

Пространственная дифференциация вегетационного индекса NDVI сосновых лесов в Нижнем Приамурье

Полина Сергеевна Ван^{1, 2✉}, Лариса Станиславовна Шарая³

¹Объединенная дирекция государственных природных заповедников и национальных парков Хабаровского края «Заповедное Приамурье», Хабаровск, 680000, Российская Федерация

²Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
Биробиджан, 679016, Российская Федерация

³Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова,
Москва, 127434, Российская Федерация

✉ Автор-корреспондент, e-mail: vanpolina8710@mail.ru

Получена 5 февраля 2025 г.; принята к публикации 5 марта 2025 г.

Аннотация. С помощью спутниковой системы Terra-MODIS, технологий Института космических исследований РАН и программы «Аналитическая ГИС Эко» показано изменение в пространстве нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) сосновых лесов Нижнего Приамурья. Определено, что наибольшие значения NDVI этих лесов (0.76–0.87) отвечают юго-западной части региона. При движении с запада на восток, с юго-запада на северо-восток и с юга на север количество сосняков резко сокращается вместе со снижением их NDVI (0.54–0.76). Разделение площадок лесов по склонам разной экспозиции показывает, что наибольшими средними значениями NDVI характеризуются южные и западные склоны, NDVI восточных и южных склонов больше чувствительны к изменению географического положения. Выявлен слабый тренд снижения показателей NDVI с возрастанием высоты и крутизны склонов.

Ключевые слова: NDVI, сосновые леса, Нижнее Приамурье.

Spatial distribution of pine forest vegetation index NDVI in the Lower Amur River region

Polina S. Van^{1, 2✉}, Larisa S. Sharaya³

¹Joint Directorate of state nature reserves and national parks of the Khabarovsk Krai
“Zapovednoe Priamurye”, Khabarovsk, 680000, Russian Federation

²The Institute for Complex Analysis of Regional Problems, Far Eastern Branch of the Russian
Academy of Sciences, 679016, Birobidzhan, Russian Federation

³Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, 127434, Russian Federation

✉ Corresponding author, e-mail: vanpolina8710@mail.ru

Received February 5, 2025; accepted March 5, 2025

Abstract. Using data from the Terra-MODIS satellite system, technologies from the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences and the Analytical GIS Eco program, changes in normalized difference vegetation index (NDVI) of pine forests in the Lower Amur River region are shown. Main habitats of pine forests are located in the southwestern part of the region with the highest NDVI values: 0.76–0.87. The number of pine forests sharply decreases from west to east, from southwest to northeast and from south to north along with a decrease in their NDVI: 0.54–0.76. Division of the forests along slopes of different exposure demonstrates that the southern and western slopes have the highest average NDVI values. NDVI of the eastern and southern slopes are more sensitive to changes in geographical location. Weak trends of decreasing NDVI values with increasing altitude and slope steepness are revealed.

Keywords: NDVI, pine forests, Lower Amur River region.

Введение

Сосновые леса в Нижнем Приамурье находятся на пределе своего распространения (Манько, Розенберг 1965) и недостаточно изучены (Колесников 1956; Усенко 1966; Гуков и др. 2009). В последние десятилетия граница ареала сосняков здесь

отодвинулась далеко на запад из-за череды частых пожаров, негативно влияющих на их возобновление (Зубов 1969). На сегодняшний день в свободном доступе находятся данные о произрастании различных типов леса (Барталев и др. 2016) и показателях нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI), которые широко используются для дифференциации территорий по покрытию лесами и определения их производительности (Гаврилюк и др. 2018; Курбанов и др. 2018; Куулар 2020; Гусев 2022; Мамедалиева 2022). Цель данной работы – охарактеризовать пространственную дифференциацию NDVI как одного из непрямых показателей продуктивности сосновых лесов в Нижнем Приамурье.

