vistasova@mail.ru, astr_nat@mail.ru, lara@ksc.krasn.ru, alexbarchenkov@mail.ru)

Abstract. The needles on the shoots with female cones are longer, wider and thicker than the needles on the shoots with male ones, respectively the cross-section area of the needles, mesophyll, central cylinder and conductive bundles of such needles are larger. The proportions of the tissues do not change: the area of the mesophyll is 40–45 % of the needle cross-section area, the area of the central cylinder is 30–35 %. In the conductive bundles, the ratio of the areas of the xylem to phloem is about 0.9.

При изучении репродуктивных процессов у сосны обыкновенной было показано [1], что ветви, несущие пыльниковые (мужские) соцветия, и ветви, несущие женские шишки, различаются по морфологическим, анатомическим и физиологическим признакам. Мужские стробилы замещают собой листья, поэтому после их опадения большая часть побега остается голой и хвоя располагается пучком на верхушке побега. Женские побеги охвоены по всей длине. Толщина мужских побегов меньше, чем толщина женских. Хвоя мужских побегов более короткая и тонкая, а также более легкая по сравнению с хвоей побегов с шишками. Л.Ф. Правдиным были показаны и анатомические особенности побегов с пыльниками и шишками: в хвое женских побегов смоляных ходов больше.

Физиологические потребности побегов для образования мужских и женских соцветий различны: развитие и созревание шишек и семян требуют существенно большего количества ассимилятов, чем формирование пыльников. Поэтому была поставлена задача более подробного исследования анатомических характеристик хвои побегов разной сексуализации: мужских и женских, а также побегов, охвоенных по всей длине, но без шишек (вегетативных).

Образцы взяты в середине августа 2022 г. с деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в дендрарии Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Было выбрано три модельных дерева, средних по таксационным характеристикам и внешне здоровых. Ветки с хвоей собирали из нижней части кроны по ее периметру, разбирали по годам жизни и по типу шишек на них (мужские, женские или без шишек – вегетативные побеги). Для каждого модельного дерева определяли вес мужских, женских и вегетативных побегов первого и второго года жизни без хвои и вес хвои на них, длину этих побегов, среднюю длину их хвои (измеряли по 20 пар хвоинок, выбранных случайным образом), вес 100 хвоинок. Хвоинки после измерения длины фиксировали 50%-м этанолом для исследования анатомических показателей. Поперечные срезы из средней части хвоинок фотографировали с помощью светового микроскопа с цифровым окуляром DCM-900. Полученные изображения анализировали в программе PhotoMaster. Измеряли ширину и толщину хвоинок, площади поперечного сечения среза, мезофилла, центрального цилиндра, проводящих пучков в целом и отдельно ксилемы и флоэмы в них, а также количество смоляных ходов и суммарную площадь поперечных сечений полостей смоляных ходов. Результаты измерений обрабатывали статистически в программе MS Excel, для каждого показателя рассчитывали средние арифметические значения и ошибки средних.

Показано, что хвоя женских побегов существенно крупнее хвои вегетативных и мужских побегов, особенно резкие различия – по длине хвои. Женская хвоя может быть длиннее на 10–25 %, различия по ширине и толщине могут составлять до 12 %. Соответственно площадь поперечного сечения хвои в середине ее длины также будет максимальна у женской хвои. Мезофилл – фотосинтезирующая ткань – располагается между эпидермисом и проводящим цилиндром и образован, как правило, тремя слоями клеток. Количество мезофилла в хвое женских побегов на 10–20 % превышает его количество в хвое мужских. Вегетативные побеги близки по этому показателю к мужским. Центральный проводящий цилиндр, отделенный от мезофилла эндодермой с поясками Каспари, у хвои сосны содержит запасающие,

механические (склеренхимный тяж) и проводящие ткани (два проводящих пучка). Площадь поперечного сечения центрального цилиндра у женской хвои максимальна, минимальна у мужской. У вегетативной хвои центральный цилиндр незначительно больше в сечении, чем у мужской. Размеры проводящих пучков в центральном цилиндре часто неодинаковы, но в норме различия невелики. Площади поперечного сечения пучков наибольшие у женской хвои и наименьшие – у мужской.

Подсчет и измерение смоляных ходов в хвое побегов разной сексуализации подтвердили результаты, полученные ранее [1]: в женской хвое количество и суммарная площадь поперечного сечения смоляных ходов больше, чем в хвое других типов побегов.

Были рассчитаны соотношения элементов анатомической структуры хвои побегов разной гендерной специализации. Найдено, что эти соотношения довольно стабильны и мало зависят от возраста хвои, типа сексуализации побега, индивидуальных особенностей дерева. Так, мезофилл занимает 42–45 % площади поперечного среза хвои, центральный цилиндр – 30–35 %, полости смоляных ходов – 2.5–3.5 %. Площадь поперечного сечения обоих проводящих пучков составляет 7.5–10 % от площади мезофилла. В каждом проводящем пучке соотношение сечений ксилемной и флоэмной частей варьирует от 0.9 до 1.0. Возможно, именно постоянство пропорций тканей хвои лежит в основе возможности сосны переключать гендер побегов, когда на одной и той же ветви можно найти вегетативные и женские побеги или вегетативные и мужские [2]. При этом изменяются только абсолютные размеры хвои, обеспечивающей репродуктивные потребности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Правдин Л.Ф.* Половой диморфизм у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Тр. Института леса, 1950. Т. 3. С. 190–200.
2. *Тихонова И.В.* Изменение половой структуры популяций сосны в связи с аномалиями температуры // Экология. 2007. № 5. С. 331–336.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено в рамках базового проекта «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты» (2024–2026 гг.) FWES-2024-0028.

УДК 630*884+630*114.6+630*181.9

БАЛАНС БИОМАССЫ И ГРИБНЫЕ ГЕТЕРОТРОФЫ КОРЕННЫХ ЕЛЬНИКОВ ТАЙГИ

В.Г. СТОРОЖЕНКО

Институт лесоведения РАН, Московская область (lesoved@mail.ru)

Аннотация. Рассмотрены функциональные возможности дереворазрушающих грибов (ДРГ) в формировании структур коренных устойчивых ельников тайги Европейской России.

BIOMASS BALANCE AND FUNGAL HETEROTROPHS OF INDIGENOUS SPRUCE FORESTS OF THE TAIGA

V.G. STOROZHENKO

Institute of Forest Science, RAS, Moskovskaya Oblast (lesoved@mail.ru)

Abstract. The functional capabilities of wood-decaying fungi (DRF) in the formation of structures of indigenous stable spruce forests in the taiga of European Russia are considered.

Динамика развития коренного девственного ельника представляется как упорядоченный сбалансированный процесс воспроизводства и отмирания живой материи в едином организме устойчивого лесного сообщества [2]. Любому лесному сообществу в жестких природных условиях достичь идеального баланса процессов накопления и разложения биомассы крайне сложно. Тем не менее при анализе экспериментальных данных структур коренных еловых биогеоценозов различных динамических состояний баланс процессов накопления и разложения биомассы древесных фракций явно прослеживается [4]. В осуществлении этого процесса огромную роль играют гетеротрофные организмы и, в частности, дереворазрушающие грибы (ДРГ), которые осуществляют первичное разложение древесины. Происходит разложение как живых деревьев грибами биотрофного комплекса, так и древесного отпада ДРГ ксилотрофного комплекса. Доказать эту тезу можно несколькими экспериментами: анализом положения и функций ДРГ в круговороте биомассы лесного сообщества (рис. 1), поведением ДРГ в формировании возрастных рядов древостоев (рис. 2), соотношением запасов древостоев и валежа в биогеоценозах разного сукцессионного положения (рис. 3). Анализ проводился в коренных девственных ельниках северной, средней и южной тайги Европейской России.

1. Положение и функции ДРГ в круговороте биомассы лесного сообщества.

В процессах разложения участвуют не только ДРГ, но и огромное количество видов организмов различных царств: растений, животных, актиномицетов, вирусов, прокариотов [1], но ДРГ выполняют основную первичную переработку древесины, превращая ее в бурую гниль, составляющую элемент почвенного горизонта. В деструктивном звене круговорота биомассы ДРГ принадлежит наиболее ответственная функция перевода структуры древесины в структуру верхних слоев почвы.

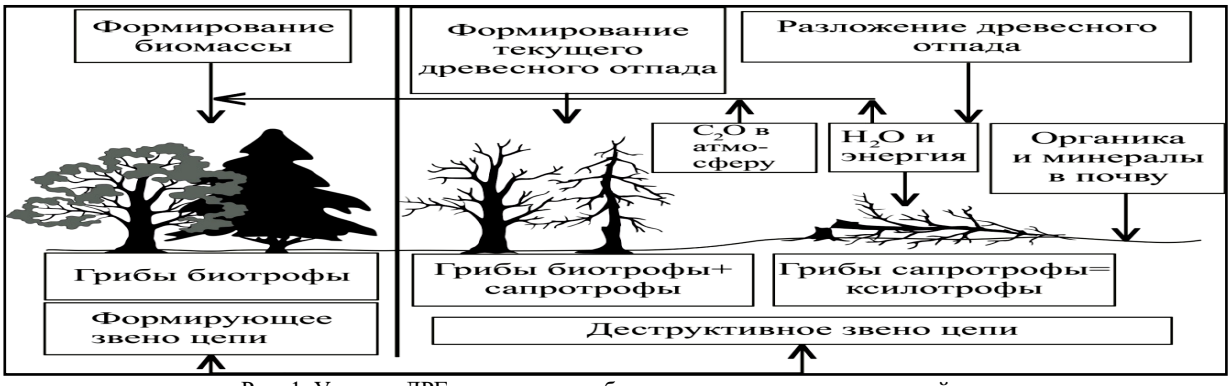


Рис. 1. Участие ДРГ в круговороте биомассы коренных ельников тайги

2. Поведение ДРГ в формировании возрастных рядов древостоев.

Дереворазрушающие грибы в разновозрастном еловом лесу поражают ель начиная с молодых возрастных поколений и увеличивают поражение в количественном и объемном выражении вплоть до первых самых старших возрастных поколений возрастного ряда биогеоценоза (рис. 2).

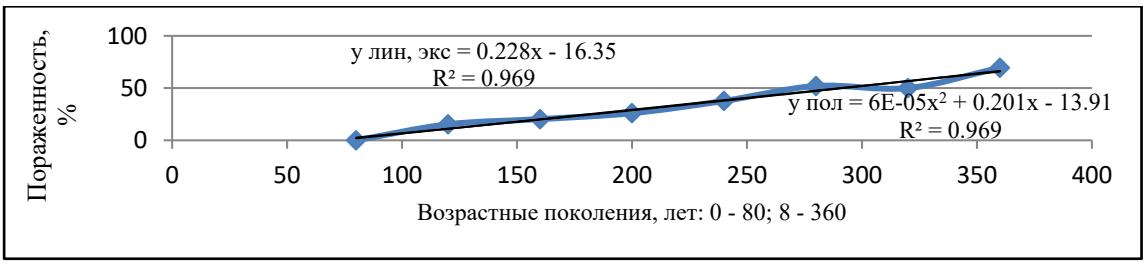


Рис. 2. Связь величины пораженности деревьев ДРГ с возрастом в коренных ельниках тайги

По всем трем приближениям (линейное, экспоненциальное, полиномиальное) зависимость величины пораженности деревьев от их возраста можно трактовать как «очень тесную», почти функциональную [2]. При этом они выполняют несколько важных функций в формировании структур и баланса биомассы биогеоценозов: контролируют сукцессионное положение сообщества, выравнивая объемы деревьев в возрастных поколениях, снижают дигрессию в структуре древостоя, освобождают пространство для молодых возрастных поколений, напрямую участвуя в формировании разновозрастной устойчивой структуры биогеоценоза, одновременно поставляя продукты ксилолитического ресинтеза в почву и атмосферу.

3. Соотношение запасов древостоев и валежа в биогеоценозах разного сукцессионного положения.

В коренных еловых биогеоценозах эволюционного развития в процессе их генезиса возрастные структуры древостоев и вслед за ними структуры древесного отпада (валежа) формируются постоянно как ответная реакция на воздействие различных дестабилизирующих факторов. В еловых, «выработанных» [5], биогеоценозах различных фаз динамики эти соотношения могут быть различными.

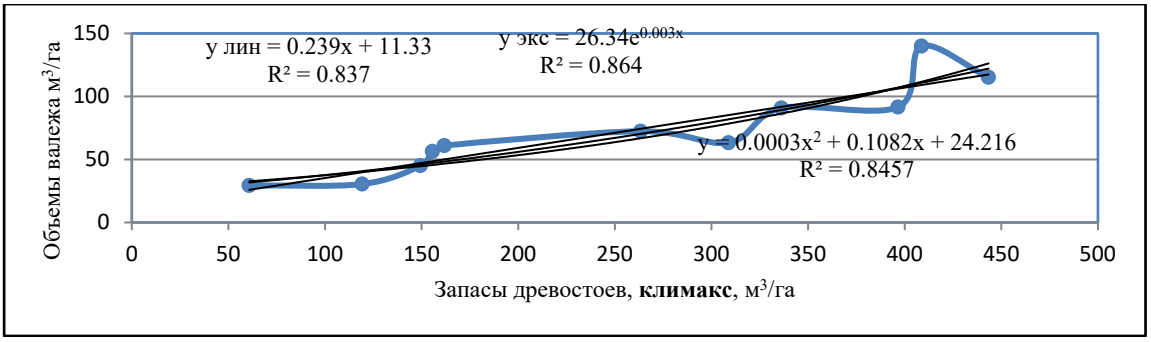


Рис. 3. Теснота связи запасов древостоев и объемов валежа в коренных ельниках тайги

Однако данные анализа структур коренных ельников таежной зоны разных динамических показателей убеждают в том, что обсуждаемые соотношения всегда имеют значительные величины, не опускаясь ниже коэффициента детерминации $R^2 = 0.7$ даже в биогеоценозах демутационных и в дигрессивных фазах динамики.

Все вышеизложенное объясняет одно из важнейших положений фундаментальной биогеоценологии, согласно которому грибной консорт в составе единого организма лесного сообщества выполняет триединую функцию. Во-первых, основная функция ДРГ биотрофного комплекса заключается в ослаблении и переводе определенного количества деревьев в структуру древесного отпада. Во-вторых, основная функция ДРГ ксилотрофного комплекса – деструктивная, она заключается в разложении отмершей древесины лесных сообществ. В-третьих, первые две функции определяют третью и самую важную функцию ДРГ в онтогенезе лесного сообщества – оба консорта ДРГ выполняют функцию согласования процессов накопления и разложения биомассы, поддерживая ее баланс в эволюционном стремлении к состоянию максимальной устойчивости лесного сообщества. Все рассмотренное выше следует рассматривать как основную парадигму функционального устройства структуры ДРГ в лесных сообществах. Такая трактовка участия грибов в жизни коренных лесных сообществ объясняет все варианты появления и развития эпифитотий грибных болезней в коренных лесах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Головченко А.В., Грачева Т.А., Семенова Т.А., Морозов А.А., Самигуллина С.Р., Глухова Т.В., Инишева Л.И.* Мицелиальный компонент эутрофных торфяных почв в зоне активной деструкции органического детрита // Почвоведение. 2023. № 5. С. 536–549.
2. *Дворецкий М.Л.* Пособие по вариационной статистике. М. Лесная пром-ть, 1971. 104 с.
3. *Исаев А.С., Суховольский В.Г., Хлебопрос Р.Г., Бузыкин А.И., Овчинникова Т.М.* Моделирование лесообразовательного процесса: феноменологический подход // Мониторинг биологического разнообразия лесов России. М.: Наука, 2008. 451 с.
4. *Стороженко В.Г.* Устойчивые лесные сообщества. Тула: «Гриф и К», 2007. 190 с.
5. *Сукачев В.Н.* Динамика лесных биогеоценозов. Л.: Наука, 1972. Т. 1. С. 357–379.

УДК 630*164.3

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ПАРАМЕТРЫ ТОНКИХ КОРНЕЙ В ЛИСТВЕННИЧНИКАХ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ

Е.С. СУСЛОПАРОВА, С.В. БРЯНИН

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск (elizaveta.susloparova@gmail.com)

Аннотация. Дальний Восток России ежегодно подвергается лесным пожарам, которые влияют на запасы тонких корней и их морфологические показатели. По результатам наших исследований лесные пожары привели к снижению общих запасов корней диаметром 0.5–2 мм в поверхностном слое лесных почв. В нарушенных огнем лесах значимо увеличилась масса живых тонких корней, а некромасса снизилась. Пожары приводят к увеличению удельной длины (SRL) и плотности корней (RTD) диаметром 0.5 мм.

INFLUENCE OF FOREST FIRES ON FINE ROOT PARAMETERS IN LARCH FORESTS OF THE UPPER AMUR REGION

E.S. SUSLOPAROVA, S.V. BRYANIN

Institute of Geology and Nature Management FEB RAS, Blagoveshchensk (elizaveta.susloparova@gmail.com)

Abstract. The Russian Far East is annually subjected to forest fires, which affect the stocks of fine roots and their morphological parameters. In our results, forest fires led to a decrease of the total stock of 0.5–2 mm diameter fine roots in the surface layer of forest soils. In fire-disturbed forests, fine roots biomass increased significantly, while necromass decreased. Fires leading to an increase in specific root length (SRL) and root tissue density (RTD) of 0.5 mm fine root diameter.

В бореальных лесах пожар – это естественное нарушение, оказывающее прямое и косвенное влияние на систему «почва – растение» [4]. Почвы бореальных лесов являются крупнейшим стоком углерода среди экосистем суши [1], при этом значительная часть этого углерода запасается из отпада тонких корней из-за того, что данные леса имеют ограниченный надземный опад.

К тонким корням относят корни диаметром <2 мм. Помимо того, что тонкие корни выполняют важные физиологические функции в виде поглощения воды и питательных веществ, они активно участвуют в круговороте углерода благодаря их быстрому обороту в экосистеме [4]. Дальний Восток России ежегодно подвергается лесным пожарам, что значимо влияет как на запасы тонких корней, так и на их морфологические показатели.

Одним из важных морфологических параметров является удельная длина корня (SRL). Он характеризует площадь питания корней. Растения с бóльшим SRL могут осваивать бóльший объем почвы. Считается, что SRL является индикатором изменений окружающей среды [5].

Фундаментальным признаком в сравнительной экологии корней, которые чаще используются в качестве индикатора стратегии использования ресурсов видами растений, является плотность корневой ткани (RTD). Ткани с низкой плотностью обеспечивают быструю относительную скорость роста и быстрое потребление питательных веществ и воды. При низких значениях RTD растение может быстро наращивать надземную вегетативную массу и корневую систему при низких затратах вещества [2]. Благодаря этим морфологическим адаптациям тонкие корни позволяют деревьям расти даже в суровых почвенных условиях [6]. В естественных лесах морфологические параметры тонких корней и их запасы изучаются давно, особенно за рубежом. При этом влиянию нарушений уделяется недостаточно внимания. На территории Российской Федерации подобные исследования единичны, а влияние пожаров изучается крайне редко.

Целью данного исследования было установление влияния лесных пожаров на запасы и морфологические показатели тонких корней в лесах Зейского государственного природного заповедника.

На восточной части хребта Тукурингра в Зейском государственном природном заповеднике было заложено 23 пробных площади (ПП) по 100 м^2. Для исследования были выбраны леса – фоновые (9 ПП), не подвергавшиеся антропогенным воздействиям и нарушенные вследствие низового пожара в 2003 г. На каждой ПП отбирали по 5 почвенных кернов цилиндром с внутренним диаметром 5 см из слоя 0–10 см.

После отбора почва отмывалась на сите 0.25 мм. Далее корни разбирали по классам диаметра: 0.5 мм – очень тонкие и 0.5–2 мм – тонкие корни; состоянию: живые (биомасса) и мертвые (некромасса). Разобранные образцы корней анализировались с помощью программно-аппаратного комплекса WinRhizo Regular со сканером STD4800 (Канада) для расчета морфологических параметров, таких как удельная длина корней (SRL) – отношение длины корней к абсолютно сухой массе корня; плотность корневой ткани (RTD) – отношение абсолютно сухой массы к объему корней. После разбора корни высушивались при 45 °C в течение 3 суток до постоянной массы.

Для установления статистически значимых различий между исследуемыми параметрами был использован параметрический дисперсионный анализ ANOVA, а для непараметрических данных – тест

Краскела – Уоллиса с апостериорным Данн-тестом. Все вычисления выполнены в статистической среде R (R Development Core Team, 2024).

По результатам наших исследований, лесные пожары привели к снижению общих запасов корней диаметром 0.5–2 мм на 24 % по сравнению с фоновыми лесами (p-value <0.05, табл. 1). Биомасса очень тонких корней (0.5 мм) увеличилась в 2 раза (p-value <0.05), а некромасса уменьшилась в 2 раза по сравнению с фоновыми лесами (p-value <0.05). Увеличение биомассы тонких корней в нарушенных лесах, вероятно, обусловлено активным возобновлением на гарях трав и кустарников. Снижение некромассы свидетельствует об уменьшении в ее составе доли древесных тонких корней, разложение которых происходит дольше. В нарушенных лесах корни трав и кустарников, отмирая, разлагаются быстрее.

Таблица 1. Основные параметры тонких корней исследуемых лесов. Данные в таблице – средние ± 1 стандартная ошибка. Латинские буквы указывают на значимые различия на основе непараметрического теста Данна (p-value <0.05)

Тип леса	Диаметр, мм	Общие запасы, г/м^2	Биомасса, г/м^2	Некромасса, г/м^2	SRL, м/г	RTD, кг/м^3
Фоновый	0.5	324 ± 80**a**	111 ± 15**a**	212 ± 72**b**	127 ± 24**a**	140 ± 18**a**
	0.5–2	244 ± 42**a**	159 ± 32**ab**	87 ± 23**a**	16 ± 2**bc**	60 ± 5**bc**
Нарушенный	0.5	331 ± 31**a**	241 ± 22**b**	59 ± 24**a**	288 ± 55**ab**	210 ± 30**ab**
	0.5–2	197 ± 21**b**	134 ± 16**a**	63 ± 8**a**	24 ± 4**c**	70 ± 7**c**

После антропогенного нарушения SRL очень тонких корней (0.5 мм) увеличилось в 2 раза по сравнению с фоновыми лесами. Увеличение SRL говорит о том, что продолжительность жизни этих корней значительно ниже, чем у корней с большим диаметром [7]. Увеличение плотности (RTD) в нарушенных лесах также происходит у очень тонких корней, что подтверждается предыдущими исследованиями в постпирогенных бореальных лесах [3]. Это может свидетельствовать о неблагоприятных условиях после пожаров (в частности, недостатке влаги), к которым растения адаптируются за счет увеличения плотности корней.

Таким образом, наши исследования показали, что доля некромассы очень тонких корней в фоновых лесах составляет около 65 %, а в нарушенных снижается до 18 %. Для корней бóльшего диаметра такого влияния пожаров не обнаружено. В фоновых лесах растительное сообщество находится в балансе прироста/отмирания корневых тканей, в них не происходит активных процессов разложения, и углерод отмерших тканей закрепляется на более долгий срок. Снижение доли мертвых корней в нарушенных лесах свидетельствует об активном разложении корней погибшей от пожара растительности и одновременно об активном зарастании территорий пионерными видами трав и кустарников. Оба этих процесса могут сопровождаться дополнительными эмиссиями CO_2 от автотрофного и гетеротрофного дыхания, подтверждая данные исследований о том, что нарушенные леса в первые годы после пожара являются не стоком, а источником CO_2.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Разгулин С. М., Воронин Л.В.* Роль тонких корней деревьев в цикле азота в бореальных лесах // Лесоведение. 2018. 3. С. 225–235.
2. *Birouste M., Zamora-Ledezma E., Bossard C. et al.* Measurement of fine root tissue density: a comparison of three methods reveals the potential of root dry matter content // Plant Soil. 2014. 374: 299–313.
3. *Makita N., Pumpanen J., Köster K. et al.* Changes in very fine root respiration and morphology with time since last fire in a boreal forest // Plant Soil. 2016. 402: 303–316.
4. *Makoto K., Hirobe M.,. DeLuca T.H. et al.* Effects of fire-derived charcoal on soil properties and seedling regeneration in a recently burned *Larix gmelinii*/*Pinus sylvestris* forest // J. Soils Sediments. 2011. 11: 1317–1322.
5. *Ostonen I., Lõhmus K., Alama S. et al.* Morphological adaptations of fine roots in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), silver birch (*Betula pendula* Roth.) and black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) stands in recultivated oil shale mining and semicoke areas // Oil Shale. 2006. 23: 187–202.
6. *Ostonen I., Püttsepp Ü., Biel C. et al.* Specific root length as an indicator of environmental change // Plant Biosystems. 2007. 141 (3): 426–442.
7. *Pregitzer K.S., DeForest J.L., Burton A.J. et al.* Fine root architecture of nine North American trees // Ecol. Monogr. 2002. 72: 93–309.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК 595.7:591.53

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ НАСЕКОМЫХ

В.Г. СУХОВОЛЬСКИЙ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (soukhovolsky@yandex.ru)

REGULARITIES OF FOREST INSECTS POPULATION DYNAMICS

V.G. SOUKHOVOLSKY

V.N. Sukachev Institure of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (soukhovolsky@yandex.ru)

Анализ закономерностей динамики численности животных – один из основных разделов экологии. Особенно это важно при изучении динамики численности лесных насекомых, которые входят в число основных вредителей леса. В общем случае для описания закономерностей динамики численности животных используется математический аппарат дифференциальных (или разностных) уравнений и строятся модельные системы дифференциальных уравнений, где каждое из них описывает динамику отдельного компонента экосистемы – насекомых, паразитов, хищников, корма с учетом влияния модифицирующих факторов (прежде всего, погоды). Однако на практике использовать системы таких уравнений невозможно – в распоряжении исследователей практически никогда нет долгосрочных данных о характеристиках всех компонентов, поскольку измерить все эти характеристики в реальных наблюдениях нельзя. В связи с этим задача заключается в развитии моделей, позволяющих оценивать и прогнозировать динамику численности животных на материале ограниченных во времени и пространстве измерений. В лесной энтомологии чаще всего для анализа доступны данные о плотности популяций лесных насекомых. С использованием этих данных были разработаны методы анализа закономерностей динамики численности насекомых и прежде всего – закономерностей вспышек массового размножения лесных насекомых.

На начальном этапе анализа данные рядов динамики численности были использованы для построения фазовых портретов [1, 2]. Однако такие фазовые портреты позволяли лишь качественно оценить возможные режимы вспышки. Для более детального количественного анализа закономерностей популяционной динамики лесных насекомых было предложено использовать авторегрессионные (AR) уравнения, в которых в ряде динамики численности насекомых изучалось влияние плотностей изучаемой популяции в k предыдущих сезонов на плотности популяции текущего сезона. К AR-уравнениям можно было добавить компоненты, характеризующие влияние модифицирующих факторов на текущую плотность популяции. С помощью подобного подхода удалось количественно охарактеризовать влияние положительных и отрицательных обратных связей в изучаемой системе, используя минимальный набор натурных данных (чаще всего это были данные по плотности популяции, температуре и осадкам в течение сезона) [3, 8]. Модели подобного вида, учитывающие численность популяций насекомых и влияние модифицирующих факторов, получили название ADL-моделей (autoregressive distributed lag models). Для целого ряда видов лесных насекомых удалось получить ADL-модели динамики с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.90$, то есть учитывающие в модели до 90 % натурных данных [8, 12, 13].

Однако подобные феноменологические модели не позволяли выявить экологические механизмы, вызывающие развитие вспышек массового размножения. В связи с этим от ADL-моделей был осуществлен переход к анализу моделей динамики численности и пространственного распределения особей как аналогов моделей фазовых переходов первого и второго рода в физических системах [4, 5, 6, 7]. В таких моделях динамика численности лесных насекомых описывалась с использованием так называемых бистабильных потенциальных функций, характеризующих вероятности нахождения популяции насекомых в том или ином состоянии. Такие потенциальные функции имели два основных состояния – с низкой и высокой плотностью популяций – и характеризовались величиной потенциального барьера, описывающего вероятность фазового перехода между двумя основными состояниями.

Влияние модифицирующих факторов описывалось как воздействие внешнего поля, приводящее к исчезновению одного из стабильных состояний и перебрасывающее систему в единственно доступное состояние (вспышку массового размножения). В качестве полей модифицирующих факторов, влияние которых приводило к перебросу системы из состояния в состояние, рассматривались погодные условия, цены корма, состояние кормовых растений (эти показатели оценивались с помощью специальных моделей [11, 14, 16, 17]).

Еще одним аналогом фазовых переходов в физических системах (но уже фазовых переходов второго рода) рассматривалось распределение насекомых по кормовым объектам на пробных площадях, позволяющее оценить плотность популяции на разных фазах градации [5].

В качестве дополнительных механизмов переброса системы в другое состояние в моделях фазового перехода первого рода были рассмотрены механизмы туннелирования, связанные с миграцией насекомых

в зону будущего очага, и механизмы стохастического резонанса, в которых фактором развития вспышек служили случайные колебания внешних условий [18].

Развитие этих моделей позволило предложить методы мониторинга восприимчивости лесных насаждений к воздействию лесных насекомых с применением дистанционных методов исследования. Их использование позволило за два-три года до начала видимых повреждений насаждений выявить зону будущих вспышек вредителя [9, 10, 15].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г.* Принцип стабильности в динамике численности лесных насекомых // Докл. АН СССР. 1973. Т. 208. Вып. 1. С. 225–228.
2. *Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г., Недорезов Л.В., Кондаков Ю.П., Киселев В.В., Суховольский В.Г.* Популяционная динамика лесных насекомых. М.: Наука, 2001. 374 с.
3. *Исаев А.С., Пальникова Е.Н., Суховольский В.Г., Тарасова О.В.* Динамика численности лесных насекомых-филлофагов: модели и прогнозы. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2015. 276 с.
4. *Суховольский В.Г., Исхаков Т.Р., Тарасова О.В.* Оптимизационные модели межпопуляционных взаимодействий. Новосибирск: Наука, 2008. 162 с.
5. *Суховольский В.Г., Тарасова О.В., Ковалев А.В.* Моделирование критических явлений в популяциях лесных насекомых // ЖОБ. 2020. Т. 81. № 5. С. 374–386.
6. *Суховольский В.Г.* Модели критических явлений в популяциях лесных насекомых как фазовых переходов первого рода // Сиб. лесной журн. 2021. № 5. С. 26–36.
7. *Суховольский В.Г., Иванова Ю.Д., Ковалев А.В.* Развитие очагов вспышек массового размножения лесных насекомых на разных пространственных масштабах // Лесоведение. 2023. № 2. С. 174–189.
8. *Isaev A.S, Soukhovolsky V.G., Tarasova O.V., Palnikova E.N., Kovalev A.V.* Forest insect population dynamics, outbreaks and global warming effects. N.Y.: Wiley, 2017. 298 p.
9. *Kovalev A., Soukhovolsky V.* Analysis of forest stand resistance to insect attack according to remote sensing data // Forests. 2021. 12. P. 1188–1201. DOI: 10.3390/f12091188.
10. *Kovalev A., Soukhovolsky V., Tarasova O., Akhanaev Y., Martemyanov V.* Remote sensing indicators of spongy moth (*Lymantria dispar* L.) damage to birch stands in Western Siberia // Forests. 2023. 14. 2308. DOI: 10.3390/f14122308.
11. *Soukhovolsky V.G., Krasnoperova P.A., Palnikova E.N., Sviderskaya I.V., Tarasova O.V.* Differences in the dynamics of radial tree increment in the pine looper outbreak area and in undamaged stands and assessment of the risk of pests' attack // Contemporary Problems of Ecology. 2019. V. 12. N. 7. Pp. 753–759.
12. *Soukhovolsky V., Kovalev A., Tarasova O., Modlinger R., K˘renová Z., Mezei P., Škvarenina J., Rožnovský J., Korolyova N., Majdák A. and Jakuš R.* Wind damage and temperature effect on tree mortality caused by *Ips typographus* L.: Phase transition model // Forests. 2022. 13. 180. DOI: 10.3390/f13020180.
13. Regulatory processes in populations of forest insects (A case study of insect species damaging the pine *Pinus sylvestris* L. in forests of SIBERIA) // Diversity. 2022. 14. 1038. DOI: 10.3390/d14121038.
14. *Soukhovolsky V., Tarasova O., Pavlushin S., Osokina E., Akhanaev Yu., Kovalev A., Martemyanov V.* Economics of a feeding budget: a case of diversity of host plants for *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera) feeding on leaves or needles // Diversity. 2023. 15 (1): 102. DOI: 10.3390/d15010102.
15. *Soukhovolsky V., Kovalev A., Goroshko A., Ivanova Yu., Tarasova O.* Monitoring and prediction of Siberian silk moth *Dendrolimus sibsiricus* Tschetv. (Lepidoptera: Lasiocampidae) outbreaks using remote sensing techniques // Insects. 2023. 14. 955. DOI: 10.3390/ insects14120955.
16. *Soukhovolsky V., Kovalev A., Tarasova O., Ivanova Y.* Forest insect outbreak dynamics: fractal properties, viscous fingers, and holographic principle // Forests. 2023. 14. 2459. DOI: 10.3390/ f14122459.
17. *Soukhovolsky V., Krasnoperova P., Kovalev A., Sviderskaya I., Tarasova O., Ivanova Y., Akhanaev Y., Martemyanov V.* Differentiation of forest stands by susceptibility to folivores: A retrospective analysis of time series of annual tree rings with application of the fluctuation-dissipation theorem // Forests. 2023. 14. 1385. DOI: 10.3390/ f14071385.
18. *Soukhovolsky V., Kovalev A., Ivanova Y., Tarasova O.* Autoregression, first order phase transition, and stochastic resonance: A comparison of three models for forest insect outbreaks // Mathematics. 2023. 11. 4212. DOI: 10.3390/math11194212.

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ НА СВОЙСТВА ПОЧВ В СУХИХ СОСНОВЫХ ЛЕСАХ СЕЛЕНГИНСКОГО СРЕДНЕГОРЬЯ

Д.П. СЫМПИЛОВА

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ (darimasp@mail.ru)

Аннотация. В семиаридных ландшафтах Селенгинского среднегорья ежегодно наблюдаются лесные пожары, растет общая площадь выгоревших территорий. Цель работы – исследование влияния низовых пожаров слабой интенсивности на морфологические и физико-химические свойства почв. Выявлено, что пирогенные признаки сохраняются в течение длительного времени в морфологическом облике почв. Об этом свидетельствуют наличие черного подуглистого горизонта, охристые морфоны по корням сгоревших деревьев. На свежих гарях наблюдается незначительное увеличение илистой фракции, снижается содержание гумуса и емкости катионного обмена, увеличивается pH среды. Через 11 лет свойства почв восстанавливаются до уровня, существовавшего до пожара.

EFFECTS OF WILDFIRE LOW-SEVERITY ON SOIL PROPERTIES IN DRY PINE FORESTS OF THE SELENGA MIDDLE MOUNTAINS

D.P. SYMPILOVA

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude (darimasp@mail.ru)

Abstract. Wildfires are observed annually in the semiarid landscapes of the Selenga middle mountains. The total area of burned plots is growing. The purpose of the work is to study the effects of wildfire low-intensity on the morphological and physicochemical properties of soils. Pyrogenic features persist for a long time in the morphological habits of soils was revealed. This is evidenced by the presence of a black charcoals subhorizon and ocher mottles along the roots of burnt trees. Slight increase in the clay fraction is observed, the humus content and cation exchange capacity decrease, and the pH increases on recent burnt areas. Soil properties are restored to pre-fire levels after 11 years.

Лесостепные ландшафты в Селенгинском среднегорье характеризуются чередованием горных хребтов и межгорных долин, где экосистемы представлены сухими сосновыми лесами. Отличительной особенностью этих лесов является остепненность травяного покрова. В настоящее время наблюдается усиление аридизации, связанное с потеплением климата. Частота лесных пожаров, связанная с атмосферными засухами, играет важную роль в трансформации почвенного и растительного покрова и будет увеличиваться в будущем из-за изменения климата [2].

Лесные пожары изменяют морфологические, физические и химические свойства почвы в зависимости от типа, интенсивности и частоты пожара и зависят от многих факторов, включая климатические условия, рельеф, состав растительности и время, прошедшее с момента возникновения пожара. Лесные пожары в семиаридных ландшафтах Селенгинского среднегорья представляют собой серьезную экологическую проблему: климатические условия (сухое жаркое лето и холодная зима) здесь благоприятствуют возгоранию. Кроме того, важную роль в возникновении пожаров играет деятельность человека. В настоящее время наблюдается рост количества лесных пожаров и общей площади выгоревших территорий. Цель работы – изучить влияние низовых пожаров на морфологические и физико-химические свойства почв в семиаридных ландшафтах Селенгинского среднегорья.

Ключевые участки (51°44′ с. ш., 107°34′ в. д.) расположены в окрестностях Нижнего Саянтуя в 6 км от г. Улан-Удэ (отроги северного макросклона хребта Цаган-Дабан). Район исследований имеет уклон на северо-запад и граничит с обширной долиной реки Селенга, что определяет свободное проникновение господствующих ветров. Селенгинское среднегорье расположено в переходной климатической зоне между прохладным континентальным климатом и холодным семиаридным климатом [6]. Антропогенное воздействие на исследуемую территорию заключается в распашке днищ широких долин и пологих склонов, что в дальнейшем приводит к заносу песчаного материала и образованию ареносолей (arenosols), а также часто повторяющимся лесным пожарам [3]. Почвообразующая порода представлена супесчаными отложениями, подстилаемыми покровными песками. Физико-химические свойства определяли общепринятыми методами [1]. Почвенные горизонты даны в соответствии с Руководством по описанию почв [4]. Типы почв классифицировали согласно World Reference Base for Soil Resources [5]. Цвет почвы определялся в сухом состоянии по цветовым таблицам Манселла.

Ключевой участок 854 (51°44′45.38″ с. ш. и 107°34′1.21″ в. д.) заложен на северо-восточном склоне отрогов хребта Цаган-Дабан, крутизна – 25°, высота – 854 м над ур. моря. Растительность – сосновый лес с *Rhododendron dauricum* L., *Vaccinium vitis-idaea* subsp., *Bromopsis inermis* (Leysser) Holub, *Artemisia tanacetifolia* L., *Denranthema zawadskie* (Herbich) Tzvel, *Lathyrus humilis* (Ser.) Sprengel. Проективное покрытие – 40–45 %. Моховой покров представлен *Dicranum polysetum* Sw. и *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt, лишайниковый покров – *Cladonia amaurocraea* (Flk.) Schaer. Проективное покрытие мохово-лишайникового покрова – 60 %. Почва классифицирована как Eutric Brunic Arenosol (Ochric). Почва имеет

горизонты: О (0–14) – AhB (14.5–17) – Bw1 (17–26/30) – Bw2 (26/30–45) – BC (45–70) – C (>70). Подстилка состоит из растительных остатков разной степени разложения. Горизонт AhB – темно-коричневый (10YR 3/2), сухой, супесчаный, комковатый, включения большого количества углей и корней, переход постепенный. Горизонт Bw1 – буровато-темно-серый (10YR 4/2), сухой, супесчаный, комковатый, плотный, включения корней, нижняя граница кармановидная, переход постепенный. Горизонт Bw2 – буровато-серый (10YR 4/4), сухой, супесчаный, комковатый, плотный, включения корней, переход постепенный. Горизонт BC – желтовато-бурый (10YR 5/4), сухой, супесчаный, комковатый, плотный, переход постепенный. Горизонт С – буровато-желтый (10YR 5/8), песчаный, бесструктурный.

Ключевой участок 854а (51°44′45.07″ с. ш. и 107°34′1.33″ в. д.) заложен в 5 м от разреза 854 на юго-запад. Пожар прошел 2 годами ранее. Последствия низового пожара: обугливание камбия сосны и коры валежника, опад мертвой хвои, частичное сгорание лесной подстилки и полное разрушение мохово-лишайникового покрова. Сосновый подлесок частично поврежден огнем. Травяно-разнотравное сообщество представлено вторичными сукцессиями с *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Bromopsis inermis* (Leysser) Holub, *Rhododendron dauricum* L. Проективное покрытие – 2–3 %. Профиль почвы: О (0–2) – AhB (2–17/26) – Bw1 (17/26–40) – Bw2 (40–68) – BC (68–102) – C (>102). Подстилка состоит преимущественно из сосновой коры и хвои, мелких ветвей. Неоднородно окрашен, в основном черный (7,5YR 2,5/2), плотный. Присутствует грибной мицелий. Горизонт AhB – темно-коричневый (10YR 3/2), сухой, супесчаный, комковатый, включения железисто-охристых пятен и большого количества углей и корней, переход резкий. Горизонт Bw1 – буровато-темно-серый (10YR 4/2), сухой, супесчаный, комковатый, плотноватый, включения железисто-охристых пятен, углей и корней, нижняя граница кармановидная, переход постепенный. Горизонт Bw2 – буровато-серый (10YR 4/4), сухой, супесчаный, комковатый, плотноватый, включения железисто-охристых пятен и корней, переход постепенный. Горизонт BC – желтовато-бурый (10YR 5/4), сухой, супесчаный, бесструктурный, включения железисто-охристых пятен, переход постепенный. Горизонт С – буровато-желтый (10YR 5/8), песчаный, бесструктурный.

Анализ ключевого участка 854 выявил наличие множества мелких обломков углей, образовавшихся в результате низового пожара, произошедшего более 10 лет назад. Имеющийся черный углистый подгоризонт на глубине 14–14.5 см говорит о неоднократных пожарах на этом участке. Высокое содержание мхов и лишайников в компонентах подстилки свидетельствует о благоприятных условиях, сложившихся в послепожарный период. Повторный низовой пожар (ключевой участок 854а) привел к полному сгоранию подстилки. Цвет подстилки на ключевом участке 854а изменился в сторону почернения (7,5YR 2,5/2 по цветовой шкале Манселла). Почерневшая подстилка говорит о том, что во время пожара выделилось недостаточно тепла для полного ее сгорания. Следовательно, периодические низовые пожары слабой интенсивности, возникающие на территории исследования, вызывали кратковременную трансформацию подстилки. Происходила частичная минерализация и уменьшение ее мощности.

Анализ гранулометрического состава ареносолей на второй год после пожара показал увеличение значений илистой фракции на 1–2 %. В послепожарной почве (ключевой участок 854а) содержание гумуса резко снизилось: в 3 раза. Емкость катионного обмена снизилась более чем в 2 раза в результате снижения содержания органического вещества в почве. Значение pH увеличилось на 1 единицу.

Таким образом, изучено влияние низовых пожаров слабой интенсивности на свойства почв на двух ключевых участках в сухих сосновых лесах Селенгинского среднегорья. Пирогенные морфологические признаки сохраняются в течение длительного периода после пожара. К ним относятся наличие черного углистого подгоризонта на глубине 14–14,5 см, охристых пятен по корням сгоревших деревьев. Эти особенности проявляются в повышенном содержании железа в вытяжке Тамма и обменных оснований. Это создает условия для фиксации гумуса, связанного как с гидроксидами кальция, так и с железом. Также наблюдается незначительное увеличение содержания глинистой фракции. В растительном покрове наблюдается послепожарная сукцессия, первыми появляются *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Bromopsis inermis* (Leysser) Holub, в травяно-кустарничковом ярусе огнем повреждается *Rhododendron dauricum* L. Через два года после пожара свойства почв существенно изменяются; через одиннадцать лет большинство этих свойств быстро восстанавливаются до уровня, существовавшего до пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воробьева Л.А.* Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
2. *Куликов А.И., Убугунов Л.Л., Мангатаев А.Ц.* О глобальном изменении климата и его экосистемных следствиях // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20. 3. С. 5–13.
3. *Шахматова Е.Ю., Сымпилова Д.П.* Постпирогенная дифференциация свойств ареносолей в сосновых лесах Западного Забайкалья // Природа Внутренней Азии. 2023. 1 (23). С. 112–120.
4. Guidelines for soil description. 4th ed. Rome: FAO, 2006. 97 p.
5. IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // International Union of Soil Sciences (IUSS). 4th ed. Vienna, 2022.
6. *Peel M.C., Finlayson B.L. and McMahon T.A.* Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2007. 4 (2): 439–473.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках бюджетной темы FWSM-2021-0004.

