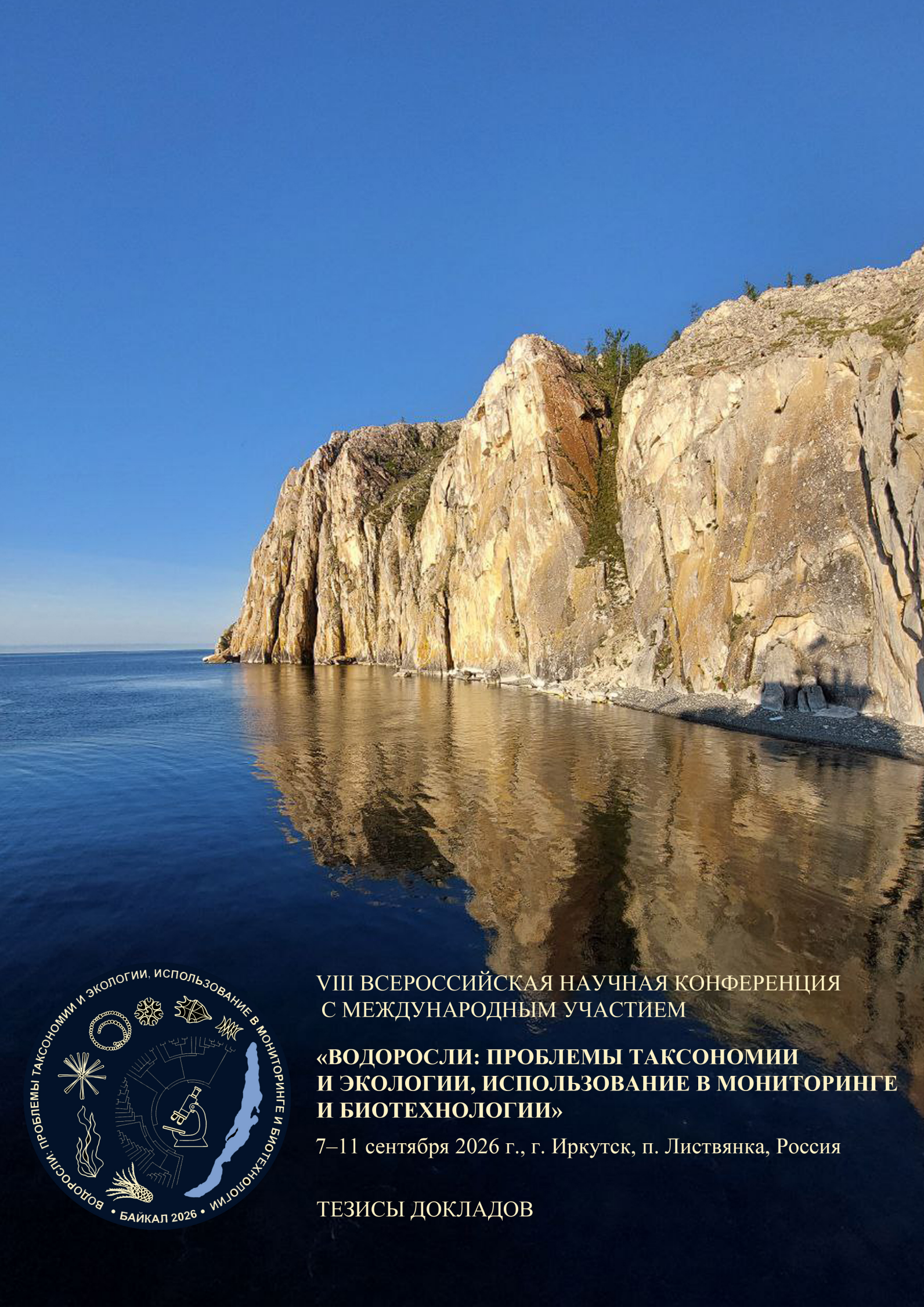




VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

**«ВОДОРОСЛИ: ПРОБЛЕМЫ ТАКСОНОМИИ
И ЭКОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МОНИТОРИНГЕ
И БИОТЕХНОЛОГИИ»**

7–11 сентября 2026 г., г. Иркутск, п. Листвянка, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук

**ВОДОРОСЛИ: ПРОБЛЕМЫ ТАКСОНОМИИ
И ЭКОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МОНИТОРИНГЕ
И БИОТЕХНОЛОГИИ**

VIII Всероссийская научная конференция с международным участием
(г. Иркутск, п. Листвянка, Россия, 7–11 сентября 2026 г.)

Тезисы докладов

Иркутск, 2026

УДК 582.26
ББК 28.591.2
В62

В62 Водоросли: проблемы таксономии и экологии, использование в мониторинге и биотехнологии [Электронный ресурс]: VIII Всероссийская научная конференция с международным участием (г. Иркутск, п. Листвянка, Россия, 7–11 сентября 2026 г.): тезисы докладов. Под ред. д.б.н., проф. Е.В. Лихошвай, к.б.н. Е.Г. Сорокиной, к.б.н. Т.А. Щербаковой. – Электрон. текст. дан (7,75 Мб). – Иркутск: Аспринт, 2026. – 175 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-R) – Систем. требования: PC, Intel ПГц, 512 Мб RAM, 7,75 Мб свобод. диск. пространства; CD-привод; ОС Windows XP и выше, ПО для чтения pdf-файлов.
ISBN 978-5-908115-58-2

Электронное издание

В сборнике представлены тезисы докладов участников VIII конференции российских и зарубежных альгологов, организованной Лимнологическим институтом СО РАН при участии Иркутской научной библиотеки им. Молчанова-Сибирского с 7 по 11 сентября 2026 г. в г. Иркутске, п. Листвянка. На конференции были рассмотрены достижения и разработки ученых, специализирующихся в различных областях альгологии, включая современные направления в изучении цианобактерий, микроводорослей и макрофитов из пресноводных, морских и почвенных экосистем.

Пленарные лекции ведущих ученых и доклады затронули широкий круг тем от систематики и таксономии с применением электронной микроскопии и молекулярной биологии до современных биотехнологий культивирования водорослей и методов мониторинга водных экосистем. Рассматривались вопросы альго-бактериальных взаимодействий, изучения разнообразия и эволюции микроводорослей с применением метабаркодинга, полногеномного и транскриптомного анализа. Отдельное внимание было уделено моделированию и применению искусственного интеллекта в альгологии.

Ключевые слова: альгология, водоросли, цианобактерии, макрофиты.

Сайт конференции: <http://lin.irk.ru/algae2026>

Место проведения: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, 7–11 сентября 2026 г., Иркутск, п. Листвянка, гостиница «Прибайкальская»: Иркутский р-н, 62-ой км Байкальского тракта, стр. 1.

Адрес оргкомитета конференции: baikal_algology@lin.irk.ru

ISBN 978-5-908115-58-2

УДК 582.26
ББК 28.591.2

© Лимнологический институт СО РАН, 2026
© Аспринт. Оформление, 2026

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ООО «СибЛабСервис»
SibLabService



**ФГБНУ «Байкальский музей
Сибирского отделения
Российской академии наук»**
Baikal Museum SB RAS



ООО «Аквариум Байкальской нерпы»
Baikal Seal Aquarium



заповедное
Прибайкалье

VIII Всероссийская научная конференция с международным участием «Водоросли: проблемы таксономии и экологии, использование в мониторинге и биотехнологии», организованная Лимнологическим институтом Сибирского отделения Российской академии наук (Иркутск), состоялась 7–11 сентября 2026 г. в п. Листвянка. На конференции были рассмотрены современные направления изучения цианобактерий, микроводорослей и макрофитов из пресноводных, морских и почвенных экосистем. Эта конференция являлась продолжением собраний альгологов, которые проходят под эгидой Российской академии наук с периодичностью два–пять лет.

I Всероссийская научно-практическая конференция под названием «Альгологические исследования: современное состояние и перспективы на будущее» проходила в Уфе на базе Башкирского государственного университета 16–18 ноября 2006 г.

II Всероссийская научно-практическая конференция изменила название на «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использования в мониторинге» и проходила в Сыктывкаре 5–9 октября 2009 г. в Институте биологии Коми Научного центра Уральского отделения РАН при участии Уральского отделения РАН, Русского ботанического общества и РФФИ.

III конференция стала международной и называлась «Международная научная конференция и школа для молодых ученых "Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использования в мониторинге"», она проходила 25–29 августа 2014 г. в Борке Ярославской обл. В ее проведении приняли участие Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН и Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, а также Научный совет по гидробиологии и ихтиологии РАН, Гидробиологическое общество при РАН, Русское ботаническое общество, РФФИ и Департамент охраны окружающей среды и природопользования Ярославской области.

IV Всероссийская научная конференция с международным участием «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге» состоялась 24–28 сентября 2018 г. в Санкт-Петербурге в стенах Ботанического института им. В.Л. Комарова. Конференция была приурочена к 110-летию выдающегося российского альголога М.М. Голлербаха. В организации конференции также участвовали Санкт-Петербургское отделение РАН, Русское ботаническое общество и РФФИ.

V Всероссийская научная конференция с международным участием «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использования в мониторинге» проходила 20–25 сентября 2021 г. в Нижнем Новгороде и была посвящена памяти известного российского альголога, основателя нижегородской альгологической школы, В.И. Есыревой. Конференция была организована коллективом кафедры ботаники и зоологии Института биологии и биомедицины Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. В число организаторов и партнеров конференции кроме ННГУ им. Н.И. Лобачевского входили Министерство экологии и природных ресурсов Нижегородской области, Нижегородские отделения Русского ботанического общества и Гидробиологического общества РАН.

VI Всероссийская научная конференция с международным участием и школа молодых ученых с расширенным названием «Водоросли: проблемы таксономии и экологии, использование в мониторинге и биотехнологии» проходила 12–18 сентября 2022 г. на базе Звенигородской биологической станции МГУ им. М.В. Ломоносова. Организаторами были коллектив сотрудников МГУ им. М.В. Ломоносова и Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН.

VII Всероссийская научная конференция с международным участием «Водоросли: проблемы таксономии и экологии, использование в мониторинге и биотехнологии», приуроченная к 300-летию РАН, была организована ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (Владивосток) и прошла 16–20 сентября 2024 г. на базе Морской биологической станции «Восток» ННЦМБ ДВО РАН (п. Ливадия, Приморский край). На этой встрече было принято решение о проведении следующей конференции на Байкале.

Организационный комитет

Сотрудники Лимнологического института СО РАН:

Председатель, д.б.н., проф., зав. отд. ультраструктуры клетки

Лихошвай Елена Валентиновна

к.б.н., доц., зав. лаб. водной микробиологии **Белых Ольга Ивановна**

к.б.н., с.н.с. отд. ультраструктуры клетки **Бедошвили Екатерина Джамбулатовна**

к.б.н., с.н.с. отд. ультраструктуры клетки **Бессудова Анна Юрьевна**

к.б.н., с.н.с. отд. ультраструктуры клетки **Галачьянц Юрий Павлович**

к.б.н., с.н.с. отд. ультраструктуры клетки **Захарова Юлия Робертовна**

к.б.н., с.н.с. отд. ультраструктуры клетки **Петрова Дарья Петровна**

к.б.н., с.н.с. лаб. водной микробиологии **Сорокикова Екатерина Георгиевна**

к.б.н., с.н.с. отд. ультраструктуры клетки **Фирсова Алена Дмитриевна**

к.б.н., н.с. отд. ультраструктуры клетки **Щербакова Татьяна Александровна**

Нач. информационно-аналитического отд. **Долид Евгений Александрович**

Программный комитет

Абдуллин Шамиль Раисович

д.б.н., г.н.с.

ФГБУН «ФНЦ Биоразнообразие наземной биоты Восточной Азии» ДВО РАН, РФ, г. Владивосток

Бачура Юлия Михайловна

к.б.н., доцент, зав. каф. биологии

Учреждение образования «Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины», Республика Беларусь, г. Гомель

Беляева Полина Геннадьевна

д.б.н., с.н.с.

Пермский ФИЦ УрО РАН, «Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН», РФ, г. Пермь

Белых Ольга Ивановна

к.б.н., доцент, зав. лаб. водной микробиологии

ФГБУН Лимнологический институт СО РАН, РФ, г. Иркутск

Воденеева Екатерина Леонидовна

к.б.н., доцент, в.н.с., зав. каф. ботаники и зоологии

ФГАОУ ВО Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского, Институт биологии и биомедицины, РФ, г. Нижний Новгород

Володина Александра Анатольевна

к.б.н., доцент, с.н.с.

ФГАОУ ВО Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, РФ, г. Калининград

Гайсина Лира Альбертовна

д.б.н., доцент, зав. лаб. молекулярной систематики фототрофных микроорганизмов им. Л.С. Хайбуллиной

ФГБОУ ВО Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, РФ, г. Уфа

Гончаров Андрей Анатольевич

д.б.н., чл.-корр. РАН, директор

ФГБУН «ФНЦ Биоразнообразие наземной биоты Восточной Азии» ДВО РАН, РФ, г. Владивосток

Гусев Евгений Сергеевич

к.б.н., с.н.с.

*ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции
им. А.Н. Северцова РАН, РФ, г. Москва*

Давидович Николай Александрович

д.б.н., г.н.с.

*ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского РАН», Карадагская научная
станция им. Т.И. Вяземского – природный
заповедник РАН, РФ, г. Феодосия*

Давыдов Денис Александрович

д.б.н., зам. дир. по научной работе

*ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр» РАН,
Полярно-альпийский ботанический сад-институт
им. Н.А. Аврорина, РФ, г. Апатиты*

Камнев Александр Николаевич

д.б.н., проф., в.н.с.

*ФГБУН Институт океанологии им. П.П.
Шишова РАН, РФ, г. Москва*

Капустин Дмитрий Александрович

с.н.с., к.б.н.

*ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А.
Тимирязева РАН, РФ, г. Москва*

Куликовский Максим Сергеевич

д.б.н., г.н.с., зав. лаб. молекулярной
систематики водных растений

*ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А.
Тимирязева РАН, РФ, г. Москва*

Лихошвай Елена Валентиновна

д.б.н., проф., г.н.с., зав. отд.
ультраструктуры клетки

*ФГБУН Лимнологический институт СО РАН,
РФ, г. Иркутск*

Мальцев Евгений Иванович

д.б.н., доцент, в.н.с., зав. лаб.
альгоэкоинжиниринга

*ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А.
Тимирязева РАН, РФ, г. Москва*

Мальцева Ирина Андреевна

д.б.н., проф., декан фак. естественных
наук

*ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный
университет», РФ, г. Мелитополь*

Неврова Елена Леонидовна

д.б.н., доцент, г.н.с.

*ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского РАН», РФ, г. Севастополь*

Патова Елена Николаевна

к.б.н., доцент, в.н.с.

*ФГБУН ФИЦ «Коми научный центр УрО РАН»,
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
РФ, г. Сыктывкар*

Селезнев Владимир Анатольевич

д.т.н., к.г.н., проф., зам. дир. по научной
работе

*ФГБУН «Самарский федеральный
исследовательский центр РАН», Институт
экологии Волжского бассейна РАН,
РФ, г. Тольятти*

Сидоров Роман Александрович

к.б.н., в.н.с., зав. лаб. липидного обмена

*ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А.
Тимирязева РАН, РФ, г. Москва*

Сысова Елена Александровна

к.б.н., доцент, зав. каф. общей экологии
и методики преподавания биологии

*Белорусский государственный университет,
биологический факультет,
Республика Беларусь, г. Минск*

СОДЕРЖАНИЕ

СООБЩЕСТВА ЦИАНОБАКТЕРИЙ И ВОДОРΟΣЛЕЙ АРХИТЕКТУРНЫХ СООРУЖЕНИЙ УРБОЭКОСИСТЕМ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ: БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ДИНАМИКА, ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ	19
Абдуллин Ш.Р., Багмет В.Б., Никулин А.Ю., Никулин В.Ю.	
РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ВОДОЕМАХ Г. КАЗАНИ (РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН).....	20
Абрамова К.И.	
ХАРАКТЕРИСТИКА НОВЫХ ТАКСОНОВ <i>LEPTOLYNGBYA</i> -ПОДОБНЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ	21
Аверина С.Г., Сенатская Е.В., Полякова Е.Ю., Пиневич А.В.	
ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ <i>TETRASELMIS VIRIDIS</i> В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ УГЛЕРОДНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ	22
Авсиян А.Л.	
КУЛЬТИВИРУЕМЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ ПРИБРЕЖЬЯ КРЫМА.....	23
Андреева Н.А., Емельянова М.С., Снарская Д.Д.	
ДЕСМИДИЕВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ (<i>ZYGNEMATOPHYCEAE</i> , <i>DESMIDIALES</i>) В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА	24
Анисимова О.В., Дьяков М.Ю.	
НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ФЛОРИСТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПОГРУЖЕННОЙ МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЧЁРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ.....	25
Афанасьев Д.Ф.	
ИЗУЧЕНИЕ АГРОБИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ГОМЕЛЬСКОМ РЕГИОНЕ.....	26
Бачура Ю.М., Новикова А.А.	
СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ ПРИ АНАЛИЗЕ СООБЩЕСТВ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ.....	27
Башенхаева М.В.	
РОЛЬ МИКРОТРУБОЧКОВОГО ЦЕНТРА И ГАММА-ТУБУЛИНА В МОРФОГЕНЕЗЕ КРЕМНЕЗЕМНЫХ ПАНЦИРЕЙ У ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ С РАЗНОЙ СИММЕТРИЕЙ	28
Бедошвили Е.Д.	
ЦИАНОБАКТЕРИИ КАК ПРОДУЦЕНТЫ ТОКСИНОВ В ОЗ. БАЙКАЛ.....	29
Белых О.И., Сороковикова Е.Г., Краснопеев А.Ю., Тихонова И.В.	
СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2020–2025 ГОДАХ	30
Беляева П.Г.	
ВИДОВОЕ БОГАТСТВО И ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЧЕШУЙЧАТЫХ ЗОЛОТИСТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ВОДОЕМАХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ	31
Бессудова А.Ю.	

РАЗНООБРАЗИЕ ЧЕШУЙЧАТЫХ ЗЛОТИСТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ АНГАРСКОГО КАСКАДА ГЭС.....	32
Бессудова А.Ю.	
СТРУКТУРА ПОРЯДКА CERAMIALES, ОСНОВАННАЯ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ ДАННЫХ	33
Богданова А.Ю.	
ВОДОРΟΣЛИ-СИМБИОНТЫ <i>RANA TEMPORARIA</i>	34
Болдина О.Н.	
ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ	35
Бондаренко Н.А.	
ДОМИНИРУЮЩИЕ ВИДЫ ФИТОПЛАНКТОНА БРАТСКОГО И УСТЬ-ИЛИМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ ЛЕТОМ 2024 ГОДА	36
Буваева В.В., Марченков А.М., Галачьянц Ю.П., Таничев А.И., Фирсова А.Д., Ширшова В.К., Лихошвай Е.В.	
ЗИМНИЙ ФИТОПЛАНКТОН НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА.....	37
Винокурова Г.В.	
ОСОБЕННОСТИ ПОДЛЕДНОГО РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ПОЙМЕННОГО ВОДОЕМА В УСЛОВИЯХ РАЗНОГО ТИПА ЗИМЫ (БАССЕЙН СРЕДНЕЙ ВОЛГИ)	38
Воденеева Е.Л., Кулизин П.В., Шарагина Е.М., Журова Д.А., Старцева Н.А., Охупкин А.Г.	
МАКРОВОДОРΟΣЛИ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	39
Володина А.А.	
ФИТОПЛАНКТОН ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В РАЙОНЕ ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА.....	40
Воякина Е.Ю.	
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМАХ	41
Гайсина Л.А., Суханова Н.В., Сущенко Р.З., Муфазалова А.С., Хилажетдинова Л.Б., Ухаткина К.Б., Махмутов А.Р., Ван Эрп И.И., Назаров Д.К., Ренганатхан П.	
СООБЩЕСТВА МИКРОЭУКАРИОТ ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРСКОГО КАСКАДА В 2024 ГОДУ ПО ДАННЫМ МЕТАБАРКОДИРОВАНИЯ.....	42
Галачьянц Ю.П., Петрова Д.П., Марченков А.М., Налимова М.А., Лихошвай Е.В.	
РОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОЙ АККЛИМАТИЗАЦИИ В МОДУЛЯЦИИ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И УСТОЙЧИВОСТИ К ТЕМПЕРАТУРЕ У ЗЕЛЕННЫХ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ.....	43
Галиева Г.Ш., Хлебова Д.Л., Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю.	
ПЕРЕМЕШИВАНИЕ КУЛЬТУР МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ (ОТ ЛАБОРАТОРНЫХ ДО ПРОМЫШЛЕННЫХ МАСШТАБОВ).....	44
Геворгиз Р.Г., Шарифуллин Б.Р., Скрипкин С.Г., Наумов И.В., Железнова С.Н.	
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАТОМОВОГО ФИТОПЛАНКТОНА В СИСТЕМАХ РЕКА-МОРЕ БОЛЬШОГО СОЧИ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2025–2026 ГОДОВ.....	45
Глушко П.А., Моисеева Ю.А.	

РОД <i>CYMBOSSELLAPHORA</i> (BACILLARIOPHYCEAE, CYMBELLALES) НА КАМЧАТКЕ: ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ	46
Глущенко А.М., Миронов А.В., Цеплик Н.Д., Мальцев Е.И., Генкал С.И., Куликовский М.С.	
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТАКСОНОМИИ ДЕСМИДИЕВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ (DESMIDIACEAE, ZYGNEMATOPHYCEAE)	47
Гончаров А.А.	
ЦИАНОБАКТЕРИИ ПРИБРЕЖНЫХ МЕСТООБИТАНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	48
Горин К.К.	
РАЗНООБРАЗИЕ ЗОЛОТИСТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ТРОПИЧЕСКОГО РЕГИОНА	49
Гусев Е.С., Мартыненко Н.А., Подунай Ю.А., Шкурина Н.А., Чонг Хуан Фан, Чан Хоан Куок, Литуанас Крис Рэй	
МОДЕЛЬ ГЕНЕРАЦИИ ДАННЫХ СЕКВЕНИРОВАНИЯ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ С КОНТРОЛИРУЕМОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ВАЛИДАЦИИ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ	50
Гутник Д.И., Букин Ю.С.	
ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАСХОЖДЕНИЕ ПОЛОВОГО ПРОЦЕССА У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА <i>HASLEA SIMONSEN</i>	51
Давидович О.И., Давидович Н.А.	
ПОЧЕМУ <i>NITZSCHIA LONGISSIMA</i> НЕ ОТНОСИТСЯ К РОДУ <i>NITZSCHIA</i> : УБЕДИТЕЛЬНЫЙ ПРИМЕР ИНТЕГРАТИВНОЙ ТАКСОНОМИИ	52
Давидович Н.А., Давидович О.И., Куликовский М.С.	
КОЛЛЕКЦИЯ ЖИВЫХ КУЛЬТУР КАРОТИНОГЕННЫХ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ ФИЦИНБИУМ: ПОПОЛНЕНИЕ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НОВЫХ ШТАММОВ	53
Данцюк Н.В., Мансурова И.М., Дегтяр И.В., Кулешова О.Н., Кирип М.П., Бочарова Е.А., Лишаев В.Н., Кривенко О.В.	
ВСТРЕЧАЕМОСТЬ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕТИПИЧНЫХ ДЛЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ	54
Дмитриева О.А., Мельник А.С., Голенко М.Н., Шартоп А.Ю.	
ВОДОРΟΣЛИ И ЦИАНОБАКТЕРИИ В ПОЧВАХ ДЕТСКИХ ПЛОЩАДОК ЮГО-ВОСТОКА МОСКВЫ	55
Дорохова М.Ф., Якушев А.В.	
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА КАК ЭЛЕМЕНТА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АКВАТОРИИ ЧЁРНОГО МОРЯ	56
Егоркин А.А., Андреева Н.А.	
«МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ»: РОССИЙСКАЯ ПЛОЩАДКА МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУКИ	57
Егоров В.Н., Корнийчук Ю.М.	
ВОДОРΟΣЛИ РОДА <i>NAUTOCOCCUS</i> (CHLOROPHYCEAE, CHLOROPHYTA) И ИХ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ИЗ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА	58
Егорова И.Н., Кулакова Н.В., Болдина О.Н.	

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ФОТОБИОСИНТЕЗА ЭЙКОЗАПЕНТАЕНОВОЙ КИСЛОТЫ В КУЛЬТУРЕ <i>PORPHYRIDIUM PURPUREUM</i> (BORY) ROSS ПРИ ВИХРЕВОМ ПЕРЕМЕШИВАНИИ	59
Железнова С.Н., Шарифуллин Б.Р., Скрипкин С.Г., Наумов И.В., Геворгиз Р.Г.	
ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ И БАКТЕРИЙ ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ	60
Захарова Ю.Р.	
ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОПЛАНКТОНА И МИКРОФИТОБЕНТОСА В РАЙОНЕ ЛОКАЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ЛИТОРАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ.....	61
Захарова Ю.Р., Фирсова А.Д., Родионова Е.В., Бузевич В.В., Лихошвай Е.В.	
ЛАМИНАРИЕВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ КАМЧАТКИ КАК ИСТОЧНИК ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ	62
Кальченко Е.И., Аминина Н.М., Юрьева М.И.	
АНАЛИЗ ГЕНОМА ПИКОЦИАНОБАКТЕРИИ РОДА <i>SYNECHOCOCUS</i> ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ	63
Калюжная О.В., Гутник Д.И., Краснопеев А.Ю., Тихонова И.В., Белых О.И.	
АЛЬГОЛОГИЯ РОССИИ В ЛИЦАХ – ВЕХИ РАЗВИТИЯ	64
Камнев А.Н.	
БИОКОНЦЕНТРИРОВАНИЕ КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В АЛЬГОЛОГИИ	65
Камнев А.Н., Стуколова И.В.	
ЗОЛОТИСТЫЕ ВОДОРΟΣЛИ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА: СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ.....	66
Капустин Д.А., Куликовский М.С.	
ВЗАИМОСВЯЗЬ КОЛИЧЕСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА С ФАКТОРАМИ СРЕДЫ В ОЗЕРАХ РАЗНОГО ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ	67
Карпаева А.Ю.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОПИЙНОСТИ ГЕНА 18S рРНК МЕТОДОМ КАПЕЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ ПЦР У НЕКОТОРЫХ МОРСКИХ ДИАТОМОВЫХ	68
Кезля Е.М., Черкашин Е.А., Лебедева Ю.Л., Глущенко А.М., Капустин Д.А., Доан Нху Х., Нгуэн Нгок Л., Хюинь Тхи Нгок Д., Куликовский М.С.	
ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА НАКОПЛЕНИЕ ВНЕКЛЕТОЧНОГО МАРЕННИНА В КУЛЬТУРАХ <i>HASLEA KARADAGENSIS</i> (BACILLARIOPHYTA)	69
Кириенко Е.С., Давидович Н.А.	
ВОДОРΟΣЛИ – ФАКТОР И ИНДИКАТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ МНОГОЦЕЛЕВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД.....	70
Кириллов В.В.	
НЕБЕЛКОВЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ КАК АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ РЕГУЛЯЦИИ ФОТОСИНТЕЗА ЦИАНОБАКТЕРИЙ И ВОДОРΟΣЛЕЙ	71
Кокшарова О.А., Сафронова Н.А.	
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ МИКРОМИЦЕТОВ У ДВУХ ВИДОВ ГЕЛОФИТОВ СЕМЕЙСТВА РОГОЗОВЫЕ	72
Кононенко Г.П., Буркин А.А.	