Район исследования

Нижнеамурская область является составной частью Амурско-Приморской физико-географической страны (Криволуцкий 1968). Она ограничена с севера Охотским морем, с юга – долиной р. Амур, с востока – Сахалинским заливом и Амурским лиманом, с запада – Буреинским нагорьем. Нами в состав региона дополнительно добавлен участок правобережья р. Амур (рис. 1), который является составной частью Сихотэ-Алинской горной области. Эта территория представляет собой водосборные склоны Амура, где также формируется климат Нижнего Приамурья. Последний представляет собой северный вариант муссонного климата (Витвицкий 1969), на формирование которого сильное влияние оказывает холодное Охотское море. Рельеф исследуемой территории представлен, с одной стороны, поочередной сменой низко- и среднегорных хребтов, с другой – межгорных депрессий с заболоченными днищами, часто занятыми мелководными озерами (Криволуцкий 1968). Территория включает в себя все широтные полосы тайги, а также горную и подтаежную зоны (Мартыненко, Бочарников 2008). Лесная растительность покрывает 50% площади региона. Лиственничные леса наиболее распространены в Нижнем Приамурье и состоят в основном из лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr.). Вторыми по занимаемой площади являются елово-пихтовые леса, в древесном составе которых доминируют ель аянская (*Picea ajanensis* Fisch. ex Carr.) и пихта белокорая (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim). Подтаежная зона на юге региона представлена хвойно-широколиственными лесами. Здесь помимо ели и пихты в древостое появляются кедр корейский (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc), дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb), липа амурская (*Tilia amurensis* Rupr.) и др. Рубки и пожары в регионе способствовали повсеместному распространению вторичных березовых и осиновых лесов из березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukaczew) и тополя дрожащего (*Populus tremula* L.). Насыщенность Нижнего Приамурья реками обуславливает большое значение в растительности пойменного комплекса, представленного лугами, болотами и лесами (Никонов 1975). В регионе под лесными сообществами развиваются почвы бурозёмного типа: бурозём и бурозём грубогумусовый. Для заболоченных участков равнин характерны почвы болотного комплекса. Под вейниковыми лугами и пойменными лесами формируются почвы аллювиального комплекса (Ливеровский 1969; Полевой определитель... 2008).

Сосновые леса, сложенные сосной обыкновенной (*Pinus silvestris* L.), в Нижнем Приамурье встречаются редко и в небольшом количестве, занимая менее 0.5% лесопокрытой площади региона.

Сосна произрастает здесь вблизи восточной границы своего ареала и не образует сплошных лесных массивов (Манько, Розенберг 1965). Сосняки в виде небольших полигонов, изолированных островов, куртин и отдельных деревьев вкрапливаются

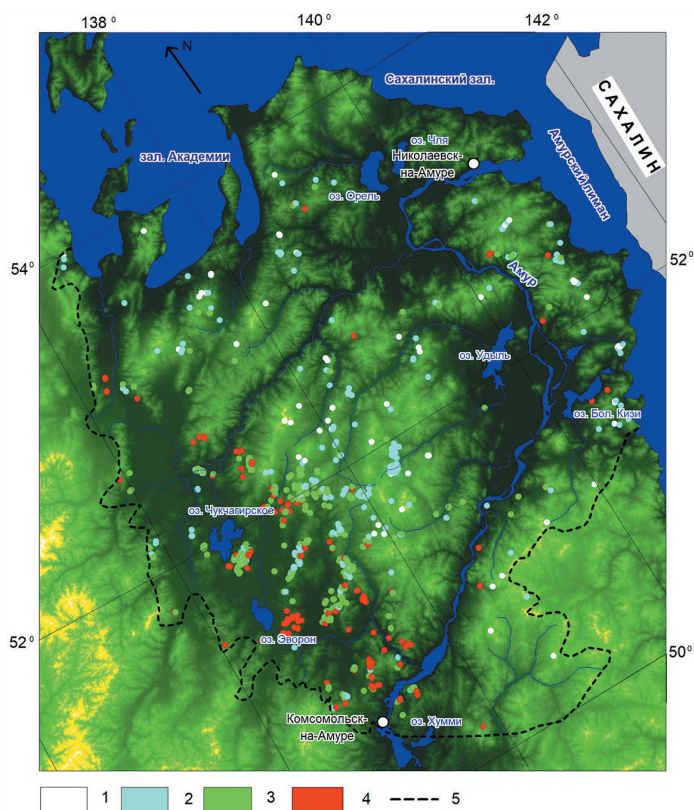


Рис. 1. Карта NDVI сосновых лесов Нижнего Приамурья. Масштаб 1 : 3 000 000. Значения NDVI: 1–0.54–0.704, 2–0.704–0.759, 3–0.759–0.8, 4–0.8–0.874; 5 – граница Нижнего Приамурья.

Fig. 1. NDVI map of pine forests of the Lower Amur River region. Map scale 1 : 3,000,000. NDVI values: 1: 0.54–0.704, 2: 0.704–0.759, 3: 0.759–0.8, 4: 0.8–0.874; 5: the border of the Lower Amur River region.

в хвойные и лиственные леса (Зубов 1969). Они образуют лиственнично-сосновые и дубово-сосновые типы леса.