УДК 528.88

АНОМАЛИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРА

М.Ю. СЫРОЕЖКО[1, 2], Е.И. ПОНОМАРЁВ[1, 2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (syroezhko.michail@gmail.com)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск (evg@ksc.krasn.ru)

Аннотация. В работе проверена возможность оценки температурного состояния поверхности на основе температурных спектральных индексов методами дистанционного зондирования Земли. Также на основе полученных данных и материалов полевых исследований проведена классификация спутникового снимка района исследования.

ANOMALIES OF SPECTRAL INDICES IN THE ASSESSMENT OF THE STATE OF THE TERRITORY OF THE NORTH

M.Y. SYROEZHKO[1, 2], E.I. PONOMAREV[1, 2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forestry SB RAS, Krasnoyarsk (syroezhko.michail@gmail.com)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (evg@ksc.krasn.ru)

Abstract. The article verified the possibility of estimating the temperature state of the surface based on temperature spectral indices by remote sensing of the Earth, as well as, based on the obtained data and field research materials, the classification of the satellite image into the study area was carried out.

Рассматриваемая территория относится к Норильскому промышленному району. По физико-географическому районированию она включает лесотундровую зону, а также редколесья. Почвы представлены грубогумусовыми криоземами, криоземами глеевыми, торфяно-криоземами, а также подбурами [1].

Цель работы заключалась в проверке возможности оценки температурного состояния участков фонового и измененного состояния в пределах Норильского промышленного района по данным спектральных индексов.

Исходные данные исследования были получены из открытых источников. Данные о температуре воздуха с метеостанции аэропорта Норильска им. Н.Н. Урванцева (METAR=UOOO) и метеостанции города Норильска (WMO_ID=23078) были получены из базы данных сайта ООО «Расписание Погоды»), спутниковые снимки района исследований за период – из открытого каталога USGS для спутника Landsat 8-9 (OLI/TIRS). Обработано 7 сцен спутниковых данных за 2016–2023 гг.

Обработка материалов спутниковой съемки и анализ данных Land Surface Temperature (LST) выполнялись с использованием стандартных процедур программы с открытым кодом Quantum GIS (https://qgis.org/ru/site/). Основной источник данных – 10 канал спутника: 10.30–11.30 мкм.

$$LST = (BT/1) + W * (BT/14380) * Ln (E),$$

где BT – верхняя яркостная температура атмосферы, W – длина волны излучения, E – коэффициент излучения земной поверхности.

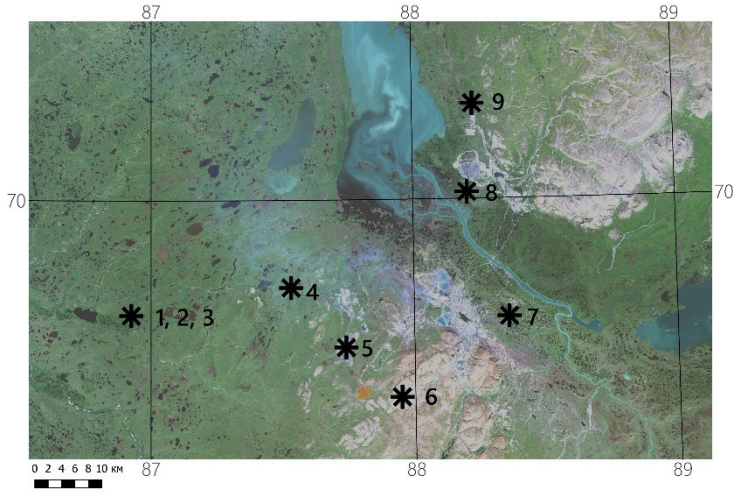


Рис. 1 Карта района исследования, 05.08.2023
1 – ПП Боганида (участок без растительности), 2 – ПП Боганида (фон – тундра), 3 – ПП Боганида (фон – древостой), 4 – ПП Амбарная, 5 – ПП Угольный разрез, 6 – ПП Гольцы (Норильские горы), 7 – ПП Оганер, 8 – ПП Талнах, 9 – ПП Эрозионный склон (Талнах)

Для оценки температурной «разницы» между нарушенными и фоновыми участками, а также для прослеживания связи с температурой воздуха по данным метеостанции получены значения индекса Land Surface Temperature.

Среднее значение относительного отклонения значения LST от температуры воздуха по данным метеостанции для фоновых участков не превышало 7.8 %, а для участков с разной степенью трансформации – 19 %.

Отклонения средних значений индекса LST для нарушенных участков по отношению к фону:

– Эрозионный участок / Боганида (фон – участок без растительности) – 19 ± 13 %;

– Талнах / Оганер – 5 ± 3 %;

– Угольный разрез / Боганида (фон – участок без растительности) – 21 ± 10 %.

Также в процессе выполнения исследования получены значения достоверности линейной аппроксимации и корреляции значений индекса LST и данных метеостанции.

Достоверность линейной аппроксимации значений индекса LST и температуры воздуха по данным метеостанции – $R^2 = 0.6–0.95$.

Для рядов с температурой воздуха по данным метеостанции аэропорта и данных индекса LST – $r = 0.86–0.97$.

Для рядов с температурой воздуха по данным метеостанции г. Норильска и данных индекса LST – $r = 0.77–0.94$.

По результатам работы получена карта компонентов ландшафта для участка в районе озера Боганидское. Точность, проверяемая при помощи матрицы ошибок, достигает 70 % в зависимости от степени генерализации и количества классов.

Состояние отражательной способности подстилающей поверхности в наибольшей степени определяется степенью ее трансформации относительно фонового состояния. Соответственно обнаружение и анализ аномальных значений индекса LST можно использовать в исследованиях, связанных с оценкой состояния измененных экосистем и сравнением их с фоновыми экосистемами. Также данный индекс применим в качестве дополнения к материалам полевых исследований, а кроме того, для территорий, отдаленных от основных мест исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пономарева Т.В., Трефилова О.В., Богородская О.А.* Эколого-функциональная оценка состояния почв в зоне аэротехногенного воздействия Норильского промышленного комплекса // Сиб. экол. журн. 2014. № 6. С. 987–996.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-14-20007), https://rscf.ru/project/23-14-20007/, Красноярского краевого фонда науки.

УДК 630*2

ВЛИЯНИЕ ПОЛНОТЫ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОДРОСТА В ВЕРХНЕОБСКОМ БОРУ

В.В. ТАРАКАНОВ, Д.С. ДУБОВИК, Л.И. БОРОДИНЦЕВА

Западно-Сибирское отделение Института леса СО РАН, Новосибирск (tarh012@mail.ru)

Аннотация. В защитных мшистоягодных сосняках Боровлянского лесничества Алтайского края оценили зависимость густоты и морфометрических признаков подроста от полноты материнского древостоя. Выявлено, что увеличение относительной полноты от 0.3 до 1.1 отрицательно влияет на большинство морфометрических признаков подроста. На площадях, пройденных выборочными рубками, не обнаружено предварительного и сопутствующего возобновления старше 40 лет. По мере развития древостоев подрост систематически угнетается и погибает. Сделан вывод о снижении продуктивности и устойчивости Верхнеобского бора при существующей системе рубок, принятой для защитных лесов. Ее необходимо заменить на систему, соответствующую закономерностям лесообразовательного процесса, с доминирующим участием светолюбивой пирогенной породы, каковой является сосна обыкновенная. Для этого целесообразно заложить соответствующие долговременные опыты с подбором теоретически приемлемых вариантов в сравнении с выборочными рубками.

INFLUENCE OF COMPLETENESS OF PINE TREE STANDS ON THE FORMATION OF YOUNG GROWTH IN THE VERKHNEOBSKY BOR

V.V. TARAKANOV, D.S. DUBOVIK, L.I. BORODINTSEVA

West Siberian Branch of the Sukachev Institute of Forest SB RAS, Novosibirsk (tarh012@mail.ru)

Abstract. In the protective mossy-berry pine forests of the Borovlyansky forestry of the Altai Territory, the dependence of the density and morphometric characteristics of the young growth on the completeness of the maternal tree stand was assessed. It was revealed that an increase in relative completeness from 0.3 to 1.1 has a negative effect on most morphometric characteristics of young growth. In areas subject to selective logging, no preliminary or concomitant regeneration older than 40 years was. As the forest stands develop, the young growth is systematically suppressed and dies. A conclusion is made about a decrease in the productivity and sustainability of the Upper Ob Forest under the existing logging system adopted for protective forests. It needs to be replaced with a system that corresponds to the laws of the forest formation process with the dominant participation of a light-loving pyrogenic species, which is Scots pine. To do this, it is advisable to carry out appropriate long-term experiments with the selection of theoretically acceptable options in comparison with selective felling.

В защитных лесах Клепиковского участкового лесничества Боровлянского лесничества Алтайского края, в приспевающих мшистоягодных сосняках II класса бонитета различной полноты, пройденных устойчивым низовым пожаром 15-летней давности, оценили зависимость густоты и морфометрических признаков подроста от полноты материнского древостоя. Возраст подроста сосны на пробных площадях составлял 13–14 лет.

По данным полевых исследований, густота подроста изменялась в пределах 12.9–77.9 тыс. шт./га. Также существенно варьировали средние значения других признаков: высоты ствола – в пределах 1.1–3.4 м, числа почек на лидирующем побеге – 2.9–5.5 шт./дер., доли благонадежного подроста – 16.7–92.3 % и т. д. Выявлено, что увеличение относительной полноты от 0.3 до 1.1 отрицательно влияет на большинство морфометрических признаков подроста, особенно на высоту, годичный прирост и длину верхушечной почки. При этом наилучшее состояние во всех случаях имели как подрост, сформировавшийся при наименьшей полноте, так и, в особенности, культуры вне полога материнских древостоев.

Отметим, что при выборочных рубках, применяемых в защитных лесах, полнота древостоев снижается до 0.5 [3]. После восстановления насаждениями полноты до значений около 0.7–0.8 осуществляется следующий прием рубок со снижением полноты до 0.5 и т. д. При таком регулировании/динамике относительной полноты древостоев подрост отстает от хода роста соответствующих нормальных древостоев приблизительно на 1.5–2 класса бонитета. В ходе обследования площадей, пройденных выборочными рубками, мы не обнаружили предварительного и сопутствующего возобновления старше 40 лет. По мере развития древостоев подрост систематически угнетается и погибает.

Сделан вывод о снижении продуктивности и устойчивости Верхнеобского бора при существующей системе рубок, принятой для защитных лесов. Ее необходимо заменить на систему, соответствующую закономерностям лесообразовательного процесса, с доминирующим участием светолюбивой пирогенной породы, каковой является сосна обыкновенная. На непригодность выборочных рубок для продуктивных сосновых лесов указывал еще И.С. Мелехов [2]. К сходным выводам в отношении защитных боров Сибири приходят и другие исследователи [1].

С целью разработки адекватных способов и приемов рубки сосновых лесов Приобья целесообразно заложить соответствующие долговременные опыты с подбором теоретически приемлемых вариантов в сравнении с выборочными рубками. Со временем это позволит улучшить методы ведения лесного

хозяйства в защитных лесах на научной основе. Но поскольку существующими нормативными документами все виды рубок главного пользования, кроме выборочных, в этой категории лесов запрещены, то необходимо или специальное разрешение соответствующих государственных органов на осуществление такого рода научных экспериментов, или принципиальное изменение лесного законодательства в части разрешения ограниченных по площади опытных рубок для научных организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мартынюк А.А., Сидоренков В.М., Желдак В.И., Лямцев Н.И., Рябцев О.В., Жафяров А.В.* Ленточные боры Алтайского края – состояние и совершенствование хозяйства в них // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. 2019. № 1. С. 33–48. [Электронный ресурс]. URL: http://lhi.vniilm.ru/.
2. *Мелехов И.С.* Лесоводство. М.: МГУЛ, 2003. 320 с.
3. Об утверждении Правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, указанных в ст. 23 Лесного кодекса Российской Федерации (с изменениями на 17 октября 2022 г.) / Приказ Минприроды России (Министерства природных ресурсов и экологии РФ) от 01 декабря 2020 г. № 993. [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/902017047#7E80KF.

УДК 574.42+581.555

ЛИСТВЕННИЧНЫЕ ЛЕСА В СОВРЕМЕННЫХ ГОРНО-ЛЕДНИКОВЫХ БАССЕЙНАХ (СЕВЕРО-ЧУЙСКИЙ ХРЕБЕТ, ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Е.Н. ТИМОШОК, Е.Е. ТИМОШОК, Ю.Г. РАЙСКАЯ

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск (ten80@mail.ru)

DYNAMICS OF LARCH FORESTS OF THE NORTH CHUYA RANGE (ALTAI MOUNTAINS)

E.N. TIMOSHOK, E.E. TIMOSHOK, IY.G. RAISKAIA

Institute of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, Tomsk (ten80@mail.ru)

Лиственничные леса играют огромную роль в растительном покрове Горного Алтая [1]. Исследования лесов, сформированных лиственницей сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), которые обладают разнообразной динамикой, проводились в наиболее возвышенной части Северо-Чуйского хребта в горно-ледниковом бассейне Актру на протяжении 23 лет (1999–2021 гг.). Для бассейна характерен суровый и холодный высокогорный климат с длинной зимой (ноябрь – апрель), среднегодовой температурой -5.2 °С, средней температурой самого теплого месяца, июля, +9.7 °С, сравнительно небольшим среднегодовым количеством осадков (521 мм/год), возможностью заморозков на протяжении всего вегетационного периода [8].

Лиственничные леса бассейна Актру, приуроченные к нижним частям бортов долины р. Актру (2000–2200 м над ур. м.), сформировались на месте лесов, неоднократно уничтожавшихся пожарами в середине XIII и конце XIX в. [2, 3], на водно-ледниковых отложениях на дне долины р. Актру (2100–2150 м над ур. м.) и фрагменте молодых морен ледника Малый Актру, отложенных в 1911–1850 гг. (2200–2250 м над ур. м.). В двух последних ландшафтах почвы, семенной фонд и растительный покров были уничтожены природными катастрофами – мощными ледниковыми паводками и наступанием ледника Малый Актру в начале – середине XIX в. Лиственничные леса на водно-ледниковых отложениях на «юных» террасах р. Актру [4] и фрагмент лиственничника на морене ледника Малый Актру [10] сформировались впервые, в ходе первичной сукцессии растительности. Таким образом**,** выявленная динамика лиственничных лесов в этом горно-ледниковом бассейне включает формирование их на моренах и водно-ледниковых отложениях в ходе первичных сукцессий, восстановление после пожаров в ходе вторичной сукцессии и процесс их стабильного существования с последующей возможной сменой кедровыми лесами [5] в случае, если они до того не будут уничтожены пожарами [7].

Формирование наблюдаемого фрагмента лиственничного леса на молодых моренах ледника Малый Актру, вероятно, имеет значительное сходство с формированием лесов на моренах ледников Горного Алтая после крупных оледенений плейстоцена и голоцена. В первичной сукцессии, протекающей на молодых моренах ледника Малый Актру, ведущей к формированию лиственничника, выделяются следующие стадии***: разнотравная пионерная*** (происходит первичное заселение ранних пионерных видов) → ***ивово-мирикариево-дриадовая*** (характеризуется быстрым ростом проективного покрытия травяно-кустарничкового и кустарникового ярусов с господством ив, накоплением питательных веществ в моренном субстрате, заселением лиственницы и кедра) → ***березково-лиственничная*** (происходит формирование зарослей кустарников с господством березки круглолистной с примесью ив и древесного яруса из лиственницы сибирской) → ***стадия лиственничной редины*** (фактически переход от березковой стадии к молодому лиственничному лесу). В настоящее время первичная сукцессия растительности на моренах ледника Малый Актру, отложенных 110–150 лет назад (1911–1850 гг.), еще не завершена, но очевидно, что по мере увеличения возраста деревьев лиственницы и увеличения размеров их крон следующим этапом станет формирование молодого лиственничного леса.

Формирование лиственничных лесов на водно-ледниковых отложениях р. Актру происходит в результате первичной сукцессии растительности на территории, где предшествующая растительность была уничтожена мощными ледниковыми паводками. Жесткие экологические условия водно-ледниковых отложений включают частые наледи и подвижки русла р. Актру и исключают формирование лиственничного леса на всей площади современных водно-ледниковых отложений, кроме юных террас этой реки [7]. В ходе первичной сукцессии на этих поверхностях они проходят следующие стадии: ***разнотравная пионерная*** (первичное заселение пионерных видов) → ***ивово-кустарниково-разнотравная*** (рост проективного покрытия, накопление питательных веществ, начало формирования почвы) → ***стадия молодого лиственничного леса*** (на этой стадии постепенно исчезают признаки более ранних сообществ) → ***стадия зрелого лиственничного леса*** (устойчивое сообщество).

Послепожарные сукцессии в лиственничниках на бортах долины р. Актру реконструировали, основываясь на модели вторичной сукцессии изначального флористического состава J. McCormic, позволяющей вычленить стадии послепожарной сукцессии на основе изучения биоразнообразия сформировавшихся фитоценозов в пределах серии близких экотопов [7]. В горно-ледниковом бассейне

Актру сукцессия включает стадии: ***гарь*** (господство разнотравья) → ***кустарниково-разнотравная*** (сформированная кустарниками, в течение этой стадии формируется лиственничная редина) → ***молодой лиственничный лес*** (трансформация послепожарного сообщества в типично лесное) → ***зрелый лиственничный лес.***

Ключевым элементом динамики лиственничных лесов в ландшафтах горно-ледникового бассейна Актру является практически полное отсутствие подроста лиственницы при наличии кедрового подроста [4, 5]. Таким образом**,** основным режимом существования сформировавшихся в ходе сукцессий лиственничных лесов становится ***стадия плато***, в которой леса остаются практически неизменными на всем протяжении жизни большинства особей из состава основного поколения лиственницы (около 600 лет). Эта стадия характеризуется метастабильным – устойчивым в отсутствие значительных нарушений – состоянием леса, который может восстанавливаться после незначительных нарушений и остается почти неизменным до уничтожения его лесным пожаром либо до начала массовой гибели от старости лиственниц основного поколения. Если лес не был уничтожен, а основное поколение лиственницы отмирает, начинается следующий этап сукцессии, приводящей к формированию лиственничного леса, который в этих условиях не является финальной точкой сукцессии, проходящей по модели ингибирования [5, 7]. Наступают последние стадии, одинаковые для первичной и вторичной сукцессий: ***стадия плато*** (метастабильный лиственничный лес) → ***стадия материнского полога*** (рост деревьев кедра под материнским пологом из остатков основного поколения лиственницы) → ***стадия молодого кедрового леса*** (формирование кедровника, способного к самоподдержанию). Старовозрастные кедровые леса бассейна Актру, судя по наличию в них в настоящее время четырех поколений деревьев кедра, способны к самоподдержанию на протяжении очень продолжительного времени, превышающего несколько сроков жизни деревьев кедра [11].

В современный период режим лесных пожаров, для которого характерна высокая их частота, обусловленная невысоким уровнем осадков, исключает возможность массового формирования молодых кедровников на месте лиственничников. Применение методов спорово-пыльцевого анализа для изучения растительности Алтая в предыдущие исторические периоды [9] свидетельствует о том, что отложения, сформировавшиеся в более влажные периоды, содержат меньшее количество золы (индикатора лесных пожаров) и гораздо большее количество пыльцы кедра: это свидетельствует о том, что финальная смена лиственничных лесов на кедровые происходила неоднократно.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Куминова А.В.* Растительный покров Алтая. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-я АН СССР, 1960. 450 с.
2. *Николаева С.А., Савчук Д.А.* Датирование пожаров в трансформированных ими лесных экосистемах в верховьях реки Актру (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай) // Успехи современного естествознания. 2019. № 10. С. 95–100
3. *Сапожников В.В.* Катунь и ее истоки. Томск: Паровая типолитография П.И. Макушина, 1901. 271 с.
4. *Тимошок Е.Е., Николаева С.А., Савчук Д.А., Райская Ю.Г., Тимошок Е.Н.* Лиственничники на водно-ледниковых отложениях в Северо-Чуйском центре оледенения (Русский Алтай) // Успехи современного естествознания. 2021. № 9. С. 20–25.
5. *Тимошок Е.Н., Тимошок Е.Е., Райская Ю.Г.* Особенности формирования и функционирования кедровых лесов Алтая // ENVIROMIS 2022: Междунар. конф. и школа молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды. Томск, 2022. С. 242–245.
6. *Тимошок Е.Н., Тимошок Е.Е., Райская Ю.Г.* Заселение растений на молодых водно-ледниковых отложениях в период современного потепления климата в Северо-Чуйском центре оледенения (Русский Алтай) // ENVIROMIS 2020: Избранные тр. Междунар. конф. и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды. Томск: Изд-во НТЛ, 2020. С. 207–210.
7. *Тимошок Е.Н.* Особенности формирования и функционирования высокогорных лесов Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) // Проблемы изучения растительного покрова Сибири: Тр. VII Междунар. конф., посвященной 135-летию гербария им. П.Н. Крылова Томского гос. ун-та и 170-летию со дня рождения П.Н. Крылова. Томск: Изд-во ТГУ, 2020. С. 121–123.
8. *Тронов М.В.* Горноледниковый бассейн Актру как показатель характерных свойств ороклиматической базы оледенения Алтая // Проблемы гляциологии Алтая. Томск, 1973. Вып. 1. С. 9–20.
9. *Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Klaap W.O., Ammann B.* Late glacial and Holocene vegetational changes on the Ulagan high-mountain plateau, Altai mountains, southern Siberia // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2004. № 209. Pp. 259–279.
10. *Timoshok E.E., Timoshok E.N., Gureyeva I.I., Skorokhodov S.N.* Primary successions of vegetation on the young moraines in the Severo-Chuiskiy center of glaciation // Contemporary Problems of Ecology.2020. V. 13. № 1. Pp. 36–47.
11. *Timoshok E.E., Timoshok E.N., Nikolaeva S., Savchuk, D., Filimonova E., Skorokhodov S, Bocharov A.* Monitoring of high-altitude terrestrial ecosystems in the Altai Mountains // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016. № 48. P. 012008.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание ИМКЭС СО РАН, регистрационный номер проекта 121031300226-5, FWRG–2021–0003).

УДК 556

ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОДАХ ПОДСТИЛОК СОСНЯКОВ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

И.В. ТОКАРЕВА, А.С. ПРОКУШКИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (gavrilenko@ksc.krasn.ru; prokushkin@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Водная миграция элементов питания в системе фитоценоз – почва является важным звеном биогеохимического круговорота веществ в биогеоценозах. В статье представлены результаты анализа содержания биогенных веществ в инфильтрационных водах органогенных горизонтов сосняков. На основе многолетних исследований показана динамика содержания фосфатов, нитратов, нитритов и аммония в течение вегетационного периода. Оценен поток элементов питания, поступающих с осадками в минеральные горизонты почвы в течение вегетационного периода. Выявлены лимитированность по неорганическому азоту лизиметрических вод и зависимости от гидротермических условий.

FEATURES OF THE BIOGENIC ELEMENTS CONTENT IN INFILTRATION WATERS OF PINE FOREST IN MIDDLE SIBERIA

I.V. TOKAREVA, A.S. PROKUSHKIN

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (gavrilenko@ksc.krasn.ru; prokushkin@ksc.krasn.ru)

Abstract. Water migration of nutrients in the phytocenosis – soil system is an important part of the biogeochemical cycle of substances in biogeocenoses. The article presents the results of the nutrients content analysis in the infiltration waters of organic horizons of pine forests. Based on many years of research, the dynamics of the phosphates, nitrates, nitrites and ammonium content during the growing season has been demonstrated. The flow of nutrients arriving with precipitation into the mineral horizons of the soil during the growing season is shown. Dependences on hydrothermal conditions and the limitation by inorganic nitrogen of lysimetric waters were revealed.

Биогенные элементы усваиваются растениями и используются в виде энергетического материала, принимают важное участие в физиологических и биохимических процессах растений и в процессах почвообразования. Основными элементами питания, оказывающими влияние на продуктивность лесных экосистем, а соответственно, на эффективность депонирования ими углерода, являются азот и фосфор [6, 8, 9]. На территории Средней Сибири в теплый период происходит нисходящая миграция веществ на глубину почвенного профиля. Когда инфильтрационная способность почвы для осадков превышена, органические и неорганические соединения вымываются с поверхности почвы и становятся значительным источником питательных веществ в водотоках, определяя интенсивность протекания продукционных процессов и трофический статус водных объектов. В связи с этим анализ качественного состава инфильтрационных вод этого региона, а также прогноз их изменений приобретают особую актуальность. Цель нашей работы заключалась в оценке многолетней изменчивости содержания биогенных элементов в инфильтрационных водах, проходящих через органические слои почв сосняков на территории Средней Сибири.

Стационарные исследования проводились на базе Среднеенисейского ОЭП Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (обсерватория ZOTTO, п. Зотино, 60°43′ с. ш., 88°57′ в. д.). Исследуемый район относится к среднетаежной подзоне. Климат района континентальный, с суровой снежной зимой и умеренно теплым влажным летом. Годовое количество осадков – 594 мм, среднегодовая температура воздуха – 3.5 °C [5]. В растительном покрове хорошо дренированных холмов (на песчаных почвах) основную роль играют сосновые леса, а в ландшафтных понижениях преобладают торфяники [10]. По системе классификации почв (World Reference Base soil classification) исследуемые почвы относятся к подзолам иллювиально-железистым (Albic Podzols) [2].

Объектами исследования были монолиты живого напочвенного покрова и подстилки сосняков лишайниковых площадью 50 × 50 см, которые размещались под уклоном 20°. Сбор инфильтрационных растворов осуществляли в течение четырех лет (2020–2023 гг.) с момента начала снеготаяния в апреле – мае (отбор дважды в сутки) и далее ежедневно с июня по октябрь после каждого выпадения осадков (в 24:00). В отобранных пробах измеряли объем, pH и удельную электропроводность. Далее образцы фильтровались (0.22 мкм, Millipore) и замораживались (-18 °C) до проведения лабораторного анализа. Содержание биогенных элементов ($P\text{-}PO_4$, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$ и $N\text{-}NH_4$) определяли на проточно-инжекционном анализаторе Lachat Quikchem 8500.

Долговременные исследования показали, что содержание фосфатов в лизиметрических водах варьирует от 0.01 до 0.64 мгР/л, нитратов – 0.002–0.19, нитритов – 0.002–0.23, аммония – 0.002–0.51 мгР/л. Наиболее высокие концентрации фосфатов и аммония (в 2-3 раза бóльшие по сравнению с другими годами наблюдений) отмечены в 2021 г., что, вероятно, обусловлено более засушливыми условиями с

минимальным количеством осадков, 318 мм, за период с апреля по ноябрь в сравнении с другими годами исследований (385–450 мм).

Анализ биогенов в инфильтрационных водах подстилок сосняков лишайниковых показал наличие корреляции между фосфатами и аммонийной формой азота ($r = 0.62$, $p < 0.05$) (рис. 1). Связи с другими минеральными формами азота не выявлено.

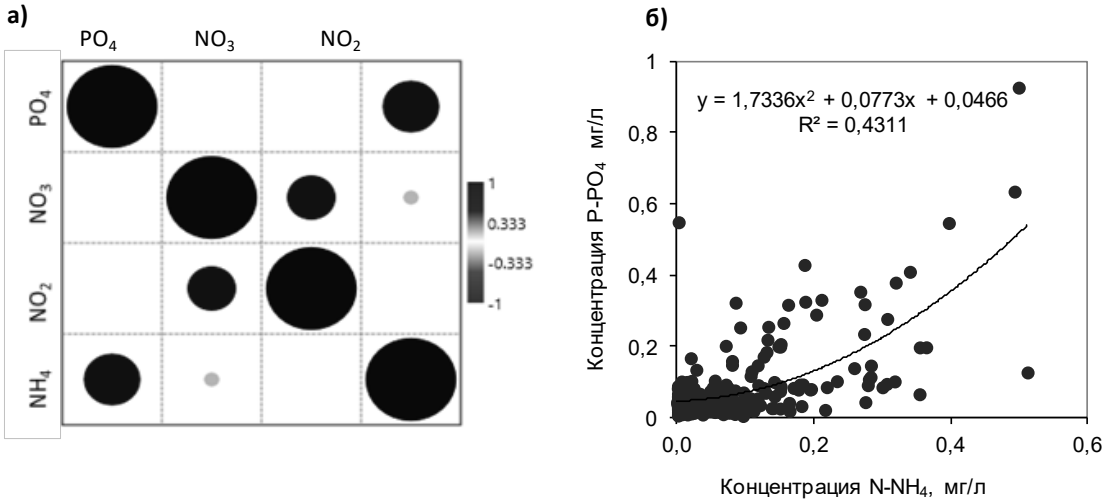


Рис. 1. Корреляция между основными биогенами в лизиметрических водах сосняков лишайниковых (а) и зависимость между фосфатами и аммонием (а) за период наблюдений 2020–2023 гг.

Количественная оценка потоков биогенных элементов показала, что за вегетационный период из органических горизонтов почв сосняков может вымываться в среднем в зависимости от года 11.5–35.4 мгР/м^2 фосфатов, 2.3–10.8 мг/м^2 нитратов, 4.1–8.3 мг/м^2 нитритов и 6.9–45 мг/м^2 аммония (рис. 2). При этом 32–53 % общего объема инфильтрационных вод приходится на период интенсивного снеготаяния. Доля потока в этот активный период составляет 18–49 % от общего потока за вегетационный сезон для фосфатов, 14–57 % для нитратов, 10–44 % для нитритов и 27–32 % для аммония. При периодическом промораживании и оттаивании почвы, свойственных периоду снеготаяния, наблюдается массовая гибель микроорганизмов и выход в почвенный раствор аккумулированных в их биомассе элементов, в том числе фосфора и азота [1, 7], что определяет их значительное присутствие в растворах в начале сезона вегетации.

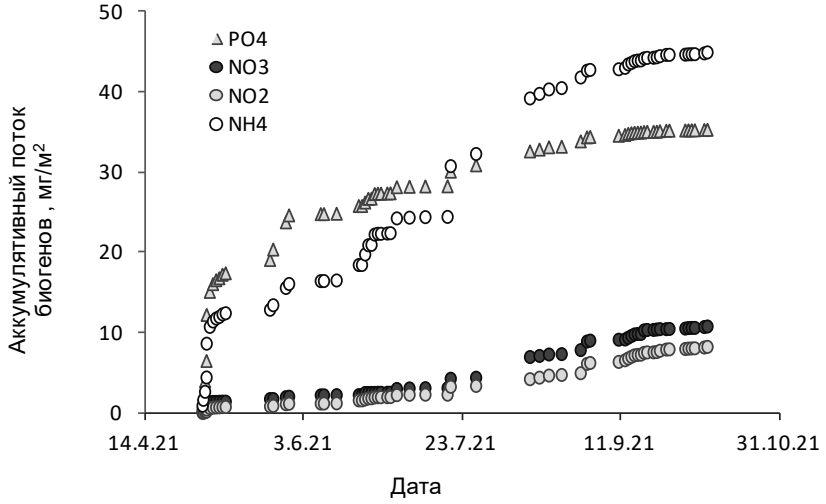


Рис. 2. Аккумулятивный поток биогенных элементов (фосфаты, нитраты, нитриты, аммоний) за вегетационный сезон 2021 г.

В качестве инструмента для оценки лимитирования питательных веществ используется молярное соотношение N : P как в растительных сообществах [4], так и для водных объектов [3]. В нашем исследовании соотношение N : P варьирует в разные даты отбора образцов от 0.2 до 44.4, демонстрируя дефицит как минерального азота, так и фосфора. Но в среднем за весь период наблюдений составляет 8.2 ± 0.5, что преимущественно указывает на лимитирование экосистем по азоту. В целом в весенний период

(май + июнь) соотношение N : P имеет более высокие значения (9–16 в среднем в зависимости от года), которые снижаются в летний сезон (июль + август) в 1.5–6 раз. Исключение составляет 2021 г., когда наблюдалось обратная тенденция – увеличение соотношения N : P от весеннего периода к летнему (с 4 до 17). При этом доля аммонийного азота в весенний период достигает 70 % от общего минерального азота, снижаясь до 34 % в осеннюю межень.

Таким образом, на основе многолетних исследований продемонстрирована динамика содержания фосфатов, нитратов, нитритов и аммония в течение вегетационного сезона. Выявлены максимальные концентрации в наиболее засушливый год и лимитирование поступающих вод по неорганическому азоту. Показан количественный поток биогенных элементов, поступающих с осадками в минеральные горизонты почвы в период вегетации, и его зависимость от гидротермических условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Chapin F.S., Barsdate R.J., Barèl D.* Phosphorus cycling in Alaskan coastal tundra: A hypothesis for the regulation of nutrient cycling // Oikos. 1978. 31 (2). 189. DOI: 10.2307/3543562.
2. *Dymov A.A., Startsev V.V., Yakovleva E.V., Dubrovskiy Y.A., Milanovsky E.Y., Severgina D.A., Panov A.V., Prokushkin A.S.* Fire-induced alterations of soil roperties in albic podzols developed under pine forests (middle taiga, Krasnoyarsky Kray) // Fire. 6 (2). DOI: 10.3390/fire6020067.
3. *Ekholm P.* N : P ratios in estimating nutrient limitation in aquatic systems // Finnish Environment Institute. 2008. 11–14. [Электронный ресурс]. URL: http://www.cost869.alterra.nl/fs/fs_npratio.pdf.
4. *Koerselman W., Meuleman A.F.M.* The vegetation N : P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation // The J. of Applied Ecology. 1996. 33 (6). 1441. DOI: 10.2307/2404783.
5. *Makhnykina A.V., Prokushkin A.S., Menyailo O.V., Verkhovets S.V., Tychkov I.I., Urban A.V., Rubtsov A.V., Koshurnikova, N. N., Vaganov E.A.* The impact of climatic factors on CO_2 emissions from soils of middle-taiga forests in Central Siberia: Emission as a function of soil temperature and moisture // Russian J. of Ecology. 2020. 51 (1). 46–56. DOI: 10.1134/S1067413620010063.
6. *Reichert T., Rammig A., Fuchslueger L., Lugli L.F., Quesada C.A., Fleischer K.* Plant phosphorus-use and -acquisition strategies in Amazonia // New Phytologist. 2022. 234 (4). 1126–1143. DOI: 10.1111/nph.17985.
7. *Schimel J.P., Kielland K., Chapin F.S.* Nutrient availability and uptake by tundra plants // Landscape Function and Disturbance in Arctic Tundra. 1996. 120. 203–221. DOI: 10.1007/978-3-662-01145-4.
8. *Soudzilovskaia N.A., Onipchenko V.G., Cornelissen J.H.C., Aerts R.* Biomass production, N : P ratio and nutrient limitation in a Caucasian alpine tundra plant community // J. of Vegetation Science. 2005. 16 (4). 399–406. DOI: 10.1111/j.1654-1103.2005.tb02379.x.
9. *Theodose T.A., Bowman W.D.* Nutrient availability, plant abundance, and species diversity in two alpine tundra communities // Ecology. 1997. 78 (6). 1861–1872. DOI: 10.1890/0012-9658(1997)078[1861:NAPAAS]2.0.CO;2.
10. *Карпенко Л.В., Прокушкин А.С.* Reconstruction of fires in virgin forests at sym-dubches interfluve in the Holocene // Сиб. лесной журн. 2019. 5. 61–69. DOI: 10.15372/sjfs20190508.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках государственного задания № FWES-2024-0023 и реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6). Авторы выражают благодарность С.В. Титову, А.А. Цуканову, Н.В. Сиденко, Р.А. Колосову за проведение полевых работ и сбор лизиметрических вод.

УДК 630.181

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГОРИМОСТИ ЛЕСОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СИБИРИ ПРИ СОВРЕМЕННЫХ ТРЕНДАХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

П.Д. ТРЕТЬЯКОВ[1, 2], Е.И. ПОНОМАРЁВ[1, 2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (ptretyakov99@mail.ru, evg@ksc.krasn.ru)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск (ptretyakov99@mail.ru, evg@ksc.krasn.ru)

Аннотация. В работе была проведена оценка пространственно-временной изменчивости основных метеорологических параметров, таких как температура воздуха, количество осадков и грозовая активность, с учетом их распределения по долготе. Дополнительно были восстановлены тренды тепло- и влагообеспеченности, а также продолжительности пожароопасного периода. Были определены относительные аномалии основных метеорологических факторов за период с 2000 по 2022 г. в сравнении со среднестатистическими нормами за столетний период и относительная скорость их изменения в условиях современного климата. Для рассмотренных показателей была выполнена геопространственная интерполяция с использованием геоинформационных систем. На основе корреляционного анализа определена степень связи между рассматриваемыми факторами и показателями горимости в арктической зоне Сибири в период с 2002 по 2022 г.

PATTERNS OF FOREST BURNING IN THE ARCTIC ZONE OF SIBERIA WITH MODERN TRENDS IN METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS

P.D. TRETYAKOV[1, 2], E.I. PONOMAREV[1, 2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (ptretyakov99@mail.ru, evg@ksc.krasn.ru)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (ptretyakov99@mail.ru, evg@ksc.krasn.ru)

Abstract. The work assessed the spatial and temporal variability of the main meteorological parameters, such as air temperature, precipitation and thunderstorm activity, taking into account their distribution by longitude. Additionally, the trends of heat and moisture availability, as well as the duration of the fire-hazardous period, were restored. The relative anomalies of the main meteorological factors for the period from 2000 to 2022 were determined in comparison with the average statistical norms over a century period and the relative rate of their change in the conditions of the modern climate. Spatial interpolation using geoinformation systems was performed for the considered indicators. On the basis of correlation analysis, the degree of relationship between the factors under consideration and the indicators of burning in the Arctic zone of Siberia in the period from 2002 to 2022 was determined.

Тема горимости лесов и значимости послепожарных эффектов в Сибири не теряет актуальности на фоне прогнозируемых изменений климата. Практика последних лет показывает, что периодические повторения экстремальных пожарных сезонов и массовых лесных пожаров в Сибири вызывают широкий интерес в научном плане и в области практических решений. Одна из активно обсуждаемых в последние годы тем – смещение пожаров в северные широты, горимость северной части бореальных лесов и тундры Сибири, что особенно ярко проявилось в пожароопасный сезон 2020 г. [2, 4]. Современная оценка воздействий изменения климата (Arctic Climate Impact Assessment) показывает тенденцию роста температуры в Арктике, достигающего ~3 °С за 30-летний период (1971–2000 гг.) в отдельных районах (Аляска, Северная Канада, Сибирь) [3]. Так глобальное потепление может провоцировать рост вероятности возникновения пожаров, их частоты и интенсивности, что оказывает существенное воздействие на лесные экосистемы и экосистемы притундровых регионов [1]. В связи с этим в регионе актуальны исследования современных трендов метеорологических параметров, необходимые для прогнозирования пожарной активности и минимизации возможных последствий от лесных пожаров и послепожарных процессов.

Цель исследования – анализ закономерностей горимости лесов в контексте современных трендов метеорологических показателей в арктической зоне Сибири. Район исследования включал арктическую зону Сибири (64–74° с. ш., 60–150° в. д.) с выделением 4 секторов: I сектор – 60–80° в. д., II сектор – 80–110° в. д., III сектор – 110–130° в. д. и IV сектор – 130–150° в. д.

С начала XXI в. в арктической зоне Сибири зафиксированы положительные тренды по температуре воздуха (ТВ), продолжительности вегетационного периода (ВП) и числу дней с грозовой активностью. Максимальное повышение температуры воздуха за май – сентябрь на градиенте долготы зафиксировано в I и II секторе, минимальное – в секторе III и IV. За 50 лет длительность вегетационного периода выросла на 30 %, с 54 ± 9 дней в 1961–1970 гг. до 71 ± 14.8 дня в 2011–2020 гг. соответственно.

Снижение осадков на 8–15 % по сравнению с периодом 1960-х гг. в Западной Сибири (сектор I и II) незначительно оказывает влияние на пожарные режимы этой территории. Подтверждением этого является незначительное изменение показателя тепловлагообеспеченности (0.7–10 % от оптимума) и уменьшение горимости. Значительная разница, отмеченная для восточной части Сибири (сектор III и IV) между снижением осадков (34–37 %) и ростом температуры (23–25 %), показывает увеличение засушливости

климата и, как следствие, увеличение горимости – $\gamma = 4.86$ % (при среднемноголетней норме $\langle\gamma\rangle = 0.62$ %) в восточной части арктической зоны Сибири.

Анализ многолетних данных о пожарах демонстрирует, что в 2000–2022 гг. среднемноголетнее количество пожаров на территории >64° с. ш. составляет ~4.56 ± 1.15 % общей статистики Сибири, ежегодные их площади варьируют на уровне ~11.16 ± 4.56 % от площади, пройденной пожарами за сезон.

Корреляционная матрица для совокупности метеопараметров, влияющих на возникновение пожаров и на характеристику горимости в регионе, констатирует значимый уровень корреляции между площадями пожаров и длительностью вегетационного периода ($r = 0.32$), осадками ($r = –0.31$), температурой воздуха летнего периода ($r = 0.60$). При этом число пожаров определяется совокупностью переменных, таких как длительность вегетационного периода ($r = 0.25$), осадки ($r = –0.38$), температура воздуха летнего периода ($r = 0.49$) и грозовая активность ($r = 0.20$). В целом горимость во всех секторах района исследований характеризуется значимой обратной корреляционной связью с показателем тепловлагообеспеченности ГТК на уровне $r = –0.48…–0.64$ для $p < 0.05$.

В арктической зоне Сибири при современных темпах климатических изменений возможно дальнейшее усиление роли пожаров как фактора, определяющего и процессы на уровне экосистем, и процессы глобального характера. В частности, пожары в тундре влияют не только на растительность, но и на тепловой баланс почвы и мерзлотных слоев. И хотя повторяемость экстремальных событий в зоне Арктики укладывается в общую цикличность пожарных сезонов Сибири [2], вероятно, спорадические экстремумы горимости северных территорий будут иметь все большие масштабы в перспективе. Потенциальные изменения климата, в частности, рост температуры летнего периода, дефицит или перераспределение осадков (как в пространственном плане, так и во времени в течение сезона) способны существенно влиять на частоту возникновения пожаров растительности в Сибири, включая арктическую часть ее территории. При этом для Арктики Сибири, относимой к зоне исключительно спутникового мониторинга пожаров, будет возрастать риск увеличения площадей пожаров при отсутствии системы их контроля, предупреждения и выборочного тушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов В.А., Пономарёв Е.И., Иванова Г.А., Мальканова А.В.* Грозы и лесные пожары в современных климатических условиях Средней Сибири // Метеорол. и гидрол. 2023. 7. С. 102–113.
2. *Conard S.G., Ponomarev E.I.* Fire in the north – the 2020 Siberian fire season // Wildfire. 2020. 4. 7 p.
3. *Ciavarella A., Cotterill D., Sott P. et al.* Prolonged Siberian heat of 2020 almost impossible without human influence // Climatic Change. 2021. 166.
4. *Kharuk V.I., Dvinskaya M.L., Im S. T. et al.* Wildfires in the Siberian Arctic // Fire. 2022. V. 5. 4. 15 p.