ФИТОПЕРИФИТОН БАССЕЙНОВ РЕК ЯКУТИИ	73
Копырина Л.И.	
ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ ВЕСЕННИХ ВРЕМЕННЫХ ВОДОЕМОВ ТОМИЛИНСКОГО ЛЕСОПАРКА (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	74
Корнилова П.Н., Хазанова К.П., Чудаев Д.А.	
ПИГМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВЕННОГО ШТАММА <i>BRACTEACOCCLUS</i> SP. MZ CH-42 ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ.....	75
Кочубей А.В., Яковийчук А.В., Черкашина С.В.	
РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ РОДА <i>CHLORELLA</i>	76
Кривенко В.В., Мальцева И.А.	
НОВЫЕ НАХОДКИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА <i>COELASTRELLA</i> (CHLOROPHYTA) В ТУНДРОВЫХ ПОЧВАХ ДУВАННОГО ЯРА (ЯКУТИЯ): ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ.....	77
Кривина Е.С., Хазанова К.П.	
ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЗОТА НА ПРОФИЛИ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ШТАММА <i>ANABAENA</i> SP.....	78
Кривова З.В., Мальцева С.Ю., Куликовский М.С., Мальцев Е.И.	
КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МАКРОФИТОВ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	79
Крупнова Т.Н., Малащенко А.С.	
МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ ВОДОРΟΣЛИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ	80
Куклин А.П.	
ОЦЕНКА РАЗНООБРАЗИЯ ВОДОРΟΣЛЕЙ ФИТОПЛАНКТОНА РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР БАССЕЙНА СРЕДНЕЙ ВОЛГИ МЕТОДОМ МЕТАБАРКОДИНГА	81
Кулизин П.В., Мартыненко Н.А., Гусев Е.С., Шарагина Е.М., Воденеева Е.Л.	
СКРЫТОЕ РАЗНООБРАЗИЕ В КОМПЛЕКСЕ <i>MICRASTERIAS MANABULESHWARENSIS</i> (DESMIDIALES, ZYGNEMATOPHYCEAE).....	82
Кулизин П.В., Мартыненко Н.А., Подунай Ю.А., Шкурина Н.А., Гусев Е.С.	
КРИПТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ У ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ	83
Куликовский М.С.	
ВОДОРΟΣЛИ В ЭКСПОЗИЦИЯХ БАЙКАЛЬСКОГО МУЗЕЯ СО РАН	84
Купчинский А.Б.	
ЭПИФИТНЫЕ ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА (ОСТРОВ СТАРИЧКОВ, БУХТА ВИЛЮЧИНСКАЯ)	85
Курбанова Л.В., Клочкова Т.А.	
ПЕРВЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ АЛЬГОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОЗ. БАЙКАЛ	86
Лихошвай Е.В.	
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ	87
Лях А.М.	

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ФИТОПЛАНКТОНА МАЛОЙ РЕКИ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ Р. СОДЕМЫ, ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)	88
Макарёнова Н.Н.	
МЕЗОГАЛОБНЫЕ ВИДЫ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ПРЕСНОМ ОЗЕРЕ ИТКУЛЬ (ХАКАСИЯ).....	89
Макеева Е.Г., Михайлина Н.Р., Семенова В.В.	
ВЛИЯНИЕ СТУПЕНЧАТОГО ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЗОТА И ФОСФОРА В ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ НА МЕТАБОЛИЗМ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ	90
Мальцев Е.И., Кривова З.В., Мальцева С.Ю., Куликовский М.С., Яковийчук А.В.	
СТРАТЕГИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА АЛЬФА-ТОКОФЕРОЛА МИКРОВОДОРΟΣЛЯМИ: КОМБИНИРОВАННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И ГИДРОКАРБОНАТА НАТРИЯ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ	91
Мальцева И.А., Яковийчук А.В., Лысова Е.А., Цюпа Е.А., Дукова И.С.	
БИОСИНТЕЗ АЛЬФА-ТОКОФЕРОЛА В МИКРОВОДОРΟΣЛЯХ: ОТ ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ К БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПЕРСПЕКТИВАМ	92
Мальцева И.А., Яковийчук А.В., Мальцева С.Ю., Куликовский М.С., Мальцев Е.И.	
ВЛИЯНИЕ СТУПЕНЧАТОГО АЗОТНОГО ГОЛОДАНИЯ НА МЕТАБОЛИЗМ ШТАММА <i>ALPINOSTOC</i>	93
Мальцева С.Ю., Кривова З.В., Мальцев Е.И.	
ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА НА ВЕГЕТАТИВНЫЙ РОСТ КАРОТИНОГЕННОЙ МИКРОВОДОРΟΣЛИ <i>COELASTRELLA RUBESCENS</i> IBSS-156 В КУЛЬТУРЕ	94
Мансурова И.М., Данцюк Н.В., Сахонь Е.Г., Кривенко О.В.	
ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ РОДА <i>EUASTRIDIMUM</i> НА ДРЕВЕ <i>DESMIDIALES</i> (ZYGNEMATOPHYCEAE, STREPTOPHYTA).....	95
Мартыненко Н.А., Кулизин П.В., Подунай Ю.А., Шкурина Н.А., Гусев Е.С.	
ВАРИАБЕЛЬНОЕ УНИПАРЕНТАЛЬНОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ МИТОХОНДРИЙ У ПРЕСНОВОДНОЙ ПЕННАТНОЙ ДИАТОМОВОЙ ВОДОРΟΣЛИ <i>ULNARIA ACUS</i>	96
Марченков А.М., Налимова М.А., Захарова Ю.Р., Давидович Н.А., Давидович О.И., Подунай Ю.А., Петрова Д.П.	
ПРИНЦИП РАБОТЫ ИННОВАЦИОННОЙ РАЗРАБОТКИ «АЛЬГОЛАМПА»	97
Махмутов А.Р., Фархутдинов Р.Г.	
ИСТОРИЯ И ТРАЕКТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЖУРНАЛА «АСТА BIOLOGICA SIBIRICA».....	98
Мацюра А.В., Яковлев Р.В., Яковлева Л.С.	
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА В УСЛОВИЯХ ЛЕТНЕГО ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО ЦВЕТЕНИЯ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 2018 ГОДУ	99
Мельник А.С., Полунина Ю.Ю., Дмитриева О.А., Голенко М.Н., Шартон А.Ю.	
АНАЛИЗ СООБЩЕСТВ НИТЧАТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ ITS МЕТАБАРКОДИНГОМ	100
Минчева Е.В., Кабилов М.Р., Тупикин А.Е., Борисенко Д.А., Букин Ю.С., Кравцова Л.С.	

ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ФИЛОГЕНИИ СЕМЕЙСТВА PINNULARIACEAE (BACILLARIOPHYCEAE)	101
Миронов А.В., Глущенко А.М., Мальцев Е.И., Нергуй С., Куликовский М.С.	
ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫХ ЭНДОСИМБИОНТОВ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ПОРЯДКА RHODALODIALES	102
Миронова Э.А., Миронов А.В., Мальцев Е.И., Куликовский М.С.	
ОСОБЕННОСТИ ПОДЛЕДНОЙ ВЕГЕТАЦИИ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ПЛАНКТОНЕ ГЛУБОКИХ ХОЛОДНОВОДНЫХ ОЗЕР	103
Митрофанова Е.Ю.	
СТОМАТОЦИСТЫ ЗОЛОТИСТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ИЗ ПРИДАТОЧНЫХ ВОДОЕМОВ: ДОНОРЫ ИЛИ РЕЦИПИЕНТЫ ДЛЯ ФИТОПЛАНКТОНА ГЛУБОКОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД ПОЛОВОДЬЯ?	104
Митрофанова Е.Ю.	
КОВСТРЕЧАЕМОСТЬ МИКРОЭУКАРИОТ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД	105
Михайлов И.С., Петрова Д.П., Букин Ю.С., Башенхаева М.В., Лихошвай Е.В.	
ДВА НОВЫХ ВИДА РОДА <i>STRICOSUS</i> (ULNARIACEAE) ИЗ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ (О. ЛИШОН, ВЬЕТНАМ): МОРФОЛОГИЯ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ДАННЫЕ	106
Муравьева А.В., Кезля Е.М., Капустин Д.А., Глущенко А.М., Цеплик Н.Д., Генкал С.И., Мальцев Е.И., Доан Нху Хай, Нгуэн Нгок Лам, Хюинь Тхи Нгок Дуйэн, Куликовский М.С.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ В КАЧЕСТВЕ БИОСТИМУЛЯТОРОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ БОЛГАРСКОГО ПЕРЦА НА ГИДРОПОНИКЕ	107
Муфазалова А.С., Яхин Э.Р., Большакова Э.Р., Хилажетдинова Л.Б., Ухаткина К.Б., Сущенко Р.З., Ренганатхан П., Назаров Д.К., Ван Эрп И.И., Гайсина Л.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НАЗЕМНЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «РАМИТ» (ТАДЖИКИСТАН)	108
Назаров Д.К., Сущенко Р.З., Махмутов А.Р., Ван Эрп И.И., Кассиров Ф.З., Гайсина Л.А.	
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД ЗАКРЕПЛЕНИЯ НЕФЕЛИНОВЫХ ПЕСКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.....	109
Невзорова Ю.В., Давыдов Д.А.	
МОЛЕКУЛЯРНО-ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЙ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ <i>NITZSCHIA</i> SP. (BACILLARIOPHYTA) (ЧЁРНОЕ МОРЕ, КРЫМ)	110
Неврова Е.Л., Челебиева Е.С., Кулешова О.Н., Кривенко О.В., Лишаев В.Н.	
НОВЫЕ НАХОДКИ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И ВОДОРΟΣЛЕЙ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА С АРХИТЕКТУРНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. ВЛАДИВОСТОКА	111
Никулин А.Ю., Никулин В.Ю., Сущенко Р.З., Багмет В.Б., Абдуллин Ш.Р.	
НОВЫЕ НАХОДКИ ВИДОВ <i>COELASTRELLA</i> НА РОССИЙСКОМ ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ.....	112
Никулин В.Ю., Сущенко Р.З., Никулин А.Ю., Багмет В.Б., Абдуллин Ш.Р., Гончаров А.А.	

COELASTRELLA FERROEDAPHICA SP. NOV. (CHLOROPHYTA), ВЫДЕЛЕННАЯ ИЗ ПОЧВ СЕВЕРНОГО УРАЛА	113
Новаковская И.В., Патова Е.Н., Шадрин Д.М., Дымова О.В., Егорова И.Н., Кулакова Н.В.	
УЛЬТРАСТРУКТУРА КЛЕТКИ LINDAVIA BAICALENSIS ИЗ ПРИРОДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ ОЗЕРА БАЙКАЛ	114
Орлова А.А.	
ФИТОПЛАНКТОННЫЕ СООБЩЕСТВА – ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ОЗЕР ПОЛЯРНОГО УРАЛА В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА И РОСТА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ	115
Патова Е.Н., Шабалина Ю.Н., Сивков М.Д.	
ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ CONTICRIBRA WEISSFLOGII (BACILLARIOPHYTA) В БЕЛАРУСИ	116
Петров В.Н.	
ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ПЕННАТНОЙ ДИАТОМОВОЙ ВОДОРΟΣЛИ ULNARIA ACUS В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД В ОЗ. БАЙКАЛ	117
Петрова Д.П., Михайлов И.С., Фирсова А.Д., Марченков А.М.	
ОСОБЕННОСТИ ПОЛОВОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ И ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА NEOSYNEDRA DELICATISSIMA (BACILLARIOPHYTA)	118
Подунай Е.А., Подунай Ю.А., Мартыненко Н.А., Давидович О.И., Давидович Н.А.	
РАЗНООБРАЗИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ РЕСПУБЛИКИ ДЖИБУТИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	119
Подунай Ю.А., Мартыненко Н.А., Шкурина Н.А., Неплюхина А.А., Идрисс Окие, Гусев Е.С.	
ВНУТРИ- И МЕЖПОПУЛЯЦИОННАЯ РЕПРОДУКТИВНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ШТАММОВ ЭКСТРЕМОФИЛЬНОГО ВИДА NAVICULA GREGARIA DONKIN	120
Полякова С.Л., Давидович Н.А.	
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА НА МИДИЙНО-УСТРИЧНЫХ ФЕРМАХ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА	121
Поспелова Н.В., Челядина Н.С., Попов М.А. Панасюк С.А.	
ВИРУСЫ ЭУКАРИОТИЧЕСКИХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ОЗ. БАЙКАЛ, ВЫЯВЛЕННЫЕ МЕТАГЕНОМИКОЙ	122
Потапов С.А., Тихонова И.В., Гутник Д.И., Белых О.И.	
СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА В АКВАТОРИЯХ РАЗМЕЩЕНИЯ МОРСКИХ ФЕРМ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)	123
Приймак А.С., Поспелова Н.В.	
НАЗЕМНЫЕ ФОТОТРОФНЫЕ БИОПЛЕНКИ ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТОВ: РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ В УСЛОВИЯХ МАЛОГО ГОРОДА (Г.О. ПУЩИНО)	124
Редькина В.В., Кривина Е.С., Темралеева А.Д.	
РОД GYROSIGMA (BACILLARIOPHYTA) В ОЗ. БАЙКАЛ	125
Родионова Е.В., Щербакова Т.А.	