В Нижнем Приамурье сосновые леса занимают два основных типа местообитания – древние речные террасы на супесчаных и песчаных почвах и скалистые гребни с южными каменистыми склонами гор (Колесников 1956; Урусов и др. 2007; Гуков и др. 2009). На юге Дальнего Востока, куда относится исследуемый регион, сосновые леса изучены слабо и, по мнению Б. П. Колесникова (Колесников 1956), могут представлять собой интразональный комплекс.

Материалы и методы

Из цифровой карты-матрицы растительного покрова России (Барталев и др. 2016) получены данные о местопроизрастании сосновых лесов на территории Нижнего Приамурья. Матрицы восьми типов леса созданы из матрицы наземного покрова России разрешения 1035 м, сформированной на основе спутниковых данных SPOT-Vegetation 2001–2010 гг. в Институте космических исследований РАН (ИКИ РАН), данные взяты с сайта ИКИ РАН (<http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=317>).

В настоящей работе используется только один класс наземного покрова: светлохвойные леса.

Для территории Нижнего Приамурья (рис. 1), имеющей протяженность 768 км по долготе и 566 км по широте, получены цифровые точечные данные по вегетационному индексу NDVI (Rouse et al. 1973). Значения NDVI для лета 2005 г. взяты и скорректированы в ИКИ РАН по данным спутниковой системы Terra-MODIS разрешения 250 м. Они преобразованы нами к разрешению 1 км. Для светлохвойных лесов сформированы векторные точечные данные с соответствующими значениями NDVI (всего 758 точек или площадок 1 км x 1 км).

Цифровая модель рельефа получена из данных SRTM (Rodriguez et al. 2005) разрешения 900 м. Все эти данные преобразованы нами в проекцию Каврайского для бывших территорий СССР с разрешением 900 м x 900 м.

При помощи программы ГИС Эко (Wood 2009) совмещены матрицы типов леса и значений NDVI, в результате получены векторные данные (точки) для сосновых лесов. Точки представляют собой площадки размером 1 км x 1 км, в пологе которых не менее 80% площади крон занимает сосна обыкновенная, наложенные на рельеф (рис. 1). В этой же программе с помощью корреляционного анализа выявлены связи между NDVI сосновых лесов, рельефом и географическими направлениями (направлениями по сторонам света) в регионе.

Для анализа использовали характеристики рельефа – морфометрические величины (МВ), описывающие рельеф пробных площадей. Для этого применяли систему базовых МВ (Sharay et al. 2002), полученных из цифровой модели рельефа в программе Аналитическая ГИС Эко. Основная МВ – абсолютная высота Z . Тянущую вниз со склонов силу характеризует крутизна GA , которая определяется углом наклона поверхности. Для оценки термо- и светорежима лесов использовали освещенность и экспозицию склонов. Относительная освещенность склонов $F_0(a, b)$ определяется как перпендикулярность падения солнечных лучей на земную поверхность, которая зависит от двух углов: склонения a Солнца над горизонтом и азимута Солнца b (Шарая, Шарый, 2011). Ее можно выражать в процентах (100% для перпендикулярного падения лучей и 0% – для теневых склонов) или в единицах энергии по формуле:

$$F_0(a, b) = \tau \cdot F_0(a, b) / 100,$$

где: $\tau = 760 \text{ Вт/м}^2$ – солнечная постоянная на уровне моря, а $F_0(a, b)$ – освещенность в процентах. При оценке освещенности сосновых лесов использовались азимуты Солнца 135° , 180° , 225° при склонении Солнца над горизонтом в 35° .

Для выявления роли рельефа в распределении сосновых лесов, произрастающих на склонах разных экспозиций, в программе Аналитическая ГИС Эко проводилось разделение пробных площадей по экспозициям склонов – северная, южная, восточная и западная.

Данные об осадках и температуре воздуха добыты нами из базы данных WorldClim (Hijmans et al. 2005), где они усреднены за 50 лет (1950–2000).

Результаты и обсуждение

Основной ареал сосновых лесов Нижнего Приамурья сосредоточен в его **юго-западной части**. Здесь сравнительно крупные массивы сосняков произрастают в районе Эворон-Чукчагирской низменности (рис. 1), где они занимают островки гор на высоте 100–150 м. Наличие сосняков в этом районе отмечено ранее (Колесников 1945). Сосредоточение их на данной территории, скорее всего, связано с ее резко континентальным климатом. Годовая амплитуда среднемесячных температур воздуха здесь достигает

46 °С, что на 5 °С больше, чем в среднем для Нижнего Приамурья. Приверженность к таким климатическим условиям сосняков, произрастающих восточнее границы своего ареала, отмечал Б. П. Колесников (Колесников 1956).