УДК 551.345

ТРЕНДЫ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОЧВ ТУНДРОВЫХ ЛАНДШАФТОВ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

П.Д. ТРЕТЬЯКОВ[1, 2], Т.В. ПОНОМАРЁВА[1, 2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (ptretyakov99@mail.ru, petrovae@yahoo.com)
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск (ptretyakov99@mail.ru, petrovae@yahoo.com)

Аннотация. Изучены межгодовые особенности распределения температуры воздуха и почвы. За 1960–2022 гг. показано потепление на территории Красноярского края в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты в почвенных профилях и подстилающих породах до 320 см. Проведенный анализ, основанный на метеоданных за последние 60 лет, позволил описать особенности связи между температурой воздуха и температурой почвогрунтов на глубинах от 0 до 320 см. Изменения температур воздуха и почвогрунтов на рассмотренных глубинах имеют значимую корреляцию. Влияние температуры воздуха наблюдается преимущественно в верхних горизонтах 20–40 см. Приведен результат прогноза изменения глубины протаивания почв тундровых ландшафтов при естественном воздействии климата.

TRENDS IN THE TEMPERATURE REGIME OF SOILS OF TUNDRA LANDSCAPES IN THE KRASNOYARSK REGION

P.D. TRETYAKOV[1, 2], T.V. PONOMAREVA[1, 2]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (ptretyakov99@mail.ru, petrovae@yahoo.com)
[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (ptretyakov99@mail.ru, petrovae@yahoo.com)

Abstract. The interannual features of the distribution of air and soil temperatures have been studied. In 1960–2022, warming was shown on the territory of the Krasnoyarsk region in the zone of continuous permafrost distribution in soil profiles and underlying rocks up to 320 cm. The analysis, based on meteorological data over the past 60 years, allowed us to describe the features of the relationship between air temperature and soil temperature at depths from 0 to 320 cm. Changes in air and soil temperatures at the considered depths have a significant correlation. The influence of air temperature is observed mainly in the upper horizons of 20–40 cm. The result of the forecast of changes in the depth of thawing of soils of tundra landscapes under the natural influence of climate is presented.

Повышение температуры в полярных регионах из-за изменения климата вызывает значительные изменения в ландшафтах, в которых преобладает вечная мерзлота. Гидротермическое состояние многолетнемерзлых и сезонно промерзающих грунтов зависит от совокупности климатических и природных факторов. Данные метеорологических станций и геокриологических стационаров, широко использующиеся при составлении оценок и прогнозов современной эволюции криолитозоны, могут быть востребованы и для анализа температурных режимов почв [1, 2].

Целью работы было исследование особенностей температурного режима почв в пределах тундровой зоны Красноярского края и их многолетних трендов.

Район исследования находится в зоне сплошной многолетней мерзлоты на территории Красноярского края (58–78° с. ш., 81–107° в. д). Многолетние ряды температур почв были обобщены по данным открытого каталога «Специализированные массивы для климатических исследований» (http://www.meteo.ru, дата обращения: 20.07.23) Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации. Всего обработаны материалы по 3 метеостанциям (Норильск, Дудинка, Игарка). В работе использовались показатели суточных температур почв на глубинах 0 см, 20 см, 40 см, 80 см, 160 см, 320 см.

После 2000 г. многие авторы отмечают значительные изменения в температурах воздуха [3, 4]. В зоне сплошного распространения мерзлоты в XX в. в период с 1961 по 2000 г. температура воздуха (ТВ) превысила средние климатические нормы на 2 °С. Самый теплый год с 1960 г. пришелся на 2020-й. За рассмотренный период на исследуемой территории зафиксировано потепление почв на всех глубинах: на глубине 20 см – на 0.60 ± 0.76 °С/10 лет, 40 см – 0.43 ± 0.64 °С/10 лет, 80 см – 0.39 ± 0.28 °С/10 лет, 160 см – 0.43 ± 0.33 °С/10 лет, 320 см – 0.39 ± 0.34 °С/10 лет. Коэффициенты корреляции (r) между температурой воздуха и температурой почв показывают, что наибольшее влияние температуры воздуха оказывают на верхние почвенные горизонты (20–80 см), r = 0.5–0.58.

На основе коэффициентов наклона (Slope) трендов климатических изменений мы получили модель и построили температурный почвенный профиль до середины XXI в. (рис. 1). Выявлено, что летние температуры имеют более высокие темпы роста по сравнению с зимними. Наибольшее повышение зимней температуры почвы наблюдается на глубине 40 см (0.7 °С/10 лет), в летнее время наибольшее потепление происходит на глубинах 80–160 см (1–1.2 °С/10 лет).

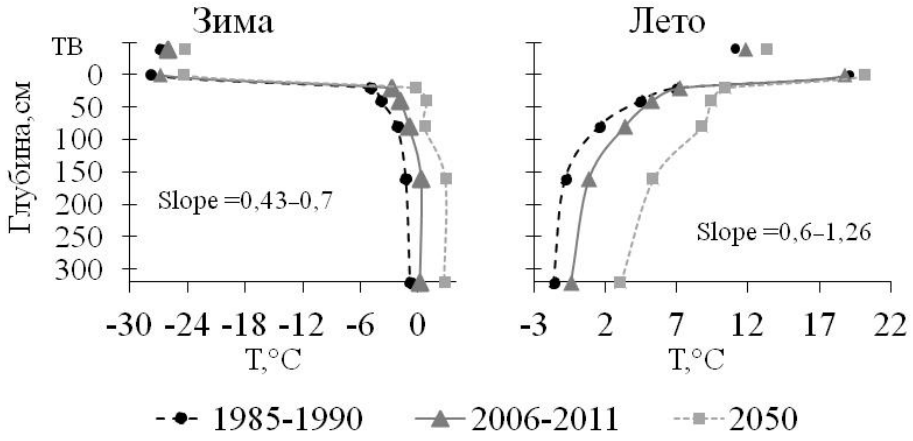


Рис. 1. Прогнозный профиль температур почв на разных глубинах в зоне сплошного распространения мерзлоты
* *Примечание*. Slope – коэффициенты скорости изменения температуры за 10 лет

По результатам анализа данных температур почв на метеостанциях можно сделать вывод, что в зоне сплошного распространения мерзлоты в пределах тундровых ландшафтов Красноярского края за период с 1980 по 2022 г. наблюдается тенденция повышения не только температуры воздуха, но и температуры почв. В данной зоне по мере увеличения сезонно-талого слоя можно ожидать значительных изменений в состоянии и функционировании почв, что обусловлено смещением уровня залегания мерзлоты за пределы почвенного профиля. Влияние мерзлоты как фактора в таком случае существенно ослабевает, доминирующие почвообразовательные процессы могут смениться, снизится интенсивность криогенных процессов, усилится дерновый процесс и т. д. Кроме того, учитывая, что на рассмотренной территории располагаются крупные промышленные объекты, которые являются источниками аэротехногенного загрязнения компонентов экосистем, увеличится миграционная активность техногенных элементов. Увеличение подвижности элементов, в том числе и тяжелых металлов, может повлиять на состояние растительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анисимов О.А., Жирков А.Ф., Шерстюков А.Б.* Современные изменения криосферы и природной среды в Арктике //Арктика XXI в. Естественные науки. 2015. 2 (3). С. 24–47.
2. *Павлов А.В.* Тренды современных изменений температуры почвы на севере России // Криосфера Земли. 2008. Т. 12. №. 3. С. 22–27.
3. *Тихонов Д.Г., Владимирцев В.А.* Глобальный прогноз последствий потепления климата Северного полушария // Сибирские исследования. 2019. 1. С. 6–13.
4. *Трофимова И.Е., Балыбина А.С.* Районирование Западно-Сибирской равнины по термическому режиму почв // География и природные ресурсы. 2015. 3. С. 27–38.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследования выполнены за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-14-20007, https://rscf.ru/project/23-14-20007/, Красноярского краевого фонда науки

УДК 630.232, 381.3

СОРТОВОЕ ПЛАНТАЦИОННОЕ ЛЕСОВЫРАЩИВАНИЕ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ СОМАТИЧЕСКОГО ЭМБРИОГЕНЕЗА *IN VITRO*

И.Н. ТРЕТЬЯКОВА, М.Э. ПАК

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (culture@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Создана коллекция клеточных линий (КЛ) пролиферирующих эмбриогенных культур лиственницы сибирской и ее гибридов. КЛ отличались по длительности культивирования, интенсивности роста культур и эмбриональной продуктивности, гормональному балансу и генетической стабильности, определяемой по ядерным микросателлитным локусам и плоидности. Отдельные КЛ сохраняют генетическую стабильность при длительном культивировании. Получены клонированные деревья, которые в течение 9 лет успешно растут в почве лесопитомника.

VARIETAL PLANTATION REFORESTATION BASED ON *IN VITRO* SOMATIC EMBRYOGENESIS TECHNOLOGY

I.N. TRETYAKOVA, M.E. PARK

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (culture@ksc.krasn.ru)

Abstract. A collection of cell lines (CL) of proliferating embryogenic cultures of Siberian larch and its hybrids has been created. CL differed in duration of cultivation, intensity of culture growth and embryonic productivity, hormonal balance and genetic stability, determined by nuclear microsatellite loci and ploidy. Individual cells protect genetic stability during long-term cultivation. Cloned trees have been obtained, which have been successfully growing in the soil of the nursery for 9 years.

На основе биотехнологии соматического эмбриогенеза в культуре *in vitro* было создано новое перспективное направление – сортовое плантационное лесовыращивание (программа Multi-Varietal Forestry, MVF) [2], направленное на создание быстрорастущих хозяйственно ценных и элитных форм. Успех в реализации биотехнологии соматического эмбриогенеза зависит от разработки маркеров, ответственных за формирование соматических зародышей и оценку генетической стабильности полученных клеточных линий (генотипов) и клонированных растений. В Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН создана коллекция клеточных линий (КЛ) пролиферирующих эмбриогенных культур лиственницы сибирской и ее гибридов. Эта коллекция включает 54 КЛ, состоящих из активно пролиферирующей эмбрионально-суспензорной массы (ЭСМ), в которой происходит массовое образование соматических зародышей (до 11 103 глобулярных зародышей на 1 г сырого веса ЭСМ). КЛ были получены в разные годы (2008–2022) от 6 деревьев-доноров лиственницы сибирской, устойчивых к лиственничной почковой галлице. КЛ отличались по длительности культивирования, интенсивности роста культур и эмбриональной продуктивности, гормональному балансу и генетической стабильности, определяемой по ядерным микросателлитным локусам и плоидности. Пролиферация отдельных КЛ продолжается более чем 14 лет [3]. Соматические зародыши таких линий активно мультиплицируют через кливаж.

Морфологическими маркерами эмбриогенных КЛ являются молочный цвет каллуса и его рыхлая структура. Гистологические маркеры эмбриогенной культуры проявляются в удлинении соматических клеток, их поляризации и неравномерном делении, образовании глобулы соматического зародыша и эмбриональных трубок суспензора. Физиологические маркеры проявляются в локализации ауксина (ИУК) на одном из концов удлиненных клеток, там, где будет происходить образование глобулы соматического зародыша. В глобулярных зародышах идет четкое распределение гормонов. ИУК, цитокинины и АБК локализуются в клетках глобулы и полностью отсутствуют в клетках эмбриональных трубок суспензора. По данным иммуноферментного анализа, активно пролиферирующие КЛ характеризуются высоким уровнем содержания ИУК (до 2068 нг/г сухого веса), значительно меньшим – цитокининов (до 181 нг/г сухого веса) и очень низким уровнем АБК (до 30 нг/ г сухого веса). При вызревании (дифференцировке) соматических зародышей на среде АИ с АБК происходит увеличение содержания ИУК (до 8541 нг/г сухого веса) и АБК (до 159 нг/г сухого веса). Уровень содержания цитокининов остается таким же, как у пролиферирующей ЭСМ.

Оценка генетической стабильности КЛ в процессе соматического эмбриогенеза *in vitro* и у клонированных растений лиственницы сибирской по 21 видоспецифичному ядерному микросателлитному локусу показала слабую генетическую изменчивость. В ряде КЛ была обнаружена генетическая нестабильность. По данным цитогенетического анализа, генетическая стабильность сохраняется у молодых клеточных линий в возрасте 1–3 года. При длительном культивировании плоидность культур изменяется. Однако выявлены клеточные линии с измененным хромосомным набором и измененными микросателлитными локусами. Нестабильность генома – высокая частота мутаций – особенно ярко проявилась при близкородственном скрещивании клонов, полученных из КЛ дерева-донора и самого дерева-донора. Отдельные КЛ (КЛ № 6) сохраняют генетическую стабильность в течение 11 лет [1]. Из

этой КЛ получены клонированные деревья лиственницы сибирской, которые в течение 9 лет успешно растут в почве лесопитомника в Погорельском стационаре Института леса. Клоны отличаются интенсивным ростом и сверхранним развитием генеративных органов (в семилетнем возрасте) и не повреждаются лиственничной почковой галлицей. Следовательно, проведение регулярного цитогенетического и микросателлитного контроля очень важно при клонировании растений через соматический эмбриогенез. При этом необходимо выявлять генетическую стабильность или нестабильность клеточных культур. Выявление клеточных линий с измененным хромосомным набором представляет большой интерес для генетики хвойных растений, а также вносит вклад в развитие теоретических аспектов репродуктивной биологии и в целом – биологии развития.

Таким образом, соматический эмбриогенез является важной биотехнологией в размножении хвойных видов, в том числе для разработки и производства сортов деревьев с желательными селекционными признаками. Данная технология может быть успешно реализована в крупномасштабном коммерческом производстве. Наиболее важным преимуществом репродукции хвойных деревьев методом соматического эмбриогенеза является то, что эмбриогенные клеточные линии могут быть криогенно сохранены в ювенильном состоянии неограниченно долго, что было невозможно при других методах размножения деревьев.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пак М.Э., Горячкина О.В., Третьякова И.Н., Муратова Е.Н.* Цитогенетическая характеристика разновозрастных эмбриогенных клеточных линий, полученных через соматический эмбриогенез у *Larix sibirica* Ledeb. // Сиб. экол. журн. 2023. Т. 30. № 5. С. 715–723.
2. *Park Y.-S., Beaulieu J., Bousquet* J. Multi-varietal forestry integrating genomic selection and somatic embryogenesis // Vegetative propagation of forest trees. 2016. P. 302–322.
3. *Tretyakova I.N., Pak M.E.* Collectible cell lines of *Larix sibirica* obtained by somatic embryogenesis and their ability to regenerate // Forests. 2023. N 14. P. 1920.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках научного проекта № 22-14-20008.

УДК 630*

ВЛИЯНИЕ ПОТЕПЛЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЯ В ФЕНОЛОГИИ РОСТА ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ ЗА ПЕРИОД 1960–2014 ГГ.

И.И. ТЫЧКОВ[1], В.В. ШИШОВ[1], А.В. КИРДЯНОВ[1, 2], В.А. ИЛЬИН[1], А. АРЗАК[1]

[1] Сибирский федеральный университет, Красноярск (ivan.tychkov@gmail.com, vlad.shishov@gmail.com, kirdyanov@ksc.krasn.ru, ilynva@gmail.com, aarzac@gmail.com)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

Аннотация. Исследование фенологической реакции хвойных деревьев на изменения климата в лесах Восточной Сибири представляет значимость для прогнозирования изменений в продуктивности лесов. Используя модель Ваганова – Шашкина и статистический анализ, авторы оценили тренды в датах начала, конца и продолжительности сезона роста для *Larix cajanderi* и *Pinus sylvestris*. Результаты указывают на раннее начало сезона роста и увеличение его продолжительности, что отражает влияние изменений климата в течение периода исследования. Также были показаны различие в фенологии между северными и южными участками трансекта и связь между ранним началом сезона роста, продукцией клеток и шириной годичных колец у хвойных деревьев.

IMPACT OF WARMING ON CHANGES IN THE GROWTH PHENOLOGY OF CONIFEROUS TREES OF BOREAL FORESTS OF EASTERN SIBERIA FOR THE PERIOD 1960–2014

I.I. TYCHKOV[1], V.V. SHISHOV[1], A.V. KIRDYANOV[1,2], V.A. ILYN[1], A. ARZAC[1]

[1] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (ivan.tychkov@gmail.com, vlad.shishov@gmail.com, kirdyanov@ksc.krasn.ru, ilynva@gmail.com, aarzac@gmail.com)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk

Abstract. The study of phenological response of conifers to climate change in the forests of Eastern Siberia is significant for predicting changes in forest productivity. Using the Vaganov – Shashkin model and statistical analysis, the authors estimated trends in the dates of the beginning, end and duration of the growth season for *Larix cajanderi* and *Pinus sylvestris*. The results indicate an early start of the growing season and an increase in its duration, reflecting the influence of climate change during the study period. Differences in phenology between northern and southern transect sites were also shown, as well as the relationship between early growth season onset, cell production and annual ring width in conifers.

Текущие изменения климата оказывают значительное влияние на рост деревьев, что существенно сказывается на годовом бюджете углерода в лесах Северного полушария [2, 3]. Понимание фенологической реакции деревьев на изменения климата критически важно для прогнозирования изменений в распределении и продуктивности лесов. По этой причине исследования фенологических данных и продолжительности сезонов роста деревьев несут большую важность. Цель настоящего исследования заключалась в получении, анализе и оценке трендов в датах начала (SOS), конца (EOS) и продолжительности сезона роста (DOS) хвойных деревьев в различных лесных зонах Восточной Сибири.

Район исследования расположен от 72° с. ш. на севере до 50° с. ш. на юге и от 106° в. д. на западе до 144° в. д. на востоке. Высота над уровнем моря дендрохронологических участков колеблется от 30 до 626 м. Из-за большой протяженности территории исследования наблюдается значительная изменчивость климатических характеристик. Трансект был разделен на 4 подгруппы в соответствии с лесорастительными зонами: тундра, подзоны северной тайги, средней тайги и лесостепь. Исследования проведены для двух пород: *Larix cajanderi* и *Pinus sylvestris*.

При помощи модели Ваганова – Шашкина был смоделирован радиальный прирост хвойных деревьев на 39 участках [7]. Процедура параметризации модели проводилась с использованием приложения VS-Осциллограф [5, 6] и специально разработанного алгоритма на основе методов дифференциальной эволюции [4]. Такой подход позволяет находить оптимальные значения для многомерной функции или системы математических функций. С целью получения оптимальных оценок параметров было выполнено более 200 симуляций для каждого участка. Решение считалось оптимальным при достижении величины коэффициента корреляции Пирсона между исходной и модельной хронологиями статистически значимых ($p < 0,05$) значений, коэффициента синхронности Glk ≥ 70 % и RMSE <0,3. Решения с наилучшим соответствием между исходной и смоделированной хронологиями ширины древесных колец (ШГК) и соответствующие значения параметров затем проверялись вручную, чтобы гарантировать, что численные значения параметров модели обоснованны и находятся в разумных экологических пределах. Модель калибровалась по остаточной хронологии ШГК на периоде с 1980 по 2016 г., а верификация проводилась для данных с 1966 по 1979 г. Также на сайте www.meteo.ru были получены ежедневные инструментальные климатические данные для ближайшей к каждому участку метеостанции.

Статистический анализ проводился для изучения трендов в фенологии, включая даты SOS, EOS и DOS. Для расчета трендов использовалась линейная регрессия. Оценка уровней статистической значимости трендов проводилась с использованием двустороннего критерия значимости. Тренды были

построены как для всех участков, так и для каждого вида и лесорастительной зоны. Взаимосвязи продолжительности сезона роста и ШГК анализировались при помощи коэффициентов корреляции Кендалла [1].

Для большинства участков наблюдаются значимое увеличение длительности сезона роста в течение 1960–2014 гг., что во многом было вызвано более ранним стартом. Из двух интервалов наиболее значительные сдвиги фенологии происходили в последние 30 лет, с 1982 по 2014 г. (табл. 1). В то же время в течение интервала 1960–1981 гг. лишь на небольшом количестве участков наблюдались статистически значимые тренды. Общая тенденция, наблюдаемая в поздний период (1982–2014 гг.), указывает на устойчивую закономерность раннего начала и увеличения продолжительности сезона, что в целом отражает весь период исследования (1960–2014 гг.).

В среднем раннее начало сезона роста на 1960–2014 гг. составляют: для лиственницы, произрастающей в лесотундре, – 1.25 ($p > 0.05$) дня в декаду; для лиственницы в северной тайге – 1.9 ($p < 0.01$) дня/декаду; для лиственницы в тайге – 1.93 ($p < 0.01$) дня/декаду; вегетационный период *Pinus sylvestris* в тайге начинается раньше на -1.88 дня/декаду и в лесостепи раньше на -1.62 дня в декаду (для обоих $p < 0.01$) (табл. 1).

По данным пространственного моделирования фенологии камбия было показано, что начало сезона роста для северных участков трансекта наступает раньше, чем для южных. Кроме того, у хвойных деревьев, подвергшихся температурному лимитированию, наблюдалась тенденция к раннему началу сезона роста, которая положительно связана с продукцией клеток в течение вегетационного периода и, как следствие, с шириной годичных колец. Размер годичных колец на участках со смешанным лимитированием роста годичных колец в Южной Сибири не зависел от увеличения продолжительности вегетационного периода.

Таблица 1. Линейные тренды (дни/десятилетие) средних значений SOS, EOS и DOS изучаемых видов в разных лесорастительных зонах в периоды 1960–1981, 1982–2014 и 1960–2014 гг. *** – $p < 0.001$, ** – $p < 0.01$, * – $p < 0.05$

	SOS 1960–2014	EOS 1960–2014	DOS 1960–2014	SOS 1960–1981	EOS 1960–1981	DOS 1960–1981	SOS 1982–2014	EOS 1982–2014	DOS 1982–2014
Лесотундра LACA	-1.25	1.6**	3.04	-2.57	0.6	3.18	-3.6*	2.4*	6*
Северная тайга LACA	-1.9**	0.59	2.5***	-3.8	-0.81	3.03	-3.39**	0.85	4.7**
Тайга LACA	-1.93***	1.51 *	3.4***	-4.42*	3.29	7.49*	-2.48*	0.44	2.92*
Тайга PISY	-1.88***	0.51	2.4**	-3.6	1.15	4.82	-3**	-0.62	2.37
Лесостепь PISY	-1.62***	0.47	2.1***	1.37	0.73	-0.64	-2.49*	0.98	3.47**

ЛИТЕРАТУРА

1. *He M., Yang B., Shishov V. et al*. Relationships between wood formation and cambium phenology on the Tibetan Plateau during 1960–2014 // Forests. 2018. 9 (2). 86.
2. *Piao S., Fang J., Zhou L.et al.* Variations in satellite-derived phenology in China's temperate vegetation // Global change biology. 2006. 12 (4). 672–685.
3. *Piao S.L., Friedlingstein P., Ciais P. et al.* Growing season extension and its impact on terrestrial carbon cycle in the Northern Hemisphere over the past 2 decades // Global Biogeochemical Cycles. 2007. 21: GB3018. DOI: 10.1029/2006GB002888.
4. *Price K., Storn R.M., Lampinen J.A*. Differential evolution: a practical approach to global optimization // Springer Science & Business Media, 2006.
5. *Shishov V.V., Tychkov I.I., Popkova M.I. et al*. VS-oscilloscope: a new tool to parameterize tree radial growth based on climate conditions // Dendrochronologia. 2016. 39. 42–50.
6. *Tychkov I.I., Sviderskaya I.V., Babushkina E.A. et al*. How can the parameterization of a process-based model help us understand real tree-ring growth? // Trees. 2019. 33. 345–357.
7. *Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V*. Growth dynamics of conifer tree rings: images of past and future environments // Springer Science & Business Media, 2006. Т. 183.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РНФ (22-14-00048) и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSRZ-2023-0007).

УДК 57.033

БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ГОДИЧНЫХ КОЛЬЦАХ У БЕРЕЗЫ ИЗВИЛИСТОЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКОГО ТРЕНДА

Е.А. ТЮТЬКОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (tyukatie@gmail.com)

Аннотация. Анализ корреляционной связи между спектральными показателями древесинного вещества годичных колец у березы извилистой (*Betula tortuosa* Ledeb.), а также показателями, полученными методом пиролитической хромато-масс-спектрометрии, и средними значениями температуры воздуха и осадков показал, что главным образом компонентный состав древесины березы определяют погодные условия июня – августа.

BIOCHEMICAL CHANGES IN TREE RINGS IN MOUNTAIN BIRCH UNDER INFLUENCE OF CLIMATIC TREND

E.A. TYUTKOVA

V.N. Sukachev institute of forest SB RAS, Krasnoyarsk (tyukatie@gmail.com)

Abstract. Analysis of the correlation between the spectra in the tree rings of birch (*Betula tortuosa* Ledeb.), as well as indicators obtained by pyrolytic chromatography-mass spectrometry and average values of air temperature and precipitation showed that mainly weather conditions in June – August determine the component composition birch wood.

В 2017 г. Локосселли и Бакеридж [1] вводят в обращение новый термин «дендробиохимия». Термин расширяет понимание взаимосвязи между условиями произрастания дерева и процессами, происходящими в годичном кольце, объединяя «особенности» процессов в единую картину. «Особенности» внутри годичных колец должны включать параметры, отражающие физиологию и биохимию, которые можно измерить аналитически. Перспективным подходом в данном случае является использование современных и экспрессных физических методов исследования, таких как ИК-Фурье спектроскопия и пиролитическая хромато-масс-спектрометрия. Целью нашего исследования является получение информации о биохимической структуре в годичных приростах, сформировавшихся в разных погодных условиях, на примере березы извилистой (*Betula Tortuosa* Ledeb.), произрастающей в экотоне альпийской лесотундры Кузнецкого Алатау.

Исследования выполнялись в экотоне горной лесотундры Кузнецкого Алатау. ИК-спектры были получены с помощью инфракрасного Фурье-спектрометра VERTEX 80V (Bruker Optics, Германия). Пиролитическую хромато-масс-спектрометрию (Пи-ГХ/МС) компонентного состава продуктов пиролиза древесины проводили с помощью аналитической системы EGA/PY-3030D/GCMS-QP2020 (Shimadzu, Япония). Связь исследуемых физико-химических показателей годичных слоев у березы извилистой и климатических переменных оценивалась по величине коэффициента корреляции Спирмана.

Связь спектральных показателей со среднемесячной температурой представлена на рис. 1а. Интенсивности полос при 1375 см$^{-1}$ (С–Н связей в целлюлозе) и при 1325 см$^{-1}$ (лигнин S типа) показывают высокий значимый уровень отрицательной корреляции ($p < 0.001$) с температурой в мае (-0.59 и 0.66 соответственно). Кроме того, выявлены значимые при $p < 0.001$ отрицательные корреляции интенсивностей полосы при 1325 см$^{-1}$ (лигнин S типа) с августовскими значениями температуры воздуха (-0.57) и полосы при 1268 см$^{-1}$ (метоксильная группа лигнина) (0.64). Значения температуры воздуха в сентябре отрицательно связаны с интенсивностями полос при 1738 см$^{-1}$ (C = O связи в гемицеллюлозах) и при 1506 см$^{-1}$ (C = C связи в лигнине) (-0.61 и -0.73 соответственно). Значимые при $p < 0.001$ коэффициенты корреляции между уровнем среднемесячных осадков и спектральными показателями основных полимерных компонентов древесинного вещества у березы извилистой представлены на рис. 1б. Так, интенсивность полос при 1375 см$^{-1}$ (С–Н связей в целлюлозе) и при 1325 см$^{-1}$ (лигнин S-типа) отрицательно связаны с осадками в июне (-0,61 и -0,64 соответственно). Кроме того, выявлена положительная связь интенсивности полосы при 1325 см$^{-1}$ (лигнин S-типа) и июльскими осадками (0.60).

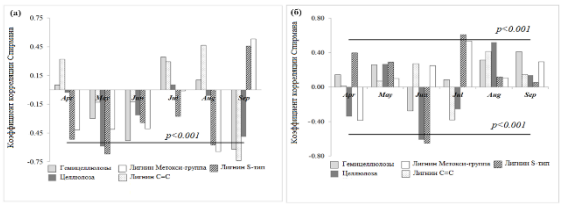


Рис. 1. Коэффициенты корреляции между среднемесячной температурой (а), среднемесячными осадками (б) и ИК-спектральными показателями годичных колец древесины *Betula tortuosa* L.

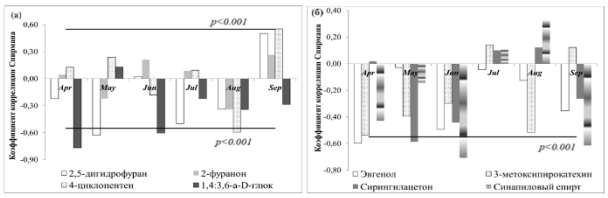


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между среднемесячной температурой воздуха и относительным содержанием продуктов пиролиза ароматического (а) и углеводного (б) комплексов древесины годичных колец *Betula tortuosa* L.

Отрицательная связь проявилась между 1.4:3.6-диангидро-α-D-глюкопиранозой с апрельской температурой (-0.77). 2.5-дигидрофуран отрицательно связан с температурой в мае (-0.63). 1.4:3.6-диангидро-α-D-глюкопираноза отрицательно коррелирует с температурой июня (-0.58). Также стоит отметить, что 4-циклопентен-1.3-дион отрицательно связан с температурой августа (-0.59) (рис. 2а). Положительной значимой при $p < 0.001$ зависимости ароматических компонент от среднемесячных значений температуры нами не выявлено (рис. 2б). Установлена значимая при $p < 0.001$ отрицательная связь эвгенола и сирингилацетона с весенними температурами. Корреляция эвгенола с апрельской температурой равна -0.59, корреляция сирингилацетона с температурой в мае составляет -0.58. Также установлена значимая при $p < 0.001$ отрицательная корреляция синапилового спирта с июньским и сентябрьским значениями температуры (-0.70 и -0.61 соответственно).

Значимых при $p < 0.001$ отрицательных корреляций между показателями углеводного комплекса и суммой месячных осадкой не выявлено (рис. 3а). В то же время установлено, что осадки в июле положительно связаны с 1.4:3.6-диангидро-α-D-глюкопиранозой (0.65). Положительная значимая при $p < 0.001$ корреляция 2-фуранона выявлена с осадками в августе (0.62). 1.4:3.6-диангидро-α-D-глюкопираноза положительно связана с осадками в сентябре (0.62). На рис. 3б представлена связь ароматической компоненты годичных слоев березы извилистой с месячными осадками. «Реакция» ароматического комплекса схожа с реакцией углеводной компоненты на осадки в июле и в сентябре. Так установлена значимая $p < 0.001$ положительная корреляция эвгенола и 3-метоксипирокатехина с июльскими осадками (0.57 и 0.61 соответственно), сирингилацетона – с августовскими значениями (0.63), а синапилового спирта – с сентябрьскими (0.70).

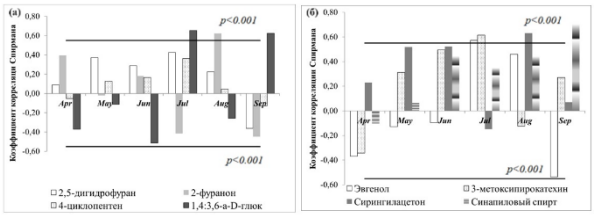


Рис. 3. Коэффициенты корреляции между среднемесячными осадками и относительным содержанием продуктов пиролиза углеводного (а) и ароматического (б) комплекса древесины годичных колец *Betula tortuosa* L.

В настоящем исследовании с применением методов ИКФС и ПиГХМС получен новый фактический материал, характеризующий спектральные и пиролитические особенности годичных голец березы извилистой. Выявлено, что погодные условия сезона роста существенно влияют на силу межмолекулярных взаимодействий в лигноуглеводной матрице и на соотношение продуктов пиролиза каждого годичного кольца:

– в апреле – мае в период предсезонной реактивации камбия и начала сезона роста при незначительном повышении температуры воздуха отмечено повышенное относительное содержание продуктов пиролиза углеводной и ароматической компонент и усиление межмолекулярных взаимодействий в лигноуглеводной матрице;

– в период активного роста отмечено снижение количества продуктов пиролиза углеводной и ароматической компонент, в то время как пониженное количество осадков периода вегетации определяет повышенное относительное содержание продуктов пиролиза углеводной и ароматической компонент и усиление межмолекулярных взаимодействий в лигноуглеводной матрице;

– в конце сезона вегетации межмолекулярные взаимодействия в лигноуглеводной матрице ослабевают с понижением температуры, повышается относительное содержание продуктов пиролиза углеводной и ароматической компонент, обильные осадки определяют повышенное содержание продуктов пиролиза углеводной и ароматической компонент;

– ароматическая компонента годичных колец оказалась более чувствительной к изменяющимся климатическим факторам, чем углеводная.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Locosselli G.M., Buckeridge M.S.* Dendrobiochemistry, a missing link to further understand carbon allocation during growth and decline of trees // Trees. 2017. 31: 1745–1758.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Российского научного фонда «Стратегия адаптивного управления бореальными лесами Сибири в условиях глобальных изменений» (№ 21-46-07002) и с использованием оборудования Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

УДК 630*181.351; 574.4

ИСТОРИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНСТИТУТА ЛЕСОВЕДЕНИЯ РАН

И.А. УТКИНА, В.В. РУБЦОВ

Институт лесоведения РАН, Успенское, Московская область (UtkinaIA@yandex.ru, VRubtsov@mail.ru)

Аннотация. Перечислены опытные лесничества и стационары Института лесоведения РАН в разных природных зонах европейской части России. Указаны основные направления и результаты научных исследований, выполненных на этих территориях.

HISTORY OF STATIONARY RESEARCH IN THE INSTITUTE OF FOREST SCIENCE OF RAS

I.A. UTKINA, V.V. RUBTSOV

Institute of Forest Science of RAS, Uspenskoe, Moscow region (UtkinaIA@yandex.ru, VRubtsov@mail.ru)

Abstract. The experimental forestries and stationaries of the Institute of Forest Science of RAS in different natural zones of the European part of Russia are listed. The main directions and results of scientific research carried out in these areas are indicated.

Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН) берет свое начало с 1944 г. – года создания Института леса АН СССР. В 1958 г. Институт леса был переведен в г. Красноярск, одновременно была создана Лаборатория лесоведения АН СССР (в 1991 г. преобразованная в ИЛАН РАН). Ей были переданы опытные лесничества и стационары Института леса в европейской части страны, созданные при активном участии акад. В.Н. Сукачева. В дальнейшем сеть стационаров расширялась, они стали необходимой частью экосистемных исследований, определив дальнейшую судьбу и стиль работы ИЛАН РАН [1, 2, 3].

В настоящее время ИЛАН РАН располагает следующими научно-исследовательскими базами: 1) Серебряноборское опытное лесничество (Московская обл. и г. Москва), 2) Теллермановское опытное лесничество (Воронежская обл.), 3) Северная лесная опытная станция (Ярославская обл.), 4) Западнодвинский лесоболотный стационар (Тверская обл.), 5) Онежский стационар (Архангельская обл.), 6) Джаныбекский стационар (Волгоградская обл.), 7) Аршань-Зельменский стационар (Республика Калмыкия).

Серебряноборское опытное лесничество (СОЛ) площадью около 2000 га организовано в 1944 г. одновременно с Институтом леса АН СССР и располагается на границе г. Москвы и Московской обл. Территория СОЛ типологически очень разнообразна благодаря разнообразию природных условий и давности лесопользования. Преобладают сосновые леса, преимущественно сложные, с дубом и липой в составе древостоев и с лещиной в подлеске.

Основные направления исследований в СОЛ: геоботанические (динамика растительности, влияние древостоев и подлеска на травяно-кустарничковый ярус, ценопопуляционный анализ растительных сообществ, эколого-биологические особенности травянистых растений, их репатриация в места прежнего обитания, антропогенные изменения лесных фитоценозов в связи с близостью мегаполиса), эколого-физиологические (водный режим растений и расход воды на транспирацию древостоев, фотосинтез древесных растений, радиационный режим леса); почвенные (почвенное картирование территории СОЛ, динамика водного режима почв, азотный режим почв, влияние растительности на свойства почв, разложение опада и химический состав вымываемых из него веществ); микробиологические (численность и видовой состав микроорганизмов в почвах различных типов леса, в том числе на участках, нарушенных рекреацией); зоологические (описание видов птиц, млекопитающих, почвенных животных; исследована роль лосей в круговороте и превращении веществ в лесных биогеоценозах) и др.

В первые годы существования СОЛ были заложены постоянные пробные площади, созданы географические культуры сосны, наблюдения за которыми продолжаются до сих пор. За все время существования лесничества в нем ведутся производственные опыты – разработка форм ведения лесного хозяйства в сложных борах с учетом их биогеоценотических позиций, создание культур разных типов и анализ их роста, реконструкция осинников с переводом их в высококачественные древостои, возобновление сосны под пологом спелых и перестойных сосняков и др.

Теллермановское опытное лесничество (ТОЛ) также создано в 1944 г., располагается на южной границе произрастания высокопродуктивных нагорных широколиственных лесов с господством поздней формы дуба. Его территория, около 2000 га, охватывает основные ландшафтно-рельефные разности и типы растительного покрова Теллермановского лесного массива площадью около 43 000 га (снытьево-осоковые, осоково-снытьевые ясеневые дубравы в нагорной части, полево-кленовые и бересклетовые дубравы на склонах, ландышевые и ландышево-ежевичные дубравы в пойменной части).

Ландшафтно-типологическое богатство ТОЛ неизменно привлекает множество специалистов разной специализации: лесоводов, ботаников, почвоведов, микробиологов, зоологов, энтомологов. Как

пример зонального широколиственного леса лесничество послужило для сравнительных исследований флоры и фауны, почвообразования, продуктивности лесов и др.

В первые годы существования ТОЛ было выполнено описание элементов ландшафта, почв, типов растительности, сукцессионных смен, особенностей взаимодействия лесной растительности и почв. Позже изучались гидрология массива, водный режим насаждений, средообразующая роль леса; определялись запасы фитомассы, минеральный состав, продуктивность, энергетический баланс биогеоценозов; был заложен цикл лесоводственных экспериментов.

Несколько кварталов ТОЛ с уникальными перестойными 250-280-летними дубравами имеют статус памятника природы областного значения.

Северная лесная опытная станция (ЛОС) была организована в 1955 г. по инициативе В.Н. Сукачева в подзоне средней тайги (Вологодская обл.), однако в 1958 г. была переведена в подзону южной тайги с более интенсивной лесохозяйственной деятельностью. В настоящее время ЛОС располагается в четырех пунктах Ярославской обл. Коренная формация растительности – ельники, широко распространены мелколиственные леса, возникшие на вырубках и гарях и находящиеся в фазе их смены ельниками, есть и сосняки на флювиогляциальных отложениях, а также мелколиственные леса на брошенных сельскохозяйственных землях.

Основное направление работ на ЛОС – стационарное биогеоценологическое изучение природы коренных и производных южнотаежных лесов в естественных и измененных хозяйственной деятельностью условиях, научное обоснование лесохозяйственных мероприятий, обеспечивающих замену лиственных древостоев на хвойные и повышение продуктивности лесов. На станции был выполнен комплекс почвенно-экологических, гидрологических, фитоценотических, лесоводственных и других исследований: уникальные наблюдения за корнями основных древесных пород по оригинальной методике с целью изучения формирования и развития сосущих и тонких проводящих корней в зависимости от почвенных факторов; изучена динамика важнейших факторов почвенной среды (режимы влажности, температуры, аэрации, минерального питания) и их влияние на продуктивность древостоев; изучен рост культур ели и сосны, изменение почвенных факторов после поверхностного осушения переувлажненных почв; исследованы фитомасса и продуцирование органического вещества в почвах разных типов коренных и производных березовых древостоев, адаптационная способность ели – предварительное возобновление после рубки лиственных древостоев; взаимоотношение между древесными породами и другими растениями лесных биогеоценозов; круговорот азота и зольных элементов, а также состав и особенности минерализации органического вещества в почве в разных лесных биогеоценозах, гидрологический режим лесных и безлесных территорий, влияние высокой численности лося на возобновление и смену древесных пород и на состояние ельников. Большое внимание уделяется изучению типов леса и обоснованию на зонально-типологической основе важнейших лесохозяйственных мероприятий.

В **Онежском стационаре** в подзоне северной тайги исследования по разным причинам в последнее десятилетие практически свернуты, дольше всего проводились изучение фауны почвенных беспозвоночных и зоологический мониторинг.

Западнодвинский лесоболотный стационар, созданный в 1974 г., расположен на северной окраине заболоченной Западно-Двинской низины, примыкающей к южному склону Валдайской возвышенности. Разнообразие геоморфологических условий на этой территории обусловило наличие здесь практически всех возможных зональных типов и вариантов заболачивания.

В стационаре были изучены структура и продуктивность фитоценозов основных типов мелиорированных лесов, состав почвенной микрофлоры и мезофауны, выполнена оценка гидрофизических и агрохимических свойств лесных торфяных почв, проводятся наблюдения за режимом почвенно-грунтовых вод. Исследования позволили выявить различия состава природных почвенных и грунтовых вод в лесных болотах разного генезиса и в стоковых водах мелиоративной сети, оптимальные параметры осушительной сети, обеспечивающие заданный режим почвенно-грунтовых вод на мелиорируемой площади; проведены исследования по лесохозяйственному освоению осушенных лесных и безлесных болот.

К 1990 г. в стационаре была создана первая очередь электронной системы автоматизированного сбора и обработки лесоэкологической информации, но по материально-финансовым причинам работы в этом направлении были прекращены. В это же время стало неактуальным внедрение в лесное хозяйство апробированных в стационаре рекомендаций по гидролесомелиорации.

В настоящее время продолжается изучение углеродного цикла болотных биогеоценозов в сравнении с лесными, что предусматривает измерение основных пулов и потоков углерода (поступление опада, выделение метана, вынос со стоком, вертикальное распределение и сезонная динамика растворенных С-содержащих газов в торфяной залежи); изучаются динамика торфонакопления в голоцене на болотах с разной мощностью торфа, водообмен и длительность депонирования болотных вод.

Джаныбекский стационар создан в 1950 г. для разработки способов выращивания лесных насаждений разного назначения в засушливых условиях глинистой полупустыни Прикаспийской низменности. В дальнейшем его задачи были расширены до разработки научных основ создания устойчивых и высокоэффективных лесных и агролесных экосистем и методов рационального землепользования в аридных регионах. Была разработана система агролесомелиорации засоленных почв с

использованием плантажной вспашки и улучшения влагообеспеченности лесных и сельскохозяйственных культур в неорошаемых условиях, которая широко используется в данном регионе.

За весь период существования стационара в нем непрерывно проводятся комплексные биогеоценотические исследования с участием специалистов ИЛАН РАН и многих научных организаций. Ведется ежегодный непрекращающийся мониторинг искусственных и естественных экосистем, детально изучены природные условия глинистой полупустыни (почвы, их водный и солевой режим, растительность и животный мир) и история хозяйственного освоения региона. Натурные объекты стационара представляют собой уникальный оазис, резко контрастирующий с окружающей полупустыней, – это лесные насаждения разного строения и назначения, в том числе четыре ленты государственной лесной полосы длиной по 2 км, два дендрария, культуры древесных пород в падинах, плодовый сад, агролесомелиоративная система, заповедный участок целинной степи, на котором с 1950 г. не было сенокошения и пастьбы скота.

На территории стационара за 70 с лишним лет его существования произведено рассоление пахотных земель и созданы системы защитных лесных полос на полях и пастбищах, существенно повышающие производительность угодий. Выявлены различные стороны взаимодействия древесных растений и сельскохозяйственных культур. Разработана технология выращивания древесных насаждений в глинистой полупустыне: подготовка почвы и уход за ней, подбор древесных пород, конструкция насаждений разного назначения, рубки ухода, способы порослевого возобновления.

Часть территории стационара находится на территории России, часть – на территории Казахстана. Природный комплекс российской части стационара площадью 228 га в 1997 г. получил статус памятника природы федерального значения.