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТУР ШТАММОВ <i>SYNECHOCOCCUS</i> SP. И <i>LYNGBYA AERUGINEOCAERULEA</i> F. <i>MINOR</i> В УСЛОВИЯХ КАРБОНАТООБРАЗОВАНИЯ	126
Родина О.А., Сазанова К.В., Волкова И.А., Шевченко Б.А., Снарская Д.Д., Шаварда А.Л., Франк-Каменецкая О.В.	
ВЛИЯНИЕ ПЕРЕСЫХАНИЯ ВОДОТОКА НА ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ПЕРИФИТОНА В МАЛЫХ РЕКАХ.....	127
Русанов А.Г., Траберт Ж., Киш К.Т., Ач Е.	
ДОМИНИРУЮЩИЕ ВИДЫ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ЭПИФИТОНА РЕКИ ГАЙНА (МИНСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ)	128
Свирид А.А., Богданович М.С., Кавцевич В.Н.	
ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМАХ	129
Селезнева А.В., Внукова К.В., Селезнев В.А.	
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЗОТА НА РОСТ, ПИГМЕНТНЫЙ СОСТАВ И ПРОФИЛЬ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ	130
Селезнева А.П., Кривова З.В., Гололобова М.А., Мальцев Е.И.	
ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ ГИПЕРГАЛИННЫХ ВОДОЕМОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МУЛЬТИ-МАРКЕРНОГО ДНК-МЕТАБАРКОДИНГА	131
Селиванова Е.А., Тынников О.А., Балкин А.С., Катаев В.Я., Насырова М.А., Плотников А.О.	
НОВЫЕ ДАННЫЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА О ЗЕЛЕННЫХ ГАЛОФИЛЬНЫХ МИКРОВОДОРΟΣЛЯХ КОЛЛЕКЦИИ КУЛЬТУР CALU	132
Селиванова Е.А., Тынников О.А., Снарская Д.Д.	
«НЕПОХОЖИЕ БЛИЗНЕЦЫ»: УНИКАЛЬНАЯ ПОЗИЦИОННАЯ СПЕЦИФИЧНОСТЬ СТРОЕНИЯ ТРИАЦИЛГЛИЦЕРИНОВ МАСЛИЧНЫХ ЖЕЛТО-ЗЕЛЕННЫХ И ЭУСТИГМАТОФИТОВЫХ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ IPPAS	133
Сидоров Р.А., Крапивина А.А., Казаков Г.В., Стариков А.Ю., Синетова М.А.	
РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ РОДА <i>COELASTRELLA</i>	134
Сизова Л.Э., Мальцева И.А.	
ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЦИАНОБАКТЕРИЯХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА ОТРАДНОЕ В ОКРЕСТНОСТЯХ НАУЧНО-ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ БОТАНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМЕНИ В.Л. КОМАРОВА РАН.....	135
Симоненко О.В., Горин К.К.	
СОСТАВ И ОБИЛИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ВЫГОЗЕРСКО-ОНДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ФОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)	136
Сластина Ю.Л.	
ФИТОПЛАНКТОН РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР БАСЕЙНА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ.....	137
Сластина Ю.Л., Комулайнен С.Ф.	

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА АЛЬГОЦЕНОЗА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА	138
Смирнова В.С.	
ЦИАНОБАКТЕРИИ В ГЛУБОКОВОДНЫХ ВОДОРΟΣЛЕВЫХ СООБЩЕСТВАХ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДОЕМОВ ОАЗИСА БАНГЕРА (ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА)	139
Смирнова С.В., Спиридонова Е.В.	
СРАВНИТЕЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И БИОРЕМЕДИАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ <i>TETRASELMIS VIRIDIS</i> И <i>DUNALIELLA SALINA</i> ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ГЛИФОСАТОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВЕТОВЫХ УСЛОВИЙ	140
Соломонова Е.С., Шоман Н.Ю., Акимов А.И., Рылькова О.А.	
НОВЫЕ ВИДЫ БЕНТОСНЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ: ПОЛИФАЗНЫЙ И ГЕНОМНЫЙ ПОДХОД В ТАКСОНОМИИ	141
Сорокикова Е.Г., Тихонова И.В., Краснопеев А.Ю., Гутник Д.И., Белых О.И.	
МНОГОЛЕТНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭПИФИТОНА ОЗЕРА КРАСНОГО (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)	142
Станиславская Е.В.	
ДИНАМИКА ЦИАНОБАКТЕРИЙ ПЛАНКТОТРИХЕТОВОГО КОМПЛЕКСА В «УМИРАЮЩЕМ» ОЗЕРЕ (НА ПРИМЕРЕ ОЗ. БЕЛОЕ КОСИНСКОЕ, Г. МОСКВА)	143
Старцева Н.А., Лукашова Т.А., Никишин Д.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЛАДОЖЬЯ	144
Стручкина Д.П., Трифонова И.С.	
ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА ФИТОСТИМУЛИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ ПРИ ГИДРОПОННОМ ВЫРАЩИВАНИИ КРЕСС-САЛАТА	145
Сущенко Р.З., Ренганатхан П., Гайсина Л.А.	
ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	146
Сысова Е.А.	
КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ЖГУТИКОВЫХ PROTISTA ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРСКОГО КАСКАДА	147
Таничев А.И.	
КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАТОМОВЫХ РОДА <i>PSEUDO-NITZSCHIA</i> ИЗ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ (ВЬЕТНАМ): МОРФОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ДАННЫЕ, ТОКСИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ	148
Тарасова А.И., Кезля Е.М., Капустин Д.А., Мальцев Е.И., Доан Нху Х., Нгуэн Нгок Л., Хюинь Тхи Нгок Д., Куликовский М.С.	
ФИТОПЛАНКТОН РУКАВА КРИВАЯ БОЛДА (НЕЗАРЕГУЛИРОВАННАЯ ВОЛГА)	149
Тарасова Н.Г., Быкова С.В., Мухортова О.В., Семенова А.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ	150
Тараховская Е.Р., Миронова Д.С., Орлова М.И.	

МЕТАГЕНОМНО-АССОЦИИРОВАННЫЕ ГЕНОМЫ НЕАКСЕНИЧНЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ: ТАКСОНОМИЯ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ОТБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ШТАММОВ ДЛЯ АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ.....	151
Темралеева А.Д., Арефьева Н.А., Каменев А.О., Дидович С.В.	
УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ ФИЛЛОФОРЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ГРУНТАХ ДЖАРЫЛГАЧСКОГО ЗАЛИВА ЧЁРНОГО МОРЯ.....	152
Терентьев А.С.	
МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА, АССОЦИИРОВАННЫЕ С ЦИАНОБАКТЕРИЯМИ В ПРИРОДНЫХ ОБРАЗЦАХ И НЕАКСЕНИЧНЫХ КУЛЬТУРАХ ИЗ ОЗ. БАЙКАЛ	153
Тихонова И.В., Краснопеев А.Ю., Сорокикова Е.Г., Потапов С.А., Белых О.И.	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССИЧЕСКИХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ФИТОПЛАНКТОНА НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ	154
Тюрнёв И.Н., Цыбекмитова Г.Ц., Ташлыкова Н.А., Титова Л.А., Асламов И.А.	
РАЗНООБРАЗИЕ СТОМАТОЦИСТ ХРИЗОФИТОВЫХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ	155
Фирсова А.Д.	
ИЗУЧЕНИЕ РОСТОСТИМУЛИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ БАЗИЛИКА (<i>OSIMUM BASILICUM</i> L.) НА ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМАХ	156
Хилажетдинова Л.Б., Яхин Э.Р., Большакова Э.Р., Ухаткина К.Б., Муфазалова А.С., Сущенко Р.З., Ренганатхан П., Назаров Д.К., Гайсина Л.А.	
МИКРОВОДОРΟΣЛИ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ АГЕНТЫ СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕРОДА: ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРИРОДНЫХ ШТАММОВ.....	157
Хлебова Д.Л., Галиева Г.Ш.	
КОНЦЕПЦИЯ РОДА <i>NODOSILINEA</i> (NODOSILINEALES, CYANOBACTERIOPHYTA): КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛЮЧ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДОВ	158
Хмельницкая М.А., Темралеева А.Д.	
ФИЛОГЕНИЯ И МОРФОЛОГИЯ НЕКОТОРЫХ МОНОШОВНЫХ ДИАТОМОВЫХ АЗИАТСКОГО РЕГИОНА	159
Цеплик Н.Д., Глущенко А.М., Миронов А.В., Генкал С.И., Мальцев Е.И., Нергуи С., Куликовский М.С.	
ОСОБЕННОСТИ РОСТА ПОЧВЕННОГО ШТАММА <i>CHLOROCOCCUM</i> <i>OLEOFACIENS</i> ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ	160
Черкашина С.В., Яковийчук А.В., Кочубей А.В.	
СТРАТИФИКАЦИЯ СООБЩЕСТВА ПРЕСНОВОДНЫХ БЕНТОСНЫХ ДИАТОМОВЫХ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	161
Чудаев Д.А., Благовещенская Е.Ю.	
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ НЕКОТОРЫХ РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМОВ БАССЕЙНА СРЕДНЕЙ ВОЛГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА.....	162
Шарагина Е.М., Воденеева Е.Л., Кулизин П.В., Журова Д.А., Старцева Н.А., Охалкин А.Г.	

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА НА ФИТОПЛАНКТОН ЧЁРНОГО МОРЯ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД	163
Шоман Н.Ю., Соломонова Е.С., Акимов А.И.	
ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО И ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)	164
Шинкаренко А.Т., Поспелова Н.В.	
ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ ЭПИФИТОНА <i>ELLISOLANDIA ELONGATA</i> (RHODORHYNATA) В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ МЫСА МАРТЬЯН (П-ОВ КРЫМ, ЧЁРНОЕ МОРЕ)	165
Широян А.Г., Бондаренко А.В.	
АЭРОФИТНАЯ ВОДОРΟΣЛЬ <i>TRENTPOHLIA UMBRINA</i> В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ: <i>TERRA INCOGNITA</i>	166
Шишлянникова А.Б., Змитрович И.В.	
ВЫДЕЛЕНИЕ НОВЫХ ИЗОЛЯТОВ ХИЩНЫХ ПРОТИСТОВ И ПОЕДАНИЕ ИМИ ТОКСИЧНЫХ И НЕТОКСИЧНЫХ ШТАММОВ <i>MICROCYSTIS AERUGINOSA</i> , АССОЦИИРОВАННЫХ С ВРЕДНОСНЫМ ЦВЕТЕНИЕМ ВОДОРΟΣЛЕЙ	167
Щукина М.О., Загумённый Д.Г., Беляев А.О., Яльцев Г.С., Загумённая О.Н., Цзян М., Гун И., Тихоненков Д.В.	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ РЕКИ ВОЛГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ МЕТАБАРКОДИНГА	168
Щукина М.О., Кирюхин Б.А., Загумённый Д.Г., Беляев А.О., Цветков А.И., Тихоненков Д.В.	
DIATOM DIVERSITY AND COMMUNITY STRUCTURE OF LAKE UGII, MONGOLIA	169
Bukhchuluun Ts., Barkhas L., Erdenesukh E.	
ALGAL ASSEMBLAGES AND RADIOCARBON DATING–BASED RECONSTRUCTION OF PALEOLIMNOLOGICAL CONDITIONS IN THE YAMUNA RIVER, DELHI.....	170
Chopra V., Sharma J.G., Sahoo D.	
BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF CYANOBACTERIA FROM TECHNOGENIC DEPOSITS OF THE MURMANSK REGION	171
Davydov D., Vilnet A., Nevzorova Ju.	
COMPATIBLE SOLUTES IN CYANOBACTERIA: BIOTECHNOLOGICAL APPLICATION AND METABOLIC REGULATORY BASIS	172
Luo Q., Lu X.	
DURATION-DEPENDENT EFFECTS OF MACROALGAL BIOSTIMULANT SEED PRIMING ON GERMINATION KINETICS AND SEEDLING VIGOR IN TOMATO (<i>SOLANUM LYCOPERSICUM</i>).....	173
Renganathan P., Gaysina L.A.	
DISTINCTIVE AND NOVEL GENOMIC FEATURES OF CYANOPHAGES INFECTING FRESHWATER FILAMENTOUS CYANOBACTERIA	174
Zhu T., Shi Y., Ziemann M., Hess W.R., Lu X.	