Рассмотрим подробнее места произрастания сосняков этой части региона. Два небольших полигона лесов расположены к юго-востоку от озер Чукчагирское (рис. 2) и Эворон, последний отличается высокими показателями NDVI – 0.8–0.87. Еще два крупных массива сосновых лесов со средними показателями исследуемого индекса (NDVI – 0.7–0.8) протянулись вдоль низкогорных хребтов, параллельных друг другу – первый в долине рек Харпичикан и Умикан (притоки р. Эвур, впадающей в оз. Эворон), второй в верховье р. Боктор, в долинах рек Елганы и Пукка (притоки р. Горин). Несколько небольших групп сосняков произрастают в среднем течении р. Амгунь, в долинах ее притоков, таких как Ольджикан (впадает в оз. Чукчагирское), Димитын и Дягда, а также на западных отрогах Омальского хребта. Здесь леса помимо горных склонов занимают высокие речные террасы, что в целом характерно для сосняков региона (Колесников 1956; Усенко 1966; Зубов 1969; Гуков и др. 2009). Небольшие участки сосновых лесов находятся в нижнем течении р. Горин, что подтверждается другими исследователями (Урусов и др. 2007); в междуречье рек Яусима, Кольдка (притоки р. Хурмули) и Галичная; в верховье рек Хурмули и Силинка; к северо-востоку от г. Комсомольска-на-Амуре (неподалеку от с. Бельго и пос. Березовый). Здесь они также отличаются достаточно высокими показателями NDVI – 0.76–0.87 – и занимают горную территорию.

В центральной части Нижнего Приамурья сосновые леса «взбираются» на большие высоты (350–700 м). Их показатели NDVI снижаются и в среднем составляют 0.7–0.8. Выявлен слабый тренд к снижению показателей NDVI сосновых лесов региона с ростом высоты над уровнем моря (рис. 3А). Континентальный режим климата в этом районе ослабевает, на территорию все большее влияние оказывают муссонные



Рис. 2. Участок соснового леса на берегу оз. Чукчагирское. Фото И. Щегловой, 26.06.2022 г.

Fig. 2. A pine forest plot near Lake Chukchagirskoe. Photo by I. Shcheglova, June 26, 2022.

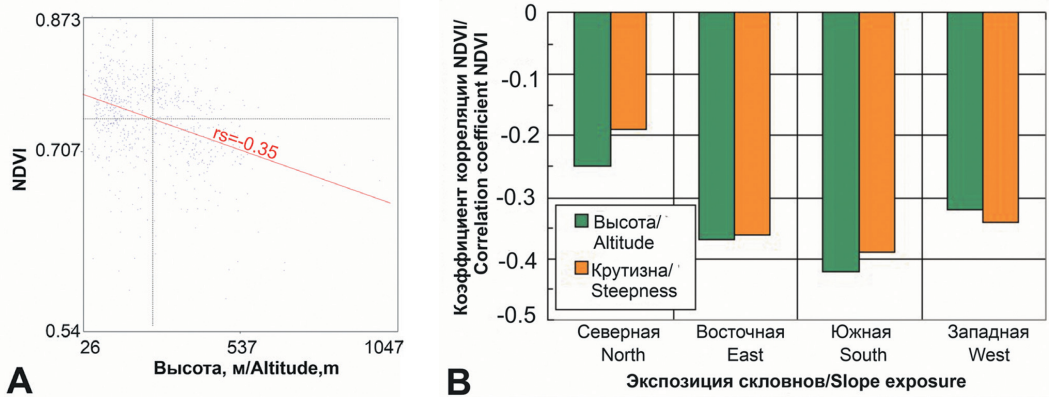


Рис. 3. Зависимость показателей NDVI основных лесов от высоты местности (А); связи NDVI основных лесов, произрастающих на склонах разных экспозиций, с высотой и крутизной склонов (В).

Fig. 3. Relationships between NDVI of pine forests and altitude in the Lower Amur River region (А); between NDVI of pine forests growing on slopes of different exposure and slope altitude and steepness (В).

процессы. Здесь наиболее крупный полигон сосняков произрастает в верховьях рек Эвур и Бичи (NDVI – 0.76–0.87). Небольшой массив сосновых лесов находится в верховье р. Пильда (NDVI 0.7–0.76). «Точечно» сосняки представлены в восточной и западной частях хребта Чаятын и на хребте Омельдинский (NDVI – 0.54–0.76).