Аршань-Зельменский стационар основан в 1950 г. для разработки технологии создания защитных насаждений в полупустынных степях Калмыкии в богарных условиях и при орошении. Природные условия региона отличаются резко континентальным климатом, засушливостью, большой пестротой почвенного и растительного покрова, связанной с различиями в увлажнении разных элементов рельефа из-за неравномерного снегонакопления и аккумуляции талых и дождевых вод, с засоленностью и солонцеватостью почвенного покрова. Изначально основными натурными объектами были четыре опытных участка площадью по 200 га каждый: три богарных на водоразделе и один орошаемый, расположенный на склоне древней морской террасы. В дальнейшем работы продолжались на двух участках, в настоящее время – на одном.

Благодаря проведенным исследованиям разработаны научные основы организации высокоэффективных агролесных и лесных экосистем, изучена роль защитных насаждений в мелиорации и окультуривании почв, найдены способы ускорения мелиоративного процесса, разработаны методы повышения устойчивости и долговечности насаждений в условиях полупустыни с помощью приемов селекции, лесоводства, применения удобрений, интродукции новых видов деревьев и кустарников, апробированы агротехнические мероприятия по выращиванию защитных насаждений на богаре и при орошении, испытана эффективная система самомелиорации солонцов при перемешивании подстилающих карбонатов с солонцовым горизонтом, испытаны различные схемы смешения и размещения лесных культур. Разработаны агротехнические приемы по уходу за защитными насаждениями. Выявлен ассортимент деревьев и кустарников для защитных насаждений по результатам испытаний более 120 видов в насаждениях и дендрариях на богарном и орошаемом опытных участках. Продолжаются многолетние наблюдения за экологией основных древесных пород и разработка технологии создания насаждений из сосны крымской и обыкновенной на песчаных склонах балок с пресными грунтовыми водами, расположенными на глубине 8–10 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вомперский С.Э., Гульбе А.Я., Сирин А.А., Уткина И.А.* Итоги и перспективы исследований: к 75-летию Института лесоведения РАН // Лесоведение. 2019. 6. С. 467–487.
2. Институт лесоведения РАН: История, современное состояние, основные результаты исследований / отв. ред. С.Э. Вомперский. М.: Наука, 2000. 88 с.
3. Стационарные исследования Лаборатории лесоведения АН СССР / отв. ред. С.Э. Вомперский. М.: Наука, 1984. 173 с.

УДК 630.181

НАРУШЕННОСТЬ ЛЕСОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ С 1955 ПО 2005 Г.

С.К. ФАРБЕР, Н.С. КУЗЬМИК, А.А. МАРТЫНОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (sfarber@ksc.krasn.ru)

Аннотация. В разрезе природных зон Красноярского края показано перераспределение площадей между категориями земель с 1955 по 2005 г.

FOREST DISTURBANCE IN THE KRASNOYARSK REGION FROM 1955 TO 2005

S.K. FARBER, N.S. KUZMIK, A.A. MARTYNOV

V.N. Sukachev Institute of Fores SB RAS, Krasnoyarsk (sfarber@ksc.krasn.ru)

Abstract. In the context of the natural zones of the Krasnoyarsk region, the redistribution of areas between land categories from 1955 to 2005 is shown.

Методика. На 2005 г. сведения о категориях земель, площадях и характеристиках растительных сообществ содержатся в базе данных укрупненных выделов [1]. Состояние болот, каменистых россыпей и т. д. с течением времени не меняется. Развитие редин и кустарников протекает по закономерностям ценогенных сукцессий. Характеристики насаждений зависят от внешних воздействий. Поэтому коррекции подлежит только описание древостоев, а именно выявление преобладающих пород и их возрастов в 1955 г. При этом учитываются закономерности лесообразовательного процесса и особенности лесопромышленных рубок древостоев.

Посредством вычитания 50 лет от возраста насаждений в 2005 г. формируется список выделов, растительные сообщества которых образованы в результате рубок, пожаров и поражения вредителями леса. К ним относятся насаждения возрастом до 50 лет (послерубочные и послепожарные), не покрытые лесом земли (вырубки, гари). Лиственные насаждения (березовые и осиновые) списка в возрасте до 50 лет представляют направление послепожарной и послерубочной сукцессии со сменой пород. Далее по мере выпадения перестойных лиственных деревьев в первый ярус выходят коренные светлохвойные или темнохвойные породы деревьев. Хвойные насаждения списка в возрасте до 50 лет относятся к направлению сукцессии без смены. Сосняки и лиственничники могут быть как послерубочными, так и послепожарными; кедровники, ельники и пихтарники – послерубочные насаждения, сформировавшиеся из сохраненного подроста.

Результаты. Нарушенность лесов P рассматривается как изменение площади F. За 50-летний период выявлено снижение площади, занимаемой хвойными насаждениями. И, напротив, площадь березняков и осинников выросла. Увеличение площади пихтарников в лесостепи происходит за счет сохранения подроста при заготовках древесины. В целом перераспределение площадей между насаждениями разных пород деревьев более значительно в южной тайге и уменьшается как в южном, так и в северном направлении (табл. 1).

Таблица 1. Нарушенность лесов Красноярского края за 1955–2005 гг.

Категория земель	Преобладающая порода	Площадь, га		Нарушенность, %	
		F_{1955}	F_{2005}	$P_i=((F_{1955}-F_{2005})/F_{1955})100$	Pобщ$=((F_{1955}-F_{2005})/F_{общ})100$
Горная южная тайга					
Насаждение	Сосняк	1 165 144	1 083 289	7.0	0.7
	Лиственничник	1 148 305	1 133 047	1.3	0.1
	Кедровник	4 230 625	4 322 403	-2.2	-0.8
	Ельник	74 685	60 645	18.8	0.1
	Пихтарник	2 879 745	2 954 394	-2.6	-0.6
	Березняк	1 887 728	1 921 345	-1.8	-0.3
	Осинник	324 328	419 392	-29.3	-0.8
Погибшие насаждения		307 852	123 897	59.7	1.5
Всего F_0		12 018 412	12018412		
Другие земли		2 218 461	2218461		
Итого $F_{общ}$		14 236 873	14 236 873		
Степь					
Насаждение	Лиственничник	22 382	22 382	0	0
	Березняк	335 347	335 347	0	0
Всего F_0		357 729	357 729		
Другие земли		1 662 994	1 662 994		
Итого $F_{общ}$		2 020 723	2 020 723		

Категория земель	Преобладающая порода	Площадь, га		Нарушенность, %	
		F_{1955}	F_{2005}	$P_i=((F_{1955}-F_{2005})/F_{1955})100$	Pобщ$=((F_{1955}-F_{2005})/F_{общ})100$
Лесостепь					
Насаждение	Сосняк	1 596 818	1 458 550	8.7	1.8
	Кедровник	21 819	21 819	0	0
Насаждение	Ельник	76 352	50 425	34.0	0.3
	Пихтарник	66 077	139 398	-111.0	-0.9
	Березняк	1 087 113	1 273 137	-17.1	-2.4
	Осинник	164 190	164 190	0	0
Погибшие насаждения		103 776	8626	91.7	1.2
Всего F_0		3 116 145	3 116 145		
Другие земли		4 782 559	4 782 559		
Итого $F_{общ}$		7 898 704	7 898 704		
Южная тайга					
Насаждение	Сосняк	8 772 692	6 862 697	21.8	5.6
	Лиственничник	3 210 224	2 990 026	6.9	0.6
	Кедровник	2 864 658	2 784 332	2.8	0.2
	Ельник	1 329 597	1 341 992	-0.9	-0.04
	Пихтарник	5 315 218	3 650 445	31.3	4.9
	Березняк	3 300 541	5 964 973	-80.7	-7.8
	Осинник	448 833	739 461	-64.7	-0.8
Погибшие насаждения		425 489	1 333 326	-213.4	-2.6
Всего F_0		25 667 252	25 667 252		
Другие земли		8 601 528	8 601 528		
Итого $F_{общ}$		34 268 780	34 268 780		
Средняя тайга					
Насаждение	Сосняк	1 925 192	1 708 129	11.3	0.6
	Лиственничник	15 944 064	14 139 965	1.3	5.4
	Кедровник	6 096 709	6 361 290	-4.3	-0.8
	Ельник	1 802 525	2 654 971	-47.3	-2.5
	Пихтарник	21 328	21 328	0	0
	Березняк	3 938 306	4 687 804	-19.0	-2,2
Погибшие насаждения		1 404 925	1 559 562	-11.0	-0.5
Всего F_0		31 133 049	31 133 049		
Другие земли		2 360 948	2 360 948		
Итого $F_{общ}$		33 493 997	33 493 997		
Северная тайга					
Насаждение	Лиственничник	27 824 199	27 219 411	2.2	1.0
	Кедровник	545 481	545 481	0	0
	Ельник	2 590 752	2 590 752	0	0
	Березняк	2 534 024	2 919 860	-15.2	-0.6
Погибшие насаждения		426 771	645 723	-51.3	-0.4
Всего F_0		33 921 227	33 921 227		
Другие земли		25 386 143	25 386 143		
Итого $F_{общ}$		59 307 370	59 307 370		
Лесотундра и редкостойная тайга					
Насаждение	Лиственничник	12 519 718	12 607 882	-0.7	-0.3
	Ельник	71 178	71 178	0	0
Погибшие насаждения		158 354	70 190	55.7	0.3
Всего F_0		12 749 250	12 749 250	0	
Другие земли		16 293 103	16 293 103		
Итого $F_{общ}$		29 042 353	29 042 353		
Тундра					
Насаждение	Лиственничник	1 030 427	1 030 427	0	0
	Ельник	17 425	17 425	0	0
Погибшие насаждения		0	0	0	0
Всего F_0		1 047 852	1 047 852		
Другие земли		54 811 057	54 811 057		
Итого $F_{общ}$		55 858 909	55 858 909		

ЛИТЕРАТУРА

1.*Фарбер С. К.* Формирование древостоев Восточной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 432 с.

УДК 630.6 + 630*9 05

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ ДРЕВОСТОЕВ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ С 1955 ПО 2005 Г.

С.К. ФАРБЕР, Н.С. КУЗЬМИК, А.А. МАРТЫНОВ, Е.В. ГОРЯЕВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (sfarber@ksc.krasn.ru)

Аннотация. В разрезе природных зон Красноярского края сравниваются запасы древостоев по состоянию на 1955 и 2005 г.

CHANGES IN STOCKS OF STANDS IN THE KRASNOYARSK REGION FROM 1955 TO 2005

S.K. FARBER, N.S. KUZMIK, A.A. MARTYNOV, E.V. GORYAEVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (sfarber@ksc.krasn.ru)

Abstract. In the context of the natural zones of the Krasnoyarsk region, the stocks of stands as of 1955 and 2005 are compared.

Методика. По состоянию на 2005 г. таксационные показатели древостоев содержатся в базе данных укрупненных выделов [1]. Таксационные показатели древостоев по состоянию на 1955 г. восстановлены с учетом закономерностей лесообразовательного процесса и особенностей промышленной заготовки древесины. Для расчетов запасов древостоев в разрезе природных зон Красноярского края сформированы уравнения регрессии $M = f(A)$ (табл. 1).

Таблица 1. Зависимость запасов древостоев M от возраста A

Насаждение	Уравнение регрессии $M=f(A)$
Горная южная тайга	
Сосняк	$M = -0.0062A^2 + 1.9324A + 80.362$; $R^2 = 0.295$
Лиственничник	$M = -0.0011A^2 + 0.6664A + 124.05$; $R^2 = 0.206$
Кедровник	$M = -0.0035A^2 + 1.7307A + 20.177$; $R^2 = 0.265$
Ельник	$M = -0.0188A^2 + 5.4757A – 220.86$; $R^2 = 0.265$
Пихтарник	$M = -0.0116A^2 + 3.2486A – 32.27$; $R^2 = 0.634$
Березняк	$M = -0.0247A^2 + 4.2282A – 36.374$; $R^2 = 0.584$
Осинник	$M = -0.0457A^2 + 7.1386A – 84.232$; $R^2 = 0.655$
Степь, лесостепь	
Сосняк	$M = -0.0187A^2 + 4.3567A – 23.23$; $R^2 = 0.636$
Кедровник	$M = 0.7621A + 83.656$; $R^2 = 0.315$
Ельник	$M = 1.2632A + 53.684$; $R^2 = 0.263$
Пихтарник	$M = 2.1713A – 30.387$; $R^2 = 0.858$
Березняк	$M = -0.0107A^2 + 2.7773A – 4.2167$; $R^2 = 0.369$
Осинник	$M = 2.0559A + 3.6025$; $R^2 = 284$
Южная тайга	
Сосняк	$M = -0.0064A^2 + 2.487A – 8.0325$; $R^2 = 0.739$
Лиственничник	$M = -0.0039A^2 + 1.8796A + 7.7637$; $R^2 = 0.482$
Кедровник	$M = -0.0053A^2 + 2.4052A – 22.029$; $R^2 = 0.443$
Ельник	$M = -0.0082A^2 + 2.7915A – 28.981$; $R^2 = 0.394$
Пихтарник	$M = -0.0122A^2 + 3.4847A – 42.737$; $R^2 = 0.754$
Березняк	$M = -0.0124A^2 + 3.089A – 22.625$; $R^2 = 0.799$
Осинник	$M = -0.0243A^2 + 4.8919A – 42.36$; $R^2 = 0.799$
Средняя тайга	
Сосняк	$M = -0.0024A^2 + 1.2242A + 5.1445$; $R^2 = 0.522$
Лиственничник	$M = -0.0024A^2 + 1.0697A + 28.225$; $R^2 = 0.480$
Кедровник	$M = -0.0021A^2 + 1.2199A + 14.307$; $R^2 = 0.244$
Ельник	$M = -0.0098A^2 + 2.9593A – 83.195$; $R^2 = 0.578$
Березняк	$M = -0.0038A^2 + 1.5732A – 20.098$; $R^2 = 0.849$
Северная тайга	
Лиственничник	$M = -0.0007A^2 + 0.3875A + 19.22$; $R^2 = 0.176$
Кедровник	$M = -0.0031A^2 + 1.4606A + 2.2059$; $R^2 = 0.224$
Ельник	$M = -0.0078A^2 + 2.3227A – 48.379$; $R^2 = 0.289$
Березняк	$M = -0.0005A^2 + 1.2295A – 4.964$; $R^2 = 0.631$
Лесотундра, редкостойная тайга, тундра	
Ельник	$M = 0.4047A – 1.8328$; $R^2 = 0.958$
Лиственничник	$M = 0.1523A – 2.8614$; $R^2 = 0.277$

Результаты. Сравнение данных за 1955 и 2005 г. позволяет проследить изменение запасов древостоев. В южной и средней тайге запас сосняков и пихтарников уменьшился, что объясняется относительно более масштабными лесозаготовками и последствиями лесных пожаров. В целом же по Красноярскому краю запас древостоев увеличился (табл. 2).

Таблица 2. Изменение запасов древостоев в 1955 и 2005 г.

Насаждение	Запас, м^3		Разность, %
	M_{1955}	M_{2005}	$\Delta M=((M_{1955}-M_{2005})/M_{1955})100$
Горная южная тайга			
Сосняк	185 956 843	213 733 451	-14.9
Лиственничник	190 182 295	209 018 364	-9.9
Кедровник	862 151 700	952 946 350	-10.5
Ельник	7 625 857	10 089 859	-32.3
Пихтарник	441 872 809	554 793 724	-25.5
Березняк	128 527 057	250 973 458	-95.3
Осинник	26 335 559	72 521 690	-175.4
Итого	1 842 652 120	2 264 076 896	-22.9
Степь			
Лиственничник	447 643	1 790 573	-300.0
Березняк	18 664 127	35 940 368	-92.6
Итого	19 111 770	37 730 941	-97.4
Лесостепь			
Сосняк	167 954 220	267 431 950	-59.2
Кедровник	3 332 980	4 561 994	-36.9
Ельник	7 703 548	9 983 030	-29.6
Пихтарник	13 131 111	20 912 519	-59.3
Березняк	84 874 912	170 835 576	-101.3
Осинник	9 790 680	26 044 294	-166.0
Итого	286 787 451	49 976 936	-74.3
Южная тайга			
Сосняк	1 661 992 023	1 168 134 630	29.7
Лиственничник	605 966 511	655 996 434	-8.3
Кедровник	620 171 727	634 963 567	-2.4
Ельник	208 141 043	249 575 051	-19.9
Пихтарник	966 890 132	643 259 650	33.5
Березняк	209 353 553	546 783 605	-161.2
Осинник	27 571 613	101 113 801	-266.7
Итого	4 300 086 602	3 999 826 738	7.0
Средняя тайга			
Сосняк	198 720 988	169 003 952	14.9
Лиственничник	1 635 451 801	1 721 472 918	-5.3
Кедровник	829 653 711	966 398 137	-16.5
Ельник	193 525 509	290 161 253	-49.9
Пихтарник	4 260 165	3 199 170	24.9
Березняк	168 705 559	282 075 182	-67.2
Итого	3 030 317 733	3 432 310 612	-13.3
Северная тайга			
Лиственничник	1 435 011 230	1 501 529 060	-4.6
Кедровник	71 919 390	75 823 729	-5.4
Ельник	229 045 136	242 415 626	-5.8
Березняк	91 299 576	275 240 770	-201.5
Итого	1 827 275 332	2 095 009 185	-14.6
Лесотундра и редкостойная тайга			
Ельник	2 002 212	3 558 882	-77.7
Лиственничник	296 094 248	415 548 595	-40.3
Итого	298 096 460	419 107 477	-40.6
Тундра			
Ельник	250 135	470 467	-88.1
Лиственничник	24 259 810	29 632 800	-22.1
Итого	245 09 945	30 103 267	-22.8

ЛИТЕРАТУРА

1. *Фарбер С.К.* Формирование древостоев Восточной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 432 с.

УДК 528.854.2

НЕЙРОСЕТИ БЕЗ УЧИТЕЛЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Е.В. ФЕДОТОВА[1], И.В. ХАРУК[2], А.В. МАЦЕЙКО[2], В.Б. БАТМАЕВ[3]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (elfed@ksc.krasn.ru)
[2] Институт ядерных исследований РАН, Москва
[3] Московский физико-технический институт (государственный университет), Долгопрудный

Аннотация. В работе представлена реализация нейронной сети для кластеризации/сегментации космических снимков лесных территорий. Показано, что достигается хорошая точность классификации и интерпретируемость классов.

UNSUPERVISED NEURAL NETWORK FOR FOREST CLASSIFICATION

YE.V. FEDOTOVA[1], I.V. KHARUK[2], A.V. MATSEIKO[2], V.B. BATMAYEV[3]

[1] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (ivanov78@yanex.ru)
[2] Institute for Nuclear Research RAS, Moscow
[3] Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny

Abstract. The paper presents the implementation of a neural network for clustering/segmentation of satellite images of forest areas. It is shown that high classification accuracy and class interpretability are achieved.

Мониторинг состояния лесных покровов является одной из актуальнейших задач дистанционного зондирования Земли. Материалы космических съемок с приборов, размещенных на спутниках, активно используются для разных целей и масштабов картирования лесов: от мелкомасштабного тематического до самых крупных таксационных картосхем. Решаются задачи инвентаризации лесного фонда, оценки биомассы и запасов углерода, отслеживания изменений лесного покрова, потоков углерода, государственного мониторинга лесов.

Методы решения таких задач сейчас – классификация снимков с обучением, кластеризация, использование нейросетей, обученных на размеченных данных (Global Forest Watch). Нейронные сети хорошо подходят для анализа спутниковых снимков, поскольку способны распознавать сложные паттерны в данных. Нейросети применяются для решения задач моделирования породного состава и таксационных характеристик, выделения вырубок, поврежденных участков леса. Основная трудность состоит в разметке данных – создании набора обучающих данных. Существуют наборы интернациональные, например, EuroSAT – набор эталонов для классификации подстилающей поверхности.

В данной работе с помощью метода максимизации взаимной информации (Invariant Information Clustering [1]) на неразмеченных снимках спутников Landsat нейронная сеть была обучена распознавать различные типы лесных массивов. После обучения сети интерпретация распознаваемых ею классов остается неизменной для любого из снимков, что выгодно отличает данный подход от, например, метода k средних. Функция потерь для оценки качества работы сети основана на максимизации взаимной информации. Требование – инвариантность классов объектов относительно трансформаций снимка: повороты, отражения, контраст.

Алгоритм решения представлен на рис. 1.

Ищется максимум взаимной информации между (3) и (5):

$$I(X, Y) = H(X) - H(X \mid Y) \qquad (1)$$

Здесь $H(X) = \sum_{i=1}^{c} -plog_2 p_i$ – энтропия, p_i – частотная вероятность элемента/класса i.

Первое слагаемое в (1) зависит от количества кластеров – тем больше, чем больше классов. Второе слагаемое в процессе решения нужно стремиться минимизировать.

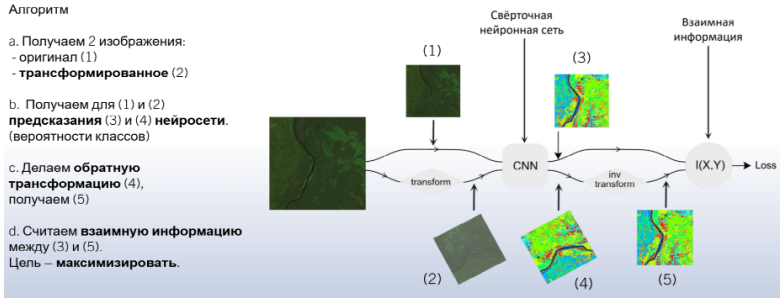


Рис. 1. Обобщенная схема решения задачи кластеризации/сегментации лесного покрова

Структура нейронной сети представлена на рис. 2.

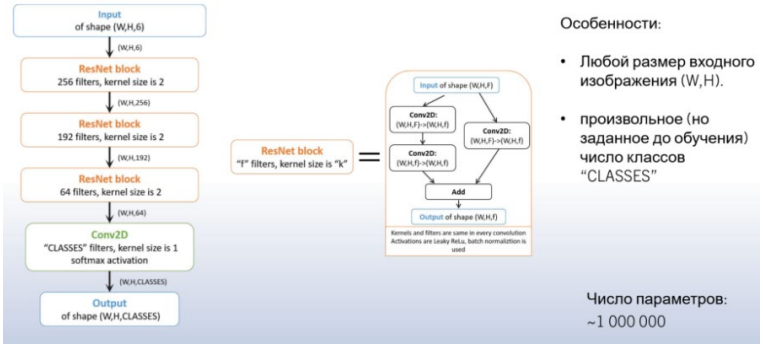


Рис. 2. Структура нейронной сети: последовательность остаточных сетей (residual network)

Остаточные сети содержат так называемый *residual block,* что позволяет бороться с проблемой исчезающего или взрывающегося градиента. Идея заключается в том, чтобы взять пару слоев (например, сверточных) и добавить дополнительную связь, которая проходит мимо этих слоев. Использование ResNet дает ряд преимуществ. ResNet относительно легко оптимизировать: «простые» сети показывают большую ошибку обучения, когда глубина увеличивается; ResNet позволяет относительно легко увеличить точность благодаря увеличению глубины, чего с другими сетями добиться сложнее.

Для обучения сети использовались снимки Landsat-8, -9 второго уровня обработки на территории Республики Коми – 64 сцены, 185 км сторона, 50 Гб памяти, пространственное разрешение 30 м; применялись три видимых и три инфракрасных канала. Снимки нарезали кусочками 256 × 256 символов.

Обученная сеть провела кластеризацию снимка Landsat на бассейн р. Мана в Красноярском крае (рис. 3). Кластеры интерпретируются следующим образом: 0 – сомкнутые вечнозеленые хвойные леса, 1, 9, 10 – вечнозеленые хвойные леса, 2 – 4 – разреженная растительность склонов, 6 – водные поверхности, 7 – лиственные леса, 8 – вечнозеленые хвойные леса средней сомкнутости, 11 – травянистая растительность, 12 – травянистая растительность увлажненных участков, 13 – смешанные леса с преобладанием лиственных.

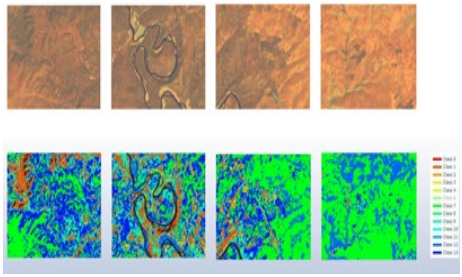


Рис. 3. Результаты кластеризации снимка на территорию бассейна р. Мана

Таким образом, в рамках проделанной работы

• разработан нейросетевой алгоритм сегментации, не требующий разметки данных для обучения,

• показана возможность обучения на снимках любых приборов,

• показана возможность обучения с выдачей произвольного числа классов,

• после обучения сети продемонстрирована возможность сегментации изображения любого размера – интерпретация классов не меняется.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мацейко А.В., Батмаев В.Б., Харук И.В., Федотова Е.В.* Классификация лесных массивов на спутниковых снимках с помощью нейронных сетей и метода максимизации взаимной информации: Матер. 21-й Междунар. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ИКИ РАН, 2023. С. 38. DOI: 10.21046/21DZZconf-2023a.
2. *Ji X., Henriques J.F., Vedaldi A.* Invariant information clustering for unsupervised image classification and segmentation: Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, 2019.

УДК: 631.535:633.584.3(571.511)

РАЗМНОЖЕНИЕ РАЗНЫХ ВИДОВ ИВЫ ЗЕЛЕНЫМИ ЧЕРЕНКАМИ В ОТКРЫТОМ ГРУНТЕ НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Н.Н. ЧЕРБАКОВА[1], Г.С. ВАРАКСИН[2]

[1] Научно-исследовательский институт сельского хозяйства и экологии Арктики, Норильск (natalya.ochikolova@mail.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (varaksings@mail.ru)

PROPAGATION OF DIFFERENT WILLOW SPECIES BY GREEN CUTTINGS IN THE OPEN GROUND OF THE NORILSK INDUSTRIAL REGION

N.N. CHERBAKOVA [1], G.S. VARAKSIN[2]

[1] Research Institute of Agriculture and Ecology of the Arctic, Norilsk (natalya.ochikolova@mail.ru)
[2] V.N. Sukachev Forest Institute SB RAS, Krasnoyarsk (varaksings@mail.ru)

Значительные территории нарушенных земель Норильского промышленного района (НПР) нуждаются в рекультивации [5, 18] – восстановлении продуктивности и народнохозяйственной пригодности [9, 13]. Для эффективной рекультивации необходимо использовать местные растительные ресурсы, способные выдерживать техногенное воздействие среды [2, 10, 11]. Растения из рода *Salix* являются перспективными видами для озеленения и восстановления техногенных ландшафтов [7, 8, 13, 14, 18]. Благодаря своей устойчивости к загрязнению они могут быть использованы в качестве посадочного материала для выращивания саженцев с учетом почвенно-климатических особенностей НПР.

Наиболее распространенным способом размножения ивы является черенкование, которое позволяет быстро и экономично увеличить количество растений. Зеленое черенкование – выгодный способ размножения, при котором растения могут укореняться на протяжении всего периода вегетации [12]. Главным его преимуществом является то, что растения, выращиваемые таким образом, сохраняют генетическую однородность, являются корнесобственными, что особенно важно в условиях сурового климата [1, 4, 12].

Целью исследования являлось изучение способности к размножению зелеными черенками некоторых видов *Salix* и их укоренение с дальнейшей перспективой быстрого получения посадочного материала для озеленения и рекультивации территорий НПР.

Исследование проводилось в летний вегетационный период 2023 г. на территории двух промышленных объектов НПР и на контрольном (фоновом) участке вблизи района Кайеркан.

В наших исследованиях отбирались побеги с маточных растений, устойчивых к промышленным выбросам [3], с учетом фенологических наблюдений за их ростом и развитием [17]. Объектами исследований послужили следующие виды *Salix*: *Salix lanata* L. s. str. (ива шерстистая), *Salix hastata* L. (ива копьевидная), *Salix viminalis* L. (ива прутовидная), *Salix pyrolifolia* L. (ива филиколистная). Материалом для исследования стали зеленые черенки (молодые побеги с листьями) перечисленных видов. Черенкование проводили с 10 июля по 8 августа по методике [15, 16].

Данные виды ивы испытывали по одному варианту в трехкратной повторности, в каждой повторности по 30 черенков. Срезку черенков осуществляли в первой половине дня секатором, делая наклонный срез под самой почкой для увеличения корнеобразовательного процесса. Длина черенка составляла 45–50 см, диаметр – не менее 5–6 мм с двумя или тремя почками. После срезки черенки замачивали на сутки в стимуляторе роста гетероауксине в соответствии с инструкцией [6]. Учет и наблюдения вели по проценту укоренения черенков в конце вегетационного периода. У данных растений наблюдали появление листьев, что являлось важным признаком укоренения черенка (табл. 1).

После статистической обработки полученных данных можно сделать следующие выводы:

Наилучший результат по укоренению зеленых черенков достигнут у *Salix viminalis* L. – 44–68 % при заготовке черенков во время активного роста маточных растений и образования молодых побегов. Хорошие показатели укоренения также зафиксированы у *Salix hastata* L., *Salix pyrolifolia* L. – 32–61 % соответственно. Высокий процент укоренения зеленых черенков был достигнут при посадке в третьей декаде июля – 31–68 % у каждого вида ивы. *Salix lanata* L. s. str. показала самый низкий процент укоренения при зеленом черенковании на уровне 22–31 % при срезке черенков в период интенсивного развития маточного растения в открытом грунте.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что представленные к исследованию виды ивы рода *Salix* имеют способность к размножению методом зеленого черенкования в открытом грунте в течение всего периода активного развития маточных растений в условиях НПР (рис. 1).

Успешно укореняются представители ивы: *Salix hastata* L., *Salix viminalis* L., *Salix pyrolifolia* L. В то же время есть вид, который показал слабое укоренение данным способом – *Salix lanata* L. s. str. Вероятно, такие результаты были обусловлены внутренними факторами данного вида.

Следует также отметить, что на укореняемость черенков влияют множество факторов, таких как погодные условия, место произрастания, внутренние процессы роста и развития растений.

Таблица 1. Данные по укореняемости зеленых черенков некоторых видов *Salix* в открытом грунте НПР, %

№ п/п	Вид	Долина р. Далдыкан. Гипсохранилище «НМЗ–НСК. ГХ», участок после технической рекультивации	Долина р. Амбарная вблизи района Кайеркан	Пойма р. Ергалах, береговой склон ООО «Черногорская ГРК»
		дата закладки черенков		
		15.07.23	27.07.23	09.08.23
		тип почвы		
		насыпной щебень, грунт из криометаморфических почв, по гранулометрическому составу тяжелосуглинистый	почвы торфяно-глеевые, по гранулометрическому составу среднесуглинистые	насыпной грунт из торфяной почвы, по гранулометрическому составу среднесуглинистый
1	*Salix lanata* L. s. str.	22 ± 0.12	31 ± 0.01	23 ± 0.97
2	*Salix hastata* L.	32 ± 0.08	39 ± 0.07	34 ± 0.08
3	*Salix viminalis* L.	44 ± 0.06	68 ± 0.04	52 ± 0.05
4	*Salix pyrolifolia* L.	36 ± 0.08	61 ± 0.04	44 ± 0.06

Примечание. $\bar{x}$ – средняя величина; ±m – ошибка средней величины.



Долина р. Далдыкан, территория гипсохранилища, участок после тех. рекультивации | Пойма р. Ергалах, береговой склон ООО «Черногорская ГРК» | Долина р. Амбарная вблизи район Кайеркан

Рис. 1. Саженцы из зеленых черенков на опытных участках НПР

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аладина О.Н., Акимова С.В., Карсункина Н.П., Скоробогатова И.В.* Роль внекорневых обработок в зеленом черенковании садовых растений // Известия ТСХА. 2006. Вып. 3. С. 46–55.
2. *Арчегова И.Б., Лиханова И.А.* Проблема биологической рекультивации и ее решение на европейском северо-востоке на примере Республики Коми // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2012. 1. С. 29–34.
3. *Вараксин Г.С., Кузнецова Г.В., Евграфова С.Ю., Шапченкова О.А*. Биологическая рекультивация в Норильском промышленном районе; Красноярский ГАУ; Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Красноярск: Изд-во «Вестник КрасГАУ», 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://search.rsl.ru/ru/record/01009805055 (дата обращения: 26.03.2023).
4. Вегетативное размножение древесных растений летними черенками / Н.К. Вехов, М.П. Ильин. Л.: Изд-во ВИР, 1934. 284 с.
5. *Власова Т.М*. Аэротехногенное воздействие на растительный покров оленьих пастбищ Таймыра // Ресурсы, экология и рациональное использование диких северных оленей в СССР: Сб. трудов. Новосибирск, 1990. С. 63–74.
6. Инструкция по применению гетероауксина. [Электронный ресурс]. URL: https://edelstarus.ru/udobreniya/200-geteroauksin-instrukcija-po-primeneniju-stimuljatora-rosta-otzyvy-formula-sostav.html (дата обращения: 26.06.2023).
7. *Кулагин А.Ю.* Биологические особенности некоторых видов ив в техногенных местообитаниях Предуралья и Южного Урала: Автореф. дисс. … канд. биол. наук: 03.00.05. Томск, 1983. 20 с.
8. *Кулагин А.Ю.* Ивы: техногенез и проблемы оптимизации нарушенных ландшафтов. Уфа: Гилем, 1998. 193 с.
9. Методические указания по проектированию рекультивации нарушенных земель на действующих и проектируемых предприятиях угольной промышленности. Пермь: ВНИИОСуголь, 1991. [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200081716 (дата обращения: 25.03.2024).
10. *Миронова С.И.* Динамика растительности техногенно нарушенных территорий Южной Якутии и возможности управления ею // Наука и образование. 1996. 4. С. 140–148.
11. *Никифоров А.А.* Экологические основы биологической рекультивации отвалов карьера «Айхал» (Западная Якутия): Автореф. дисс. … канд. биол. наук: 03.02.08. Якутск, 2018. 22 с.
12. Размножение древесных и кустарниковых растений зеленым черенкованием / отв. ред. А.В. Вылку. Кишинев: Штиинца, 1981. 222 с.
13. Рекультивация земель / Л.П. Баранник, А.М. Шмонов. Кемерово: Кемеровское кн. изд-во, 1988. 67 с.
14. *Скворцов А.К*. Ивы СССР (систематический и географический обзор). М.: Наука, 1968. 255 с.

15. *Сохибова Н.С.* Особенность вегетативного размножения шелковицы зелеными черенками // Молодой ученый. 2019. 49. С. 33–37.
16. *Тарасенко М.Т.* Зеленое черенкование садовых и лесных культур. М.: МСХА, 1991. 203 с.
17. *Чербакова Н.Н., Вараксин Г.С.* Характеристика рода *Salix* и особенности фенологического развития некоторых видов в Норильском промышленном районе // Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. 42. 1. С. 43–50.
18. *Чупрова И.Л.* Оптимизация техногенных ландшафтов Крайнего Севера (Норильский промышленный район, п-ов Таймыр): Автореф. дисс. … докт. биол. наук: 03.00.16. Петрозаводск, 2006. 55 с.

УДК 631.417.1

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БАТАГАЙСКОГО ТЕРМОЦИРКА

А.М. ЧЕРЕПАНОВА

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск (alexandra_587@mail.ru)

Аннотация. Изменчивость климата и антропогенная деятельность провоцируют необратимые последствия в структуре мерзлотных ландшафтов на северо-востоке Якутии. Исследована динамика расширения Батагайского термоцирка за десятилетний период в гетерогенной литогенной среде Янского плоскогорья на территории Верхоянского района Республики Саха (Якутия). За указанный период площадь термоцирка в среднем увеличилась на 0.3 км^2.

DEVELOPMENT DYNAMICS AND CURRENT STATE OF BATAGAY MEGASLUMP

A.M. CHEREPANOVA

P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk (alexandra_587@mail.ru)

Abstract. Climate variability and anthropogenic activities provoke irreversible consequences in the structure of permafrost landscapes in the northeast of Yakutia. The dynamics of the expansion of the Batagay Megaslump over a ten-year period in the heterogeneous lithogenic environment of the Yana Plateau in the Verkhoyansk region of the Republic of Sakha (Yakutia) was studied. During this period the area of Megaslump increased by 0.3 km^2.

Уязвимость многолетнемерзлых горных пород, их таяние во многом определяется мощностью (объемом) заключенного подземного льда, а также прогреванием грунтов в летнее время. Комплексный мониторинг криогенных процессов на отдаленных и труднодоступных территориях – весьма сложное и дорогостоящее мероприятие, поэтому в практике научных исследований применимы дистанционные методы и ГИС-технологии для распознавания и оперативного понимания геокриолитологических рисков в криолитозоне.

Батагайский термоцирк (термокарстовый провал) расположен между поселками Батагай и Эге-Хая на юго-восточной седловине горы Киргилях в бассейне реки Яна в Верхоянском районе на северо-востоке Якутии. Термоцирк представлен рыхлыми отложениями различного возраста, где коренные породы сформированы песчаниками, алевролитами и разнородными минералами, четвертичные отложения – песчаными алевритами и глинами с примесью щебня [1].

Еще в 1960-х годах термоцирк был обозначен на топографической карте масштаба 1:100 000, а с 1970-х годов он уже начал резко увеличиваться в ширину и глубину, так что к настоящему времени приобрел причудливое очертание, напоминающее по форме морского ската с «головой» и «хвостом» (рис. 1).



Рис. 1. Спутниковый снимок Батагайского термоцирка

Для анализа изменения площади Батагайского термоцирка использовалась спектральная информация снимков Landsat из архива Геологической службы США (https://earthexplorer.usgs.gov/): Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) для 2010 г., Landsat 8 OLI/TIRS для 2016, 2019 и 2021 г. Для получения достоверных результатов были подобраны снимки из одного и того же промежутка времени (конец лета) с минимальной облачностью, составлена адаптивная цветовая модель, комбинация «естественные цвета» (RGB). Для вычисления площади термоцирка на первом этапе работ были очерчены полигоны по годам в границах отдельно взятых космоснимков, затем выполнено их наложение с последующим созданием шейп-файлов (рис. 2). В атрибутивной таблице шейп-файлов была рассчитана площадь провала на каждый определенный год (табл. 1).

Таблица 1. Динамика площади термоцирка

Год	Площадь ($км^2$)
2010	0.553
2016	0.740
2019	0.773
2021	0.806

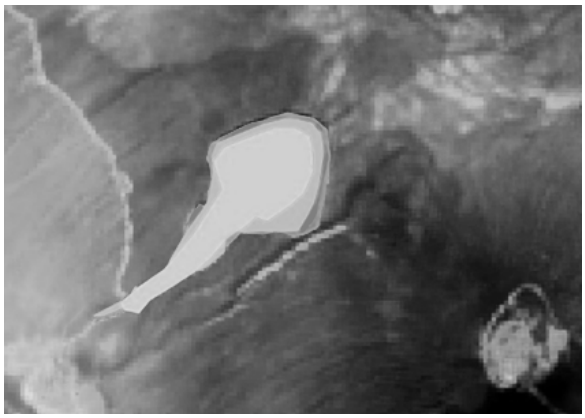


Рис. 2. Наложение разновременных полигонов

Дистанционные космические спутниковые наблюдения обладают преимуществом и весомым потенциалом картографирования на обширных территориях [2]. С использованием мультиспектральных спутниковых снимков было изучено расширение Батагайского термоцирка за последние 10 лет. Систематическое и всестороннее наблюдение за термоцирком вносит неоспоримый вклад в глубину изучения подобных объектов на Земле. В результате исследований определено, что основной рост приходится на период с 2010 по 2016 г., но затем происходит постепенное снижение и замедление. Расширения в двух разных частях термоцирка, а именно в его «голове» и «хвосте», явно различимы, вероятно, из-за разных геологических условий. Параболическая форма вершины термоцирка может быть результатом оттаивания многолетней мерзлоты на склоне местности, что подтверждается систематическими наблюдениями за формой «головной» части.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Shepelev A.G., Kizyakov A., Wetterich S., Cherepanova A., Fedorov A., Syromyatnikov I., Savvinov G.* Sub-surface carbon stocks in northern taiga landscapes exposed in the Batagay Megaslump, Yana Upland, Yakutia // MDPI AG, Land. 2020. 9 (9): 1–16.
2. *Воробьева А.А.* Дистанционное зондирование земли. СПб.: НИУ, 2012. 168 с.

УДК: 581.55+582.475

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В НАПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ПАПОРОТНИКОВО-РАЗНОТРАВНЫХ ПИХТОВЫХ ЛЕСОВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Н.А. ЧЕРНОВА[1, 2], Ю.Г. РАЙСКАЯ[1]

[1] Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск (naitina79@mail.ru, raiskaya.julia@mail.ru)
[2] Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск (naitina79@mail.ru)

Аннотация. Исследования южнотаежных пихтарников показали, что запас углерода напочвенного покрова составляет 58.95 г/м^2, в том числе надземной части – 42.0 г/м^2 и подземной части – 16.95 г/м^2. Этот параметр тесно связан с горизонтальной структурой древостоя: в окнах в два раза выше (66.14 г/м^2), чем под кронами (33.95 г/м^2). Более половины запаса углерода надземной фитомассы приходится лишь на два вида – щитовник широкий и сныть обыкновенную.

CARBON STOCK OF THE GROUND COVER OF FERN-GRASSES FIR FORESTS OF SOUTHERN-WEST SIBERIA (TOMSKAYA OBLAST)

N.A. CHERNOVA[1, 2], YU.G. RAYSKAYA[1]

[1] Institute of Monitoring of Climatic and Ecologial Systems SB RAS, Tomsk (naitina79@mail.ru, raiskaya.julia@mail.ru)
[2] National Research Tomsk State University, Tomsk (naitina79@mail.ru)

Abstract. Studies of south taiga fir forests indicates that mean carbon stock of ground cover is 58.95 g/m^2, including 42.0 g/m^2 in the above ground parts and 16.95 g/m^2 in undergound parts of the plants. The stock value depends on horizontal structure of tree storey – in open areas, glades etc. mean carbon stock is twice higher (66.14 g/m^2) than under the tree canopies (33.95 g/m^2). More than half of ground cover carbon stock is accumulated in the populations of two species: *Dryopteris expansa* and *Aegopodium podagraria.*

Леса играют ключевую роль в регулировании циклов углерода [1]. На территорию России приходится 2/3 бореальных лесов мира и 22 % мировых лесных ресурсов [2]. В связи с этим изучение запасов углерода в разных компонентах лесных экосистем, в том числе в напочвенном покрове, приобретает особую значимость.

Целью нашей работы была оценка запаса углерода в напочвенном покрове и влияние на него горизонтальной структуры древостоя в южнотаежных лесных экосистемах Западной Сибири.

Исследования проводились нами в коренных папоротниково-разнотравных пихтовых лесах Томской области. Их характерной особенностью является выраженная парцеллярная структура, многовидовой подлесок, густой травяной покров (проективное покрытие около 90 %), высокая видовая насыщенность фитоценозов (75 видов на 400 м^2). Травяной покров образуют щитовник широкий, сныть обыкновенная, кислица обыкновенная и большое количество ассектаторов (видовая насыщенность яруса – 57 видов на 400 м^2). Из-за резкого различия уровня освещенности в разных парцеллах четко проявляется мозаичность покрова: под кронами пихт содоминируют сныть и кислица, а в окнах – щитовник и сныть.

В папоротниково-разнотравных пихтарниках запас углерода напочвенного покрова составляет 58.95 г/м^2, в том числе в надземной части – 42.0 г/м^2 и подземной части – 16.95 г/м^2. Этот параметр травяного покрова тесно связан с горизонтальной структурой древостоя. Так, в окнах запас углерода надземной фитомассы (66.14 г/м^2) вдвое выше, чем под кронами (33.95 г/м^2). Колебания запаса углерода подземной фитомассы небольшие – от 16.04 г/м^2 под кронами до 18.62 г/м^2 в окнах. Запас углерода надземной фитомассы изменяется в широких пределах – 7.81–115.31 г/м^2, а подземной – слабо, 13.83–21.49 г/м^2.