СООБЩЕСТВА ЦИАНОБАКТЕРИЙ И ВОДОРОСЛЕЙ АРХИТЕКТУРНЫХ СООРУЖЕНИЙ УРБОЭКОСИСТЕМ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ: БИОРАЗНООБРАЗИЕ, ДИНАМИКА, ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

Абдуллин Ш.Р., Багмет В.Б., Никулин А.Ю., Никулин В.Ю.

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии
ДВО РАН, Владивосток, Россия
e-mail: crplant@mail.ru

Архитектурные сооружения (АС) широко распространены на Земле и представляют собой искусственные субстраты для различных организмов. Цианобактерии и водоросли часто служат причиной обрастания зданий, в том числе имеющих культурно-историческую ценность, вызывая их разрушение. При этом видовой состав этих организмов и закономерности процессов колонизации остаются слабо изученными. В 2018–2019 и в 2024 г. с использованием комплексного подхода (культуральные методы, изучение онтогенеза, световая, конфокальная и сканирующая электронная микроскопия, молекулярно-генетический анализ) были проведены исследования разнообразия цианобактерий и водорослей на разновозрастных АС из городов Владивостока и Уссурийска на юге российского Дальнего Востока (РДВ), отобраны 64 пробы, проанализированы абиотические факторы. Всего выявлено 117 видов и внутривидовых таксонов цианобактерий и водорослей: Cyanobacteria – 15 видов, Heterokontophyta (Coscinodiscophyceae – 1, Bacillariophyceae – 48, Eustigmatophyceae – 1, Xanthophyceae – 1) – 51, Chlorophyta – 45 видов и внутривидовых таксонов, Charophyta – 6 видов. Во Владивостоке выявлено 96 видов этих организмов, в Уссурийске – 35, сходство их таксономического состава было ниже среднего. Из г. Владивостока в 2024 г. с использованием комплексного подхода описан новый вид *Stauroneis urbani* Bagmet, Abdullin, A. Nikulin, V. Nikulin & Gontcharov (Bacillariophyceae). Проанализированы особенности жизненного цикла, цитологии, морфологии и генетики моноклональных культур, впервые обнаруженных на территории России аэрофитных диатомовых водорослей *Luticola ectorii* Levkov, Metzeltin & A.Pavlov и *L. sparsipunctata* Levkov, Metzeltin & A.Pavlov. Также на АС Владивостока выявлены некоторые новые для территории России и региона таксоны зеленых водорослей. С использованием подхода Браун-Бланке по некоторым пробам с АС г. Владивостока, а также по изученным ранее пробам почв РДВ впервые описано безранговое сообщество водорослей *Deuterostichococcus epilithicus* Pröschold & Darienko. Статистически значимая корреляция числа видов цианобактерий и водорослей на АС Владивостока и Уссурийска отмечена только с возрастом постройки АС и с влажностью воздуха. В различные сезоны 2024 г. на трех модельных объектах в г. Владивостоке общее число видов этих организмов и их соотношение по отделам отличалось, наибольшее число таксонов было выявлено летом. При анализе сукцессии сообществ фототрофных организмов на разновозрастных АС обнаружено, что число их видов уменьшается при снижении возраста постройки. Сукцессию можно отнести к автогенной, аналогичной процессу зарастания скал. Только на наиболее старых зданиях выявлены *Aerophilia* cf. *roeseana* (Rabenhorst) Danz, Van de Vijver & Kociolek (Coscinodiscophyceae) и *Xanthonema* cf. *sessile* (Vinatzer) Ettl & Gärtner (Xanthophyceae), которые можно считать индикаторами последней стадии сукцессии. Согласно полученным данным выработаны практические рекомендации по снижению биоповреждений АС в урбоэкосистемах Владивостока и Уссурийска.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00224, <https://rscf.ru/project/24-24-00224/>.

РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ВОДОЕМАХ Г. КАЗАНИ (РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН)

Абрамова К.И.

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, Казань, Россия
e-mail: kseniaiv@yandex.ru

Столица Республики Татарстан (Казань) – урбанизированная территория, богатая водоемами. Она находится в сложных естественных гидрогеологических условиях на фоне постоянного колебания уровня грунтовых вод под влиянием Куйбышевского водохранилища, техногенной нагрузки, связанной с поступлением неочищенных сточных вод, которые ухудшают состояние подземных вод города и влияют на качество поверхностных вод и донных отложений. Следствием антропогенной нагрузки является эвтрофирование водоемов, сопровождающееся массовым развитием цианобактерий, приводящее к «цветению» воды в летне-осенний период. В ходе мониторинга водных объектов г. Казани в период с 2017 по 2024 год было обнаружено более 100 представителей цианобактерий, включая потенциально токсичные виды. По флористическому богатству цианобактерии занимали третье место после зеленых и диатомовых водорослей. К массовым видам, численность и биомасса которых в эвтрофных водоемах могут достигать критических значений, влекущих возникновение риска для здоровья людей, относились: *Anabaena flos-aquae* Brebisson ex Born. & Flah., *A. scheremetieviae* Elenkin, *A. cylindrica* Lemmermann, *Anabaena* sp., *Anabaenopsis* cf. *arnoldii* Aptekarj, *Anabaenopsis* sp., *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *A. elenkinii* Kisselev, *Coelosphaerium confertum* West & G.S. West, *C. kuetzingianum* Nägeli, *Gloeocapsa limnetica* (Lemmermann) Hollerbach, *Gomphosphaeria lacustris* Chodat, *Lyngbya limnetica* Lemmermann, *Merismopedia tenuissima* Lemmermann, *Microcystis aeruginosa* (Kützinger) Kützinger, *M. flos-aquae* (Wittrock) Kirchner, *M. firma* (Kützinger) Schmidle, *M. pulverea* (H.C. Wood) Forti, *Oscillatoria limnetica* Lemmermann, *O. limnetica* var. *acicularis* Nygaard, *O. planctonica* Wołoszyńska, *Phormidium mucicola* Nauman & Huber-Pestalozzi, *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek, *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek, *Pseudanabaena* sp., *Romeria gracilis* (Koczwara) Koczwara, *Synechocystis aquatilis* Sauvageau, *Woronichinia naegelianae* (Unger) Elenkin.

Интенсивное «цветение» водоемов цианобактериями наблюдается преимущественно в мелководных экосистемах, хронически подверженных антропогенной нагрузке, где донные отложения являются пулом биогенных элементов. «Цветение» имеет эпизодический характер в межгодовой динамике с пиком развития в летне-осенний период. Обилие цианобактерий нередко коррелирует с теплыми и маловодными вегетационными сезонами. Фосфор выступает в роли лимитирующего компонента для планктона, что определяет его значение как важного фактора развития цианобактерий. В период увеличения нагрузки по общему фосфору (более 0,2 мг/л) вода приобретает интенсивно зеленый оттенок. В поверхностном слое воды содержание хлорофилла *a* достигает 500–900 мкг/л, биомасса фитопланктона варьирует в пределах 45–95 мг/л, численность – 450–950 млн кл./л. Условия в таких водоемах соответствуют 5 классу качества воды «предельно-грязные», обилие фитопланктона достигает уровня гиперэвтрофии. В условиях отсутствия явного сброса загрязненных сточных вод основной причиной увеличения концентрации в толще воды могут служить процессы летней гомотермии, возникающей в период похолодания, с температурной разницей более 8–10 °С. Это приводит к перемешиванию обогащенных биогенными элементами придонных слоев с поверхностными водами, что является триггерным фактором для развития цианобактерий в мелководных водоемах.

ХАРАКТЕРИСТИКА НОВЫХ ТАКСОНОВ *LEPTOLYNGBYA*-ПОДОБНЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

Аверина С.Г.¹, Сенатская Е.В.¹, Полякова Е.Ю.², Пиневич А.В.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

² University of Pisa, Пиза, Италия

e-mail: s.averina@spbu.ru

При поисках цианобактерий, использующих дальний красный свет, выделены новые нитчатые штаммы простой морфологии. Трихомы диаметром менее 2 мкм состоят из изодиаметрических и/или цилиндрических клеток, покрыты в разной степени выраженным чехлом и не образуют дифференцированных клеток (гетероцист и акинет). Вегетативные клетки не содержат газовых везикул, характерных для планктонных форм. Данный набор морфологических признаков соответствовал фенотипическому диагнозу филогенетически гетерогенной группы так называемых *Leptolyngbya*-подобных цианобактерий, для идентификации которых используется полифазный анализ, включающий генотипирование.

Проведенный анализ выделенных нами штаммов выявил три представителя новых таксонов уровня вида или рода в составе сем. *Leptolyngbyaceae* (пор. *Leptolyngbyales*). Описаны два новых вида – *Leptolyngbya fluviusnevae* (типовой штамм CALU 1935) и *Kovacikia brocelensis* (типовой штамм CALU 1929), происходящие из пресных водоемов. Кроме того, штамм CALU 1928, выделенный из почвы, по данным анализа последовательности гена 16S рРНК имеет уровень сходства <95% с последовательностями представителей известных родов этого семейства и, возможно, представляет собой новый род, нуждающийся в описании.

Цианобактерии, выделенные из прибрежных участков акватории Чёрного моря, на основе данных генотипирования были отнесены к родам *Leptothoe* (штаммы CALU 2017 и CALU 2018), *Nodosilinea* (CALU 2019 и CALU 2020) и *Salileptolyngbya* (CALU 2021, CALU 2022, CALU 2023, CALU 2024, CALU 2025, CALU 2026, CALU 2027 и CALU 2028), относящимся к сем. *Nodosilineaceae* (пор. *Nodosilineales*). Низкие уровни сходства последовательностей генов 16S рРНК (<98%) с референсными последовательностями известных таксонов и особенности организации 16S–23S ITS позволяют рассматривать их как новые виды соответствующих родов.

Все вышеуказанные новые таксоны адаптивно синтезируют тандем вспомогательных хлорофиллов *d* и *f*, что позволяет им использовать дальний красный свет (>700 нм) при дефиците освещения белым светом (400–700 нм). Для представителей вышеперечисленных родов сем. *Nodosilineaceae* данная способность отмечается впервые.

Исследование поддержано грантом РНФ № 24-24-00052 и выполнено при технической поддержке ресурсных центров Научного Парка СПбГУ «Культивирование микроорганизмов» (в рамках выполнения ГЗ № 124032000041-1) и «Молекулярные и клеточные технологии» (в рамках выполнения ГЗ № 125022803066-3).

ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ *TETRASELMIS VIRIDIS* В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ УГЛЕРОДНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

Авсиян А.Л.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия
e-mail: anna_avs@ibss-ras.ru

Микроводоросль *Tetraselmis viridis* (Rouchijajnen) R.E.Norris, Hori & Chihara является перспективным объектом для альгобиотехнологии благодаря быстрому росту и значительному содержанию липидов, включая полиненасыщенные жирные кислоты. Благодаря высокой нутритивной ценности виды рода *Tetraselmis* F.Stein часто применяются в качестве кормовых объектов в аквакультуре, а также имеют перспективы для обогащения функциональных продуктов питания. На продуктивность культур микроводорослей при естественном освещении в полупромышленных условиях влияют изменчивые факторы среды, эффект масштабирования и обеспечение углеродным питанием, необходимым для фотосинтеза. Целью данной работы была оценка влияния углеродного обеспечения на продукционные характеристики *T. viridis* при полупромышленном культивировании на естественном освещении в условиях региона Севастополя.

Культивирование осуществляли в открытых бассейнах, расположенных в тепличном альгобиотехнологическом модуле, в накопительном режиме. В контрольном варианте не проводилось дополнительного внесения источника углерода. В опытном варианте в качестве источника углеродного питания использовали CO₂, подача которого контролировалась при помощи pH-контроллера.

В контрольном варианте стадия линейного роста как по биомассе, так и по численности клеток наблюдалась с 4-х по 6-е сутки. После 8-х суток наступала стационарная стадия, а к 12-м суткам начиналась стадия отмирания. Максимальная среднесуточная продуктивность по биомассе составила 0,065 г/л/сут. Максимальная биомасса достигала 0,5 г/л, а максимальная численность – $12,27 \times 10^6$ кл./мл.

В варианте с дополнительным внесением CO₂ можно было выделить два участка линейного роста: с 3-х по 8-е сутки, со среднесуточной продуктивностью 0,095 г/л/сут, и с 9-х по 12-е сутки, с продуктивностью 0,088 г/л/сут. В среднем, продуктивность была выше в 1,4 раза, чем в контрольном варианте. Максимальная биомасса при дополнительном обеспечении углеродом составила 1,1 г/л, а максимальная численность – $39,8 \times 10^6$ кл./мл.