В восточной части Нижнего Приамурья, на правом берегу р. Амур, сосняки не образуют значительных массивов и встречаются в виде небольших групп. Здесь они также занимают долины малых рек и горные склоны. Сосновые леса локализируются в верховье р. Хузи, в среднем течении р. Тымь. Значения NDVI в основном низкие – 0.54–0.76. Эта часть территории наиболее подвержена воздействию Охотского моря и достаточно сильно увлажнена. Среднегодовое количество осадков за холодный период составляет здесь 285 мм, что на 30% больше, чем в среднем по региону.

В северной части Нижнего Приамурья небольшие массивы сосновых лесов сосредоточены исключительно в горной местности на высоте до 650–700 м. Среднегодовая температура воздуха составляет здесь –5.5 °С, что в 2.5 раза ниже, чем в среднем для Нижнего Приамурья. Сосняки не проникают севернее 54° с. ш. Так, на северо-востоке региона сосна обыкновенная практически отсутствует. На северо-западе значения NDVI ее небольших группировок составляют 0.54–0.76. В среднем течении р. Тугур NDVI сосняков возрастает до максимальных значений – 0.76–0.87. Здесь они приближаются к восточной границе своего распространения, которая, по мнению Б. П. Колесникова (Колесников 1956), проходит по водораздельной линии хребтов Малого Хингана – Буреинский – Джугджурский.

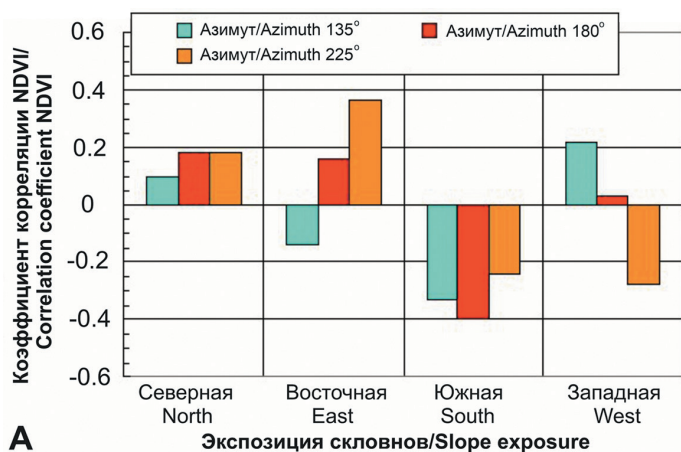
В юго-восточной части Нижнего Приамурья сосна обыкновенная почти не представлена.

Таким образом, согласно результатам анализа, 73% сосняков в Нижнем Приамурье имеют средние значения показателей NDVI – 0.7–0.8. Наиболее низкими показателями характеризуются 8% сосновых лесов региона (NDVI – 0.54–0.7), максимальными – 19% (NDVI – 0.8–0.87).

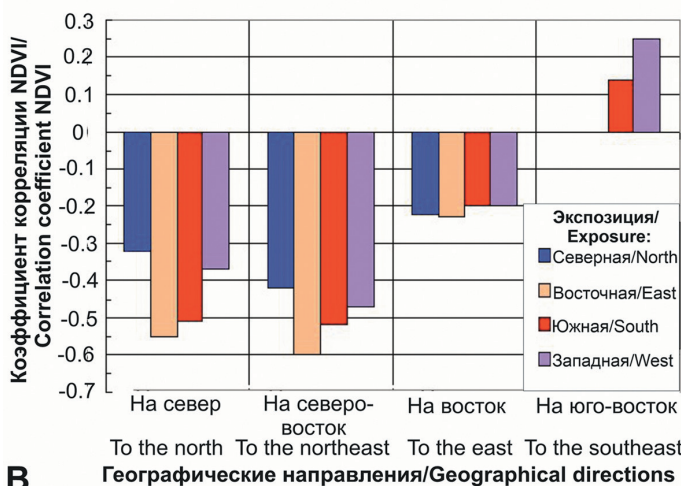
Дополнительно проводилась оценка NDVI сосняков, произрастающих на склонах разных экспозиций. Выявляли связи между NDVI сосновых лесов, занимающих

различные склоны, с географическими направлениями, высотой местоположения, крутизной склона и освещенностью (рис. 3, 4). Площадки сосновых лесов в регионе практически поровну распределены на склонах разных экспозиций: северная – 182, восточная – 213, южная – 180, западная – 183. При этом средние значения NDVI у лесов различаются: на северных склонах самые низкие показатели (0.761), на южных – самые высокие (0.767), на восточных и западных – средние (0.764 и 0.766 соответственно). NDVI сосновых лесов Нижнего Приамурья снижается с увеличением как высоты, так и крутизны склонов: сильнее связь между этими признаками на южных склонах и заметно слабее – на северных (рис. 3В).