Оценка доли участия разных видов травянистых растений в образовании запаса углерода наземной фитомассы напочвенного покрова (табл. 1) выявила, что более половины приходится лишь на два вида – щитовник широкий и сныть обыкновенную, несмотря на высокое разнообразие травянистых растений (105 видов) в исследуемых пихтарниках. Доля этих двух видов в среднем в фитоценозе составляет 63 % запаса углерода фитомассы напочвенного покрова, в окнах – 71 %, в подкроновых парцеллах – 58 %.

В целом выявлен широкий диапазон значений запаса углерода надземной фитомассы напочвенного покрова (7.81–115.31 г/м^2), в среднем 42.0 г/м^2. Прослеживается влияние горизонтальной структуры древесного полога на этот параметр – в окнах значения вдвое выше, чем в подкроновых парцеллах. Более половины запаса углерода надземной фитомассы приходится лишь на два вида трав – щитовник широкий и сныть обыкновенную. Запас углерода в подземной части в 2.5 раза ниже, чем в надземной, и изменяется в небольших пределах.

Таблица 1. Запас углерода в основных видах травянистых растений

парцелла	фитоценоз		окно		подкроновая	
вид	ср., г/м^2	доля %	ср., г/м^2	доля, %	ср., г/м^2	доля, %
Dryopteris expansa (C. Presl) Fraser-Jenk. & Jermy	16.78	40	36.69	55	10.87	30
Aegopodium podagraria L.	9.80	23	10.40	16	9.59	28
Carex macroura Meinsh.	1.91	5	-	-	2.72	7
Urtica dioica L.	1.83	4	5.90	9	0.52	1
Oxalis acetosella L.	1.82	4	0.80	1	2.16	6
Milium effusum L.	1.43	3	2.87	4	1.02	3
Stellaria bungeana Fenzl	1.42	3	0.34	1	1.84	5
Equisetum pratense Ehrh.	1.08	3	1.64	2	0.93	3

ЛИТЕРАТУРА

1. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов / под ред. чл.-корр. РАН Н.В. Лукиной. М.: КМК, 2018. 232 с.
2. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственничных лесов Северо-Востока России / Д.Г. Щепащенко, А.З. Швиденко, В.С. Шалаев. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 296 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке ВИП ГЗ (регистрационный номер: № 123030300031-6).

УДК 630*160.22 (502.4)

ОЦЕНКА СРЕДООБРАЗУЮЩЕЙ ЭКОСИСТЕМНОЙ УСЛУГИ ПО ЗАПАСУ И ПОГЛОЩЕНИЮ УГЛЕРОДА ЛЕСНЫМИ ЭКОСИСТЕМАМИ АЛТАЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА

Е.П. ЧЕРТКОВА

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва (tchertckova.elena@yandex.ru)

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENT-FORMING ECOSYSTEM SERVICE ON CARBON STOCK AND SEQUESTRATION BY FOREST ECOSYSTEMS OF THE ALTAISKY STATE RESERVE

E.P. CHERTKOVA

Center for Forest Ecology and Productivity RAS, Moscow (tchertckova.elena@yandex.ru)

Алтайский государственный природный заповедник расположен на территории Северо-Восточного и Восточного Алтая и занимает восточную часть бассейна Телецкого озера. Общая площадь охраняемой территории составляет 871 206,6 га. 50 % (11 410 га) акватории Телецкого озера тоже входит в состав Алтайского заповедника. Большую часть этой территории занимают плоскогорья и альпийские хребты Чулышманского нагорья. Граничит с Республикой Хакасией и Республикой Тыва [4].

Все экосистемы Алтайского заповедника относятся к единому региональному комплексу наземных природных экосистем и предоставляют в основном одинаковый набор экосистемных услуг, но в разном соотношении, кроме водных экосистем, где добавляются свои специфические услуги.

Для того чтобы произвести оценку важных средообразующих экосистемных услуг (хранение запаса углерода и поглощение углерода), в первую очередь мы определим запасы древесины в Алтайском заповеднике.

По данным «Западно-Сибирского государственного лесоустроительного предприятия, 2004 г., Омский филиал» и Проекта освоения лесов Федерального государственного учреждения «Алтайский государственный природный заповедник», 2010 г., лесные земли на территории АГПЗ занимают 445 703 га, или 51.06 % общей площади заповедника. Лесопокрытая площадь заповедника занимает 400 562.4 га, и ее распределение по преобладающим лесообразующим породам следующее: кедровые леса горно-таежные – 15.8 %, кедровые высокогорные – 32 %, лиственничники горно-таежные – 1.5 % и высокогорные – 8.2 %. Сосновые леса занимают 1.3 %, пихтарники – 1.9 %, ельники очень редки – 0.1 %. Всего на хвойные породы приходится 60.8 % покрытых лесом земель заповедника, а на мелколиственные, производные, древостои (береза и осина) соответственно 1.5 % и 0.3 %. Очень большие площади на покрытых лесом землях занимают ерники – 37.4 %, которые в основном произрастают в тундровой зоне и делятся на болотисто-ерниковые, лишайниково-ерниковые, мохово-ерниковые и кустарничковые [5].

С принятием Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) и ратификацией Киотского протокола наша страна взяла на себя обязательства по сокращению эмиссии углерода в атмосферу. Леса занимают более трети территории России, поэтому их углеродный баланс играет важную роль в глобальном цикле углерода [3]. Сбором данных в России по запасам углерода занимается Росгидромет, ежегодно предоставляя полученную информацию в Рамочную конвенцию ООН об изменении климата, где формируется годовая и многолетняя статистика.

Национальные доклады о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, выпускают ежегодно (распоряжение Правительства Российской Федерации от 01.03.2006 № 278-р). С 2010 г. базовой для Национального кадастра парниковых газов является методика Региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ) [1]. Для расчета запасов и поглощения углерода разными типами леса мы использовали эту методику. Информационным источником для региональных оценок запаса углерода в лесах и углеродного бюджета по этой методике служат данные Государственного лесного реестра. Мы воспользовались материалами лесоустройства «Проект освоения лесов Федерального государственного учреждения «Алтайский государственный природный заповедник» 2010 г.». Результаты расчетов по методике РОБУЛ представлены в табл. 1.

Расчеты показали, что суммарные запасы углерода во всех представленных породах деревьев Алтайского заповедника составляют более 78 млн т, а поглощение – более 91 тыс. т С/год. По зрелости древостоя запас углерода наземного органического вещества приходится на средневозрастную долю лесопокрытой площади.

Таблица 1. Запас и поглощение углерода разными типами лесов (оценка по методике РОБУЛ)

Породы деревьев	Площадь, тыс. га	Запас углерода, млн т С	Поглощение углерода, тыс. т С/год
Сосна	5.36	1.17	5.36
Ель	0.27	0.66	0.33
Пихта	7.73	1.29	9.86
Лиственница	39.02	6.38	33.69
Сосна кедровая	191.48	45.72	19.86
Береза	6.05	1.26	6.36
Осина	1.31	0.23	1.95
Ерники*	149.43	21.75	14.28
ВСЕГО		78.46	91.69

Примечание. * При подсчетах по методике РОБУЛ они отнесены нами к категории «Прочие кустарники».

Существенный вклад в запас углерода по методике РОБУЛ вносят кедровые леса – 45.72 МтС. Остальные породы, такие как лиственница, ель, пихта и сосна, в совокупности дают 9,52 МтС. Лиственные леса (береза, осина) запасают всего 1.49 МтС. Большой процент от лесопокрытой площади занимают ерники (они отнесены к категории «прочие кустарники»), которые запасают углерод в количестве 21.75 МтС. Самая высокая поглотительная способность углерода – у лиственницы (33.69), за ней идет сосна кедровая (19.86), на третьем месте по поглощению стоят ерники (14.28).

Итак, лес Алтайского заповедника за вегетационный период способен поглотить 91.69 тыс. т С/год. Зная этот показатель, мы можем рассчитать экономическую оценку экосистемной услуги по поглощению углерода лесами.

Для оценки мы воспользовались методикой Европейской системы торговли выбросами (EU-ETS) – это крупнейший в мире рынок углеродных квот. Совет Европы 27 февраля 2018 г. официально одобрил реформу Европейской системы торговли квотами на период после 2020 г. Главная цель реформы – сокращение выбросов парниковых газов не менее чем на 40 % к 2030 г.

На сегодняшний день на углеродных рынках 1 т углерода стоит около 40 долларов ($). Эксперты Научно-исследовательского университета «Высшая школа экономики» называют цифру $36 («Ведомости», 2021). По нашим полученным данным, леса Алтайского заповедника поглощают 91 690 т С/год, и если эту цифру умножить на $36, то получается, что экосистемная услуга по поглощению углерода лесами заповедника будет стоить $3 300 840 в год (244 923 765,33 руб./год). И если бы Россия участвовала в углеродном рынке ЕС, то вклад Алтайского заповедника в экономику РФ был бы именно таким.

Таким образом, экосистемная услуга по поглощению углерода лесопокрытой площадью Алтайского государственного заповедника оценена в 245 млн рублей в год.

Полученные данные наглядно иллюстрируют ценность Алтайского заповедника: как показали наши предварительные подсчеты, ценность лишь небольшой части его потенциала экосистемных услуг составляет миллионы рублей в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Замолодчиков Д.Г.*, *Грабовский В.И., Честных О.В.* Динамика баланса углерода в лесах федеральных округов Российской Федерации // Вопросы лесной науки. 2018. Т. 1. № 1. С. 1–24.
2. *Замолодчиков Д.Г.* Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах (ч. II) // Устойчивое лесопользование. 2011. № 1. С. 41–49.
3. *Замолодчиков Д.Г.*, *Грабовский В.И., Курц В.А.* Влияние объемов лесопользования на углеродный баланс лесов России: прогнозный анализ по модели CBM-CFS3 // Тр. С.-Петербургского НИИ лесного хозяйства. № 1. С. 5–18.
4. *Малешин Н.А.*, *Золотухин Н.А., Яковлев В.А.* Алтайский заповедник // Заповедники Сибири. Т. 1 / под общ. ред. Д.С. Павлова, В.Е. Соколова. Е.Е. Сыроечковского. М.: ЛОГАТА, 1999. 304 с.
5. Противопожарный проект устройства ФГБУ «Алтайский государственный природный биосферный заповедник» / РАН. Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Отв. исп. А.С. Шишикин. Красноярск, 2011. 146 с.
6. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 1. Услуги наземных экосистем / ред.-сост. Е.Н. Букварёва, Д.Г. Замолодчиков. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. 148 с.

УДК 581.54

СВЯЗЬ РАДИАЛЬНОГО РОСТА ЛИСТВЕННИЦЫ И СОСНЫ С КЛИМАТОМ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

СЯОХУН ЧЖАН[1], А.Н. НИКОЛАЕВ[1], М.С. ВАСИЛЬЕВ[1, 2], Л.А. ПЕСТРЯКОВА[1]

[1] Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск (z461306425@gmail.com)
[2] Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск (vms_1984@mail.ru)

Аннотация. Исследован радиальный рост лиственницы *(Larix cajanderi* Mayr*)* и сосны *(Pinns sylvestris. L.)* в Центральной Якутии в зависимости от температуры воздуха и осадков. Осадки преимущественно коррелируют с ростом деревьев в летне-осенний период предыдущего, а температура воздуха – в апреле – мае текущего года.

RELATIONSHIP OF RADIAL GROWTH OF LARCH AND PINE WITH CLIMATE IN CENTRAL YAKUTIA

XIAOHONG ZHANG[1], A.N. NIKOLAEV[1], M.S. VASILIEV[1, 2], L.A. PESTRYAKOVA[1]

[1] M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk (z461306425@gmail.com)
[2] P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk (vms_1984@mail.ru)

Abstract. The radial growth of larch (*Larix cajanderi* Mayr) and pine (*Pinus sylvestris* L.) in Central Yakutia depending on temperature and precipitation was studied. Precipitation mainly correlates with tree growth in the summer-autumn period of the previous year, and air temperature in April – May of the current year.

Центральная Якутия расположена в бассейне р. Лена. Климат здесь резко континентальный с суровыми зимами и коротким жарким летом. В Якутии преобладают лиственница (*Larix cajanderi* Mayr) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*). Эти виды деревьев играют ключевую роль в экосистеме. Проведен анализ связи по месяцам предыдущего и текущего года между радиальным ростом деревьев и абиотическими факторами неживой природы (температура воздуха и осадки – метеостанция Якутск).

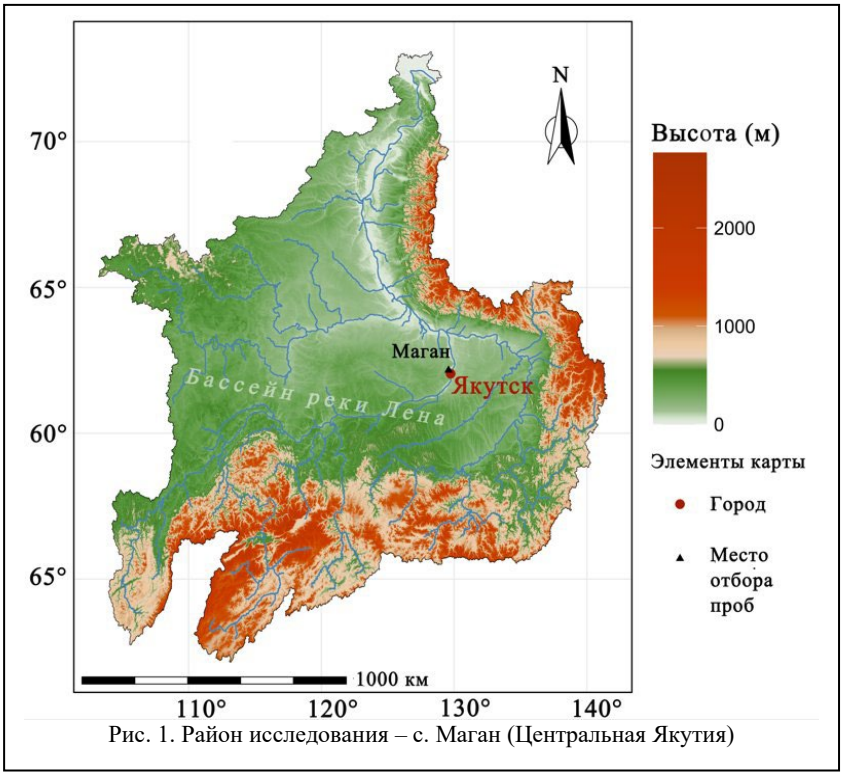


Рис. 1. Район исследования – с. Маган (Центральная Якутия)

В районе с. Маган в 2023 г. были собраны образцы годичных колец лиственницы (*Larix cajanderi* Mayr) и сосны (*Pinus sylvestris L.*), количество которых составило 32 и 29 соответственно (рис. 1). Образцы подвержены естественной сушке, фиксации и шлифовке в лабораторных условиях. С помощью системы LINTAB-6 считаны данные о ширине годичных колец, а качество датировки проверено программой COFECHA [1, 2]. Согласно статистическим данным, годичные кольца лиственницы (*Larix cajanderi* Mayr) и сосны (*Pinus sylvestris L.*) показали значимые характеристики в отношении временного охвата, количества образцов, распределения данных и корреляции, что полностью подтверждает пригодность собранных образцов для изучения реакции радиального роста деревьев на климатические изменения.

Изначально временной ряд ширины годичных колец лиственницы и сосны прошел этап удаления трендовой составляющей методом отрицательного экспоненциального сглаживания, расчета стандартных отклонений (STD) и остаточных хронологий (RES). Далее был проведен корреляционный анализ Пирсона с температурой воздуха и осадками. Корреляционный анализ указывает на факт того, что осадки

преимущественно коррелируют с ростом деревьев в летне-осенний период предыдущего, а температура воздуха – в апреле – мае текущего года (рис. 2), начале вегетационного периода.

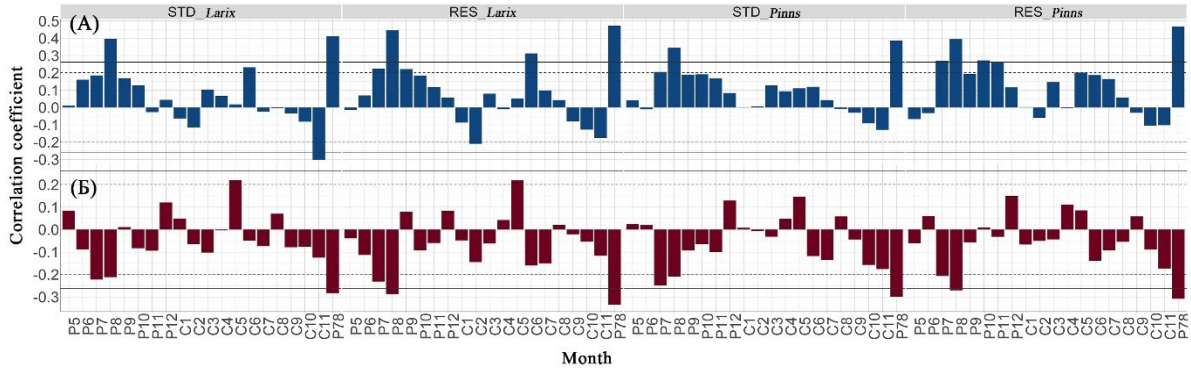


Рис. 2. Корреляция между радиальным ростом деревьев (лиственницы и сосны), осадками (А) и температурой воздуха (Б) в районе с. Маган (Центральная Якутия). На графике P5-P12 – месяцы с мая по декабрь предыдущего года, C1-C11 – с января по ноябрь текущего года, P78 – совокупное значение за июль и август предыдущего года. Сплошная линия: $P < 0.01$, пунктирная линия: $P < 0.05$

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rinn F.* TSAP-Win: Time series analysis and presentation for dendrochronology and 409 related applications. User reference, Heidelberg. 2003. [Электронный ресурс]. URL: https://cir.nii.ac.jp/crid/1572543024876591616.
2. *Grissino-Mayer H.D.* Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. Tree-ring research. 2001. 57 (2): 205–221.

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы признательны А.И. Колмогорову за помощь в организации полевых исследований. Исследование проведено в рамках научного проекта государственного задания СВФУ № FSRG-2023-0027 и базового бюджетного проекта ИМЗ СО РАН № FUFU-2021-0003.

УДК 550.37; 551.34; 556.512

НАДМЕРЗЛОТНЫЕ ВОДЫ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ КАК ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ МАЛЫХ РЕК

В.В. ШАМОВ[1, 2], Л.С. ЛЕБЕДЕВА[1], Н.А. ПАВЛОВА[1], И.И. ХРИСТОФОРОВ[1], П. ВАН[3], П.П. ДАНИЛОВ[4]

[1] Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова, Якутск (vlshamov@yandex.ru, lyudmilaslebedeva@gmail.com, napavlova@msi.ysn.ru, zodik@mail.ru)
[2] Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток (vlshamov@yanex.ru)
[3] Институт географических наук и изучения природных ресурсов КАН, Пекин (wangping@igsnrr.ac.cn)
[4] НИИ прикладной экологии Севера, Северо-Восточный федеральный университет, Якутск (danpp@mail.ru)

Аннотация. Сосновые толокнянковые, брусничные и лишайниковые леса получили распространение на мощных песчаных отложениях Центральной Якутии. К таким лесам нередко приурочены надмерзлотные субаэральные талики – незамерзающие водонасыщенные почвенные горизонты, которые наряду с подземными водами сезонно-талого слоя являются источниками летнего питания малых рек. Авторами описаны наиболее вероятные механизмы формирования стока малых рек в условиях существования и отсутствия таликов в речных бассейнах сплошной криолитозоны.

SUPRAPERMAFROST WATER IN THE PINE FORESTS OF CENTRAL YAKUTIA AS A WATER SOURCE FOR SMALL RIVERS

V.V. SHAMOV[1, 2], L.S. LEBEDEVA[1], N.A. PAVLOVA[1], I.I. KHRISTOFOROV[1], P. WANG[3], P.P. DANILOV[4]

[1] P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk (vlshamov@yandex.ru, lyudmilaslebedeva@gmail.com, napavlova@msi.ysn.ru, zodik@mail.ru)
[2] Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok (vlshamov@yandex.ru)
[3] Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research CAS, Beijing (wangping@igsnrr.ac.cn)
[4] Institute of Applied Ecology of the North, Northeastern Federal University, Yakutsk (danpp@mail.ru)

Abstract. In central Yakutia, pine bearberry, lingonberry and lichen forests grow on thick sandy sediments and are often associated with suprapermafrost subaerial taliks – unfrozen water-saturated soil horizons, that, together with groundwater from the seasonally thawed layer, are water sources that feed small rivers in summer. The authors describe the most probable runoff generation mechanism in small rivers under the presence and absence of taliks in the river basins in continuous permafrost environment.

Цель исследования – выявить ландшафтную приуроченность и оценить роль надмерзлотных субаэральных водоносных таликов в формировании речного стока в условиях сплошного распространения многолетнемерзлых пород. В сплошной криолитозоне талики – единственные пути питания и разгрузки подземных вод, происхождение и динамика которых пока недостаточно изучены [1, 4, 5].

В работе использовались результаты собственных полевых геофизических и гидролого-гидрохимических исследований в 2022–2023 гг. на двух малых водосборах рек – аналогов Шестаковки и Мархинки, расположенных на денудационной равнине Приленского плато близ г. Якутска (табл. 1).

Таблица 1. Ландшафтные характеристики водосборов рек Шестаковки и Мархинки

Река	Площадь, км^2	Средняя высота, м над ур. м.	Средний уклон, %	Леса лиственничные кустарничковые и кустарничково-моховые, %	Леса сосновые кустарничковые и кустарничково-лишайниковые, %	Среднетаежная долинная растительность, %
р. Шестаковка – г. п. Камырдагыстах	170	250	40,3	42	41	15
р. Мархинка – р. п. Марха (с. Большая Марха)	408	220	31,4	67	18	6

На 23 % площади склонов долины р. Шестаковки, покрытых монодоминантными сосняками, выявлены подземные горизонты, представляющие собой надмерзлотные водоносные таликовые зоны мощностью от 1 до 20 м, которые простираются в плане на сотни метров [4]. Воды таликов (по откачкам из скважин) близки по ряду химических показателей к речным водам, за некоторым исключением в отношении сульфатов, хлоридов и др., но имеют контрастность в сезонной и межгодовой динамике [3]. В бассейне р. Мархинки по данным геофизических исследований в сосновых лесах субаэральные талики не обнаружены. Подстилающие пески здесь среднезернистые, в отличие от крупнозернистых песков р. Шестаковки.

В процессе зимнего промерзания почвы в таликах возрастает криогенный напор, который ежегодно вызывает излияние грунтовых вод на поверхность склона и образование склоновых наледей, а также подповерхностного подземного льда, приуроченного к тыловому шву заболоченной надпойменной террасы. Подземный лед, постепенно вытаивая летом, увлажняет болота на террасах, обеспечивает рост

мхов и другой болотной растительности, а также торфонакопление. В лиственничных лесах и на марях, подстилаемых суглинистыми почвами, сезонно-талый слой (СТС) в конце теплого сезона достигает всего 0.5–1.0 м.

В разные сезоны доминируют различные источники питания реки. Зимой русло р. Шестаковки промерзает до дна в верхней и нижней частях водосбора, в среднем течении – в расширениях (бочагах) четковидного русла – сохраняются линзы незамерзшей воды, под которыми на глубину 3–4 м распространены подрусловые талики [2]. Ледовый покров в бочагах деформируется, приобретает все более выпуклую форму, что, вероятнее всего, связано с возрастанием криогенного напора в закрытой водообменной системе. Сплошность ледового покрова здесь эпизодически нарушается напорным излиянием русловых вод, особенно во второй половине зимы. В нижнем течении, где бочаги практически не встречаются, а река глубоко врезается в песчаные отложения, во время осеннего замерзания нередки ледовые заторы и образование русловых наледей из-за сужения живого сечения потока.

Весной во время снеготаяния на марях и в лиственничных лесах формируются временные ручьи, по которым талые воды стекают к незамерзшему руслу и инициируют сток поверх льда. Талые воды с начала снеготаяния приобретают желтую и желтоватую окраску за счет выщелачивания органоминеральных нерастворенных соединений. По мере вытаивания льда по краям бочагов в речной поток разгружаются бочаговые воды, обогащенные растворенными веществами за счет криогенного концентрирования и крайне обедненные кислородом [3]. К концу половодья временные ручьи полностью пересыхают, в летнюю межень низкий сток в реке поддерживается за счет разгрузки подземных вод таликов и глубокого СТС (рис. 1).

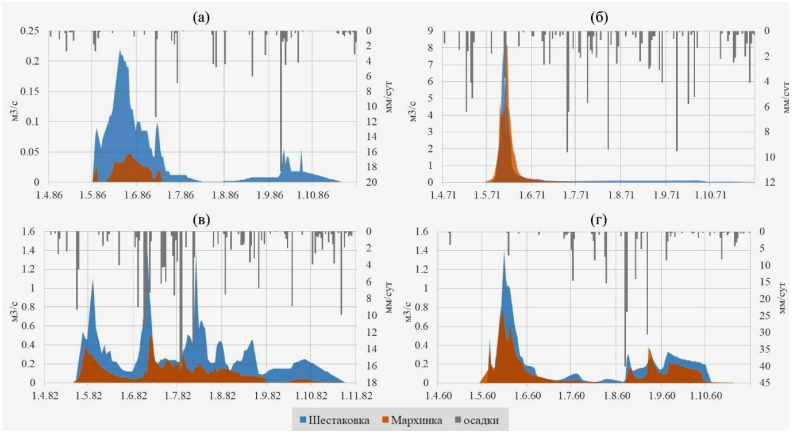


Рис. 1. Совмещенные графики суточных расходов воды, м^3/с, и сумм осадков, мм/сут., для рек Мархинки и Шестаковки: (а) – маловодный год (1986 г.), (б) – многоводный год (1971 г.), (в) и (г) – годы средней водности (1982, 1960 г.)

На р. Мархинке после начала ледостава запасы воды в бочагах истощаются, ледовый покров в течение зимы проседает, что, вероятно, обусловлено существенно низким притоком вод СТС в русло. Весной талые воды собираются на вогнутой поверхности русловых расширений и начинают течь одновременно с р. Шестаковкой.

Летом питание р. Мархинки осуществляется исключительно водами СТС, чьи запасы невелики по сравнению с водами таликов. Такие реки существенно маловоднее «таликовых» рек, реакция стока на выпадение дождей в них слабее и отмечена в основном в половодье (рис. 1). Сток здесь часто прекращается во время летней межени, но в некоторые годы благодаря дождям наблюдается до начала осеннего замерзания. Четковидные русла таких рек в летнюю межень часто представляют собой последовательность озеровидных расширений, гидравлически не связанных между собой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Попов С.В., Боронина А.С., Лебедева Л.С.* Основные факторы формирования субаэральных таликов в рамках одномерной математической модели на примере района реки Шестаковка, Центральная Якутия // Лед и снег. 2023. 4. С. 597–611.
2. *Тарбеева А.М., Лебедева Л.С., Ефремов В.С., Крыленко И.В., Сурков В.В., Шамов В.В., Луценко Т.Н.* Условия и процессы формирования четковидного русла малой реки криолитозоны (на примере р. Шестаковка, центральная Якутия) // Криосфера Земли. 2019. 23 (2). С. 38–49.
3. *Шамов В.В., Луценко Т.Н., Лебедева Л.С., Тарбеева А.М., Ефремов В.С., Павлова Н.А., Ксенофонтова М.И.* Химическая индикация процессов формирования стока половодья на малом экспериментальном водосборе Приленского плато, Республика Саха (Якутия) // Вод. рес. 2023. 50 (3). С. 286–299.
4. *Lebedeva L., Pavlova N., Khristoforov I.* Geology, structure, ground temperature and groundwater level in aquifer taliks in the Shestakovka river basin, Eastern Siberia // Land. 2023. 12: 16.
5. *Galanin A.A*. The aeolian-cryogenic origin of the interpermafrost taliks and underground water sources in Central Yakutia // Cold-region hydrology in a non-stationary world. Proc. 21st North. Res. Basins Symp., Yakutsk, Aug. 9–12, 2017. Pp. 19–25.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке РНФ и Якутского научного фонда (грант 22-17-20040).

УДК 581.5: 630.43

ВЛИЯНИЕ ПОЖАРА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ХВОИ *PINUS SYLVESTRIS* L.

О.А. ШАПЧЕНКОВА, А.А. АНИСКИНА, М.А. ПЛЯШЕЧНИК, Е.А. КУКАВСКАЯ, С.Р. ЛОСКУТОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (shapchenkova@mail.ru)

Аннотация. Изучены физико-химические свойства хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) после воздействия весеннего пожара средней интенсивности методами сканирующей электронной микроскопии, газовой хромато-масс-спектрометрии, термогравиметрии и ИК-Фурье спектроскопии. Установлено негативное воздействие пожара на устьица хвои, изменение химического состава хвои и пула летучих органических веществ.

EFFECT OF FIRE ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF *PINUS SYLVESTRIS* L. NEEDLES

O.A. SHAPCHENKOVA, A.A. ANISKINA, M.A. PLYASHECHNIK, E.A. KUKAVSKAYA, S.R. LOSKUTOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (shapchenkova@mail.ru)

Abstract. The physicochemical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles affected by a moderate-severity spring fire were studied by methods of scanning electron microscopy, gas chromatography-mass spectrometry, thermogravimetry, Fourier-transform infrared spectroscopy. The negative effect of fire on needle stomata, changes in chemical composition of needles and volatile organic compounds were found.

Пожары являются важным стрессовым фактором, оказывающим влияние на продуктивность древостоев. Послепожарное состояние древостоев зависит от интенсивности пожара, продолжительности воздействия высоких температур и устойчивости растений [1]. Высокоинтенсивные верховые пожары значительно повреждают кроны деревьев, что приводит к гибели древостоя. Пожары низкой и средней интенсивности, как правило, не представляют прямой угрозы для зрелых деревьев, но вызывают различные повреждения, которые снижают устойчивость деревьев к воздействию неблагоприятных факторов [2]. Цель работы заключалась в исследовании влияния пожара на физико-химические свойства хвои в молодняках *Pinus sylvestris* L.

Исследованы 15-летние насаждения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на старопахотных землях в Саянском районе Красноярского края, пройденные пожаром средней интенсивности в апреле 2022 г. Образцы поврежденной хвои желтого и бурого цвета были отобраны из нижней и средней частей кроны деревьев через 3 дня после пожара. Зеленая хвоя неповрежденных деревьев была отобрана в качестве контроля (рис. 1). Образцы были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии (TM-1000, Hitachi), хромато-масс-спектрометрии (Agilent 7890A/5975C, вариант парофазного пробоотбора), термогравиметрии (TG 209 F1, Netzsch) и ИК-Фурье спектроскопии (VERTEX 80V, Bruker Optics).

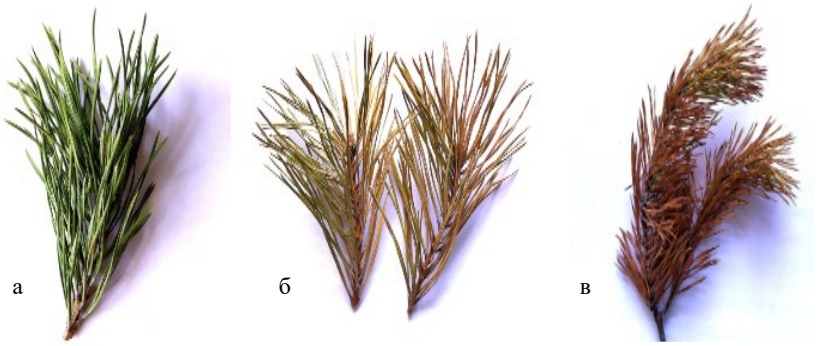


Рис. 1. Хвоя сосны: зеленая (а), желтая (б), бурая (в)

Желтый и бурый цвет хвои свидетельствует о резком снижении содержания хлорофиллов в результате теплового воздействия [1, 5]. Структура поверхности неповрежденной хвои представлена на снимках СЭМ (рис. 2 а, б). Открытые устьица овальной формы располагаются в продольных рядах и имеют отчетливые приподнятые кольца Флорина (выступающая часть побочных клеток). На поверхности поврежденной хвои кольца Флорина менее выражены или повреждены, устьичная щель заполнена эпикутикулярным воском (рис. 2 в, г), что связано с его плавлением вследствие нагрева выше 80 °С [3]. В большей степени эти изменения визуализируются для бурой хвои. Если в результате теплового воздействия происходит повреждение кутикулы или плавление воска, то способность дерева сохранять воду снижается [6].

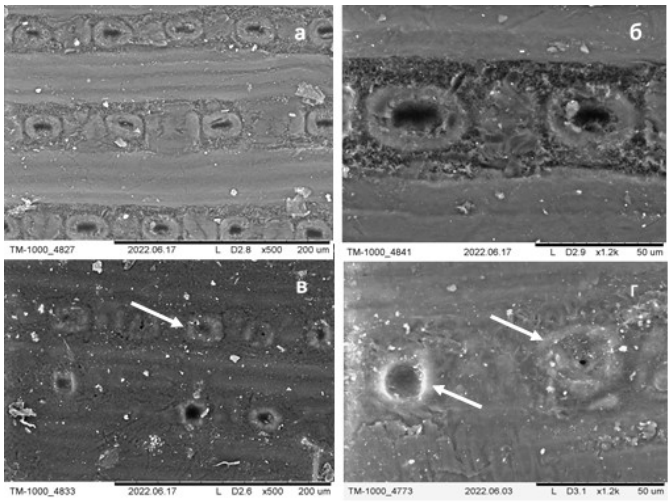


Рис. 2. СЭМ-изображения хвои сосны: а, б – неповрежденная хвоя (контроль); в, г – бурая хвоя

Летучие органические вещества (ЛОВ) играют важную роль в стрессоустойчивости растений, в частности, к тепловому и окислительному стрессам. Значительные количества этих соединений могут выделяться в ответ на повреждение и высокие температуры [4]. По сравнению с контролем в составе ЛОВ желтой и бурой хвои отмечена тенденция снижения суммарной доли монотерпенов (с 87.33 % до 77.04 и 82.99 % соответственно) и увеличения сесквитерпенов (с 8.01 % до 14.94 и 12.29 %), а также кислородсодержащих терпенов (с 0.56 % до 2.14 и 0.81 %), гексаналя и нонаналя (с 0.03 % до 1.63 и 1.25 %). Среди монотерпенов значительно снизилась доля трициклена, α-туйена, камфена, β-пинена, лимонена и β-транс-оцимена. Наблюдалось повышенное относительное содержание таких сесквитерпенов, как α-селинен, α-мууролен, τ-кадинен, δ-кадинен, и кислородсодержащих терпенов − транс-пинокарвеола и спатуленола.

Термогравиметрия образцов хвои показала увеличение температуры максимальной скорости термодеструкции как термолабильных (экстрактивные вещества, полисахариды, белки, липиды и др.), так и термостабильных компонентов (ароматические соединения, лигнин) в ряду: контроль < желтая хвоя < бурая хвоя. Это указывает на изменения в химическом составе хвои в результате теплового воздействия.

При сравнении интенсивности поглощения на характеристических частотах лигнина и полисахаридов ($I_{1510/1059}$ и $I_{1510/1161}$) в ИК-спектрах желтой и бурой хвои с ИК-спектром неповрежденной отмечено увеличение массовой доли полисахаридов в хвое после пожара.

С помощью комплекса современных аналитических методов установлен характер воздействия пожара средней интенсивности в 15-летних насаждения сосны обыкновенной на морфологию поверхности хвои, лигноуглеводный комплекс и компонентный состав вторичных метаболитов хвои. Полученные сведения могут быть использованы для прогнозирования послепожарного развития насаждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Судачкова Н.Е., Романова Л.И., Астраханцева Н.В., Новоселова М.В., Косов И.В.* Стрессовые реакции деревьев сосны обыкновенной на повреждение низовым пожаром // Сиб. экол. журн. 2016. 5. С. 739–749.
2. *Bär A., Michaletz S.T., Mayr S.* Fire effects on tree physiology // New Phytol. 2019. 223. 1728–1741.
3. *Beluns S., Platnieks O., Sevcenko J., Jure M., Gaidukova G., Grase L., Gaidukovs S.* Sustainable wax coatings made from pine needle extraction waste for nanopaper hydrophobization // Membranes. 2022. 12. 537.
4. *Ciccioli P., Centritto M., Loreto F.* Biogenic volatile organic compound emissions from vegetation fires // Plant, Cell and Environ. 2014. 37. 1810–1825.
5. *Gette I.G., Pakharkova N.V., Kosov I.V., Bezkorovaynaya I.N.* Fluorescence methods for estimation of post-fire response of pine needles // Folia For. Pol. A. 2017. 59 (4). 249–257.
6. *Kavanagh K.L., Dickinson M.B., Bova A.S.* **A** way forward for fire-caused tree mortality prediction: modeling a physiological consequence of fire // Fire Ecol. 2010. 6. 80.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке в рамках государственного задания № FWES-2024-0028.

УДК 631.48

ДИНАМИКА СВОЙСТВ ПОЧВ В ПИРОГЕННО-ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Е.Ю. ШАХМАТОВА

Институт общей и экспериментальной биологии, Улан-Удэ (ekashakhmat@mailru)

Аннотация. В работе представлена краткосрочная динамика свойств почв на гарях, образованных пожарами слабой, средней и сильной интенсивности. Пробные площади располагались на свежих гарях, где проводился отбор проб для учета свойств трансформированных почв и их изменений спустя 5 лет. Было выявлено, что степень прогорания органо-аккумулятивных горизонтов влияет на закрепление продуктов горения и их сохранность в почвах в краткосрочный период.

SOIL PROPERTIES DYNAMICS IN PYROGENICALLY-TRANSFORMED PINE FORESTS OF WESTERN TRANSBAIKALIA

E.YU. SHAKHMATOVA

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude (ekashakhmat@mailru)

Abstract. The paper presents short-term dynamics of soil properties in burnt areas formed by fires of low, medium and high intensity. Sample plots were located in recent burnt areas, where samples were taken to account for the properties of transformed soils and their changes after 5 years. It was revealed that the degree of burning of organic-accumulative horizons affects on the fixation of combustion products and their preservation in soils in the short term.

Остепненные сосновые леса в Западном Забайкалье часто подвергаются пожарам, и более 90 % от их количества относятся к низовым. Это обусловлено ландшафтно-климатическими условиями региона и активной хозяйственной деятельностью [1]. Если верховые пожары вызывают сильное нарушение всех компонентов экосистем, то низовые в большей степени трансформируют нижний ярус растительности, мохово-лишайниковый покров, подстилку и почву [2, 3].

Цель работы состояла в исследовании краткосрочных (5-летних) изменений свойств почв в мертвопокровных сосняках Западного Забайкалья, пройденных пожарами разной интенсивности.

Исследовались почвы пирогенно-трансформированных горно-лесостепных сосновых лесов в Селенгинском среднегорье, в бассейне реки Воровка (левый приток реки Уда, бассейн реки Селенга). В районе исследований представлены ареносоли, сформированные на песчаных отложениях под рододендроново-редкотравными, злаково-разнотравными и мертвопокровными типами леса. Ранее показано, что почвы региона практически повсеместно подвергались трансформациям свойств под влиянием низовых пожаров [5].

Для закладки экспериментальных площадок были выбраны участки леса в сосняках, приуроченных к нижним пологим частям делювиальных шлейфов склонов на относительных высотах 600–750 м над ур. м. Было заложено три пробных площади на свежих гарях, образованных пожарами слабой, средней и сильной интенсивности, где проводился отбор проб для учета свойств пирогенно-трансформированных почв и их дальнейших изменений. Интенсивность пожаров устанавливалась согласно рекомендациям П.А. Цветкова [4]. Наблюдения проводились сразу после пожаров и спустя 5 лет после воздействия огня.

В почвенном покрове района исследований фоновым типом почв являются ареносоли (Eutric Arenosols) [6], которые развиты на покровных полигенетических песках. Формула организации их профиля имеет следующий вид: Opir–Ahpir–Bw1–Bw2–C.

Проведенный анализ морфологического строения профилей почв на свежих гарях в первый послепожарный год показал варьирование параметров подстилки в зависимости от интенсивности пирогенного воздействия, а также наличие в верхних органо-аккумулятивных горизонтах углей и сажи, которые являются причиной их темного окрашивания. Мощность подстилки достигала значений 1 ± 0.3 см. В ее составе отмечена высокая доля полуразложившейся хвои и частично обгорелых веток. После низовых пожаров средней и сильной интенсивности обгоревшая подстилка с большим содержанием углей обогащается горизонтом опада из свежей хвои. Через 5 лет после пирогенного воздействия на гари, образованной пожаром слабой интенсивности, не выявлено сильных изменений во фракционном составе подстилки, и соответственно ее мощность и запасы также не претерпевали существенных изменений.

Таблица 1. Мощность и запасы подстилки Opir на гарях после пожаров различной интенсивности

Параметры подстилки	Возраст гари, интенсивность пожара					
	Свежая, слабая	Свежая, средняя	Свежая, сильная	5-летняя, слабая	5-летняя, средняя	5-летняя, сильная
Мощность, см	1.3	0.9	0.7	1.4	1.4	1.0
Запасы, т/га	4.8	2.5	2.1	7.0	8.5	3.7

Выявленная дифференциация окраски верхних трансформированных горизонтов профилей почв сразу после пожара и ее изменение спустя 5 лет после пожара находились в тесной зависимости от силы пирогенного воздействия. Показано сравнительно темное окрашивание продуктами горения при пирогенном воздействии средней и сильной интенсивности, которое при последнем сценарии сохранялось и на 5-летней гари. Влияние высокоинтенсивных пожаров заметно изменяло границу перехода органо-аккумулятивного в иллювиальный горизонт. Она становилась волнистой или кармановидной и имела место в течение исследуемого периода. Приобретенное в результате воздействия огня уплотнение иллювиального горизонта также выявлено спустя 5 лет.

Анализ физико-химических свойств почв на свежих и на 5-летних гарях показал, что более заметная пирогенная динамика представленных параметров плотности сложения, содержания илистых частиц, реакции среды, углерода органических соединений, обменных оснований в верхнем гумусовом горизонте (табл. 2) выявлена на участках леса, пройденных пожарами средней и сильной интенсивности.

Обугливание и пиролиз органического вещества, установленные в почвах на свежих гарях после средне- и высокоинтенсивных пожаров, приводят к формированию буровато-охристой окраски в иллювиальных горизонтах, что подтверждается высокими значениями оксидов железа, экстрагируемого вытяжкой Тамма.