На основании динамики плотности культуры в течение суток вычисляли дневную продукцию и ночную потерю биомассы. В контрольном варианте дневная продукция на линейной стадии роста была 10,2 г/м², а в среднем составила 7,8 г/м², а при внесении CO₂ была значительно выше (14,6 г/м²). Ночная потеря биомассы в контроле в среднем составила 12,5% от биомассы, а при внесении CO₂ снижалась до 9,5% от биомассы.

В обоих вариантах опыта выявлена отрицательная корреляция КПД фотосинтеза и суммарной облученности. Внесение CO₂ способствовало повышению КПД фотосинтеза: в контрольном варианте он составлял от 2,7 до 12,8% (в среднем 7,1%), а при обеспечении CO₂ – от 3,2 до 17,7% (в среднем 12%).

В целом было показано, что дополнительное углеродное обеспечение при полупромышленном культивировании *T. viridis* в условиях региона Севастополя способствует увеличению продуктивности и максимальной биомассы и обеспечивает повышение эффективности утилизации солнечной энергии.

Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ № 124022400152-1.

КУЛЬТИВИРУЕМЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ ПРИБРЕЖЬЯ КРЫМА

Андреева Н.А.¹, Емельянова М.С.², Снарская Д.Д.²

¹ *Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия*

² *Научный парк СПбГУ, Ресурсный центр «Культивирование микроорганизмов», Санкт-Петербург, Россия*

e-mail: andreeva.54@list.ru

Исследования, проводимые нами в течение ряда лет, показали, что цианобактерии достаточно широко распространены в различных экотопах прибрежной акватории Чёрного моря, уступая в этом отношении только диатомовым водорослям. Они активно развиваются в фитопланктоне, в перифитонных и бентосных сообществах.

Образцы отбирали на различных глубинах в ходе экспедиций у крымского побережья акватории Чёрного моря в различные сезоны. Обнаруженные цианобактерии принадлежали к нескольким родам из порядков Synechococcales, Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales и некоторых других. В ходе исследований альгологического состава различных экотопов проводилось выделение культур цианобактерий. Процесс включал несколько этапов: получение накопительных культур при длительном культивировании нативного материала на питательной среде и процедура очистки полученных изолятов различными методами. Морфологию цианобактерий изучали на прижизненных препаратах с использованием световых микроскопов Levenhuk 740T и Leica DM2500 при увеличении ×400. Секвенирование фрагментов гена 16S рРНК осуществляли методом капиллярного электрофореза.

В результате очистки цианобактериальных штаммов из рабочей коллекции было получено 54 униалгальные культуры, включающие 13 штаммов из перифитона, 5 штаммов из эпилимниона (естественного обрастания камней), 17 штаммов из черноморского бентоса (с глубины 20–92 м), 2 штамма из бентоса Азовского моря (с глубины 9–12 м) и 17 штаммов из фитопланктона. Проведено генотипирование штаммов с использованием специфических цианобактериальных праймеров, получены последовательности фрагмента гена 16S рРНК длиной около 630 п.н. Штаммы депонированы в коллекцию CALU Ресурсного центра «Культивирование микроорганизмов» Научного парка СПбГУ.

Согласно современной классификации, штаммы цианобактерий являлись представителями семи порядков (Synechococcales, Nodosilineales, Oculatellales, Leptolyngbyales, Chroococcales, Chroococcidiopsidales и Nostocales), 12 семейств (Aphanothecaceae, Geminocystaceae, Synechococcaceae, Prochlorococcaceae, Nodosilineaceae, Cymatolegaceae, Oculatellaceae, Leptolyngbyaceae, Pleurocapsaceae, Chroococcidiopsidaceae, Nostocaceae и Nodulariaceae) и 18 родов (Synechococcus, Cyanobacterium, Cyanobium, Ciimarium, Gibliniella, Nodosilinea, Leptoelongatus, Leptothoe, Sodaleptolyngbya, Vacuolonema, Rippkaea, Romeriopsis, Salileptolyngbya, Odorella, Chroococcidiopsis, Nostoc, Desmonostoc и Nodularia).

Морские цианобактерии в настоящее время считаются одной из наиболее перспективных групп организмов для выделения различных биохимически активных натуральных продуктов с потенциальным противораковым действием. Поэтому более детальное исследование новых черноморских культивируемых цианобактерий позволит в дальнейшем использовать их в качестве возможных объектов биотехнологии.

ДЕСМИДИЕВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ (ZYGNEМАТОРНУСЕАЕ, DESMIDIALES) В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЭТА

Анисимова О.В., Дьяков М.Ю.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: flora_oa@mail.ru

Цель проведения космического эксперимента заключалась в исследовании особенностей роста и морфологических изменений в клетках десмидиевых водорослей в условиях космического полета.

20 августа 2025 г. с космодрома Байконур осуществлен успешный запуск ракеты-носителя «Союз-2.1б» с космическим аппаратом «Бион-М» № 2. Спутник находился на околоземной полярной орбите на высоте 370–380 км на протяжении 30 суток. 19 сентября 2025 г. аппарат успешно приземлился. В течение последующих суток весь научный альгологический материал был подвергнут анализу.

В эксперименте использованы штаммы десмидиевых водорослей из коллекции чистых культур Звенигородской биостанции МГУ: *Euastrum ansatum* Ehrenberg ex Ralfs, *E. bidentatum* Nägeli, *Micrasterias americana* Ehrenberg ex Ralfs, *M. papillifera* Brébisson ex Ralfs, *Pleurotaenium ehrenbergii* (Ralfs) De Bary, *Xanthidium cristatum* Brébisson ex Ralfs. Водоросли выращивали в герметичных пробирках на питательной среде Waris-H при температуре +23 °С, освещенности 10 мкмоль/(м²·с) и световом режиме 12 ч света / 12 ч темноты. В культурах определяли линейные размеры клеток, степень развитости хлоропластов, соответствие симметрии, а также численность живых и морфологически измененных клеток.

Сравнение данных космического эксперимента с контролем показало, что культуры всех испытуемых видов десмидиевых водорослей имели размерные характеристики клеток, соответствующие таковым в морфологическом диагнозе вида. Все клетки имели развитые пиреноиды нормального строения, без отклонений. В клетках водорослей из культур *Euastrum ansatum*, *E. bidentatum* и *Pleurotaenium ehrenbergii* дефектов развития хлоропласта не обнаружено. В культуре *Micrasterias americana* изредка встречались клетки с пустотами в центральной части хлоропласта. У *M. papillifera* часто обнаруживались клетки с повышенной грануляцией хлоропласта и пустотами в центральной части. В культуре *Xanthidium cristatum* нередко наблюдались клетки с отмирающим хлоропластом, а также клетки с повышенной складчатостью хлоропласта в периферической и центральной зонах. Все подобные дефекты были обнаружены и в контрольной культуре.

Изучение симметрии полуклеток в культурах водорослей в условиях космического эксперимента и в контроле показало, что число уродливых форм не превышало 5% от общего количества клеток. Отклонения в развитии, относящиеся к нерасхождению клеток, отмечены у всех культур, кроме *M. papillifera* и *Pleurotaenium ehrenbergii*. Такой тип уродств встречался редко (менее 1% клеток), однако часто приводил к быстрой гибели клетки. Искривление полуклетки наблюдалось только в двух культурах: *Euastrum ansatum* и *Pleurotaenium ehrenbergii*. Как в эксперименте, так и в контроле частота встречаемости этого уродства составляла не более 2%. Аномалии развития лопастей клетки (недоразвитость и гипертрофия размеров, кривизна углов между лопастями и полное отсутствие лопастей) встречены у всех культур (не более 5%). Превышение доли уродств в культурах, вегетировавших в космосе, по отношению к контролю на Земле, статистически не существенно. Таким образом, эксперимент показал, что микрогравитация и гипوماгнитное поле не оказали значимого влияния на развитие сложной морфологической структуры клеток десмидиевых водорослей.

НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ФЛОРИСТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПОГРУЖЕННОЙ МАКРОСКОПИЧЕСКОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЧЁРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

Афанасьев Д.Ф.

ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

e-mail: afanasevdf@vniro.ru

В результате проведенных в 2009–2025 гг. исследований донной макроскопической растительности в северо-восточной части Чёрного моря и юго-восточной части Азовского моря методом эколого-флористической классификации выявлено 5 классов, 7 порядков, 12 союзов, 25 ассоциаций и 5 субассоциаций макроводорослей и высших водных растений. Проанализированы основные особенности формирования черноморской и азовоморской донной растительности [1–6]. В то же время ряд вопросов происхождения и организации этих сообществ остаются открытыми. Так, одной из особенностей черноморской донной растительности является большое количество экотонных сообществ, которые требуют особо тщательного исследования и, возможно, выделения дополнительных ассоциаций. Кроме того, необходимо расширить географию исследований и включить в нее анализ макроводорослевых сообществ лиманно-плавневой зоны Азовского моря, заливов и бухт северного, северо-восточного и северо-западного берегов, описать с эколого-флористической точки зрения донные сообщества Крымского полуострова. Особо необходимо подчеркнуть явно сборный характер выделенного для Средиземного моря и Атлантического океана класса *Entophysalidetea deustae* Giaccone in Bültmann et al. 2015 (фотофитные морские сообщества микро-макроводорослей на твердом субстрате супралиторальной, псевдолиторальной, литоральной и верхней сублиторальной зон морей и океанов северного полушария), который, на наш взгляд, нуждается в ревизии и разделении на несколько отдельных классов.

1. Афанасьев Д.Ф., Абдуллин Ш.Р. Синтаксономия класса *Zosteretea* Pignatti 1953 восточной части Чёрного и Азовского морей // Биология моря. 2024. Т. 50. С. 143–156. DOI: 10.31857/S0134347524020056.
2. Афанасьев Д.Ф., Абдуллин Ш.Р. Синтаксономия зимних сообществ водорослей-макрофитов супралиторали и псевдолиторали северо-кавказского побережья Чёрного моря // Биология моря. 2025. Т. 51. С. 3–15. DOI: 10.7868/S3034526X25030016.
3. Афанасьев Д.Ф., Абдуллин Ш.Р. Синтаксономия однолетних и сезонно-летних сообществ водорослей-макрофитов супралиторали и псевдолиторали северо-кавказского побережья Чёрного моря // Биология моря. 2025. Т. 51. С. 185–196. DOI: 10.31857/S0134347525040017.
4. Afanasyev D.F., Abdullin Sh.R. Syntaxonomy of oligosaprobiont macroalgae communities of the Black Sea sublittoral (North Caucasus shelf, Russia) // Plant Biosystems. 2022. V. 156. № 5. P. 1222–1236. DOI: 10.1080/11263504.2022.2029970.
5. Afanasyev D.F., Abdullin Sh.R. Floristic classification of opportunistic green macroalgae communities of the European myxomesohaline seas // Botanica Pacifica. 2024. № 13. P. 167–177. DOI: 10.17581/bp.2024.13115.
6. Afanasyev D.F. et al. Syntaxonomy of Charophyte Algal Communities in the Northeastern Part of the Black Sea (Russia) // Environments. 2023. V. 10. № 154. P. 1–15. DOI: 10.3390/environments10090154.

ИЗУЧЕНИЕ АГРОБИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ГОМЕЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Бачура Ю.М., Новикова А.А.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

e-mail: novikovaalyona2000@gmail.com

Симбиотические ассоциации цианобактерий и микроводорослей с растениями имеют древнее эволюционное происхождение и охватывают широкий круг хозяев – от мхов и печеночников до покрытосеменных растений [1]. В ответ на сигналы растения цианобактерии дифференцируют специализированные структуры – гормогонии, которые служат «инфекционными единицами» для колонизации корней, а внутри симбиотической ниши повышают частоту гетероцист для усиления азотфиксации. Как цианобактерии, так и микроводоросли выделяют в ризосферу широкий спектр биологически активных веществ: фитогормоны (ауксины, цитокинины, гиббереллины), полисахариды, витамины и аминокислоты, что способствует развитию корневой системы, улучшению усвоения питательных элементов и повышению устойчивости растений к абиотическим стрессам [2–5].

Изучение штаммов почвенных водорослей и цианобактерий Гомельского региона является перспективным направлением для создания эффективных биопрепаратов, адаптированных к условиям данного агроклиматического района.

В ходе проведенных исследований установлено, что суспензии микроводорослей родов *Chlorella* и *Vischeria* и цианобактерий рода *Nostoc*, а также альгоцианобактериальные комплексы на их основе оказывают выраженное стимулирующее действие на рост и развитие ряда овощных и зерновых культур. Положительный эффект отмечен для огурцов, томатов, ячменя, ржи и кукурузы.

Применение фототрофных микроорганизмов способствует активизации ростовых процессов: увеличиваются длина и масса проростков в лабораторных экспериментах, улучшается продуктивность растений в полевых условиях. Например, у ячменя отмечено увеличение длины колоса, количества и массы зерна, у томатов и огурцов – стимуляция формирования боковых побегов, цветков и плодов.

Наибольшая эффективность достигается при использовании альгоцианобактериальных комплексов, действие которых превосходит эффект от внесения монокультур. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения изученных фототрофных микроорганизмов в качестве биостимуляторов роста растений.