Реакция NDVI светлохвойных лесов на освещенность склонов разных экспозиций различается (рис. 4А). На южных склонах NDVI с ростом освещенности снижается, на северных – наоборот, возрастает. На восточных склонах вегетационный индекс



A



B

Рис. 4. Связи NDVI сосновых лесов, произрастающих на склонах разных экспозиций с освещенностью склонов при разных азимутах (A) и с расстоянием по географическим направлениям (B).

Fig. 4. Relationships between NDVI of pine forests growing on slopes of different exposure and the illumination of slopes in different azimuths (A), and distance in geographic directions (B).

увеличивается с возрастанием освещенности при азимутах 180° и 225° , на западных – при азимуте 135° .

Анализ NDVI лесов на склонах разной экспозиции показал отличия в связях данного индекса (рис. 4В). Наиболее сильное снижение NDVI происходит на всех склонах в направлении на северо-восток, при этом вегетационный индекс на восточных склонах падает быстрее. Похожая ситуация наблюдается и в направлении на север. Следует отметить, что в Нижнем Приамурье для этих направлений характерны аридные климатические тренды (Ван, Шарая 2024а). Так, в регионе в направлениях с юга на север и с юго-запада на северо-восток годовое количество осадков сокращается, причем коэффициент корреляции Спирмана (r_s) осадков с данными направлениями составляет -0.7 и -0.4 , соответственно. При этом для направления на север также присутствует слабый тренд к похолоданию ($r_s = -0.3$). С восточным и юго-восточным направлениями связи NDVI заметно слабее, при этом в тенденции показатели NDVI в направлении на юго-восток несколько возрастают.

Интересно сравнить NDVI сосняков и темнохвойных лесов на исследуемой территории (Ван, Шарая 2024б). NDVI темнохвойных лесов снижается при движении от центральной части ареала их произрастания в регионе к северо-западу и востоку и в целом, с юга на север. Показатели NDVI сосновых лесов в отличие от елово-пихтовых и кедровых уменьшаются в направлении от основной части их ареала на юго-западе к центральной, восточной и северо-восточной частям региона. Для обеих лесных формаций характерно снижение показателей NDVI с возрастанием высоты над уровнем моря.

Заключение

Сосновые леса в Нижнем Приамурье встречаются редко и составляют менее 0.5% лесопокрытой площади региона. Основной их ареал сосредоточен на юго-западе исследуемой территории, где они занимают небольшие высоты в среднем 100–150 м и отличаются высокими показателями NDVI (0.76–0.87). При дальнейшем спорадическом продвижении сосновых лесов на север в центральную и восточную части региона их NDVI снижается до 0.54–0.76, при этом они могут произрастать на высотах 350–700 м. Распределение сосновых лесов по склонам разных экспозиций демонстрирует, что наибольшими средними показателями NDVI характеризуются южные и западные склоны. Значения NDVI сосняков восточных и южных склонов более чувствительны к изменению географического положения. Для сосновых лесов региона характерно снижение показателей NDVI с возрастанием высоты над уровнем моря и крутизны склонов.

Благодарности

Авторы благодарны уважаемым рецензентам и редакторам журнала за ценные замечания и рекомендации по улучшению статьи.

Литература (References)

- Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Шабанов Н. В. 2016. Спутниковое картографирование растительного покрова России. – М.: Институт космических исследований РАН. 208 с. (Bartalev S. A., Egorov V. A., Zharko V. O., Loupian E. A., Plotnikov D. E., Khvostikov S. A., Shabanov N. V. 2016. Land cover mapping over Russia using Earth observation data. М.: Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, 208 pp. [In Russian].)
- Ван П. С., Шарая Л. С. 2024а. Пространственные климатические тренды в Нижнем Приамурье // XVII научное совещание географов Сибири и Дальнего Востока: к 50-летию БАМ и памяти акад. П. Я. Бакланова посвящается, Иркутск, 09–14 сентября 2024 года. – Иркутск: Институт