Таблица 2. Основные физико-химические показатели свойств горизонтов Ahpir и Bw постпирогенных почв на пробных площадях

Возраст гари, интенсивность пожара	Глубина, см	Плотность сложения, г/см^3	Содержание частиц < 0.001 мм, %	pH$_{H2O}$	Сорг, г/кг	Обменные основания, cmolc/kg		Fe_{ox} в горизонте Bw, %
						Ca^{2+}	Mg^{2+}	
Свежая, слабая	1–5/7	1.32	2.47	6.2	11	10.4	3.3	0.52
5-летняя, слабая	1–5/7	1.30	2.51	6.1	19	9.7	3.7	0.48
Свежая, средняя	1.5–4/5	1.43	2.93	6.5	15	19.1	1.1	0.64
5-летняя, средняя	1–4/5	1.38	2.42	6.3	10	16.3	3.5	0.60
Свежая, сильная	1–5/7	1.50	3.21	6.7	22	21.2	1.5	0.65
5-летняя, сильная	1–5/7	1.48	2.38	6.5	17	17.3	3.2	0.62

Таким образом, представленные выше результаты послепожарных (5-летних) изменений строения и некоторых свойств почв в сосновых лесах Западного Забайкалья позволяют сделать следующие выводы:

1. Ареносоли, развитые на песчаных полигенетических отложениях в бассейне реки Воровка, характеризуются трансформацией и заметной дифференциацией свойств их верхних органо-аккумулятивных горизонтов, приобретенных в результате низовых пожаров различной интенсивности.
2. Степень прогорания подстилки и гумусового горизонта определяет поступление продуктов горения, их аккумуляцию и дальнейшее перераспределение в почвенном профиле.
3. Установлено, что следы пожаров в строении и физико-химических свойствах на 5-летних гарях имеют хорошую сохранность при пирогенном воздействии средней и сильной интенсивности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Евдокименко М.Д.* Пирогенные нарушения лесорастительной среды в сосняках Забайкалья и их лесоводственные последствия // Лесоведение. 2014. 1. С. 3–12.
2. *Иванова Г.А., Иванов А.В.* Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 2015. 240 с.
3. *Краснощеков Ю.Н., Чередникова Ю.С.* Постпирогенная изменчивость лесных почв в горном Прибайкалье. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2022. 164 с.
4. *Цветков П.А.* Нагар как диагностический признак // Хвойные бореальной зоны. 2006. 3. С. 132–137.
5. *Шахматова Е.Ю., Убугунов Л.Л., Сымпилова Д.П.* Послепожарные трансформации в сосновых лесах Селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье) // Геогр. и прир. ресурсы. 2021. 1. С. 65–72.
6. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. Rome: FAO, 2014. 106. 181 p.

УДК 528.88, 630.43

ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ И СТЕПЕНИ НАРУШЕННОСТИ НА ЮГЕ СИБИРИ

Е.Г. ШВЕЦОВ[1, 2, 3], А.С. ГОЛЮКОВ[2, 3], В.И. ХАРУК[2, 3]

[1] Хакасский государственный университет, Абакан (eugeneshvetsov11@yandex.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
[3] Сибирский федеральный университет, Красноярск

Аннотация. В работе проанализирована пространственная и временная динамика площади гарей в южных районах Средней Сибири. Для оценки связи между оценками горимости по данным MODIS и климатическими переменными мы использовали долгосрочные (1982–2021 гг.) климатические переменные из базы данных ERA5-Land, а также гравиметрические данные (GRACE) (2002–2021 гг.) для оценки влажности почвы. Мы обнаружили значимый тренд снижения площади пожаров в регионе. Светлохвойные леса характеризовались наибольшей степенью пожарной нарушенности (относительная горимость составила около 0.83 % в год), тогда как наименьшая относительная горимость (около 0.15 % в год) зафиксирована в темнохвойных насаждениях. Многолетняя динамика площади гарей в регионе была связана с динамикой климатических переменных, таких как влажность почвы ($r^2 = 0.70$, $p < 0.01$), аномалии водной массы ($r^2 = 0.63$, $p < 0.01$) и индекс засухи SPEI ($r^2 = 0.3$, $p < 0.05$). Статистически значимая ($p < 0.05$) связь между интенсивностью пожара, оцененной с помощью индекса dNBR, и величиной гибели древостоев наблюдалась для всех доминирующих типов леса в пределах исследуемого региона.

ASSESSMENT OF LONG-TERM DYNAMICS OF FOREST FIRES AND DEGREE OF DISTURBANCE IN SOUTHERN SIBERIA

E.G. SHVETSOV[1, 2, 3], A.S. GOLYUKOV[2, 3], V.I. KHARUK[2, 3]

[1] Khakass State University, Abakan (eugeneshvetsov11@yandex.ru)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk
[3] Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Abstract. We have analyzed the spatial and temporal dynamics of burned areas (BA) in the southern regions of Central Siberia. To assess the relationship between MODIS-derived BA estimates and climate variables, we used long-term (1982–2021) climatic data from the ERA5-Land database, as well as gravimetric data (GRACE) (2002–2021) to estimate soil moisture. We found a significant decreasing trend in burned area in the region. Light coniferous forests were characterized by the highest degree of fire disturbance (the relative burned area was ~0.83 % per year); while the lowest relative fire rate (~0.15 % per year) was recorded in dark coniferous stands. Long-term BA dynamics in the region was related to dynamics of climate variables such as soil moisture ($r^2 = 0.70$, $p < 0.01$), water mass anomalies ($r^2 = 0.63$, $p < 0.01$) and SPEI drought index ($r^2 = 0.3$, $p < 0.05$). Statistically significant ($p < 0.05$) relationships between fire intensity, estimated using the dNBR index, and the tree stand mortality were observed for all dominant forest types within the study region.

Лесные пожары являются одним из наиболее значимых факторов, влияющих на динамику растительности, биоразнообразие и углеродный цикл в лесах России. Мы проанализировали пространственную и временную динамику гарей, а также оценили влияние дистанционно регистрируемой мощности теплоизлучения пожаров на степень пирогенной нарушенности растительного покрова на территории южных районов Средней Сибири. В работе рассматривалась территория площадью около $7{,}5 \times 10^5$ км^2 (рис. 1); преобладающими лесообразующими породами являются лиственница (*Larix sibirica*) (19 % лесной площади района исследования), кедр (*Pinus sibirica*) (16 %), пихта (*Abies sibirica*) (14 %), сосна (*Pinus sylvestris*) (13 %). Значительная часть площади лесов (33 %) приходится на смешанные леса с преобладанием лиственных пород (*Betula spp., Populus tremula*) (http://pro-vega.ru/maps/) [1]. Для картирования пожаров и оценки степени пирогенной нарушенности территории использовались данные радиометра MODIS. Для детектирования участков, где имела место гибель лесного покрова, использовался глобальный продукт изменения лесного покрова [2], сформированный на основе данных Landsat. Климатические переменные извлекались из базы данных ERA5-Land.

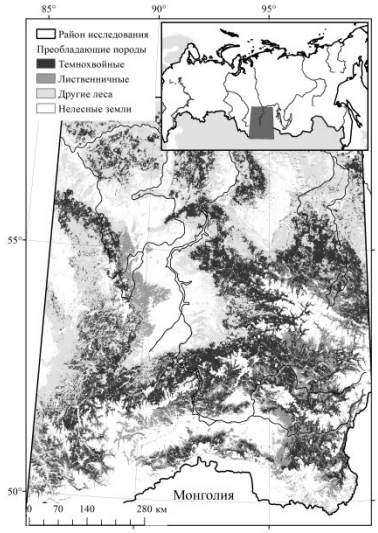


Рис. 1. Район исследования

В период с 2002 по 2023 г. обнаружено снижение годовой площади гарей в регионе (рис. 2а). Линейная регрессия была статистически значимой для пожаров как на лесных ($r^2 = 0.3$; $p < 0.05$), так и на нелесных землях ($r^2 = 0.35$; $p < 0.01$).

Также мы обнаружили статистически значимую связь между ежегодной площадью, пройденной огнем, и средним размером пожара как на лесных ($r^2 = 0.4$; $p < 0.01$), так и на нелесных ($r^2 = 0.54$; $p < 0.01$)

землях. В то же время не обнаружено значимой динамики среднего размера пожара ($r^2 = 0.01$; $p = 0.6$) за период 2002–2023. Площади, пройденные огнем, показали статистически значимую корреляцию ($r^2 = 0.30$, $p < 0.05$) с индексом засушливости SPEI в течение пожароопасного сезона (с апреля по октябрь). Сильное влияние влажности почвы на площади гарей ($r^2 = 0.70$, $p < 0.01$) было обнаружено в мае, когда регистрируется наибольшая площадь, пройденная огнем в регионе (рис. 2б). В случае количества осадков, так же как и в случае влажности почвы, наибольшие коэффициенты корреляции были отмечены для площади, пройденной огнем в мае ($r^2 = 0.4$, $p < 0.01$). При этом значимой связи между температурой воздуха и площадью пожаров обнаружено не было ($r^2 = 0.01$, $p = 0.65$).

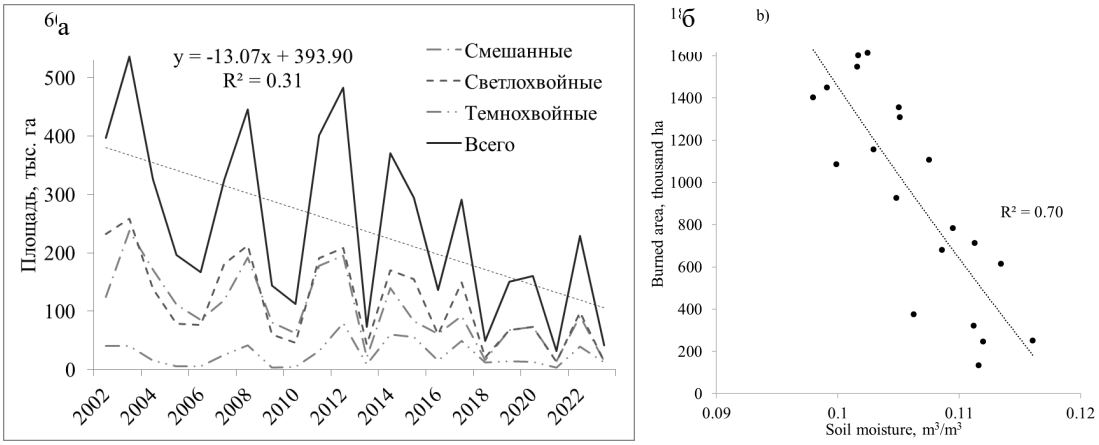


Рис. 2. а – Динамика площади, пройденной огнем, в разных типах преобладающих пород. б – Связь между площадью, пройденной огнем, и влажностью почвы

Величина индекса dNBR, оцениваемого по данным дистанционного зондирования, достаточно хорошо коррелирует со степенью пирогенной нарушенности растительности в лиственничных лесах Сибири [3]. На рис. 3 показана связь между значениями индекса dNBR и соответствующими им значениями послепожарной гибели древостоя для разных типов преобладающих пород. Анализ связи между этими величинами показал наличие статистически значимой связи. Так, для разных преобладающих пород значение коэффициента детерминации (R^2) менялось от 0.5 в случае сосновых лесов до 0.8 в лесах с преобладанием лиственных пород при уровне достоверности $p < 0.05$.

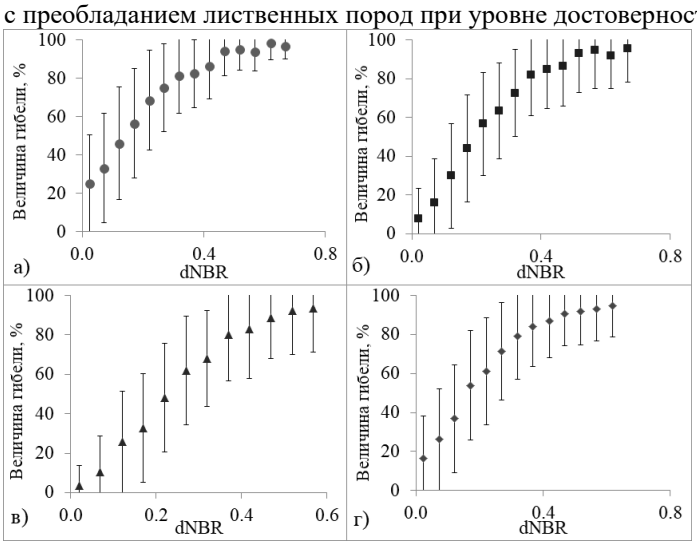


Рис 3. Связь между величиной индекса dNBR и величиной гибели древостоя для а) темнохвойных лесов; б) лиственничных лесов; в) смешанных лесов; г) сосновых лесов

ЛИТЕРАТУРА

1. Спутниковое картографирование растительного покрова России / С.А. Барталев, В.А. Егоров, В.О. Жарко и др. М.: Изд-во ИКИ РАН, 2016. 208 с.
2. *Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R. et al.* High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. 2013. 342. P. 850–853. DOI: 10.1126/science.1244693.
3. *Delcourt C.J.F., Combee A., Izbicki B. et al.* Evaluating the differenced normalized burn ratio for assessing fire severity using sentinel-2 imagery in Northeast Siberian larch forests. // Remote Sensing. 2021. V. 13 (12). 2311. DOI: 10.3390/rs13122311.

БЛАГОДАРНОСТИ. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 22-17-20012, https://rscf.ru/project/22-17-20012/, при паритетной финансовой поддержке Правительства Республики Хакасия.

УДК 550.42(571.53)

ТРАНСФОРМАЦИЯ, МИГРАЦИЯ И ДЕПОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТАХ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ

С.Г. ШВЕЦОВ

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск (svs833890@gmail.com)

Аннотация. Определяли содержание урана и тория в почвенных горизонтах, корнях, стволах и листьях древесных растений, в корневых и наземных частях покровных растений лесных фитогеоценозов. Средняя валовая концентрация урана в почвах составляла 3.2 мг/кг, в почвообразующей породе – 2.8 мг/кг, в фитомассе – 0.25 мг/кг; для тория те же показатели равны 7.6 мг/кг, 10.6 мг/кг и 0.52 мг/кг соответственно. В расчете на единицу площади малоподвижная (валовая) форма урана в почве составляла около 11 г/га; подвижная форма, способная к внутрипочвенной миграции и поглощению растениями, – около 360 мг/га; в растениях накапливалось 190 мг/га. Для тория те же показатели составляли 34.5 г/га, 650 мг/га и 347 мг/га соответственно.

TRANSFORMATION, MIGRATION AND DEPOSIT OF NATURAL RADIONUCLIDES IN FOREST LANDSCAPES OF THE SOUTHWESTERN BAIKAL REGION

S.G. SHVETSOV

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk (svs833890@gmail.com)

Уран и торий – это литосферные элементы, вовлечение которых в биогеохимический круговорот веществ производится за счет их поглощения из почвы на уровне биогеоценоза. Особенно масштабно этот процесс происходит в лесных экосистемах, где в фитомассе может накапливаться значительное количество урана и тория [2]. Гипергенез горных пород приводит к образованию подвижных форм урана и тория, которые затем вовлекаются в процессы миграции и аккумуляции (депонирования) в почвах и растительности. Скорость и направление этих процессов определяется комплексным воздействием геологических, почвенно-растительных и климатических факторов [3]. Уран и торий имеют подобные физические и некоторые химические свойства, что позволяет использовать одни и те же методические подходы к их определению. В то же время они заметно различаются по своему биогеохимическому поведению в биосфере. Используя эти сходства и различия, можно лучше понять закономерности и особенности функционирования экосистем. Цель и задачи настоящей работы – 1) определить содержание урана и тория в почвах и фитомассе лесных экосистем, 2) оценить роль почвенно-фитоценотических факторов в миграции и аккумуляции исследуемых радионуклидов. Объектами исследования были горно-таежные фитогеоценозы, представленные сосновыми лесами с примесью лиственницы, пихты, кедра, расположенными на Олхинском плато (территория между юго-западным берегом озера Байкал на востоке, рекой Ангара на севере и рекой Иркут на западе) [1]. В ходе работы определяли состав и массу фитоценоза, типологию и физико-химические свойства почв, измеряли содержание урана и тория в почвенных горизонтах, корнях, стволах и листьях древесных растений, в корневых и наземных частях покровных растений [4]. При анализе полученных данных использовали расчетные показатели – коэффициент биологического поглощения и (КБП) и торий-урановое отношение (Th/U). На обследуемых (пробных) участках были идентифицированы следующие почвы: бурозем карбонатный, бурозем типичный, дерново-подзолистая почва, элювозем глеевый, дерново-подбур, дерново-подзол, подзолистая почва. Общее количество урана и тория в почве и связанных с ней растениях определялось концентрацией этих элементов в почвообразующей породе, физико-химическими свойствами и типом почвы, эколого-географическими условиями, массой и составом фитоценоза. Геохимическим барьером в почве для урана и тория в исследованных почвах являлся гумусово-аккумулятивный горизонт (гумусовые вещества), а для урана еще и иллювиальный горизонт (глинистая фракция). Характер распределения и содержание естественных урана и тория в основных компонентах исследуемых фитогеоценозов свидетельствовали о накоплении урана и тория преимущественно в почвенном слое (гумусовом горизонте): средняя валовая концентрация урана в почвах составляла 3.2 мг/кг, в почвообразующей породе – 2.8 мг/кг, в фитомассе – 0.25 мг/кг; для тория те же показатели равны 7.6 мг/кг, 10.6 мг/кг и 0.52 мг/кг соответственно. Наибольшее количество урана и тория содержали почвы, сформировавшиеся на продуктах выветривания массивных кристаллических пород: подзолистая типичная – 4.8 мг/кг урана и 14.6 мг/кг тория, дерново-подзол – 4.75 мг/кг урана и 12.6 мг/кг тория, дерново-подбур – 5.1 мг/кг урана и 17.3 мг/кг тория, дерново-элювозем глеевый – 3.7 мг/кг урана и 12.0 мг/кг тория; наименьшее количество радионуклидов содержали почвы на продуктах выветривания кембрийских доломитов: бурозем типичный – 2.02 мг/кг урана и 4.55 мг/кг тория, бурозем среднекарбонатный – 1.24 мг/кг урана и 1.77 мг/кг тория; промежуточное положение занимала дерново-подзолистая почва на юрских песчаниках – 1.82 мг/кг урана и 4.17 мг/кг тория. При этом доля «подвижной» формы урана составляла в среднем 3.0 % от его валовой концентрации, а тория – 1.8 % от валового показателя. Радионуклиды слабо поглощались растениями. Концентрация урана и тория в золе растений зависела от концентрации радионуклидов в почве, увеличиваясь в ряду: бурозем карбонатный <

бурозем типичный < дерново-подзолистая почва < элювозем глеевый < дерново-подбур < дерново-подзол < подзолистая почва. Концентрация урана в золе деревьев изменялась в пределах 0.117–0.200 мг/кг; кустарников – 0.213–0.335 мг/кг; покровных растений – 0.225–0.371 мг/кг; этот же показатель для тория изменялся в пределах 0.251–0.454 мг/кг в деревьях; 0.332–0.527 мг/кг в кустарниках; 0.343–0.445 мг/кг в покровных растениях. Содержание радионуклидов в корнях растений было заметно выше, чем в надземных органах; в листьях – выше, чем в стволах (стеблях). Мох содержал уран в пределах 0.350–0.424 мг/кг, торий – в пределах 0.458–0.625 мг/кг. Доступность почвенного урана растениям, оцениваемая по коэффициенту биологического поглощения ($КБП_U$), была неодинаковой для разных групп растений как в пределах одного фитогеоценоза, так и между разными фитогеоценозами. $КБП_U$, рассчитанный на общую массу растений и верхний горизонт почв, для деревьев изменялся в пределах 0.028–0.178; для кустарников – 0.036–0.241; для травянистых растений – 0.100–0.248, то есть деревья поглощали уран менее интенсивно, чем покровные растения. Аналогичным был характер поглощения тория: $КБП_{Th}$, рассчитанный на общую массу растений и верхний горизонт почв, для деревьев изменялся в пределах 0.018–0.123; для кустарников – 0.026–0.185; для травянистых растений – 0.094–0.167, то есть деревья поглощали торий менее интенсивно, чем покровные растения. По степени развития и глубине проникновения корней в системе почва – растение можно было выявить 2 цикла круговорота подвижных форм урана и тория – между верхними горизонтами почвы и травянистыми растениями и между нижними горизонтами почвы и древесными растениями. Кустарники относились к промежуточному случаю. Доступность почвенного урана и тория для растений увеличивалась в ряду почв: подзолистая почва > дерново-подзол > дерново-подбур > дерново-элювозем глеевый > дерново-подзолистая почва > бурозем типичный > бурозем карбонатный, что было связано (коррелировало) в этом ряду с уменьшением кислотности почв, утяжелением гранулометрического состава, увеличением емкости катионного обмена и степени его насыщенности основаниями. Средняя величина торий-уранового отношения (Th/U) составляла для почвообразующих пород 3.3, для почв – 2.7, для «подвижных» форм в почве – около 1.6. Th/U в разных видах растений незначительно изменялось от одного фитогеоценоза к другому и в среднем составляло около 1.4. Сравнение величин этих показателей дает основание предполагать, что в поглощении урана и тория растениями участвует «подвижная» форма исследуемых элементов, а растения в результате своей жизнедеятельности (поглощения, отмирания и разложения) участвуют в образовании и подержании этой формы элементов в почве.

Приведенные данные показывают, что уран был более подвижен в лесных экосистемах, чем торий Характер изменения торий-уранового отношения в профиле исследуемых почв и растениях указывает на более активное перемещение урана в акропетальном направлении по сравнению с торием. Можно сказать, что в результате вертикальной миграции в лесном фитогеоценозе наблюдалось относительное обогащение почвы и фитомассы ураном по сравнению с торием. Оценка содержания радионуклидов в компонентах фитогеоценозов дала следующую картину их распределения: малоподвижная форма урана в почве составляла около 11 г/га; подвижная форма, способная к внутрипочвенной миграции и поглощению растениями, – около 360 мг/га; в растениях накапливалось 190 мг/га. Для тория те же показатели составляли 34.5 г/га, 650 мг/га и 347 мг/га соответственно. Депонированная в фитомассе форма радионуклидов теоретически может быть вовлечена в аэральную миграцию в результате пирогенных воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. М. – Иркутск, 2004. 90 с.
2. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы / Р.М. Алексахин, Н.П. Архипов, Р.М. Бархударов, И.Я. Василенко, В.Ф. Дричко, Ю.А. Иванов, В.И. Маслов, К.И. Маслова, В.С. Никифоров, Г.Г. Поликарпов, О.Н. Попова, А.Н. Сироткин, А.И. Таскаев, Б.В. Тестов, Н.А. Титаева, Л.Т. Февралева. М.: Наука, 1990. 368 с.
3. *Шапошникова Л.М*. Основные факторы, влияющие на поглощение урана, радия и тория растениями // Вестник ИБ Коми КрО РАН. 2017. № 3. С. 49–57.
4. *Швецов С.Г., Воронин В.И.* Распределение урана и тория в почве и растениях Восточной Сибири (Иркутская область) // Журнал СФУ. Биология. 2019. Красноярск: Изд-во СФУ. Т. 12. № 1. С. 86–100.

УДК 631.417.1

ПУЛЫ УГЛЕРОДА В СРЕДНЕПРОДУКТИВНОМ ЛИСТВЕННИЧНОМ ЛЕСУ, ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ

А.Г. ШЕПЕЛЕВ[1, 2], Е.В. СТАРОСТИН[2, 3], Т.Х. МАКСИМОВ[2, 3]

[1] Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск (carbon-shag@yandex.ru)
[2] Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск (Lokofill91@gmail.com)
[3] Якутский научный центр СО РАН, Якутск (tcmax@mail.ru)

Аннотация. Исследована структура пулов углерода напочвенного покрова и органо-аккумулятивных почв на примере репрезентативного лиственничного леса левобережья р. Лены. Запасы общего органического углерода надземной фитомассы варьируют в пределах 2.2–3.5 т С/га, подземной фитомассы – в пределах 0.6–0.7 т С/га. В толще почвы 30 см в среднем депонировано 4.6 т С/га, а в толще почвы 100 см – 5.8 т С/га.

CARBON POOLS IN A MEDIUM-PRODUCTIVE LARCH FOREST, CENTRAL YAKUTIA

A.G. SHEPELEV[1, 2], E.V. STAROSTIN[2, 3], T.C. MAXIMOV[2, 3]

[1] P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk (carbon-shag@yandex.ru)
[2] Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk (Lokofill91@gmail.com)
[3] Yakut Scientific Centre SB RAS, Yakutsk (tcmax@mail.ru)

Annotation. The structure of carbon pools of soil cover and organic-accumulative soils was studied using the example of a representative larch forest on the left bank of the Lena River. The reserves of total organic carbon of elevated phytomass vary within the range of 2.2–3.5 t C/ha, and underground phytomass within 0.6–0.7 t C/ha. In a soil thickness of 30 cm an average of 4.6 t C/ha was deposited, and 5.8 t C/ha in a soil thickness of 100 cm.

Пулы углерода в мерзлотных ландшафтах имеют стратегическое значение для районов Северного полушария в связи с прогнозируемым изменением климата и эмиссией парниковых газов из верхних горизонтов почвы и многолетнемерзлых отложений в результате их деградации. Почва является одним из крупнейших резервуаров углерода на Земле после океана, аккумулируя 2500 млрд т поглощенного углерода [3]. При этом запасы органического углерода в разных климатических зонах России недооцениваются из-за сложной неоднородности [4] и ландшафтного разнообразия. В глобальном масштабе запасы углерода почв оцениваются в 1417 Гт С, на долю Российской Федерации приходится 216 Гт С, или 15 % мировых запасов [2]. Целью работы являлось исследование структуры общих запасов органического углерода в репрезентативном лиственничном биогеоценозе Центральной Якутии. Пробные площади (ПП) для оценки пулов углерода в напочвенном покрове и почве заложены в Центральноякутской низменности на денудационно-аккумулятивной равнине левобережья р. Лена, на среднепродуктивной лесной научной станции «Спасская падь». Участки исследований приурочены к палевым почвам. Расчет пулов углерода в надземной и подземной фитомассе проводили по методике [1]. Определение содержания общего органического углерода (TOC) в почве и растительности выполняли на анализаторе углерода LECO RC612 методом сухого сжигания в окислительной среде. При расчете запасов TOC в почве, кроме плотности сложения, также учитывалась доля мелкозема <2 мм в минеральных горизонтах, которая на всех ПП составила 100 %. В лиственничном биогеоценозе на пяти ПП надземная фитомасса формирует различную мощность подстилок, от 2 до 6 см. Пул углерода подстилки в лиственничном биогеоценозе является наиболее существенным по отношению к углероду надземной и подземной фитомассы (рис. 1). В среднем по лиственничному лесу в надземной фитомассе депонировано 0.3 т/га углерода, подземной – 0.7 т/га, тогда как углерод подстилки превышает эти показатели, вместе взятые, на 65 %, или на 2.8 т/га. Распределение углерода в количественном выражении укладывается в интервал от 0.2 до 0.3 т/га углерода надземной фитомассы. Для углерода подземной фитомассы сохраняется та же тенденция, но с более высокими количественными значениями в интервале от 0.6 до 0.7 т/га. Углерод подстилки рассредоточен относительно равномерно, охватывая всю область исследуемого биогеоценоза, в котором запасы изменяются в широких пределах – от 0.8 до максимальных значений 4.1 т/га при средней величине 2.8 т/га. Расчеты показали, что ключевой пул углерода Центральной Якутии содержится в объединенных горизонтах подстилки (OFH) без учета надземной фитомассы. Углерод в надземной фитомассе значительно меньше по сравнению с подстилкой: на 90 %. Продукция подземной фитомассы удваивается по отношению к надземной фитомассе, но не превышает одной тонны на гектар. Вклад самой растительности в подземную фитомассу зависит от видового состава сообщества, который практически не отличается на пробных площадях и развивается в однообразных условиях лиственничного леса и увлажнения, что и развивает эту часть пула в равнинном ландшафте. Доля углерода напочвенного покрова от общего пула в среднем отличается на 19 %. Общий пул углерода в биогеоценозе варьирует от минимального – 2.8 т С/га, единичный случай, до максимального – 4.2 т С/га. Суммарные запасы TOC без учета подстилки в слое почвы 0–30 см под лиственничным лесом составляют 4.6 т С/га, а в толще

мощностью 100 см – 5.8 т С/га. Это свидетельствует о том, что минеральные горизонты почвы стоит рассматривать равнозначными по отношению к напочвенному покрову. Общие экосистемные запасы углерода с учетом напочвенного покрова и почвы в толще 30 и 100 см составляют 12.0 и 13.3 т С/га соответственно.

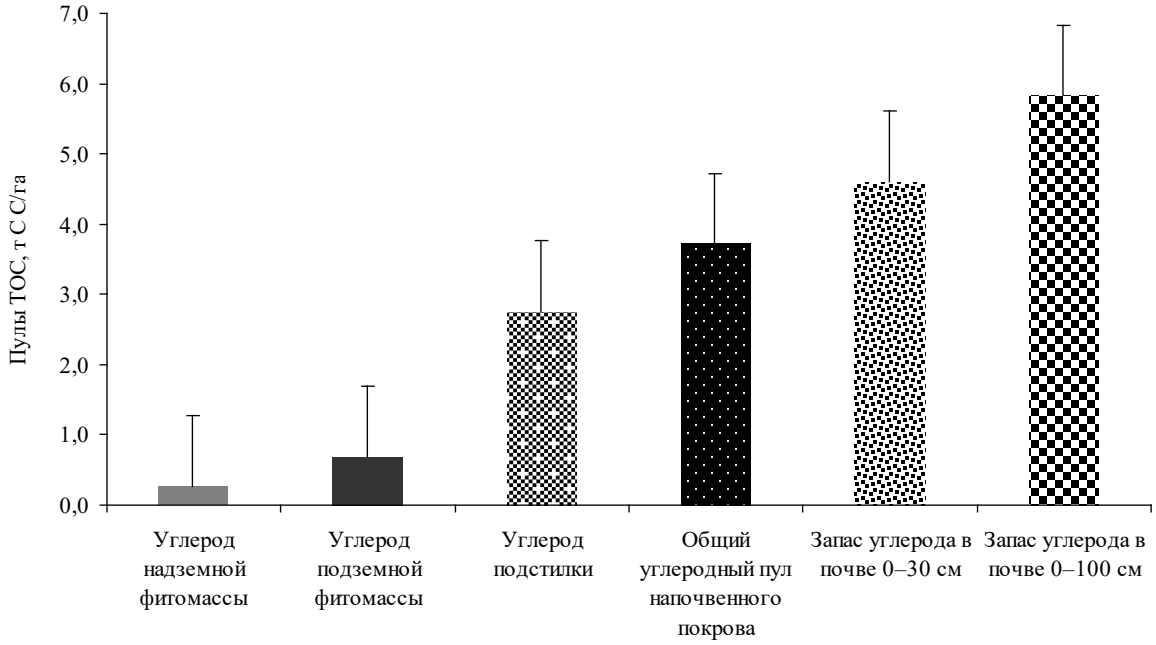


Рис. 1. Общие экосистемные пулы углерода в лиственничном лесу

Выводы. 1. Напочвенный покров формируется в гомогенных растительных условиях, что выражается в относительно равномерном количестве запасенного углерода на пробных площадях. 2. В условиях лиственничного биогеоценоза Центральной Якутии депонировано значительно меньше углерода подземной биомассы – 0.69 т С/га, чем в напочвенном покрове – 3.03 т С/га. 3. Горизонты подстилки формируют основной пул углерода в лиственничном биогеоценозе, в среднем эта величина составляет 2.76 т С/га. 4. Минеральные горизонты почвы наравне с напочвенным покровом аккумулируют значительное количество ТОС, до 5.8 т С/га в толще почвы 100 см. 5. В среднем общий пул углерода по лиственничному биогеоценозу образует до 13.0 т С/га.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р (ред. от 20.01.2021) «Об утверждении методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов».
2. *Chestnykh O.V., Grabovskiy V.I., Zamolodchikov D.G.* Estimate of the soil carbon stock of forested regions in Russia using databases of soil properties // Contemp. Probl. Ecol. 2022. 15: 731–740.
3. *Wang J., Wilson R.S., Aristilde L.* Electrostatic coupling and water bridging in adsorption hierarchy of biomolecules at water–clay interfaces // Proc. Natl. Acad. Sci. 2024. 121 (7): e2316569121.
4. *Zubrzycki S., Kutzbach L., Pfeiffer E.-M.* Permafrost-affected soils and their carbon pools with a focus on the Russian Arctic // Solid Earth. 2014. 5 (2): 595–609.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6), бюджетного проекта «Криогенные процессы и формирование природных рисков освоения мерзлотных ландшафтов Восточной Сибири» (рег. № 122011400152-7) и государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации «Исследование биогеохимических циклов и адаптивных реакций растений бореальных и арктических экосистем северо-востока России» (рег. № АААА-А21-121012190034-2) с применением оборудования ЦКП ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» (рег. № 13.ЦКП.21.0016).

УДК 504.3.054+630.161+581.55

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКИХ ДЕРЕВЬЕВ ЧАСТИЦАМИ ТВЕРДОГО АЭРОЗОЛЯ

О.В. ШЕРГИНА, Т.А. МИХАЙЛОВА

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск (sherolga80@mail.ru)

Аннотация. Проведены исследования загрязнения городских лесов в пределах территории г. Иркутска по концентрации аэрозольных частиц ($PM_{0.3}$ – PM_{10}) и индексу AQI. Методами SEM, EDS, EDAX обнаружен высокий уровень адсорбции PM_x хвоей/листьями лесообразующих видов, установлен химический состав частиц и их морфология. Выявлен высокий уровень корреляции между AQI и концентрацией поллютантов, адсорбированных/аккумулированных хвоей и листьями древесных растений, что свидетельствует о значительной очищающей способности городских лесов.

ASSESSMENT OF URBAN TREE POLLUTION BY PARTICULATE AEROSOL PARTICLES

O.V. SHERGINA, T.A. MIKHAILOVA

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk (sherolga80@mail.ru)

Abstract. Studies have been carried out on the pollution of urban forests within the territory of Irkutsk based on the concentration of aerosol particles (PM0.3 – PM10) and the AQI index. Using SEM, EDS, EDAX methods, a high level of PMx adsorption by the needles/leaves of forest-forming species was detected, the chemical composition of the particles and their morphology were established. A high level of correlation was revealed between AQI and the concentration of pollutants adsorbed/accumulated by needles and leaves of trees, that indicates the significant cleaning ability of urban forests.

Важнейшей экологической проблемой в современный период стало загрязнение воздуха городов практически во всех странах. При воздействии этого фактора происходит нарушение, а в ряде случаев деградация природных компонентов урбоэкосистем. Особо актуальны в настоящее время исследования воздействия на живые организмы аэрозольных, или взвешенных, частиц (Particulate Matter, PM_x), являющихся наиболее распространенными и опасными загрязнителями атмосферного воздуха в городах. При этом уровень загрязнения воздуха оценивается, как правило, по индексу AQI, при расчете которого принимается во внимание массовая концентрация взвешенных частиц PM_x. При оптимизации состояния урбанизированных территорий следует выделить ключевую роль зеленых насаждений, особенно естественных городских лесов, способных эффективно адсорбировать загрязняющие вещества и снижать их концентрацию в воздушной среде. Цель данной работы – оценить способность очищения воздуха городскими лесами (на примере Иркутска) по адсорбции/аккумуляции загрязняющих взвешенных частиц листьями и хвоей основных лесообразующих видов деревьев (сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, березы повислой). В исследованиях применяли современные технологии, включая сканирующую электронную микроскопию (SEM), энергодисперсионную рентгеновскую спектроскопию (EDS), энергодисперсионный рентгеноструктурный анализ (EDAX).

Исследования были выполнены в 2022–2024 гг. в лесах естественного происхождения, сохранившихся на территории г. Иркутска. Было выбрано 16 лесных массивов размерами от 10 до 15 га, в пределах которых в соответствии с методикой ICP Forests закладывали пробные площади (ПП). На каждой ПП с использованием монитора Air detector 2 AM7P (USA) проводили измерения концентраций PM частиц размерного ряда от 0.3 до 10.0 мкм в атмосферном воздухе и рассчитывали индекс загрязнения атмосферы (AQI). Для сравнения уровней загрязненности воздуха измеряли концентрации PM_x на фоновом участке, удаленном от города на 120 км. Обнаружено, что концентрации взвешенных частиц в атмосферном воздухе на ПП в городских лесах значительно различаются. Суммарное содержание PM_x находится в пределах 1500–3800 $\mu g/m^3$, что превышает фоновые значения в 6–18 раз. При этом обнаруживается наибольшая концентрация тонкодисперсных взвешенных частиц, представляющих наибольшую опасность для биоты. Значения AQI в городских лесах составили от 18 до 60, что превышает фоновые показатели от 3 до 13 раз.

При исследовании хвои сосны и лиственницы, листьев березы показано, что взвешенные частицы интенсивно адсорбируются на их поверхности (рис. 1, 2, 3). Сильно загрязненная хвоя сосны может быть покрыта частицами твердого аэрозоля на 50–75 %, часто наблюдается полное закупоривание устьиц. Активной адсорбции аэрозольных частиц на поверхности хвои сосны способствуют ее морфологические особенности, обусловливающие прочную связь загрязняющих частиц, особенно тонкодисперсных, с хвоей. На микрофотографиях поверхность хвоинок лиственницы (эпидермиса и кутикулы) выглядит бугорчатой, видны образования в виде складок и гребневидных выступов, что способствует активной адсорбции взвешенных частиц. При исследовании листьев березы также обнаружены большие скопления разноразмерных взвешенных частиц на их поверхности, слой адсорбированных PM_x может сплошь охватывать верхнюю поверхность листа; при этом бо̀льшая доля частиц отлагается на верхней стороне

листа, по ходу жилкования, а также на трихомах, в то время как на нижней стороне листа их гораздо меньше. Проведен рентгеноспектральный микроанализ адсорбированных PM_x и вычислено процентное содержание в них химических элементов. PMx частицы в наибольшем количестве содержат углерод, кремний, серу, кальций, фосфор, хлор, магний, значительна доля тяжелых металлов (Cd, Pb, Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, V, W, Zn), присутствующих в виде металлизированных скоплений (рис. 4). Проведен анализ данных о количественном соотношении PM_x, адсорбированных на поверхности, и PMx поглощенных, то есть проникших внутрь тканей листа/хвои через устьица и покровные ткани. Расчет таких соотношений осуществлялся на примере ТМ. Результаты показали, что процент поглощенных аэрозольных частиц, как правило, выше процента адсорбированных на поверхности хвои и листьев: разница может составлять более 20 раз. Вместе с тем на ряде сильно загрязненных ПП количество адсорбированных и поглощенных PM_x может быть практически равным. Выявлен высокий уровень корреляции между AQI (уровнем PM_x в воздухе) и концентрацией поллютантов, адсорбированных/аккумулированных хвоей/листьями древесных растений, что свидетельствует о наличии достоверной высокой очищающей способности городских лесов.

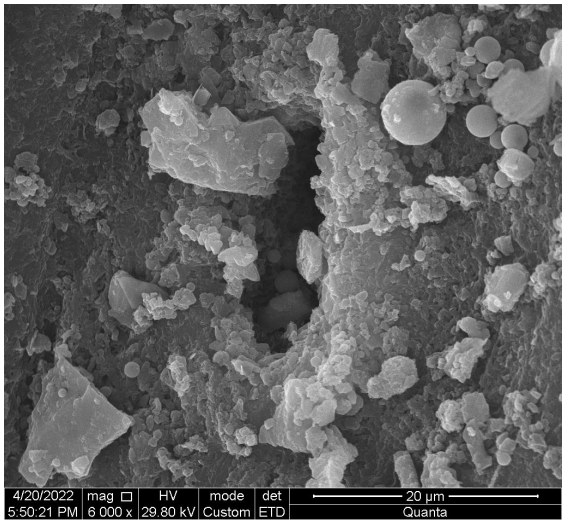


Рис. 1. Закупоривание устьица сосны PM_x частицами

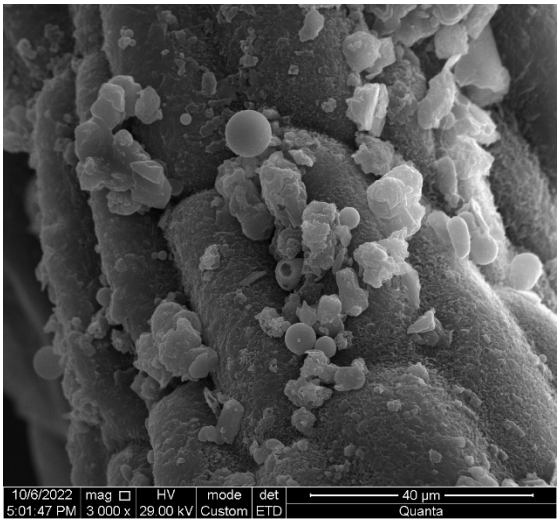


Рис. 2. PM_x частицы в складках хвои лиственницы

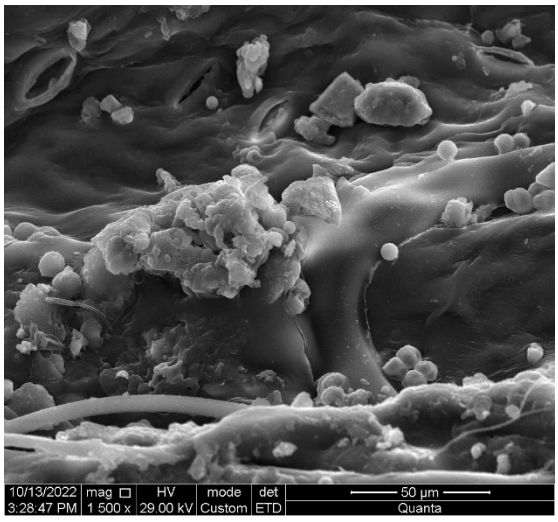


Рис. 3. PM_x на поверхности листа березы

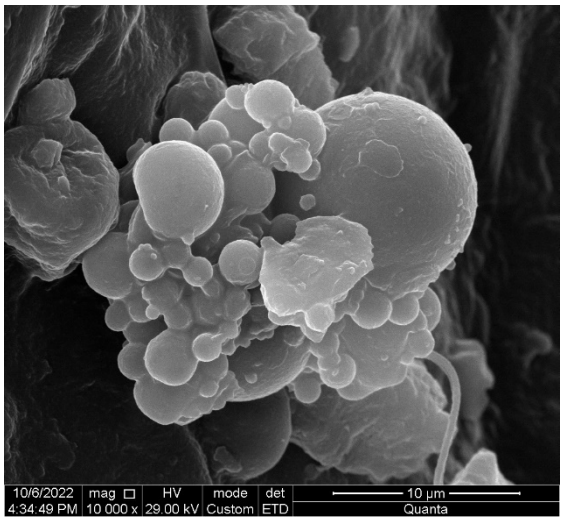


Рис. 4. Скопление металлизированных частиц на хвое

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают искреннюю благодарность ведущему инженеру Лимнологического института СО РАН М.М. Масленниковой за помощь в исследованиях методом SEM. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 22-24-00140).

УДК 581.9

ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЕ НА ГОРНЫХ ОТВАЛАХ

А.С. ШИШИКИН, Р.Т. МУРЗАКМАТОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (shishikin@ksc.krasn.ru, takcator_m@mail.ru)

Аннотация. Предлагается анализ условий лесовозобновления на отвалах горных пород. На форму кроны, породный состав и густоту большое влияние оказывают зоохорные птицы, пожары и естественное изреживание. Искусственные насаждения на отвалах стремятся к зональной норме независимо от экспозиции склонов, а их сукцессионное развитие определяется частотой и интенсивностью прогорания.

REFORESTATION ON MOUNTAIN DUMPS

A.S. SHISHIKIN, R.T. MURZAKMATOV

V.N. Sukachev Forest Institute SB RAS, Krasnoyarsk (shishikin@ksc.krasn.ru, takcator_m@mail.ru)

Abstract. An analysis of the conditions of reforestation in landfills is proposed. The shape of the crown, breed composition and density are greatly influenced by birds, fires and natural thinning. Artificial plantings on dumps tend to the zonal norm, regardless of the exposure of the slopes, their fate is determined by the frequency and intensity of burning.

Введение. Более 30 лет назад родилась идея комплексного изучения отвалов, и в ИЛ была организована лаборатория техногенных лесных экосистем. Мотивация заключалась в комплексном рассмотрении начального этапа лесообразования, когда отвалы горной породы представляют собой биологический ноль. До этого изучались естественные леса, как правило, уже имеющие основные компоненты лесных экосистем (почву, микроорганизмы, растительность, животных). На техногенных поверхностях нарушаются все компоненты экосистемы – рельеф, гидрологический режим поверхностных и грунтовых вод; уничтожается почвенный покров с комплексом привычных педобионтов, аборигенный покров растений, меняются их состав, распределение и население наземных животных. В этих условиях перспективно изучение динамики формирования зональных и антропогенных биогеоценозов, адаптивных особенностей их компонентов, образования биологических связей между ними. Значимость таких работ возрастает по мере увеличения антропогенных площадей нарушенных земель, лишенных почвы, растительности и животного населения. Изучение закономерностей восстановления функционального единства в биологической системе позволило обоснованно рекомендовать изменения в существующей технологии рекультивации и использовании сукцессионно образующихся пищевых и других ресурсов [4, 5].