1. de Vries S., de Vries J. Evolutionary genomic insights into cyanobacterial symbioses in plants // Quantitative Plant Biology. 2022. V. 3. P. e16. DOI: 10.1017/qpb.2022.3.

2. Graham L.E. et al. Evolutionary roots of plant microbiomes and biogeochemical impacts of nonvascular autotroph-microbiome systems over deep time // Current Opinion in Plant Biology. 2024. V. 105. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.pbi.2024.102567.

3. Лукьянов В.А., Стифеев А.И. Прикладные аспекты применения микроводорослей в агроценозе. – Курск: КГСХА, 2014. – 181 с.

4. Терещенко Н.Н. Биоудобрения на основе микроорганизмов. – Томск: ТГУ, 2003. – 60 с.

5. Батаева Ю.В. и др. Повышение продуктивности растений защищенного грунта при обработке зелеными микроводорослями и цианобактериями // Экологические системы и приборы. 2025. № 5. С. 49–54. DOI: 10.25791/esip.5.2025.1523.

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ ПРИ АНАЛИЗЕ СООБЩЕСТВ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Башенхаева М.В.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: maria.bashenkhaeva@gmail.com

Микроводоросли – это одноклеточные фотосинтезирующие организмы, составляющие основу фитопланктона пресных и морских водных экосистем. Они играют ключевую роль в круговороте углерода, кремния и других питательных веществ, а также формируют основу пищевых цепей [1]. Классическим методом изучения микроводорослей служит микроскопия, основанная на морфологических признаках. Для экологического мониторинга, помимо микроскопии, также применяют метабаркодирование – метод, основанный на исследовании последовательностей маркерных генов в суммарной ДНК образца [2]. Выбор маркерного гена и праймеров является важным этапом метабаркодирования, поскольку от него зависит то, насколько точно будет идентифицирован состав организмов из разных систематических групп. Озеро Байкал отличается высоким разнообразием микроводорослей, многие из которых являются эндемиками. Универсальные маркеры на фрагменты гена 18S рРНК зачастую не идентифицируют некоторые байкальские виды несмотря на то, что они отмечены при микроскопии. Исходя из этого, в данной работе для оценки таксономической структуры сообщества микроводорослей озера Байкал в летний период было использовано три маркерных гена: 18S рРНК, *rbcL* и 28S рРНК, и проведено сравнение с данными микроскопии.

В июле 2023 года были отобраны пробы воды из фотического слоя (0–25 м) озера Байкал на станции «3 км от Солзана» (южная котловина). Численность и биомасса видов фитопланктона были определены с применением методов световой и сканирующей электронной микроскопии. Оценку таксономического состава проводили на основе анализа данных метабаркодирования варибельного фрагмента V8-V9 гена 18S рРНК, а также генов *rbcL* и 28S рРНК. Амплификацию и секвенирование проводили на платформе Illumina MiSeq на базе ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ (Санкт-Петербург, Россия).

По данным световой микроскопии доминировали хризифитовые *Dinobryon cylindricum* О.Е. Imhof. Из диатомовых водорослей наиболее многочисленными были *Stephanodiscus* sp. и бентосные виды. Среди зеленых водорослей доминировали *Sphaerocystis* sp. и *Monoraphidium griffithii* (Berkeley) Komárková-Legnerová. По данным метабаркодирования хризифитовые были наиболее разнообразно представлены при анализе фрагментов участка V8-V9 гена 18S рРНК; разнообразие диатомей было выше с использованием фрагмента гена *rbcL*; а динофлагелляты лучше идентифицировались с помощью фрагмента гена 28S рРНК. Учитывая разнообразие микроводорослей и отсутствие универсальных праймеров с широким охватом организмов из разных таксономических групп, оптимальным подходом является использование комбинации маркеров совместно с микроскопией.

Работа проведена в рамках темы Министерства науки и высшего образования РФ № FWSR-2026-0001 (1023032700153-7-1.6.17).

1. Williams P.J.L.B. et al. Phytoplankton productivity: carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems. – Oxford: Blackwell Publishing Company, 2008.

2. Gelis M.M.N. et al. Assessing the relevance of DNA metabarcoding compared to morphological identification for lake phytoplankton monitoring // Science of the Total Environment. 2024. V. 14. P. 169774. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.169774.

РОЛЬ МИКРОТРУБОЧКОВОГО ЦЕНТРА И ГАММА-ТУБУЛИНА В МОРФОГЕНЕЗЕ КРЕМНЕЗЕМНЫХ ПАНЦИРЕЙ У ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ С РАЗНОЙ СИММЕТРИЕЙ

Бедошвили Е.Д.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: bedoshvilied@list.ru

Диатомовые водоросли, одноклеточные эукариоты из царства Chromista, отличаются высоким разнообразием морфологии благодаря наличию кремнеземного панциря видоспецифической формы [1], морфогенез которого происходит внутриклеточно [2]. Кремнеземные панцири диатомовых водорослей дают защиту от хищников и патогенов, а также увеличивают эффективность фотосинтеза [3]. Симметрия створок диатомей контролируется микротрубочковым центром – структурой, гомологичной центросоме и участвующей в клеточном делении [4,5].

Дополнение существующих данных об ультраструктуре клеток и морфогенезе створок у диатомовых водорослей различного систематического положения в лабораторных культурах и в природных популяциях, а также определение значения микротрубочек и микротрубочкового центра для морфогенеза видоспецифических панцирей является основной целью настоящей работы. С помощью просвечивающей электронной микроскопии и лазерной сканирующей конфокальной микроскопии были описаны ультраструктура и процесс морфогенеза створок у нескольких видов диатомовых водорослей с различной симметрией. На выбранных модельных видах были проведены эксперименты с ингибированием полимеризации/деполимеризации тубулина и сборки микротрубочкового центра (с помощью специфического ингибитора гамма-тубулина). Показано, что гамма-тубулин является важной частью морфогенеза створки, без корректной работы которого процесс формирования панциря может не начаться.

Таким образом, совместное применение методов электронной и флуоресцентной микроскопии позволило получить новые данные о структурно-функциональной организации морфогенеза панцирей диатомовых водорослей на клеточном уровне и показать важнейшую роль гамма-тубулина для начала морфогенеза створки.

Исследование проводилось с использованием оборудования ЦКП «Ультрамикрoанализ» ЛИН СО РАН при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023032700153-7.6.17 (FWSR-2026-0001). Эксперименты с ингибированием работы гамма-тубулина проводились в рамках проекта РНФ № 22-24-00080.

1. Round F.E. et al. The diatoms. – Bristol: Cambridge University Press, 1990. – 747 pp.
2. Pickett-Heaps J.D. et al. The cell biology of diatom valve formation. Progress in Phycological Research. – Bristol: Biopress, 1990. – 168 pp.
3. Dyakov S. et al. Talbot effect in nanostructured diatom frustules // Optica. 2025. V. 12. P. 1003-1013. DOI: 10.1364/OPTICA.561663.
4. Van de Meene A., Pickett-Heaps J. Valve morphogenesis in the centric diatom *Proboscia alata* Sundstrom // J. Phycol. 2002. V. 38. P. 351–363. DOI: 10.1046/j.1529-8817.2002.01124.x.
5. Tesson B., Hildebrand M. Extensive and intimate association of the cytoskeleton with forming silica in diatoms: control over patterning on the meso- and micro-scale // PLoS One. 2010. V. 5. P. e14300. DOI: 10.1371/journal.pone.0014300.

ЦИАНОБАКТЕРИИ КАК ПРОДУЦЕНТЫ ТОКСИНОВ В ОЗ. БАЙКАЛ

Белых О.И., Сороковикова Е.Г., Краснопеев А.Ю., Тихонова И.В.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: belykh@lin.irk.ru

Цианобактерии (ЦБ) – древние морфологически разнообразные микроорганизмы, осуществляющие кислородный фотосинтез и фиксацию молекулярного азота, – широко распространены в водоемах. ЦБ синтезируют большое количество вторичных метаболитов. Среди них наиболее пристальное внимание исследователей вызывают токсины, представляющие опасность для жизни и здоровья человека и животных, которая многократно возрастает во время массового развития токсичных ЦБ. Наиболее известными циатоксинами являются микроцистины (МС) – циклические пептиды, вызывающие поражение печени, и паралитические токсины моллюсков (PST) – нейротоксичные алкалоиды, блокирующие передачу нервных импульсов.

В работе проанализированы и обобщены результаты многолетних исследований токсичных ЦБ, полученные комплексом методов. В планктоне оз. Байкал описаны локальные увеличения численности *Dolichospermum lemmermannii* (Richter) P. Wacklin, L. Hoffmann & J. Komárek, в бентосе массовое развитие отмечено у нескольких видов. В планктонных пробах выявлены представители родов *Microcystis* и *Dolichospermum*, содержащие гены синтеза МС и PST; в бентосе потенциально продуцентами МС и PST являлись виды *Limnofasciculus baicalensis* Sorokovikova & Tikhonova и *Tolypothrix distorta* Kützing ex Bornet & Flahault. С использованием культур ЦБ из оз. Байкал впервые получены прямые доказательства того, что байкальские ЦБ (роды *Microcystis*, *Limnofasciculus* и *Dolichospermum*) продуцируют МС и PST. ЦБ, содержащие гены синтеза PST, принадлежали видам *D. lemmermannii*, *D. planctonicum* (Brunnthal) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek, *D. crissum* (Lemmermann) P. Wacklin, L. Hoffmann & J. Komárek, *D. scheremetievii* (Elenkin) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek, синтеза МС – *D. lemmermannii*, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Microcystis flos-aquae* (Wittrock) Kirchner. С помощью ИФА, ВЭЖХ, масс-спектрометрии определены варианты и содержание токсинов в культивируемых ЦБ и в природных пробах, а также концентрация МС и PST и профиль этих токсинов в воде. Концентрация МС и PST в воде и в пробах ЦБ из оз. Байкал являлась достаточно высокой по сравнению с таковой в других водоемах и в некоторых случаях превышала нормативы ВОЗ. Выполнено полногеномное секвенирование и аннотирование геномов трех видов ЦБ. Описаны кластеры генов синтеза МС и PST у токсичных ЦБ. В геноме штамма *L. baicalensis* BBK-W-15 обнаружен *sxt*-кластер биосинтеза PST, фрагмент *sxtA* гена штамма идентичен последовательностям из природных проб биопленок; BBK-W-15 продуцировал шесть вариантов PST. Геном *D. lemmermannii* 20/24BBG содержал полный кластер генов синтеза PST, фрагмент *sxtA* гена штамма сходен с последовательностями этого гена из планктонных проб. У *D. lemmermannii* 20/24BBG определена продукция трех вариантов PST. В геноме *M. aeruginosa* BN23 найден и аннотирован полный кластер генов биосинтеза МС, штамм синтезировал два типа МС.

Очевидно, что в древних озерах олиготрофного типа существует потенциальная угроза возникновения токсичных «цветений» благодаря наличию ЦБ, содержащих гены синтеза токсинов. В дальнейшем частота и распространенность токсичных «цветений» могут возрастать при условиях, благоприятных для массовой вегетации ЦБ, под воздействием главным образом климатических и антропогенных факторов. Обнаружение токсинов в природных пробах, особенно в рекреационных зонах, указывает на реальный риск для здоровья людей и экосистемы и требует внедрения системного мониторинга.

Работа выполнена в рамках госзадания ЛИИ СО РАН № 1023032700318-2-1.6.2.

СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2020–2025 ГОДАХ

Беляева П.Г.

«Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН» филиал ПФИЦ УрО РАН,
Пермь, Россия;

Пермский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного
хозяйства и океанографии, Пермь, Россия

e-mail: beliaeva@iegm.ru

Воткинское водохранилище образовано в 1962 г. на р. Каме в результате сооружения плотины Воткинской ГЭС (Пермский край). Водный объект испытывает техногенное воздействие и является крупным рекреационным узлом. Материалом для исследования послужили пробы фитопланктона, отобранные в июле в период с 2020 по 2025 г. на 8 створах.

За период исследования выявлено 379 таксонов водорослей рангом ниже рода (354 вида), представленных 167 родами, 89 семействами, 52 порядками, 10 отделами, в том числе Bacillariophyta – 123, Chlorophyta – 111, Cyanoprokaryota – 59, Chrysophyta – 37, Euglenophyta – 22, Dinophyta – 10, Charophyta (пор. Desmidiaceae) – 10, Cryptophyta – 4, Xanthophyta – 2, Raphidophyta – 1. Список водорослей включал ежегодно от 193 до 249 видов и внутривидовых таксонов.

Для летнего фитопланктона характерно преобладание планктонных (40%) и планктонно-бентосных (37%) видов, большинство из которых являются космополитами (87%). По отношению к pH среды более разнообразно представлены алкалофилы (50%) и индифференты (41%), по отношению к солености – индифференты (70%). Число видов-индикаторов сапробности достигало 65% общего состава. Оценка сапробности вод по индикаторным видам показала преобладание β -мезосапробов (28%) и α -мезосапробов (22%).