- географии им. В. Б. Сочавы СО РАН. С. 81–83. (Van P. S., Sharaya L. S. 2024a. Spatial climatic trends in the Lower Amur region). In: [XVII scientific meeting of geographers of Siberia and the Far East: dedicated to the 50th anniversary of BAM railway and the memory of academician. P. Ya. Baklanov, Irkutsk, September 09–14, 2024]. Irkutsk: V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, pp. 81–83. [In Russian.] <https://elibrary.ru/ouoae>
- Ван П. С., Шарая Л. С. 2024b. NDVI темных хвойных лесов Нижнего Приамурья // *Региональные проблемы*. Т. 27, № 3. С. 8–12. (Van P. S., Sharaya L. S. 2024b. NDVI of dark coniferous forests in the Lower Amur river region. *Regional problems* 27 (3): 8–12. [In Russian.] <https://doi.org/10.31433/2618-9593-2024-27-3-8-12>
- Витвицкий Г. Н. 1969. Климат // Южная часть Дальнего Востока. Природные условия и естественные ресурсы СССР / под ред. В. П. Чичагова. – М.: Наука. С. 70–97. (Vitvitsky G. N. 1969. Climate). In: Southern part of the Far East. Natural conditions and natural resources of the USSR. Moscow: Nauka, pp. 70–97. [In Russian.]
- Гаврилюк Е. А., Плотникова А. С., Плотников Д. Е. 2018. Картографирование наземных экосистем Печоро-Ильчского заповедника и его окрестностей на основе восстановленных мультитемпальных спутниковых данных Landsat // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли и космоса*. Т. 15, № 5. С. 141–153. (Gavrilyuk E. A., Plotnikova A. S., Plotnikov D. E. 2018. Land cover mapping of the Pechora-Ilych nature reserve and its vicinity based on reconstructed multitemporal LANDSAT satellite data. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa* 15 (5): 141–153. [In Russian.] <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-5-141-153>
- Гуков Г. В., Выводцев Н. В., Ковалев А. П. 2009. Лиственничные и сосновые леса // Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспективы их использования / под ред. А. П. Ковалева. – Хабаровск: изд-во ДальНИИЛХ. С. 34–57. (Gukov G. V., Vyvodtsev N. V., Kovalev A. P. 2009. Larch and pine forests). In: Current state of forests in the Russian Far East and prospects for their using. Khabarovsk: Far East Forestry Research Institute, pp. 34–57. [In Russian.]
- Гусев А. П. 2022. NDVI как индикатор климатогенных реакций геосистем (на примере юго-востока Беларуси) // *Региональные геосистемы*. Т. 46, № 2. С. 200–209. (Gusev A. P. 2022. NDVI as an indicator of climatogenic responses of geosystems (on the example of the south-east of Belarus). *Regional geosystems* 46 (2): 200–209. [In Russian.] <https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-2-200-209>
- Зубов Ю. П. 1969. Сосновые леса // Леса Дальнего Востока / под ред. А. С. Агеенко. – М.: Изд-во Лесная промышленность. С. 131–145. (Zubov Yu. P. 1969. Pine forests). In: Forests of the Far East. М.: Lesnaya Promyshlennost', pp. 131–145. [In Russian.]
- Колесников Б. П. 1945. Обыкновенная сосна (*Pinus silvestris* L) на юго-восточной границе своего ареала // *Бюллетень МОИП. Отделение биологическое*. Новая серия Т. 50, № 5/6. (Kolesnikov B. P. 1945. Scots pine (*Pinus Silvestris* L) in the southeastern border of its distribution range. *Byulleten' Moskovskogo Obshchestva Ispytateley Prirody. Biological Department* 50 (5/6) [In Russian].)
- Колесников Б. П. 1956. Конспект лесных формаций Приморья и Приамурья // Академику В. Н. Сукачеву к 75-летию со дня рождения. Сборник работ по геоботанике, лесоведению, палеогеографии и флористике / под ред. В. Б. Сочавы. – М.: Изд-во АН СССР. С. 286–305. (Kolesnikov B. P. 1956. Abstract of forest formations of Primorye and Amur region). In: Academician V. N. Sukachev on his 75th birthday. Collection of geobotany, forestry, paleogeography and floristry works. М.: Academy of Sciences of the USSR, pp. 286–305. [In Russian.]
- Криволюцкий А. Е. 1968. Амурско-Приморская страна // Физико-географическое районирование СССР: характеристика региональных единиц / под ред. Н. А. Гвоздецкого. – М.: Типография издательства МГУ. С. 503–542. (Krivolutsky A. E. 1968. Amur-Primorskaya territory). In: Physico-geographical zoning of the USSR: characteristics of regional units. М.: Moscow State University, pp. 503–542. [In Russian.]
- Курбанов Э. А., Воробьев О. Н., Меньшиков С. А., Смирнова Л. Н. 2018. Распознавание лесных насаждений и доминирующих древесных пород Пензенской области по данным спутника Sentinel-2 // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли и космоса*. Т. 15, № 5. С. 154–166. (Kurbanov E. A., Vorobiev O. N., Menshikov S. A., Smirnova L. N. 2018. Identification of forest stands and dominant tree species in Penza region using SENTINEL-2 imagery. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa* 15 (5): 154–156. [In Russian.] <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-5-154-166>