Методика и материалы. Использованы традиционные методы мониторинговых исследований нарушенных земель [1, 2, 3]. Основные материалы получены в результате длительных (с 2007 г.) наблюдений на пробных площадях: Бородинского угольного разреза (лесостепь); маршрутных обследований назаровских, хакасских (степь), тувинских и монгольских карьерных разработок месторождений угля и асбеста (сухая степь); добычи россыпного и рудного золота на реках Енашимо, Б. Кузеева, Панимба, Кувай и нефтепромыслов (средняя и южная тайга); Норильского промрайона (лесотундра) и др. В насаждениях исследовались почва, микро- и мезоорганизмы, растительный покров, животное население. Постоянные пробные площади закладывались на отвалах разного возраста и технологии (без рекультивации; выровненные; с ПСП) горного и биологических этапов. Описание лесовозобновления сводилось к характеристике породного состава, строения корней, густоты (полноты), измерениям ежегодного прироста л/к, запаса $м^3$/га и т. п. Оценивался лимитирующий фактор, проводились р/у при естественном возобновлении и разреживание л/к (критерий – прирост). Для оценки реальной продуктивности отвалов на отвалах БУР с отсыпкой ПСП разного возраста проводилось ежегодное фрезерование и посадка (посев) овощных культур (картофель, морковь, свекла, огурцы и пр.), велись опыты по внесению минеральных и органических удобрений, золы. Путем высева семян сосны и лиственницы оценивались условия формирования подроста. Проводились опытная посадка кедра и размещение рекомендуемых травосмесей на свежих выровненных отвалах без ПСП с удобрениями. Оценивался запас пищевых биологических ресурсов и факторы, ограничивающие их.

Результаты. Механическую посадку лесных культур (л/к) следует приводить в соответствие с действующими правилами (после усадки грунтов, по горизонтали на террасах склонов). Желательно поверхность отвалов перед посадкой л/к 2-3 раза культивировать дисковыми культиваторами. Это увеличит долю мелкозема и влагоемкость (конденсацию), усвоение необходимых элементов минерального питания деревьев, ускорит процесс усадки («распыхивания») грунтов, создаст физико-химические условия (воздушность) для развития комплекса микро- и мезопедобионтов.

Компактно произрастают у водоемов ивы (*Salix* sp.) и облепиха (*Hippophae*). На отвалах с ПСП – береза (*Betula pendula*) и сосна (*Pinus silvestris*), из садов и озеленения НП черноплодка (*Aronia melanocarpa)*, смородина черная (*Ribes nigrum)*, яблоня сибирская (*Malus baccata)* растут редко, облепиха

растет вдоль дорог, около водоемов и в междурядьях л/к, когда они обеспечивают обитание мигрирующих зоохорных дроздов (*Turdidae* sp.) и других птиц, погадки с семенами на вершины отвалов заносят вороны (*Corvus corone*). Для одиночных деревьев на отвалах с ПСП характерна шаровидная крона, что обусловлено воздействием синантропных птиц. Более успешно развиваются естественные насаждения на нерекультивированных ж/д отвалах, а также л/к без нанесения ПСП. При этом искусственные посадки ели и сосны в первые 20 лет развиваются по первому бонитету, их прирост лимитирует влажность сезона. Строение корней поверхностное, что указывает на недоступность грунтовой влаги и преобладание конденсационного обеспечения, а также необходимость в разреживании древесного полога (р/у) [3]. Возможно, в дальнейшем водоупорный горизонт и грунтовое питание растений восстановятся, но провальное атмосферное обеспечение отвалов влагой летом и поверхностное на мерзлых грунтах весной останется – и оно только провоцирует эрозионные процессы и недоступно для растений.

В результате формирования экологических условий функциональное значение сомкнутой древесной растительности усиливает зоохорию птиц. Концентрация синантропных и мигрирующих птиц около отвалов провоцирует необходимость учитывать их деятельность. Она заключается не только в распространении ягодных растений, но и в формировании крон, высокой концентрации, привлечении хищников и т. д. Положительные результаты получены при ручной посадке саженцев кедра в междурядьях л/к. В то же время зарастание начавшими плодоносить л/к сосны и облепихой неперспективно, поскольку создаются условия для верхового пожара. Подрост адаптирован к новым условиям и может использоваться только как собственный посадочный материал, выращенный на временном посевном отделении.

Противоречия возникают с классическими представлениями об экологии древесных пород. Существует несколько предположений о хорошем приросте ели (прирост ели равен приросту сосны), посаженной на южном склоне, и культур ели здесь же, на ровном участке, которые уступают в приросте. На многих недродобывающих предприятиях отсутствует реальный план биологической рекультивации, который учитывает рекреационные потребности местного населения.

Выводы. При отсутствии дефицита пахотных земель в Сибири лесной вариант рекультивации в лесостепи предпочтителен: он в 5-7 раз дешевле; не надо выравнивать отвалы и насыпать на них ПСП (предварительно снимая потенциально плодородный слой и складируя его); повышается биоразнообразие, возникают условия для предотвращения водной эрозии и т. д. Водные сукцессионные процессы идут быстрее наземных. При биологическом этапе рекультивации остаются лесохозяйственные проблемы: периодический уход за л/к и естественным возобновлением; выращивание посадочного материала и его гарантированный сбыт; ориентированное использование нарушенных земель и их биологическая рекультивация.

По результатам мониторинговых работ для БУР разработан и получен патент на горный способ рекультивации (№ 2615533), который применим для других горных отвалов пустой породы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Трефилова О.В., Гродницкая И.Д., Ефимов Д.Ю.* Динамика эколого-функциональных параметров реплантоземов на отвалах угольных разрезов Центральной Сибири // Почвоведение. 2014. № 1. С. 109–119.
2. *Махонина Г.И.* Начальные процессы почвообразования в техногенных экосистемах Урала: Автореф. дисс. … докт. биол. наук: 03.00.27. Томск: 2004, 38 с.
3. *Мурзакматов Р.Т., Шишикин А.С., Борисов А.Н.* Особенности формирования насаждений на отвалах угольных разрезов в лесостепной зоне // Сиб. лесной журн. 2018. № 1. С. 37–48.
4. *Шишикин А.С., Ефимов Д.Ю., Мурзакматов Р.Т.* Биологические ресурсы горных отвалов (на примере Бородинского угольного разреза) // Сиб. лесной журн. 2019. № 5. С. 109–117.
5. *Шишикин А.С. Мурзакматов Р.Т., Ефимов Д.Ю.* Проблемы биологической рекультивации в Средней Сибири // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Сб. науч. тр. Екатеринбург, 2017. С. 350–355.

УДК 630*161:581.552

ВОССТАНОВЛЕНИЕ УСЫХАЮЩИХ КЕДРОВНИКОВ ГОР ЮГА СИБИРИ

А.С. ШИШИКИН, Р.Т. МУРЗАКМАТОВ, И.И. БРЮХАНОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (bruyhanov.ii@ksc.krasn.ru)

Аннотация. Исследования восстановления сосны сибирской кедровой (*Pinus sibirica* Du Tour, 1803), или кедра сибирского, проводились в двух типах лесорастительных условий: Западносаянском округе горно-таежных и подгольцово-таежных кедровых лесов (Абазинское участковое лесничество) и Южнохакасском округе подтаежных сосново-лиственничных и горно-таежных темнохвойных лесов (Матурское и Копьевское участковые лесничества).

RESTORATION SEDAR FORESTS IN THE SAYAN MOUNTAINS

A.S. SHISHIKIN, R.T. MURZAKMATOV, I.I. BRYUKHANOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (bruyhanov.ii@ksc.krasn.ru)

Abstract. Studies of Siberian cedar pine (*Pinus sibirica* Du Tour, 1803), or Siberian cedar, regeneration were conducted in two types of forest conditions: Zapadnosayansky district of mountain taiga and subgoltso-taiga cedar forests (Abazinskoye district forestry) and Yuzhnohakassky district of sub-taiga pine-larch and mountain taiga dark coniferous forests (Maturskoye and Kopievskoye district forestry).

Введение. В настоящее время актуально возобновление кедра (сосны сибирской *Pinus sibirica)* после повреждения корневыми патогенами. Возобновление этой ценной породы отличается в местах произрастания. В крупнотравных типах леса на вырубках возобновление кедра затруднено и возможно только через смену пород или создание лесных культур.

Материал и методика. Исследования проводились в двух лесорастительных зонах. В кедровых лесах северного макросклона Восточного Саяна, где преобладает прямое возобновление (Абазинское лесничество), и на восточном макросклоне Кузнецкого Алатау (Матурское и Копьевское лесничества), где преобладают высокотравные типы леса, а на вырубках доминирует порослевое лиственное возобновление.

На географически разных объектах обследовано по три группы типов насаждений (зеленомошные, черничные, травянистые). На них оценивалось санитарное состояние взрослых деревьев, а также густота и состояние подроста.

Результаты. В высокотравных кедровниках отсутствует подрост. Кедровка не заносит орехи на травянистые участки (опасаясь конкурентов), а высокая плотность мышевидных на вырубках не позволяет им сохраниться при опадении с крон. Поэтому в условиях гумидного климата разрушение кедровников потенциально приведет к образованию травянистых полян, характерных для высокогорной зоны. Возобновление кедра возможно только при катастрофическом прогорании территории. В этих условиях необходимо создавать лесные культуры крупномерными саженцами под защитой пней.

В Абазинском лесничестве при обследовании сплошной санитарной вырубки выявлена гибель кедра без снижения прироста. Подобные явления массового усыхания не наблюдались ранее.

Перечет подроста на зимней сплошной санитарной вырубке 2011 г. (Абазинское лесничество) показал высокую сохранность на пасеках и достаточно большое количество всходов на волоках (1250 шт./га). Наблюдалась известная закономерность: чем выше и старше подрост, тем хуже его жизненное состояние и ниже сохранность при рубке. Подрост в возрасте до 5-6 лет практически не повреждается и при густоте свыше 600 экз./га может обеспечить естественное возобновление кедра на вырубке.

На лесосеке, пройденной сплошной санитарной рубкой (Абазинское лесничество), возникла достаточно уникальная ситуация (последний раз в 1981 г.), когда шишка оставалась в кроне всю зиму. Обычно урожай ореха, упавший на землю, быстро съедается мелкими млекопитающими и не участвует в формировании возобновления. Однако оставшиеся в кроне шишки и уплотнение снега на волоках, препятствующее передвижению мышевидных, обеспечили появление всходов и послужили обоснованием нашего эксперимента по весеннему посеву семян кедра на волоках лесосек.

Плодоношение кедра – прогнозируемое явление, но разнос и образование жизнеспособного подроста кедра – сложные процессы. Многочисленные попытки и варианты (включая наши эксперименты) посева семян кедра оказались безуспешными.

Учет подроста на круговых площадках под пологом усыхающих зеленомошно-вейниковых кедровников (Абазинское лесничество) выявил его достаточное количество (1008 шт./га) и хорошее жизненное состояние. При среднем возрасте 14.6 года высота подроста составляет 1.6 м. После усыхания крон материнского полога и увеличения освещенности наблюдается двукратное увеличение прироста подроста в высоту за последние 5 лет (16.5 см/год), которое превосходит 40 см/год.

В высокотравных кедровниках Кузнецкого Алатау кедровый подрост отсутствует, и следует рекомендовать искусственное возобновление или ждать (20–40 лет), когда произойдет смыкание

лиственного подроста на вырубках и подавление травостоя. Возможен вариант ручной посадки лесных культур кедра крупномерами без подготовки почвы.

Заключение. Неснижающийся радиальный прирост во время гибели и низкая интенсивность заселения ксилофагами усыхающих кедровников указывают на отсутствие известных в настоящее время физиологических закономерностей массового отпада деревьев. Теоретически можно предположить, что современные кедровники – продукт прежних климатических изменений, и мы наблюдаем смену доминирования древесных пород. Кедровники одного поколения достигли предела своей устойчивости, и включился механизм их смены с наложением климатических изменений. В современной истории лесоведения такая высокая активность корневых патогенов и их роль в массовом отпаде кедровых и пихтовых насаждений встречается впервые.

Прогноз возобновления усыхающих кедровников в среднегорной части Западного Саяна и Кузнецкого Алатау резко отличается. На первой территории, несмотря на редкие урожаи сосны сибирской, естественное возобновление в большинстве случаев обеспечено за счет формирования предварительного подроста. На второй возобновление возможно только искусственным путем.

В качестве профилактических мер в борьбе с корневыми патогенами следует рекомендовать огневую очистку лесосек с частичным или полным выгоранием подстилки. Это позволит стерилизовать почвенный горизонт от грибных мицелиев до формирования нового мохового покрова (40–50 лет) и спровоцирует кедровку к «восстановлению кедра».

Следует признать организацию орехово-промысловых зон с одновременным запретом рубки кедра (в связи с массовым усыханием) неудачным производственным экспериментом, который привел к экономическим потерям не только ценной древесины, но и побочного ресурса прижизненного использования насаждений.

УДК 632.4

К ВОПРОСУ О ПОРАЖЕНИИ КОРНЕВОЙ ГУБКОЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В СЕРЕБРЯНОБОРСКОМ ОПЫТНОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. ШИШКИНА[1, 2], Н.Н. КАРПУН[1]

[1] Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург (frbg@mail.ru, nkolem@mail.ru)
[2] ФБУ «Рослесозащита», Пушкино, Московская область

Аннотация. Приведены результаты сравнительной оценки пораженности корневой губкой географических культур сосны обыкновенной в Серебряноборском опытном лесничестве Московской области и в примыкающих к ним сосновых древостоях естественного и искусственного происхождения. В географических культурах успешными были признаны климатипы сосны из Карелии, Калужской, Тверской областей, Латвии и Могилевской области Беларуси. Примыкающие к географическим культурам древостои сосны искусственного происхождения менее устойчивы к корневой губке, чем естественные сосняки.

ANNOSUM ROOT ROT DISTRIBUTION FEATURES IN SCOTS PINE STANDS IN THE SEREBRYANOBORSKY EXPERIMENTAL FORESTRY OF MOSCOW REGION

A.A. SHISHKINA[1, 2], N.N. KARPUN[1]

[1] S.M. Kirov St. Petersburg State Forest Technical University, Saint Petersburg (nkolem@mail.ru, frbg@mail.ru)
[2] FBI RCFH, Pushkino, Moscow region

Abstract. An assessment was made of annosum root rot distribution in Scots pine provenance trials in the Serebryanoborsky experimental forestry (Moscow region) and in the adjacent natural and artificial pine stands. In the provenance trials the climatypes from Karelia, Kaluga, Tver regions, Latvia and the Mogilev region of Belarus were recognized as successful. Artificial pine stands adjacent to provenance trials are less resistant to root rot than natural pine forests.

Многолетние наблюдения за состоянием сосновых насаждений в Серебряноборском опытном лесничестве Московской области позволили установить, что основной причиной возникновения отпада в них является корневая губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) [2, 3]. Особое значение на территории лесничества имеет ценный лесоводственный объект – географические посадки сосны обыкновенной, созданные под руководством Л.Ф. Правдина в 1948–1950 гг. Эти культуры также подверглись куртинному усыханию вследствие поражения корневой губкой [4, 1]. Цель настоящих исследований – сравнить пораженность сосны на участке с географическими культурами и в примыкающих древостоях местного происхождения.

Работы по оценке состояния деревьев в географических культурах проводили в 2014–2015 гг. и повторно – в 2022–2023 гг. на постоянных пробных площадях, заложенных сотрудниками Института лесоведения (ИЛАН РАН). Оценку санитарного состояния сосновых насаждений на примыкающих участках выполняли в 2023 г. в процессе визуального обследования на маршрутном ходе длиной 5 км, на площади 150.3 га древостоев естественного и искусственного происхождения. На трех участках с наличием куртин усыхания, вызванного корневой губкой, закладывали временные пробные площади с перечетом не менее 100 деревьев сосны.

В целом географические культуры характеризуются средней степенью поражения корневой губкой, причем пораженность разных климатипов неодинаковая. У климатипов из Карелии, Калужской, Тверской областей, Латвии и Могилевской области Беларуси не обнаружено деревьев с признаками заражения корневой губкой. Наиболее сильно усыхание распространилось в культурах происхождением из Бурятии, Пермского края, Удмуртии, Татарстана, Белгородской и Вологодской областей.

По результатам обследования примыкающих к географическим культурам насаждений сосны местного происхождения отмечено, что естественные древостои характеризуются большей устойчивостью к корневой губке, чем искусственные. В естественных насаждениях поражение сосны выявлено только на одном участке площадью 1.7 га, возрастом 90 лет. Степень развития очага слабая. В сосняках возрастом 120–140 лет усыхания сосны от корневой губки не обнаружено.

В обследованных культурах сосны, возраст которых составляет от 70 до 80 лет, очаги выявлены на площади 19.0 га (или на 75 % общей площади обследованных сосняков искусственного происхождения). В основном это очаги корневой губки слабой степени, с поражением менее 10 % деревьев по запасу. Один участок культур сосны площадью 0.8 га поражен в средней степени (11.2 %). В 2017 г. часть обследованной площади культур была пройдена выборочной санитарной рубкой, однако в настоящее время на этих участках снова наблюдается свежее усыхание деревьев.

По результатам учетов на постоянных пробных площадях установлены следующие особенности поражения культур. Патологический процесс в них начался при естественной дифференциации деревьев, и корневой губкой поражались в основном отставшие в росте экземпляры. Затем усыхание охватило более крупные деревья: по результатам учетов 2014–2015 гг. большинство пораженных деревьев относились к 4

и 5 классам Крафта. У деревьев, погибших от патогена за последнее десятилетие, средний класс Крафта составляет 3.0. По данным первого учета не было выявлено ни одного пораженного дерева 1 класса Крафта, однако в настоящее время заметно возросла доля лидирующих деревьев, оказавшихся в очагах усыхания и погибших от заболевания (рис. 1).

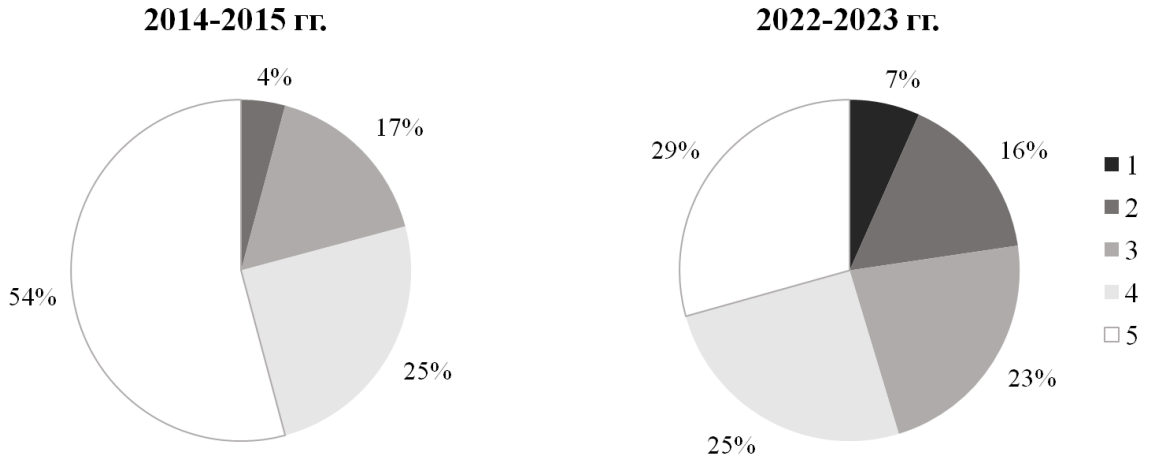


Рис. 1. Распределение пораженных корневой губкой деревьев сосны обыкновенной по классам Крафта (по учетам 2014–2015 гг. и 2022–2023 гг., Московская обл., Серебряноборское опытное лесничество)

Таким образом, установлена неодинаковая степень поражения древостоев сосны разного происхождения на обследованных участках Серебряноборского опытного лесничества. В географических культурах успешными были признаны климатипы сосны из Карелии, Калужской, Тверской областей, Латвии и Могилевской области Беларуси. Примыкающие к географическим культурам древостои сосны искусственного происхождения менее устойчивы к корневой губке, чем естественные сосняки. В культурах отмечен патологический характер отпада с усыханием деревьев, составляющих основной полог древостоя, а также лидирующих экземпляров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мерзленко М.Д., Глазунов Ю.Б., Мельник П.Г.* Результаты выращивания провениенций сосны обыкновенной в географических посадках Серебряноборского опытного лесничества // Лесоведение. 2017. 3. С. 176–182.
2. *Рысин Л.П., Полякова Г.А., Савельева Л.И. и др.* Леса Москвы. Опыт организации мониторинга. М.: Ин-т лесоведения РАН, 2001. 148 с.
3. *Стороженко В.Г.* Теория устойчивости в практике лесопатологических обследований рекреационных лесов (на примере древостоев Серебряноборского опытного лесничества ИЛАН РАН) // Лесохозяйственная информация. 2019. 4. С. 87–97.
4. *Шишкина А.А., Колганихина Г.Б.* Фитопатологическая оценка успешности географических культур сосны обыкновенной в Серебряноборском опытном лесничестве // Труды СПБНИИЛХ. 2016. 3. С. 22–38.

УДК 630*114.351

ДИНАМИКА НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ЕЛЬНИКАХ ЧЕРНИЧНО-СФАГНОВЫХ РЕЗЕРВАТА «ВЕПССКИЙ ЛЕС»

М.А. ШОРОХОВА[1], Е.В. КУШНЕВСКАЯ[1, 2], Е.В. ШОРОХОВА[1], Е.А. КАПИЦА[1]

[1] Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова (maria.shorohova99@gmail.com, shorohovaekaterina2016@gmail.com, kapitsa@list.ru)
[2] Санкт-Петербургский государственный университет (elly.kushn@gmail.com)

Аннотация. Данная работа является частью комплексных стационарных исследований в резервате «Вепсский лес» на постоянных пробных площадях (ППП). В задачи работы входил анализ динамики напочвенного покрова в ельниках чернично-сфагновых. Результаты показали постепенную смену видового состава на всех ППП со снижением обилия гигрофитных мхов и увеличением обилия кустарничков.

DYNAMICS OF GROUND COVER IN BLUEBERRY-SPHAGNUM SPRUCE FORESTS OF THE «VEPSSKY FOREST» RESERVE

M.A. SHOROHOVA[1], E.V. KUSHNEVSKAYA[1, 2], E.V. SHOROHOVA[1], E.A. KAPICA[1]

[1] S.M. Kirov Saint Petersburg State Forest Technical University (maria.shorohova99@gmail.com, shorohovaekaterina2016@gmail.com, kapitsa@list.ru)
[2] Saint-Petersburg State University (elly.kushn@gmail.com)

Abstract. This work is a part of complex long-term research in “Veppsky forest” reserve. We analysed the dynamics of ground on four permanent sample plots in the *Piceetum sphagno girgensohnii-myrtillosum* forests. The abundance of *Sphagnum* and bryophyte species decreased, whereas the abundance of dwarf-shrubs increased.

Долговременные стационарные исследования позволяют выявить механизмы устойчивости лесных экосистем в условиях изменения климата [1, 3]. В задачи нашей работы входит анализ динамики растительности нижних ярусов коренных среднетаежных ельников чернично-сфагновых. Растительность описывали на четырех постоянных пробных площадях (ППП), расположенных в разных элементах ландшафта в пределах массива «Вепсский лес» Ленинградской области. Растительность относится к ассоциации *P. sphagno girgensohnii-myrtillosum* (*Sphagno girgensohnii-Myrtillo-P.*), широко распространенной в средней и южной тайге [1, 2]. На 20–25 регулярно заложенных площадках 2 × 2 м оценивали процент проективного покрытия отдельных видов растений и лишайников, а также суммарные проективные покрытия по ярусам растительности в период с 1973 по 2019 г. Для сравнения проективных покрытий отдельных видов и групп видов использовали тест Краскела – Уоллиса.

В табл. 1 приведен список наиболее частых видов. Видовой состав и проективное покрытие напочвенного яруса всех пробных площадей в течение всего срока наблюдений остается в пределах варьирования для сообществ, относимых к ельникам чернично-сфагновым. Доминировали *Sphagnum girgensohnii* и *Vaccinium myrtillus,* хотя их соотношение отличалось.

Таблица 1. Проективные покрытия наиболее частых видов напочвенного покрова

Виды	Группа	ППП 91	ППП 98	ППП 9	ППП 198
Sphagnum girgensohnii	ГМ	**51.7** ↓	**43.5** ↓↑	**67.6**	**83.0** ↓
Sphagnum wulfianum	ГМ	1.4 ↓	+	+ ↑↓	**-**
Sphagnum divinum	ГМ	-	14.5 ↑↓	1.8 ↑↓	+
Sphagnum centrale	ГМ	+	2.8 ↑↓	-	1.5 ↑
Carex globularis	ГТ	**3.0** ↑↓	**3.4** ↑↓	**1.6**	**1.8** ↓
Equisetum sylvaticum	ГТ	+	-	+ ↓	1.05
Vaccinum myrtillus	К	**23.0** ↑	**30.9** ↑	**16.4** ↑	**6.3**
Vaccinum vitis-idaea	К	**6.9** ↑	**4.7** ↑↓	**6.0** ↑	**3.9**
Linnaea borealis	К	+	-	+	+
Pleurozium schreberi	ММ	**17.2**	**11.7** ↓	**8.5** ↓	**0.8**
Dicranum polysetum	ММ	4.2	1.2	0.9 ↓	+
Hylocomium splendens	ММ	2.8 ↑↓	0.7 ↑	0.9 ↓	+
Polytrichum commune	ММ	0.5	+	5.4	3.0 ↑
Dicranum scoparium	ММ	+ ↑↓	+ ↑↓	0.8 ↑↓	+ ↓
Ptilidium pulcherrimum	ММ	+	+ ↑↓	+ ↑	+ ↑
Tetraphis pellucida	ММ	+	+ ↑↓	+	+ ↑
Plagiochila asplenioides	ММ	+	+	+	+
Dicranum congestum	ММ	+ ↑↓	-	+ ↑↓	-
Polytrichum juniperinum	ММ	+	-	-	+ ↑
Ptilium crista-castrensis	ММ	+	-	-	-
Pohlia nutans	ММ	+	-	-	+ ↑

Виды	Группа	ППП 91	ППП 98	ППП 9	ППП 198
Sanionia uncinata	ММ	-	+	-	+
Rubus chamaemorus	МТ	-	1.2	+	1.5 ↑
Avenella flexuosa	МТ	+	-	-	-
Goodyera repens	МТ	+	-	+	-
Listera cordata	МТ	+ ↑	-	+	+

Примечание. Стрелочками (↓↑) отмечены виды, для которых выявлено статистически значимое изменение проективных покрытий. Направление стрелочек показывает тенденцию изменения проективных покрытий – (увеличение ↑, уменьшение ↓, увеличение вначале, но снижение впоследствии↑↓, или обратную динамику). Группы: ГМ – гигрофитные мхи, К – кустарнички, ММ – мезофитные мохообразные, ГТ – гигрофитные травы, МТ – мезофитные травы. Жирным выделены доминантные виды.

Для большинства видов с проективным покрытием более 1 % отмечены статистически значимые изменения в течение периода наблюдений. Значительная доля изменений носила флуктуационный характер – происходило разнонаправленное изменение обилия вследствие различного масштаба изменений условий и особенностей популяционной динамики конкретных видов. Выявлены также тренды. Увеличение проективного покрытия чаще наблюдалось у кустарничков и трав, а также у нескольких видов мезофитных мохообразных. Данная тенденция характерна для видов с низким обилием (*Tetraphis pellucida*, *Polytrichum juniperinum*, *Ptilidium pulcherimum*), а обильные виды чаще демонстрируют тенденцию к снижению проективного покрытия. Для гигрофитных мхов рода *Sphagnum* чаще был характерен тренд на снижение проективного покрытия.

Объединение видов в группы позволяет более точно отразить тенденции изменения растительности (табл. 2).

Таблица 2. Изменения суммарных проективных покрытий видов по группам (начало наблюдений : конец наблюдений). Статистически значимые изменения выделены жирным шрифтом

	ППП 91	ППП 98	ППП 9	ППП 198
Гигрофитные мхи	**58 : 42**	**67 : 51**	70:66	**91 : 80**
Кустарнички	**12 : 50**	**24 : 47**	**16:38**	7 :14
Мезофитные мохообразные	33 : 22	**25 : 9**	**23:14**	**1.5 : 5**
Гигрофитные травы	**2 : 1**	**4 : 3**	2.5:2	**3 : 2**
Мезофитные травы	0.5 : 0	0 : 0	**0.1:0,3**	0 : +
Лишайники	**0 : +**	**0.5 : +**	0:+-	0 : +

На всех ППП снижается проективное покрытие гигрофитных мхов и увеличивается проективное покрытие кустарничков, хотя в некоторых случаях эти тенденции выражены слабее и не подтверждаются статистическими тестами. Также на всех ППП наблюдается снижение обилия гигрофитных трав. Изменения в обилии мезофитных мохообразных носят разнородный характер. На ППП 91 изменения в обилии были статистически незначимы. На ППП 98 и ППП 9 обилие мезофитных мохообразных статистически значимо снижалось, в то время как на ППП 198 обилие незначительно увеличилось. В группах мезофитных трав и лишайников не было отмечено значительных изменений общих проективных покрытий.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что на всех ППП происходит постепенная смена видового состава растительности – снижается обилие гигрофитных мхов и увеличивается обилие кустарничков. Данные тенденции можно расценивать как признаки процесса глубоких сукцессионных преобразований сообщества – «разболачивания». Однако не наблюдается увеличения обилия мезофитных мохообразных, характерной черты этого процесса [2]. Для подтверждения гипотезы о «разболачивании» нужны дополнительные анализы с использованием данных по сплошным перечетам древостоя, так как, согласно литературным источникам, данный процесс всегда отражается на динамике приростов древостоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Массивы коренных еловых лесов: структура, динамика, устойчивость / В.Н. Федорчук, А.А. Шорохов, Е.В. Шорохова, М.Л. Кузнецова, С.В. Тетюхин. СПб.: СПбНИИЛХ, 2012. 136 с.
2. *Кучеров И.Б., Кутенков С.А.* Олиготрофные сфагновые и сфагново-зеленомошные ельники Европейской России и Урала // Ботан. журн. 2019. 104 (1). С. 12–40.
3. Резерват «Вепсский лес». Лесоводственные исследования / В.Н. Федорчук, М.Л. Кузнецова, А.А. Андреева, Д.В. Моисеев. СПб.: СПБНИИЛХ, 1998. 208 с.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

УДК [630*232.327.4+630*41+630*453](470.62)

НОВЫЕ ПРИОРИТЕТЫ ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (ARTHROPODA: INSECTA) В ПРИРОДНЫХ И РУКОТВОРНЫХ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА (КРАСНОДАРСКИЙ КРАЙ, РЕСПУБЛИКА АДЫГЕЯ)

В.И. ЩУРОВ

ГКУ КК «Управление ООПТ Краснодарского края», Краснодар (meotida2011@yandex.ru)

Аннотация. В качестве новых приоритетных целей лесопатологического мониторинга рассматриваются чужеродные высокоинвазивные дендро- и тамнофильные виды насекомых, представляющие угрозу лесам и рукотворным насаждениям Краснодарского края и Адыгеи: *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera); *Lamprodila festiva* (Linnaeus, 1758), *Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera); *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera); *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, 1951 (Hymenoptera). Эти вселенцы уже повлияли на исконное биоразнообразие лесов региона.

NEW PRIORITIES OF FOREST PATHOLOGY MONITORING (ARTHROPODA: INSECTA) IN NATURAL TREE AND SHRUB ECOSYSTEMS AND PLANTED FORESTS OF THE NORTHWESTERN CAUCASUS (KRASNODAR TERRITORY, REPUBLIC OF ADYGEA)

V.I. SHCHUROV

Department of Specially Protected Areas of the Krasnodar Territory, Krasnodar (meotida2011@yandex.ru)

Abstract. The following species *Corythucha arcuate* (Say, 1832) (Hemiptera), *Lamprodila festiva* (Linnaeus, 1758), *Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera), *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera) and *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, 1951 (Hymenoptera) are considered as high priority targets for the forest pathology monitoring. These alien highly invasive species associated with a threat to natural and planted forests of Krasnodar region and Republic of Adygeya because they already impacted the natural forest biodiversity of this region.

Краснодарский край отличается разнообразием аборигенных эдификаторов лесных сообществ при значительной или ведущей роли многих чужеродных видов деревьев и кустарников как в рукотворных (полезащитных) насаждениях, так и в эксплуатируемых природных лесах. Согласно методике ФБУ «Рослесозащита», с 2007 г. большинство лесничеств в крае отнесено к зоне сильной лесопатологической угрозы исходя из повторяемости вспышек массового размножения и суммарной площади очагов местных насекомых-фитофагов (*Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758), *Tortrix viridana* Linnaeus, 1758, *Operophtera brumata* Linnaeus, 1758 и др.), а также ряда лесных фитопатогенов. В 2010–2019 гг. в фауне Северо-Западного Кавказа были обнаружены, по разным оценкам, от 25 [5] до 60 чужеродных видов насекомых. Некоторые адвентики-фитофаги полностью обновили приоритетные задачи лесопатологического мониторинга, заметно повлияв на популяции местных вредителей леса и сами насаждения.

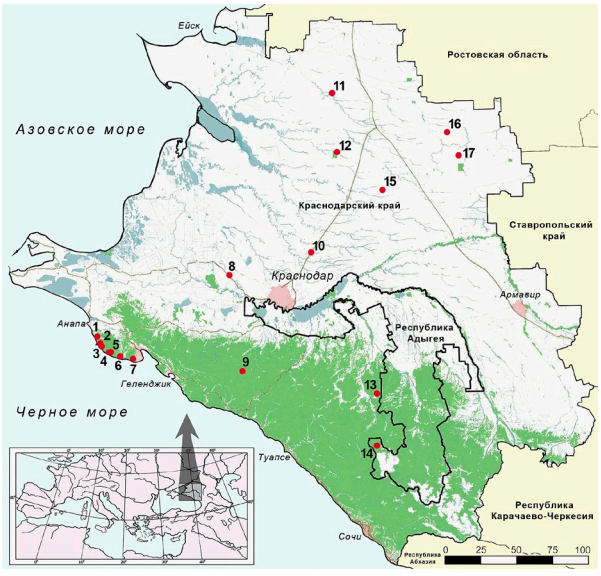


Рис. 1. Новые локальные популяции чужеродных насекомых-фитофагов на Северо-Западном Кавказе (2022–2024). Пояснения нумерации пунктов (1–17) см. в тексте

В числе таких вселенцев – до 15 карантинных видов, а также виды, не признанные таковыми, но фактически меняющие облик лесов региона, как, например, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae). Суммарная площадь действующих очагов этих фитофагов с учетом их синтопичности превосходит площадь всех лесов региона (более 2000 тыс. га). Они захватили все полезащитные, придорожные и декоративные древесные насаждения в границах края. Среди новых приоритетов службы защиты леса – 5 видов Insecta, представляющих реальную угрозу лесному, сельскому, парковому хозяйству и естественному биологическому разнообразию Северо-Западного Кавказа. Они продолжают расселяться, осваивая новые типы древесных биотопов (рис. 1).

Corythucha arcuata (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) с 2014 г. заселил все лиственные древостои с участием аборигенных видов дуба – *Quercus robur* L., 1753, *Q. petraea* (Matt.) Liebl., 1784, *Q. hartwissiana* Steven, 1857, *Q. pubescens* Willd, а также многих

интродуцентов. Площадь хронических очагов кружевницы дубовой с 2016 г. в Краснодарском крае ежегодно варьирует от 700 тыс. до 800 тыс. га. К ним следует добавить все полезащитные и декоративные насаждения с участием дуба, а также почти все леса Адыгеи [5]. За сезон этот вид дает 3 полные генерации, уже к середине второй провоцируя сильнейший хлороз листьев дуба (рис. 2). Имаго отличаются высокой, но преимущественно пассивной миграционной активностью [3]. Не приводя к гибели деревьев, кружевница меняет облик дубрав в период их вегетации. Вид, очевидно, влияет и на численность региональных популяций ведущих аборигенных филлофагов дуба – прежних приоритетных объектов лесного мониторинга (*L. dispar*, *T. viridana* и иных Lepidoptera), вспышки которых перестали регистрироваться с ранее установленной цикличностью [1].

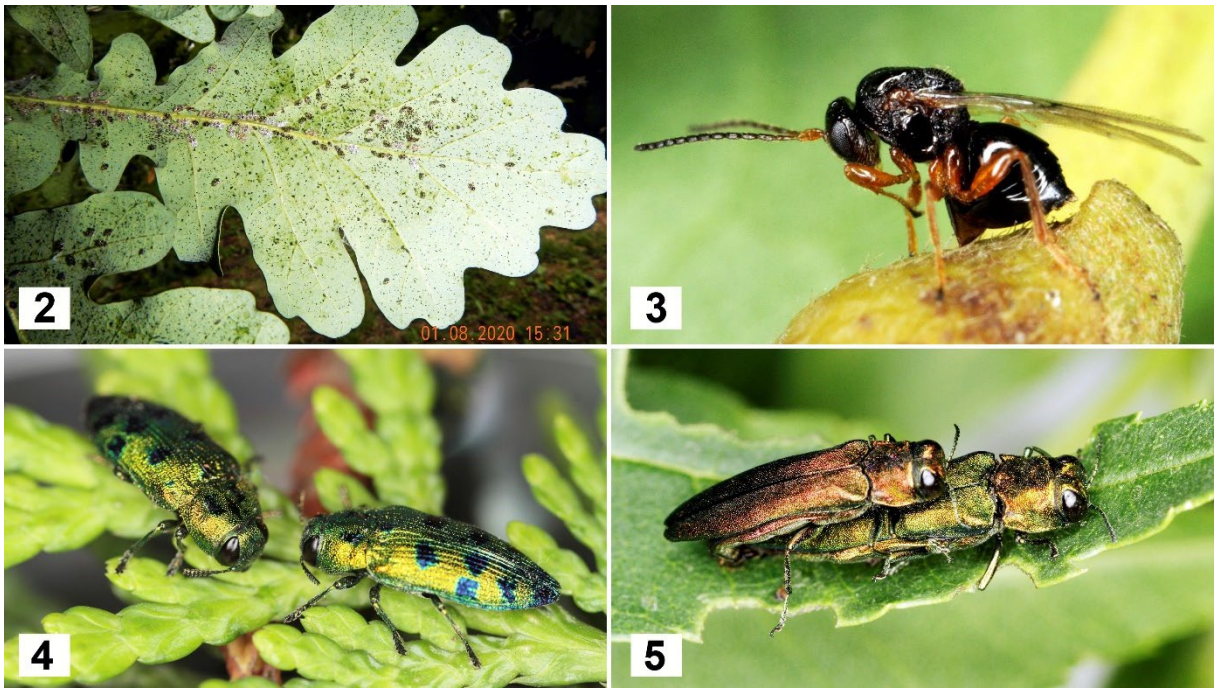


Рис. 2–5. 2. Яйцекладки, нимфы, имаго, экзувии и экскременты *C. arcuata* на исподе листа дуба черешчатого; Краснодар. 3. Процесс яйцекладки *D. kuriphilus* в уже инокулированную почку каштана посевного; Апшеронск, долина реки Пшеха. 4. Дополнительное питание жуков *L. festiva* на побеге туи западной; Краснодар. 5. Копуляция *A. planipennis* на листе ясеня обыкновенного и погрызы, оставленные жуками; Каневская, урочище Челбасский лес (фото В.И. Щурова)

Dryocosmus kuriphilus Yasumatsu, 1951 (Hymenoptera: Cynipidae) в 2014–2020 гг. заселил древостои *Castanea sativa* Mill., 1768 на площади до 80 тыс. га [5]. Уже к 2019 г. восточная каштановая орехотворка из Дагомыса (Сочи) достигла границ Адыгеи и на севере, у Зозулина (пункт 13 на рис. 1), и на юге – в долине р. Серебрячка (14). Она изменила характер и качество прироста побегов каштана (рис. 3), привела к сокращению его плодоношения и заготовки его мёда. Самой северной и западной точкой в региональном ареале с 2023 г. считается небольшой выдел лесных культур каштана на хр. Крепость в долине р. Безепс (Северский р-н), изолированный от естественного ареала каштана на Западном Кавказе (9).

Lamprodila festiva (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Buprestidae) с 2013 г. заметно вредил декоративным насаждениям *Cupressus sempervirens* L. (1753), *Chamaecyparis lawsoniana* (A.Murray bis) Parl., *Thuja occidentalis* L. (1753) и *Platycladus orientalis* (L.) Franco, 1949, расселившись почти по всему краю (рис. 4) [2]. В марте – мае 2024 г. нами впервые зафиксированы очаги златки радужной кипарисовой на п-ове Абрау в реликтовых, преимущественно охраняемых древостоях – *Juniperus excelsa* M. Bieb., 1798, *J. foetidissima* Willd. и *J. oxycedrus* L. от Широкой Балки (7) (Новороссийск) до долины р. Шингарь (1) (Анапа). Поселения златки в арчевниках обнаружены на г. Солдатская (2) (Сукко), мысах Б. Утриш (3) и М. Утриш (4), в Лобановой щели (5). В устьевой части долины Дюрсо (6) и в Широкой Балке наблюдалось массовое усыхание деревьев 2 видов можжевельника. Эта инвазия угрожает целостности субсредиземноморских семиаридных лесов на многих ООПТ, включая региональные заказники «Абраусский» и «Большой Утриш», природный парк «Маркотх» и Государственный природный заповедник «Утриш».

Agrilus planipennis Fairmaire, 1888 (Coleoptera: Buprestidae). В 2019–2022 гг. ясеневая изумрудная узкотелая златка (рис. 5) сформировала огромный очаг в степной зоне края, заселив тысячи погонных километров многорядных полезащитных и придорожных лесополос, а также парков, скверов, аллей и иных насаждений с участием *Fraxinus excelsior* L., 1753 и/или *F. pennsylvanica* Marshall. Расселяясь вдоль основных транспортных коридоров с мая по август, к 2024 г. златка уничтожила кроны миллионов деревьев ясеня старших групп возраста [4]. В мае 2024 г. вид был найден нами в придорожной лесополосе

у Новомышастовской (8) (Красноармейский р-н), вдоль шоссе М4 у Пластуновской (10) (Кореновский р-н), у железной дороги южнее Газыря (14) (Выселковский р-н), у Калниболотской (15) и Кубанского (16) (Новопокровский р-н). К маю 2024 г. этот вид расселился на 60–110 км на юг/юго-запад и на 15–25 км на восток от пунктов, обнаруженных к октябрю 2022 г. [4]. Скорость этой инвазии гораздо выше вдоль шоссе с интенсивным «зерновым» трафиком, чем вдоль полевых дорог и лесополос среди агроценозов. Проникновение *A. planipennis* в обширные пойменные ясеневники низовьев р. Кубань (Абинский р-н), очевидно, уже произошло. В приморских лесах с *F. angustifolia* Vahl на п-ове Абрау (Анапа, Новороссийск) и хр. Маркотх (Новороссийск, Геленджик) этот вид станет еще одним фактором, заметно меняющим облик субсредиземноморских экосистем, включая охраняемые, на многих приморских ООПТ.