- Куулар Х. Б.** 2020. Исследования растительного покрова республики Тыва по данным спутниковых наблюдений // *Природные ресурсы, среда и общество*. № 1 (5). С. 55–61. (**Kuular Kh. B.** 2020. The study of vegetation cover of the republic of Tyva from satellite observation. *Natural Resources, Environment and Society* 1 (5): 55–61. [In Russian].)
- Ливеровский Ю. А.** 1969. Почвы // Южная часть Дальнего Востока. Природные условия и естественные ресурсы СССР / под ред. В. П. Чичагова. – М.: Наука. С. 159–206. (**Liverovsky Yu. A.** 1969. Soils). In: Southern part of the Far East. Natural conditions and natural resources of the USSR. М.: Nauka, pp. 159–206. [In Russian].)
- Мамедалиева В. М.** 2022. Изменение лесных массивов северо-восточного региона Азербайджана по космическим снимкам // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. № 1 (385). С. 88–97. (**Mamedaliyeva V. M.** 2022. Changes in forested areas of the north-eastern region of Azerbaijan revealed by satellite images. *Russian Forestry Journal* 1 (385): 88–97. [In Russian].) <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2022-1-88-97>
- Манько Ю. И., Розенберг В. А.** 1965. Сосна обыкновенная в Нижней части левобережного Приамурья // Лесоводственные исследования на Дальнем Востоке. – Владивосток: АН СССР, Сибирское отделение. С. 207–217. (**Manko Yu. I., Rosenberg V. A.** 1965. Scots pine in the lower part of the left bank Amur region). In: Silvicultural research in the Far East. Vladivostok: Academy of Sciences of the USSR, Siberian Branch, pp. 207–217. [In Russian].)
- Мартыненко А. Б., Бочарников В. Н.** 2008. Экологическое районирование Дальнего Востока // *Известия РАН. Серия географическая*. № 2. С. 76–84. (**Martynenko A. B., Bocharnikov V. N.** 2008. Ecological regionalization of the Far East. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya* 2: 76–84 [In Russian].)
- Никонов В. И.** 1975. Природные ландшафты Нижнего Приамурья // Сибирский географический сборник. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение. № 10. С. 128–175. (**Nikonov V. I.** 1975. Natural landscapes of the Lower Amur region). In: Siberian geographical collection. No. 10. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch, pp. 128–175. [In Russian].)
- Полевой определитель почв России*. 2008. – М.: Почвенный институт. 150 с. ([*Field guide to soils in Russia*]. 2008. М.: Soil Institute, 150 pp. [In Russian].)
- Урусов В. М., Лобанова И. И., Варченко Л. И.** 2007. Хвойные российского Дальнего Востока – ценные объекты изучения, охраны, разведения и использования. – Владивосток: Дальнаука. 440 с. (**Urusov V. M., Lobanova I. I., Varchenko L. I.** 2007. Conifers of the Russian Far East – important objects of study, conservation, growing and use. Vladivostok: Dalnauka, 440 pp. [In Russian].)
- Усенко Н. В.** 1966. Хвойные деревья и кустарники Дальнего Востока. – Хабаровск: ДальНИИЛХ. 97 с. (**Usenko N. V.** 1966. Coniferous trees and shrubs of the Far East. Khabarovsk: Far East Forestry Research Institute, 97 pp. [In Russian].)
- Шарая Л. С., Шарый П. А.** 2011. Изучение пространственной организации лесных экосистем с помощью методов геоморфометрии // *Экология*. № 1. С. 3–10. (**Sharaya, L. S., Sharyi, P. A.** 2011. Geomorphometric study of the spatial organization of forest ecosystems. *Ekologiya* 1: 3–10. [In Russian].)
- Hijmans R. J., Cameron S. E., Parra J. L., Jones P. G., Jarvis A.** 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965–1978.
- Rodriguez E., Morris C. S., Belz J. E., Chapin E. C., Martin J. M., Daffer W., Hensley S.** 2005. An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report JPL D-31639. Pasadena, California: Jet Propulsion Laboratory, 143 pp.
- Rouse J. W., Haas R. H., Shell J. A., Deering D. W.** 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium (10–14 December 1973, Washington, DC)*. V. 1. Washington, DC: NASA. Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symposium, pp. 309–317.
- Shary P. A., Sharaya L. S., Mitusov A. V.** 2002. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma* 107: 1–32.
- Wood J.** 2009. Overview of software packages used in geomorphometry, *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications* 33(10): 257–267. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00010-X)