Масштаб известных очагов только 5 упомянутых чужеродных видов насекомых в регионе многократно превосходит пиковую площадь последней вспышки непарника, наблюдавшейся в 2007–2011 гг. [1]. В отличие от этого местного вредителя как минимум 3 вида из 4 перечисленных адвентивных (*C. perspectalis*, *L. festiva*, *A. planipennis*) уже вызвали гибель природных лесов и рукотворных древостоев на значительной площади. К последствиям инвазий таких насекомых наше лесное хозяйство оказалось не готово ни законодательно, ни организационно, ни технически. Ни одна из этих популяций не регулируется и даже не отслеживается в полном объеме [2, 3, 4, 5]. Последствия такого бездействия должны инициировать пересмотр подходов к лесному мониторингу и контролю численности подобных видов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гниненко Ю.И.*, *Щуров В.И.*, *Серый Г.А.* Новая вспышка численности непарного шелкопряда *Lymantria dispar* (Linnaeus, 1758) в лесах западной части Северного Кавказа // Изв. Санкт-Петерб. лесотех. акад. Вып. 192. СПб.: СПбГЛТА, 2010. С. 59–64.
2. *Щуров В.И.* Современный ареал златки *Lamprodila festiva* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Buprestidae) в Краснодарском крае // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Матер. VIII Всеросс. науч.-тех. конф., 24–26 мая 2023 г. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2023. С. 883–886.
3. *Щуров В.И.*, *Замотайлов А.С.* Параметры сезонного цикла *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) на равнинах и в предгорьях Северо-Западного Кавказа // Изв. С.-Петерб. лесотех. акад. Вып. 236. СПб.: СПбГЛТА, 2021. С. 101–128.
4. *Щуров В.И.*, *Замотайлов А.С.* Первые находки ясеневой изумрудной узкотелой златки *Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera: Buprestidae) в Краснодарском крае // Матер. XXIV Междунар. конф. «Биологическое разнообразие Кавказа и Юга России», 17–20 ноября 2022 г., Магас. Махачкала: Изд-во «Алеф», 2022. С. 558–565.
5. *Щуров В.И.*, *Замотайлов А.С.*, *Скворцов М.М.*, *Бондаренко А.С.*, *Щурова А.В.*, *Глущенко Л.С.* Ареалы чужеродных вредных организмов (Arthropoda) в древесно-кустарниковых сообществах Северо-Западного Кавказа по итогам государственного лесопатологического мониторинга в 2010–2019 гг. // Промышленная ботаника. Сб. науч. тр. Донецк: ГУ «Донецкий ботанический сад», 2019. Вып. 19. № 3. С. 114–118.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор признателен А.Ю. Солодовникову (Копенгаген) и А.С. Замотайлову (Краснодар) за помощь в оформлении этой работы, а также совместные экспедиции по Западному Кавказу в 2018–2022 гг.

УДК [502.7:574+595.74](470.62)

ЗНАЧЕНИЕ РУКОТВОРНЫХ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ И АНТРОПОГЕННЫХ РЕФУГИУМОВ ИСКОННЫХ БИОМОВ В ФОРМИРОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ АРЕАЛОВ РЕДКИХ И МАЛОИЗВЕСТНЫХ ВИДОВ НАСЕКОМЫХ (INSECTA: NEUROPTERA) В АГРОЛАНДШАФТАХ

В.И. ЩУРОВ

ГКУ КК «Управление ООПТ Краснодарского края», Краснодар (meotida2011@yandex.ru)

Аннотация. Последние данные о географических ареалах двух редких и до недавнего времени малоизвестных видах Neuroptera (Myrmeleontidae, Chrysopidae) демонстрируют значение рукотворных древесно-кустарниковых насаждений в степной зоне Краснодарского края для формирования новых и сохранения редких исконных местообитаний. Сеть полезащитных и придорожных лесополос в агроценозах существенно увеличила экологический ареал «чисто лесного» *Dendroleon pantherinus* (Fabricius, 1787). Древесные культуры на останцах целинной степи (на землях лесного фонда) косвенно способствовали сохранению редких и локальных травянистых стаций малоизвестного вида златоглазок (*Chrysopa viridinervis* Jakowleff, 1869), недавно обнаруженного на Западном Кавказе.

THE IMPORTANCE OF FOREST PLANTATIONS AND ANTHROPOGENIC REFUGIUMS OF NATIVE BIOMES IN THE FORMATION OF MODERN HABITATS OF RARE OR LITTLE-KNOWN INSECT SPECIES (INSECTA: NEUROPTERA) IN AGRICULTURAL LANDSCAPES

V.I. SHCHUROV

Department of Specially Protected Areas of the Krasnodar Territory, Krasnodar (meotida2011@yandex.ru)

Abstract. The current data on the geographical ranges of two rare and, until recently, little-known species of Neuroptera (Myrmeleontidae, Chrysopidae) demonstrate the importance of tree plantations in the steppe zone of the Krasnodar Territory for the formation of new and protection of rare original habitats. A continuous network of protective and roadside forest belts in agricultural landscapes has expanded the area of distribution of the “purely forest” species *Dendroleon pantherinus* (Fabricius, 1787). Tree plantations in on the last “islands” of the steppe (within the boundaries of state forest lands) indirectly protected the rare and very local habitats for the little-known species *Chrysopa viridinervis* Jakowleff, 1869, recently discovered in the Western Caucasus.

Природные леса в границах Краснодарского края сохранились южнее долин Лабы и Кубани (рис. 1). В историческое время древостои с *Carpinus betulus* L., 1753 в низовьях Кубани произрастали и на правом берегу, где сейчас известны их останцы-урочища: Красный лес, Черный лес (пункт 7 на рис. 1). За последнее столетие степи Кубани превращены в агроценозы [5], покрытые «сетью» из тысяч километров многорядных полезащитных лесополос, созданных из деревьев и кустарников местных и преимущественно интродуцированных видов. Эти искусственные древостои за 60–80 лет соединили горные леса Закубанья, рукотворные древесные массивы в степной зоне (Челбасский лес (15), Крыловский лес, Новопокровский лес, лес Суходол и др.) и парки (9) в поселениях с коренными пойменными лесами в долинах Кубани (7, 8, 10, 11, 22), Лабы (20) и Урупа (23). Протяженность и площадь этих насаждений неизвестны, их лесопатологическое и санитарное состояние чаще всего неудовлетворительное, но они создали условия для заселения прежних степей типично лесными (дендрофильными) видами насекомых.

Dendroleon pantherinus (Fabricius, 1787) (Myrmeleontidae) до 2022 г. в этой части Кавказа был известен лишь из 7 пунктов в горных – Аше (12), Лоо (16), Красная Поляна (21) [4], приморских – Большой Утриш (1), Маркотх (3), Бетта (4) или пойменных – Тенгинская (20) лесах [7]. Считался крайне редким, малоизвестным [4], нуждающимся в охране [1, 2] стенотопным дендробионтным видом. В 2023–2024 гг. новые популяции и новые типы местообитаний этого вида были обнаружены в горных лесах – долина Сукко (1) (Анапа), Сосновая щель (5) (Геленджик), Широкая Балка (14) (Апшеронский р-н), Большое Псеушхо (13) (Туапсинский р-н), в останцах пойменных лесов низовий Кубани – Краснодар (8, 10, 11), Черный лес (7) (Красноармейский р-н), Прогресс (22) (Новокубанский р-н) или Урупа – Советская (23) (Новокубанский р-н), а также в относительно молодых рукотворных древостоях степной зоны края [6]. Находки локальных популяций в полностью рукотворных древостоях лесопарка «Юбилейный» (9) (Тимашевский р-н) и Челбасского леса (Каневской р-н), изолированных от поймы Кубани десятками километров агроценозов, были труднообъяснимы до обнаружения самой северной – в долине р. Ея у Крыловской (19) (Крыловский р-н). Здесь личинки *D. pantherinus* найдены в характерной микростации, сформировавшейся в лесополосе из чужеродных *Fraxinus pennsylvanica* Marshall и *Ulmus pumila* L.

До закладки сети лесополос и придорожных насаждений в степной зоне Краснодарского края в поймах рек не было исходных лесов, их останцы нигде не прослеживаются ни флористически, ни исторически. Этому стенобионтному виду муравьиных львов с субтильными, слабо летающими имаго-афагами, имеющими короткий период жизни и ночную активность (рис. 2), потребовалось 50–60 лет для расселения из поймы Кубани на 100–150 км в долины рек Кирпили, Челбас и Ея, сквозь агроценозы. Это тем более удивительно, что первые 25–40 лет с момента закладки лесонасаждения в нем полностью

отсутствуют известные нам типы местообитаний личинок этого вида (рис. 3). Возможно, его расселение шло и с севера по аналогичным рукотворным коридорам, но в низовьях Дона вид пока не обнаружен [4]. Очевидно, *D. pantherinus* может обитать во множестве других локаций степной зоны этого региона.

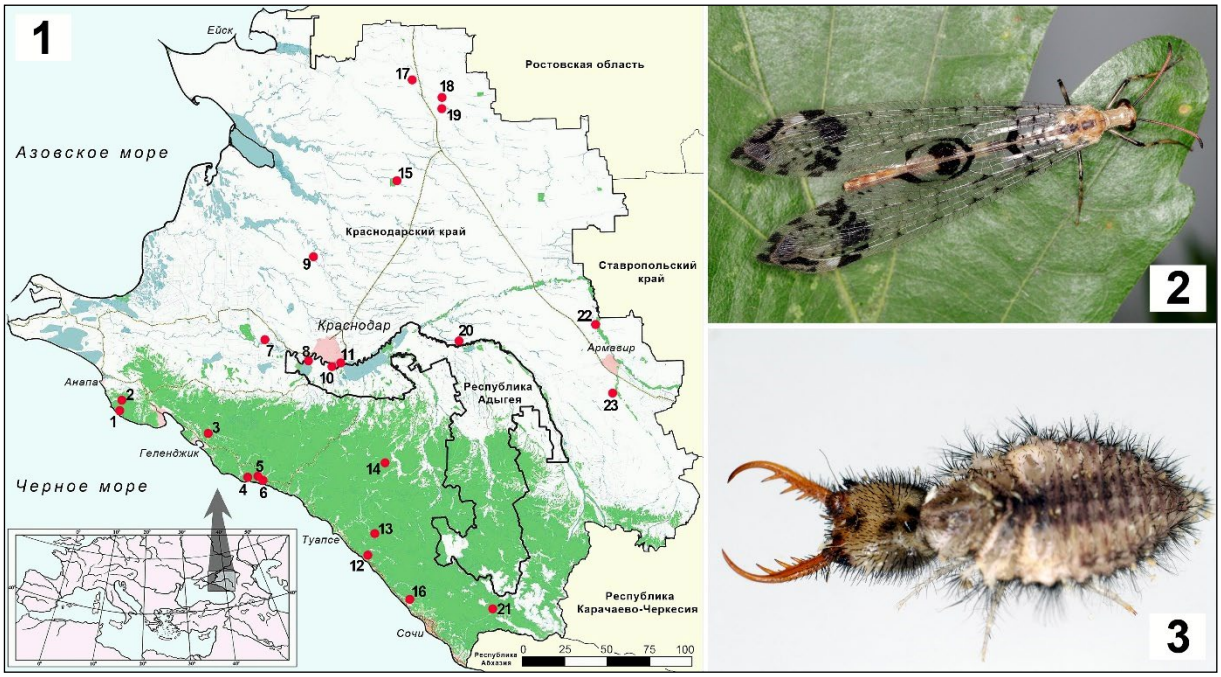


Рис. 1–3. 1. Ареалы двух редких видов Neuroptera: нумерация пунктов в круглых скобках (1–23) поясняется в тексте. 2. Имаго *D. pantherinus*, ex larva. 3. Голодавшая личинка *D. pantherinus* (фото В.И. Щурова)

Chrysopa viridinervis Jakowleff, 1869 (Chrysopidae), судя по наблюдениям в Поволжье [3] и на Кубани [6], – типично степной, ксерофильный и локально распространенный вид (рис. 4–5). В Краснодарском крае известен из 2 пунктов в среднем течении р. Ея (Кущевский р-н) – урочищ Бугелы (17) и Красная горка (18). Специальные поиски, проведенные до и после находки первой локальной популяции на Кубани [7] в других останцах степи, позволили обнаружить лишь две популяции *Ch. viridinervis* в десятках проверенных местообитаний [5]. Имаго слабо летают, держатся в травостое и, очевидно, не склонны к расселению. Даже в крупных биотопах они были локальны на протяжении всех 4 лет наблюдений.



Рис. 4–5. 4. Имаго *Ch. viridinervis* в травостое степного урочища Красная горка в долине реки Ея (18); 25.04.2024. 5. Зрелая личинка *Ch. viridinervis* III возраста, *ex ovo* в садке (фото В.И. Щурова)

Во всех известных нам случаях *Ch. viridinervis* в Краснодарском крае обитает только в целинных степях с преобладанием низкорослых злаков и куртин *Caragana frutex* (L.) K. Koch, 1869. Выживание степных кустарников в условиях тотальной распашки плакоров уже говорит о продолжительной паузе в трансформации таких участков или целинности их растительности. Все они приурочены к высоким и довольно крутым берегам надпойменных террас, окруженных пашнями на плакорах и тростниковыми плавнями в пойме, практически лишенными степной энтомофауны [5].

В советский период эти урочища использовались для выпаса овец, регулярно выжигались, выкашивались, некоторые были окончательно преобразованы фермерами в 2010–2020 гг. По стечению обстоятельств самые крупные из таких останцев степных биотопов оказались на землях лесного фонда,

что спасло их от распашки и застройки после реформы лесного хозяйства Краснодарского края. Важнейшую роль в этом сыграли попытки лесников облесить подобные степи. Обычно для создания лесных культур здесь использовались *Robinia pseudoacacia* L. и *Ulmus pumila* L. Лесохозяйственный уход ограждал не до конца облесенные степные урочища от распашки, перевыпаса и тотального выжигания. По прошествии 20–30 лет уцелевшие, не всегда благополучные насаждения робинии и вяза были забыты. Некоторые стали разрастаться самостоятельно. До последнего времени именно они сберегали степи на землях лесного фонда от растворения в окружающих их агроландшафтах. Подобным образом сейчас выглядит и растительность урочищ, в которых был обнаружен *Ch. viridinervis*. Они достаточно обширные (десятки гектаров), включают участки прежних лесных культур и популяции аборигенных степных кустарников.

В 2014–2022 гг. некоторые фрагменты степи в долинах рек Ея и Куго-Ея получили статус региональных особо охраняемых природных территорий (памятников природы), как урочище Бугелы (17). Возможно, это позволит сохранить местообитания многих типично степных видов живых организмов, охраняемых или естественно редких, как *Ch. viridinervis*. Однако попытки повторного облесения подобных биотопов возобновились, что угрожает и новым ООПТ, и еще не имеющим этого статуса антропогенным рефугиумам степи. Найти баланс между стремлением лесников к облесению всех нелесопокрытых участков на землях лесного фонда, желанием фермеров превратить их в пастбища и сенокосы и соблюдением положений природоохранного законодательства, направленных на сохранение исконного биоразнообразия, не всегда удается. В худших случаях интродуцированные древесные растения замещают исконные биотопы в останцах степи, приводя к вымиранию последних локальных популяций редких видов. Самым агрессивным чужеродным древесным инвайдером на Кубани остается *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (1916), подлежащий повсеместному уничтожению, в особенности на ООПТ. В пойменных лесах низовий Кубани и в полезащитных насаждениях степной зоны края бесконтрольно размножается *Celtis occidentalis* L., вытесняющий аборигенных представителей дендрофлоры и многих интродуцентов. Популяции большинства деревьев-интродуцентов представляют собой лучшие биотопы и миграционные коридоры для чужеродных насекомых-фитофагов, способствующие расселению таковых.

Значение рукотворных древостоев в формировании современного биоразнообразия степной зоны Северо-Западного Кавказа неоднозначно и противоречиво. Проблемы с охраной исконных экосистем зональных биомов возрастают пропорционально стремлению культивировать новые виды растений и кустарников, чему благоприятствуют глобальные климатические изменения последних десятилетий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красная книга Краснодарского края. Животные. III издание / отв. ред. А.С. Замотайлов, Ю.В. Лохман, Б.И. Вольфов. Краснодар: Администрация Краснодарского края, 2017. 720 с.
2. Красная книга Республики Адыгея: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения объекты животного и растительного мира. Ч. 2. Животные. Изд. 3-е / отв. ред. А.С. Замотайлов; науч. ред. А.С. Замотайлов, В.И. Щуров, Р.А. Мнацеканов, М.И. Шаповалов, В.В. Стахеев. Воронеж: ООО «Славянская», 2023. 404 с.
3. *Макаркин В.Н.*, *Солодовников А.Ю.*, *Щуров В.И.* Новые данные о сетчатокрылообразных (Neuropterida) юга европейской части России // Кавказский энтомол. бюллетень. 2021. Т. 17. Вып. 1. 2021. С. 45–49.
4. Муравьиные львы (Neuroptera: Myrmeleontidae) России / В.А. Кривохатский. СПб.–М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2011. 334 с.
5. *Щуров В.И.* Антропогенные рефугиумы степной биоты, важные для сохранения естественного биоразнообразия Краснодарского края // Биоразнообразие. Биоконсервация. Биомониторинг: Сб. матер. II Междунар. науч.-практ. конф. 14–16 окт. 2015 г., Майкоп. Майкоп: Изд-во АГУ, 2015. С. 158–163.
6. *Щуров В.И.* Находки популяций редких и охраняемых видов животных (Arthropoda: Insecta) при мониторинге и проектировании ООПТ Краснодарского края // Научные основы сохранения полноты биоразнообразия в заповедниках и национальных парках. Перспективные для создания ООПТ. Матер. науч.-практ. конф. с межд. уч., 25–27 окт. 2023 г., Сочи, Тр. Сочинского национального парка. Вып. 15. Ростов-на-Дону, 2023. С. 388–401.
7. *Щуров В.И.*, *Макаркин В.Н.* Сетчатокрылые (Neuroptera), верблюдки (Raphidioptera) и скорпионницы (Mecoptera) Северного Кавказа и Западного Закавказья // Кавказский энтомол. бюллетень. 2022. Т. 18. Вып. 1. С. 103–129.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор признателен В.Н. Макаркину (Владивосток) за продолжительное сотрудничество в изучении фауны Neuroptera Западного Кавказа, а также Т.Н. Щуровой за участие в полевых исследованиях и лабораторных наблюдениях.

УДК 630.57, 543.42, 528.931.3

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ ЛАНДШАФТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ

Н.Д. ЯКИМОВ[1, 3], Е.И. ПОНОМАРЁВ[2, 3], Т.В. ПОНОМАРЁВА[2, 3]

[1] Федеральный исследовательский центр КНЦ СО РАН, Красноярск (nyakimov96@mail.ru)
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск (evg@ksc.krasn.ru)
[3] Сибирский федеральный университет, Красноярск (bashkova_t@mail.ru)

Аннотация. Исследована вариативность спектральных индексов, рассчитанных по данным Landsat, для участков с признаками природных (пожары) и техногенных трансформаций (разработка месторождения, инфраструктурные объекты) растительного и напочвенного покровов на примере территории Олимпиадинского горно-обогатительного комбината (Северо-Енисейский район, Красноярский край). Степень трансформации растительного и напочвенного покровов под влиянием природных и техногенных факторов описана в терминах аномалий спектральных характеристик ($NDVI_i$ и LST_i). Усреднения приведены в ячейках регулярной сети на территорию исследования. Показано, что фиксируемые аномалии значений $NDVI_i$ и LST_i и степень природной/техногенной трансформации растительного и напочвенного покрова связаны линейно с достоверностью не ниже 0.31–0.81 для аномалий Δ_{LST} и на уровне 0.28–0.85 для аномалий вегетационного индекса Δ_{NDVI}. Установлено, что степень генерализации исходных данных, зависящая от линейного размера ячеек используемой регулярной сети, не имеет критического значения для результата анализа.

IDENTIFICATION OF NATURAL AND TECHNOGENIC TRANSFORMATIONS OF LANDSAPES USING SPECTRAL INDICES

N.D. YAKIMOV[1, 3], E.I. PONOMAREV[2, 3], T.V. PONOMAREVA[2, 3]

[1] Federal Research Center KSC SB RAS, Krasnoyarsk (nyakimov96@mail.ru)
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, (evg@ksc.krasn.ru)
[3] Siberian Federal University, Krasnoyarsk (bashkova_t@mail.ru)

Основным фактором масштабного воздействия на экосистемы Сибири выступают лесные пожары [3]. Вследствие климатических изменений последних лет отмечается тенденция к увеличению количества и площадей пожарных явлений [1, 3, 4]. Техногенная трансформация распространена на меньших площадях, однако восстановление растительного и напочвенного покрова после техногенных воздействий может длиться значительно более продолжительный срок [6]. В условиях интенсификации промышленного освоения региона Сибири на окрестных территориях освоения (включая карьеры и инфраструктурные объекты) при рассмотрении совокупного воздействия техногенных и естественных факторов значимость и влияние этих факторов будет только увеличиваться.

Цель данной работы – исследовать зависимость между соотношением площадей различных факторов трансформации растительного и напочвенного покрова и уровнем аномалий спектральных признаков в терминах отклонений вегетационного индекса (Δ_{NDVI}) и температуры подстилающей поверхности (Δ_{LST}) от фоновых значений.

В качестве района исследования были выбраны окрестности территории Олимпиадинского горно-обогатительного комбината (ГОК) с наличием признаков природных и техногенных трансформаций, расположенные в Северо-Енисейском районе, ландшафтной провинции Енисейского кряжа Красноярского края (59.8°–60.1° с. ш., 92.6°–93.3° в. д.). Площадь рассматриваемого участка – 1564 км^2. Интенсивное промышленное освоение территории началось с 1983 г. [2]. В границах территории исследования присутствуют участки, пройденные природным пожаром, датированным 2012 г.

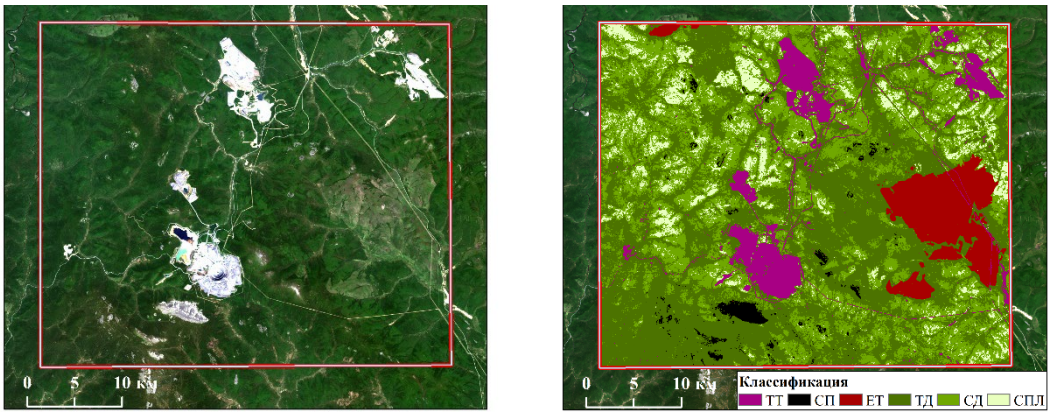
Работа выполнена с использованием спутниковых снимков Landsat-8/OLI/TIRS и Landsat-7/ETM+ среднего пространственного разрешения (15–100 м) из каталога United States Geological Survey (USGS, https://earthexplorer.usgs.gov) за вторую декаду июня 2000 и 2023 г. Предварительное экспертное дешифрирование участков выполнялось по данным наземных обследований в 16 точках и спутниковым данным высокого разрешения WolrdView-4 (https://services.arcgisonline.com). Эти данные использовались в качестве обучающей выборки для классификации снимков методом максимального правдоподобия [5].

Для анализа теплового состояния подстилающей поверхности использовался индекс Land Surface Temperature (LST), вычисляемый на основе данных теплового диапазона: λ = 10.6–11.2 мкм для Landsat-8/TIRS и λ = 10.4–12.5 мкм для Landsat-7/ETM+ и метаданных снимка.

Параллельно был выполнен попиксельный расчет значений вегетационного индекса NDVI с использованием процедуры калибровки данных в соответствующих каналах Landsat.

В результате классификации снимка 2000 г. были выделены 3 класса трансформации и рассчитана их площадь – техногенная трансформация (ТТ), 22.3 км^2; скальные породы (СП), 18.7 км^2; естественная трансформация (ЕТ), 3.6 км^2. А также 3 класса, отнесенных к фоновым и разделенных по преобладанию древостоев, – темнохвойные древостои (ТД), 748.1 км^2; светлохвойные древостои (СД), 587.1 км^2; смешанные постпирогенные леса (СПЛ), 180.6 км^2. К 2023 г. площадь участков класса ТТ выросла на 400

%, до 103 км^2, ЕТ – на 3000 %, до 99 км^2. Точность пользователя в зависимости от класса составила 73–98 %, коэффициент каппы Коэна составил 0.74. Финальная классификация продемонстрирована на рис. 1б.



а) б)

Рис. 1. Результат обработки спутникового снимка Landsat-8 OLI, 2023 г. в виде композитного изображения на территорию (а) и классификации исследуемой территории (б), обозначения классов приведены в тексте

В результате дальнейшей обработки спутниковых снимков получены множества дискретных (для каждой *i*-й ячейки сети) значений спектральных характеристик $NDVI_i$ и LST_i на территорию исследования в зависимости от доли ТТ и ЕТ в границах каждой рассматриваемой ячейки.

При отображении множеств дискретных значений в формате корреляционного поля была зафиксирована линейная связь между показателями ($\Delta_{NDVI}/\Delta_{LST}$) и уровнем природной/техногенной трансформации растительного и напочвенного покрова в границах каждой ячейки регулярной сетки и в исследуемом ландшафте в целом. Достоверность линейной связи – не ниже $R^2 = 0.31–0.81$ для показателя Δ_{LST} и на уровне $R^2 = 0.28–0.85$ для показателя Δ_{NDVI}. Для показателя Δ_{NDVI} с ростом степени трансформации подстилающей поверхности характерно линейное снижение значений по отношению к фону, для Δ_{LST} – прямая пропорциональность роста.

Результаты сравнения для трех вариантов сетки с ячейками (8.7 × 9.1 км, 4.3 × 4.5 км, 2.2 × 2.3 км) показали, что степень генерализации данных не оказывает критического влияния на общий результат независимо от размера ячеек сети. Хотя достоверность линейной связи и варьирует, линейный вид функции и уровень достоверности результатов сохраняются. Это позволяет предполагать универсальность такого подхода и его применимость как для контроля степени трансформации по известным значениям аномалий спектральных признаков, так и для прогноза изменения вегетационных и тепловых характеристик участков при воздействии различных внешних факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барталев С.А., Стыценко Ф.В.* Спутниковая оценка гибели древостоев от пожаров по данным о сезонном распределении пройденной огнем площади // Лесоведение. 2021. 2. С. 115–122.
2. *Калабин Г.В.* Спутниковый мониторинг природной среды при открытой разработке Олимпиадинского золоторудного месторождения // ФТПРПИ. 2013. 1. С. 177–184.
3. *Лупян Е.А., Лозин Д.В., Балашов И.В., Барталев С.А. Стыценко Ф.В.* Исследование зависимости степени повреждений лесов пожарами от интенсивности горения по данным спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. 3. С. 217–232.
4. *Цветков П.А., Буряк Л.В.* Исследование природы пожаров в лесах Сибири // Сиб. лесной журн. 2014. С. 25–42.
5. *Hagner O., Reese H.* A method for calibrated maximum likelihood classification of forest types // Remote Sensing of Environment. 2007. 110 (4): 438–444.
6. P*onomareva T.V., Litvintsev K.Y., Finnikov K.A. et al.* Soil temperature in disturbed ecosystems of Central Siberia: Remote sensing data and numerical simulation // Forests. 2021. 12 (8): 994.

БЛАГОДАРНОСТИ. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-14-20007, https://rscf.ru/project/23-14-20007, Красноярского краевого фонда науки.

УДК 630*561.24

CLIMATIC RESPONSE OF CONIFEROUS IN NORTHERN RUSSIA: ANALYSIS USING THE DELTA BLUE INTENSITY METHOD

V.V. AGAPOVA[1], A.V. KIRDYANOV[1, 2], A.I. KOLMOGOROV[1, 3], N.N. KOSHURNIKOVA[1], V.V. KUKARSKIH[1, 4], N.M. DEVI[4], A. ARZAC[1]

[1] Siberian Federal University, Krasnoyarsk
[2] V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk
[3] M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk
[4] Institute of plant and animal ecology UB RAS, Yekaterinburg

Abstract. This study aims to explore the applicability of Delta Blue Intensity as a temperature proxy in Northern Russia. Our results indicate significant correlations between DBI and summer temperatures, highlighting its potential for temperature reconstructions in these rapidly warming regions.

КЛИМАТИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ХВОЙНЫХ НА СЕВЕРЕ РОССИИ: АНАЛИЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА DELTA BLUE INTENSITY

В.В. АГАПОВА[1], А.В. КИРДЯНОВ[1, 2], А.И. КОЛМОГОРОВ[1, 3], Н.Н. КОШУРНИКОВА[1], В.В. КУКАРСКИХ[1,4], Н.М. ДЭВИ[4], А. АРСАК[1]

[1] Сибирский федеральный университет, Красноярск
[2] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск
[3] Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск
[4] Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Исследование направлено на изучение возможности применения параметра данных по оптической плотности (DBI) в качестве показателя температурного сигнала для северных регионов России. Наши результаты демонстрируют значительные корреляции между параметром DBI и летними температурами, что подчеркивает потенциал DBI для температурных реконструкций в регионах с высокими темпами потепления.

Understanding climate change in northern regions is crucial, as these areas are warming faster than global average and facing significant ecological impacts. The application of different methods to tree growth analysis can enhance the precision of our knowledge of current climate change dynamics. Blue Intensity (BI) is a relatively inexpensive and simple method, surrogated of the maximum wood density, successfully tested on several conifer species across Europe, Asia, North America, and Australasia. However, BI results for Northern Russian territories have not yet been applied. This study addresses this gap by exploring the applicability of this method as proxy for temperature in Northern Russia.

One of the main challenges with BI measurements is the potential bias introduced by color changes unrelated to the wood's interannual properties (e. g., heartwood/sapwood transitions, resin, or fungal staining). To decrease these issues, here we used the Delta Blue Intensity, which subtracts earlywood reflectance from latewood reflectance [1].

For this study, we selected sites in Northern Russia, the area experiencing above-average warming rates, thus, with potential ecological consequences. Wood samples (cores) of larch were collected from five sites above the 60th northern latitude: *Larix sibirica* Leded from Polar Urals (PU; 66°54′N, 65°45′E; 125 m a.s.l.) and Igarka (IG; 68°04′N, 86°44′E; 77 m a.s.l.); *Larix cajanderi* Mayr from Deputatsky (DE; 69°21′N, 139°22′E; 414 m a.s.l.), Chokurdah (CH; 70°30′N, 147°10′E; 71 m a.s.l..), and Suntar-Khayata (SK; 63°12′N, 139°43′E; 140 m a.s.l.).

Climate response analysis was based on data from the nearest meteorological stations to each site: Salekhard, Igarka, Deputatsky, Chokurdah, and Vostochnaya, respectively. These regions are characterized by dry climate, with total annual precipitation not exceeding 530 mm. From 1961–2020, the average temperature during the growing season (June-July) increased by 0.23 °C per decade in SU and CH, by 0.3 °C in DE, and by 0.45 °C in PU and IG.

Resin was extracted in a Soxhlet apparatus with 96 % ethanol for 72 hours, subsequently were polished up to 1200 grit sandpaper and scanned at 3200 dpi using an Epson Perfection V800 scanner. The scanner was calibration using the IT8 Calibration Target, and to avoid external light interference, the scanner was enclosed in a dark box [2]. Ring width (RW) and DBI measurements were performed using CooRecorder version 9.3. Reflectance data were inverted to ensure a positive correlation with climate factors: DBI = 2.56 – DBI (raw)/100. DBI and RW data were standardized using a cubic-smoothing spline and filtered with autoregressive modeling to produce residual chronologies.

The longest chronology spans 524 years for CH, while others ranged from 207 to 350 years. Correlation analysis from 1961–2020 showed significant positive effect of June-July temperatures on tree growth in all the sites. CH demonstrate higher correlation between RW and June temperatures, while DBI showed strong correlations with July temperatures ($P < 0.01$). DE showed higher RW correlations for summer months, likely due to numerous narrow rings unsuitable for DBI measurement. In other sites, DBI correlations exceed RW.

Regarding precipitation, significant but marginal ($P < 0.05$) negative effects are visible at PU and DE, mostly in late spring and mid-summer. Extra soil moisture may negatively affect tree growth in the area. Periods with above-average rainfall rainfall can lead to waterlogging of permafrost sites [3].

To assess the temporal stability of climate signals, we calculated moving correlations with a 30-year window and a 1-year step for the average June-July temperature. The most stable and strong correlations over time were observed at PU and IG. In contrast, DE showed a decline in correlations after 1975, limiting their suitability for DBI-based temperature reconstructions. At IG, DBI proved effective for temperature reconstructions where TRW was not. DBI-based reconstructions explained a substantial portion of June-July temperature variance (42 % in PU and 35 % in IG), whereas TRW only explained 27 % in Polar Urals. This underscores the robustness of DBI as a temperature proxy in high-latitude regions.

In conclusion, DBI demonstrates a stronger and more stable climate signal over longer periods compared to traditional RW measurement. However, its applicability is limited by the presence of narrow rings. This research highlights the potential of DBI for temperature reconstructions in Northern Russia.

REFERENCES

1. *Björklund J.A., Gunnarson B.E., Seftigen K., Esper J., Linderholm H.W.* Blue intensity and density from northern fennoscandian tree rings, exploring the potential to improve summer temperature reconstructions with earlywood information // Clim. Past. 2014. 10 (2): 877–885.
2. *Rydval M., Larsson L.Å., McGlynn L., Gunnarson B.E., Loader N.J., Young G.H.F., Wilson R.* Blue intensity for dendroclimatology: Should we have the blues? Experiments from Scotland // Dendrochronologia. 2014. 32: 191–204.
3. *Gurskaya M., Hallinger M., Singh J., Agafonov L., Wilmking M.* Temperature reconstruction in the Ob River valley based on ring widths of three coniferous tree species // Dendrochronologia. 2012. 30: 302–309.

ACKNOWLEDGMENTS. This work was supported by the Ministry of Science and Education of the Russian Federation [FSRZ-2020-0014].

UDK 630*

STUDIES OF FOREST AND WATER IN CHINA

MINGFANG ZHANG

School of Resource and Environment, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu611731, China (mingfangzhang@uestc.edu.cn)

Forests covering an area of 220 million hectares play an important role in water cycle in China. Forest types and their corresponding ecohydrological processes are diverse resulted from a large span of climate gradients and complex topography in China. The studies of hydrological processes of natural forests and plantations at multiple spatial and temporal scales across climate gradients are crucial for water management and ecosystem protection in China. Although the history of forest hydrology dated back to 1850s, it was introduced and developed as a form discipline in China in 1960s. The development of forest hydrology in China is accompanied by its history of forest changes with dramatic forest loss due to harvesting prior to 1980s and followed by consistent forest gain especially attributed to a series of large-scale "Land Greening" programs such as Natural Forest Protection Plan and Cropland to Forest Project since the late 1990s. Accordingly, the early forest hydrology in China studies the hydrological impact of deforestation while the recent two decades has witnessed a growing studies on the effect of forestation on hydrology. This talk aims to (i) provide an overview of Chinese forest hydrology, to (ii) review prior research in forest hydrology in China, to (iii) identify knowledge gaps and provide a vision for future research on forest hydrology in China, and to (iv) provide scientific supports for water and forest management under a changing environment.

УДК 630*58

MAPPING THE CURRENT AND THE PAST STATE OF FOREST STANDS

S.K. FARBER, N.V. SOKOLOVA, A.A. MARTYNOV

V.N.Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk (sfarber@ ksc.krasn.ru, sokolovanv@ksc.krasn.ru, martynov@i-project24.ru)

Abstract. Making forest management decisions, it is important to understand the causes of changes not only, but also the possibility of their visual analysis based on maps reflected the phases of the forest formation process. Mapping illustrates starkly features of the transition from the past state of forests to the present. Maps of forest stand conditions are an efficient tool for projection of future forests as well as substantiating current and future planning.

The development of forest management plans is multidimensional and is justified by the probable directions of the forest formation process among others. Managerial decision-making is based on raw data. The data of forest stand-level inventory and forest planning are used as raw data in the practice of the forest company. Presently, this is the most complete and reliable forest information that is ideal for thematic forest mapping in a format of the GIS tabular representation. Potential alternative information obtained with the satellite imagery has not yet been able to compete with mass forest inventory data [1, 2]. The amount of land cover recognition methods increases, but the compilation of accurate maps remains a challenging issue [3, 4].

Maps of forest stand conditions – the current phase of the forest forming process, will be useful for foresters in their forest management additionally to the forest planning and cartographic materials. The legend of the maps, which fully characterizes condition of the forest stand, includes the type and trend of succession, the name of the climax species, and the age of the predominant species of the forest stand in the forest subcompartment. The mapping methodology has been applied in the test area of the Bolshemurtinsky forest district of the Krasnoyarsk region, which is typical for southern taiga forests of Siberia. Source data for mapping has been based on descriptions of the forest subcompartments on the GIS attribute table of the forest district (fig. 1).

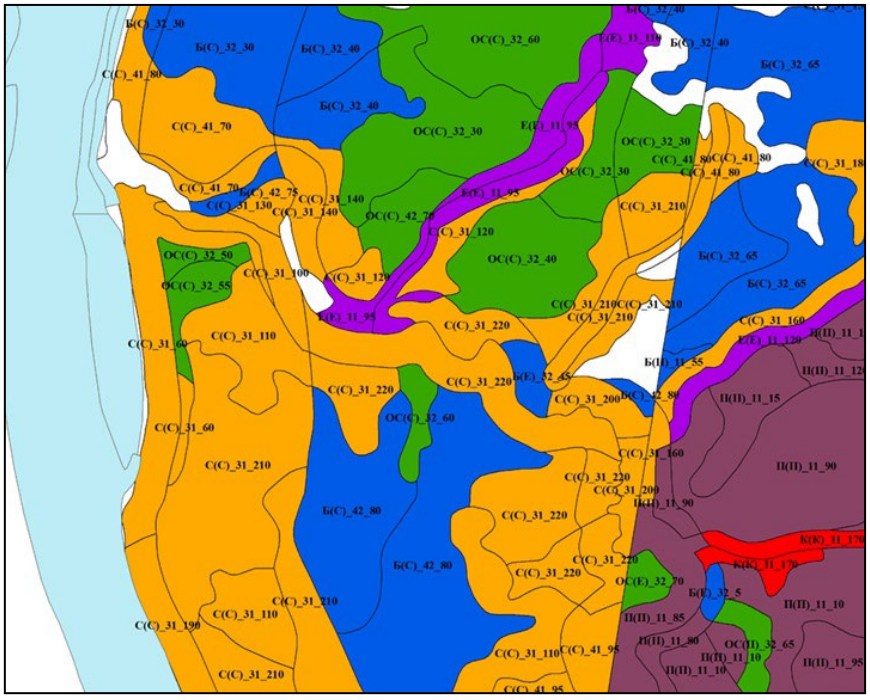


Fig. 1. Predominant and climax species, type and trend of succession, age of the forest stand as of 2006 (a map tile of the test area)

Forest stand confinement to the terrain relief indicators has been based on the SRTM 55-01 digital terrain model data. Spatial analysis has been performed by the ArcGIS Spatial Analyst module. The predominant species are accepted as climax ones in coniferous stands. Birch and aspen forests are secondary stands which replace climax species at certain succession phases. Mapping capability has been shown not only for the year of forest inventory but also for the earlier period of time. To determine predominant species and an age of the forest stand of a century-old, a scheme has been proposed where the conceivable options have been typified depending on succession trend, the forest stand age prior to disturbance, and from the period of reforestation. Map tiles of the test area as of 2006 – the year of forest inventory, and as of 1906 – the year of the intensive colonization beginning in the southern Siberia are shown (fig. 2). Maps of forest conditions in the test area represent successions that are

typical in southern taiga forests of Siberia: post-harvest, pyrogenic and biogenic. The mapping methodology of forest condition is universal.

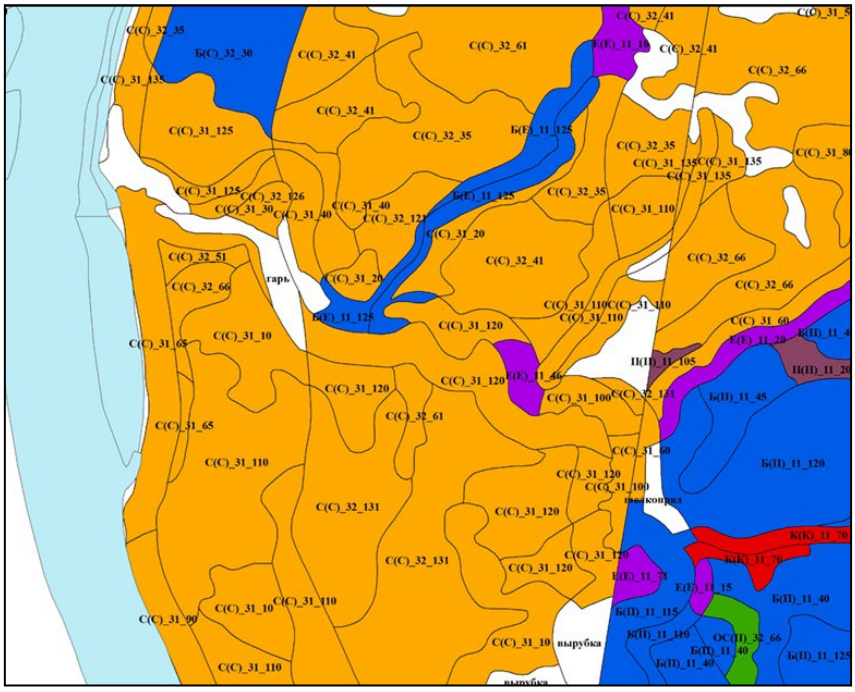


Fig. 2. Predominant and climax species, type and trend of succession, age of the forest stand as of 1906 (a map tile of the test area)

Mass forest inventory data as presented by spreadsheets are convenient for mathematical and spatial analysis and allow obtaining advanced research and practice results. For instance, the damaged forest cover could be established over a certain period of time or valuation of forest stands could be put on. Such information support is important for balanced management decisions.

REFERENCES

1. White J, Hermosilla T, Wulder M, Coops N 2022 Mapping, validating, and interpreting spatio-temporal trends in post-disturbance forest recovery. Remote Sensing of Environment 271 112904 DOI: 10.1016/j.rse.2022.112904.
2. Khovratovich T, Bartalev S, Kashnitskii A, Balashov I, Ivanova A 2020 Forest change detection based on sub-pixel tree cover estimates using Landsat-OLI and Sentinel 2 data IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Vol. 507 012011 DOI: 10.1088/1755-1315/507/1/012011
3. Healey S P, Cohen W B, Zhiqiang Y, Krankina O N 2005 Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection Remote Sensing of Environment Volume 97 (3) pp 301-310 DOI:10.1016/j.rse.2005.05.009
4. Kurbanov E A, Lezhnin C A, et al 2015 Thematic Mapping of Vegetation Cover by Satellite Images: Validation and Accuracy Assessment [in Russian]

ACKNOWLEDGEMENTS. The research was funded by the Russian Scientific Foundation (project No 21-46-07002, https://rscf.ru/en/project/21-46-07002/).

ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЫ: БИОСФЕРНАЯ РОЛЬ, БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

Материалы международной конференции

Красноярск, 16–20 сентября 2024 г.

Электронное научное издание

Компьютерная верстка И.А. Михайловой
Технический редактор: Т.И. Алешина

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

Тиражируется на машинописных носителях