В период исследования общая численность фитопланктона изменялась от 3,7 до 459,4 млн кл./л (средняя $59,6 \pm 8,3$ млн кл./л) и определялась, как правило, массовым развитием цианопрокариот (80%) преимущественно с мелкими размерами клеток. Значения общей биомассы фитопланктона водохранилища варьировали от 0,18 до 42,21 мг/л (средняя $8,89 \pm 0,93$ мг/л). Наиболее высокие значения численности и биомассы фитопланктона отмечены в маловодные годы. В формировании биомассы значительный вклад принадлежал цианопрокариотам (39%), диатомовым водорослям (34%) и миксотрофным фитофлагеллятам (20%). Роль диатомовых водорослей увеличивалась на мелководьях до 40% за счет смыва бентосных водорослей родов *Navicula*, *Cymbella*, *Nitzschia*, *Amphora*, *Cocconeis* с подводных субстратов.

Доминантный комплекс представлен водорослями различных отделов: по численности – *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Komárk.-Legn. et Cronb. и виды родов *Microcystis*, *Anathece*, *Aphanocapsa*; по биомассе – *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim. и *Actinocyclus normanii* (W.Greg. ex Greville) Hust. из диатомовых, а также *Cryptomonas* spp. и *Peridinium* spp.

В период исследования по индексу сапробности Пантле–Букка воды Воткинского водохранилища соответствовали β -мезосапробной зоне ($S = 1,53–2,20$ по численности). Индексы сапробности практически одинаковы на русловых и мелководных станциях, а также по районам, в среднем – $2,00 \pm 0,02$.

Работа выполнена в соответствии с Государственным заданием № 124020500028-4.

ВИДОВОЕ БОГАТСТВО И ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЧЕШУЙЧАТЫХ ЗОЛОТИСТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ВОДОЕМАХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Бессудова А.Ю.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: annabessudova@mail.ru

Одной из ключевых задач биологии является изучение биологического разнообразия организмов, а также понимание механизмов его формирования для разработки стратегий его сохранения. Среди микроэукариот особое место занимают золотистые водоросли (класс Chrysophyceae). Это разнообразная группа организмов, обладающая уникальной способностью формировать кремнеземные стоматоцисты как в конце жизненного цикла, так и при изменении условий окружающей среды, что способствует их успешному расселению в пресноводных водоемах и водотоках. Хотя золотистые водоросли широко распространены, обнаружение их представителей, относящихся к нежным монадам, осложнено в связи с низкой степенью сохранности в отобранных образцах воды. Таким образом, их исследование в отдаленных и труднодоступных регионах затруднено. Золотистые водоросли, обладающие твердыми клеточными структурами, преобразуют растворенную в воде кремниевую кислоту в характерные видоспецифические кремнеземные элементы, такие как чешуйки, щетинки и шипы. В конце жизненного цикла их твердые панцири распадаются, но определение их видовой принадлежности все еще возможно по кремнеземным элементам. Это позволяет более детально изучать их биоразнообразие и механизмы его формирования. Кремнеземные элементы отлично сохраняются не только в водных пробах, но и при определенных условиях могут оставаться в осадках миллионы лет, что открывает уникальные возможности для исследования исторической биогеографии и современного разнообразия.

В настоящее время видовое разнообразие чешуйчатых золотистых водорослей, относящихся к порядкам Synurales, Chromulinales и Paraphysomonadales, насчитывает около 435 видов [1]. Исследования в разнотипных водоемах Восточной Сибири с применением электронной микроскопии, проведенные в период 2015–2026 гг., позволили значительно расширить знания о видовом богатстве чешуйчатых хризофитовых водорослей в регионе – с 39 до 188 таксонов, что составляет 43% от их мирового разнообразия. Выявлено высокое видовое богатство чешуйчатых золотистых водорослей, складывающееся как из широкораспространенных, так и из видов, ограниченных в своем распространении определенными регионами. Анализ распределения чешуйчатых золотистых водорослей по природным географическим поясам, охватывающим водоемы Восточной Сибири с 51° до 75° с.ш. показал, что они наиболее разнообразны в арктическом и умеренном поясах. В субарктическом поясе обнаружено наименьшее количество видов. В докладе будут обсуждаться вопросы, связанные с видовым богатством и закономерностями распределения чешуйчатых золотистых водорослей в трех природных географических поясах разнохарактерных водоемов Восточной Сибири.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR-2026-0001).

1. Бессудова А.Ю. Чешуйчатые золотистые водоросли водоемов Восточной Сибири / ред. д.б.н. Лихошвай Е.В. – Ижевск: ООО «Принт», 2025. – 144 с.

РАЗНООБРАЗИЕ ЧЕШУЙЧАТЫХ ЗОЛОТИСТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ АНГАРСКОГО КАСКАДА ГЭС

Бессудова А.Ю.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: annabessudova@mail.ru

Устойчивость экосистем во многом определяется биоразнообразием живых организмов. В условиях климатических изменений и растущего антропогенного воздействия существует острая необходимость в более глубоком исследовании биоразнообразия водных экосистем в контексте их устойчивости. Однако в силу необходимости применения специфических подходов в настоящее время все еще имеет место недооценка целого ряда групп микроэукариот. Например, часто остаются без внимания представители класса Chrysophyceae, преобразующие растворенную в воде кремниевую кислоту в видоспецифические кремнеземные элементы, такие как чешуйки, щетинки и шипы, различимые только с помощью электронной микроскопии. Исследования показали, что представители этой группы могут составлять существенную часть планктона и поверхностных отложений. Это делает их важными участниками круговорота кремния и формирования первичной продукции. А разнообразие стратегий питания внутри группы (авто-, миксо- и гетеротрофная) позволяет сосуществовать в одной экосистеме большому количеству видов.

Для выявления структуры и видового богатства чешуйчатых золотистых водорослей в составе фитопланктона проведены исследования в Южном Байкале и Иркутском водохранилище в течение трех гидрологических сезонов 2023 г., а также в Южном Байкале и четырех водохранилищах Ангарского каскада ГЭС – Иркутском, Братском, Усть-Илимском и Богучанском в течение двух сезонов 2024 г. Описание методов отбора проб и пробоподготовки приведено ранее [1].

Исследования с применением электронной микроскопии позволили увеличить список видов в Иркутском водохранилище с 5 до 47, а общий контрольный список с учетом обнаруженного разнообразия в нижележащих водохранилищах составил 57. Анализ распределения чешуйчатых золотистых водорослей в водохранилищах Ангарского каскада показал выраженные различия в видовом составе и богатстве как между сезонами, так и между водохранилищами. На примере Иркутского водохранилища, пробы в котором были отобраны на протяжении двух лет – 2023 и 2024, показано, что с учетом межгодовых различий видовой состав может меняться.

Таким образом, непрерывный мониторинг водоемов важен для понимания процессов, формирующих разнообразие, и может служить дополнительным критерием для оценки устойчивости и трансформации пресноводных экосистем в условиях климатических изменений и антропогенной нагрузки.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-14-00028 «Сообщества микроэукариот в водохранилищах Ангарского каскада» и бюджетной темы ЛИН СО РАН № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR-2026-0001).

1. Bessudova A. et al. Changes in diversity of silica-scaled chrysophytes during Lake–River–Reservoir transition (Baikal–Angara–Irkutsk reservoir) // Life. 2023. V. 13. P. 2052. DOI: 10.3390/life13102052.

СТРУКТУРА ПОРЯДКА CERAMIALES, ОСНОВАННАЯ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ ДАННЫХ

Богданова А.Ю.

ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

e-mail: drobkova_a@mail.ru

Порядок Ceramiales – самый крупный порядок класса Florideophyceae (отдел Rhodophyta), в состав которого входит 2650 видов, включая вымершие к данному моменту [1]. Таксономия этого порядка в настоящее время претерпевает значительные изменения, обусловленные прогрессом в морфологическом и молекулярно-генетическом анализе [2,3]. На сегодняшний день порядок включает 5 семейств: Ceramiaceae, Callithamniaceae, Wrangeliaceae, Delesseriaceae и Rhodomelaceae. Из анатомических признаков, обуславливающих выделение семейств, наиболее значимыми являются моно-/полисифонность нитей таллома, наличие/отсутствие лопастевидных талломов, наличие или отсутствие корового слоя, а также особенности ветвления. Кроме того, в качестве дополнительных признаков для уточнения границ семейств могут быть использованы такие характеристики, как форма апикальной клетки, количество периаксиальных клеток, наличие/отсутствие трихобластов и железистых клеток, локализация тетраспорангиев. Структура порядка, полученная при помощи анализа морфологических данных, подтверждается рядом филогенетических исследований. На данный момент основными используемыми для видовой идентификации участками ДНК для этой группы водорослей являются *rbcL*, *ITS2*, *tufA*, *psaA*, *psbB*, *SSU* и *LSU rDNA* и *COI*. Развитие женских репродуктивных структур протекает по одному принципу во всем порядке, а вариации таких признаков, как, например, место формирования поддерживающей клетки, количество карпоспорангиев на одной нити гонимобласта, могут быть использованы для определения границ родов.

Взгляд на таксономическую структуру порядка регулярно претерпевает изменения вследствие накопления новых научных данных. Необходимо регулярное расширение баз данных отсеквенированных участков ДНК и использование различных комбинаций анатомических особенностей для формирования более полной картины таксономической взаимосвязи между видами. На данный момент нами осуществляется сбор материала в северо-восточной части Чёрного моря для последующих феносистематических и геносистематических исследований.

1. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2023. – URL: <http://www.algaebase.org> (Дата обращения 10.11.2025).

2. Diaz-Tapia P. et al. Morphological evolution and classification of the red algal order Ceramiales inferred using plastid phylogenomics // *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2019. V. 137. P. 76–85. DOI: 10.1016/j.ympev.2019.04.022.

3. Maggs C., Hommersand M.H. Seaweeds of the British Isles. Volume 1 Rhodophyta, Part 3A Ceramiales. – London: Stationery Office, British Museum (Natural History), 1993. – 464 p.

ВОДОРΟΣЛИ-СИМБИОНТЫ *RANA TEMPORARIA*

Болдина О.Н.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: Boldina@binran.ru

Травяная лягушка (*Rana temporaria*) на территории Ленинградской области и в окрестностях Санкт-Петербурга – самый ранний вид по срокам начала размножения. В эфемерных водоемах кладки яиц можно обнаружить уже в середине апреля. По морфологии они сходны с кладками другого вида – остромордой лягушки (*R. arvalis*), и места их расположения также могут совпадать. Сотрудничество с герпетологами является ключевым фактором для получения достоверных научных данных.

Многие из кладок амфибий окрашены обитающими в них водорослями. Первоначально для изучения отбирали как окрашенные, так и внешне бесцветные образцы кладок *Rana*. Просмотр в световой микроскоп выявил присутствие водорослей практически во всех кладках. Образцы, собранные даже в соседних водоемах, отличались друг от друга по составу водорослей. Анализ зеленых кладок показал преобладание водорослей монадного строения, причем в некоторых случаях эти кладки содержали исключительно один вид водорослей, то есть формировали моносообщества. Посевы на минеральную питательную среду позволили выделить более 10 таксонов хламидомонадовых водорослей, относящихся к разным кладкам.

В 2025 году герпетологом, ведущим научным сотрудником МГУ им. М.В. Ломоносова С.М. Ляпковым были собраны образцы кладок травяной лягушки из водоемов Звенигородской биостанции. В двух типах этих водоемов в «зеленых» кладках помимо зеленых монад в отдельных образцах наблюдалось моносообщество *Euglena* sp. Культивирование выделенных из яиц *R. temporaria* хламидомонадовых водорослей позволило пополнить коллекцию живых культур новыми морфотипами.

Можно предположить, что присутствие водорослей в кладках яиц амфибий на территории Ленинградской области в большей степени связано с *R. temporaria*, чем с другими видами. Так, в 2025 году водорослей не было обнаружено в кладках яиц остромордой лягушки (*R. arvalis*), собранных в присутствии герпетолога, старшего научного сотрудника Зоологического института РАН К.Д. Мильто. Негативный результат дали опыты по культивированию на питательных средах яиц и мазков с тела серой жабы (*Bufo bufo*). Вероятно, это объясняется присутствием у них на коже и в кладках высокотоксичных компонентов.

Симбиоз *R. temporaria* с зелеными монадными водорослями обеспечивает дополнительные преимущества для развития эмбрионов: обогащение кислородом, повышение температуры кладки, утилизацию продуктов жизнедеятельности.

Исследование симбиоза между амфибиями и водорослями открывает новые горизонты как для понимания экосистемных взаимодействий, так и для прикладных биотехнологических разработок (очистка сточных вод, продукция кислорода в замкнутых системах и др.).

Исследование выполнено по плановым темам БИН РАН №121021600184-6 и №124020100148-3.

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ

Бондаренко Н.А.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: nina@lin.irk.ru

В последнее время появилось множество сообщений о влиянии климата и антропогенных факторов на водные экосистемы [1–6]. Отмечаются как смена форм доминантных видов, так и уровень развития организмов. Экспресс-индикаторами таких изменений служат водные организмы с коротким жизненным циклом, прежде всего микроводоросли, обладающие высокой экологической пластичностью.

В фитопланктоне Байкала также выявлены ярко выраженные изменения, связанные как с климатическими колебаниями, так и с изменением биогенной нагрузки [7–10 и др.].

Первые выразились в:

- 1) снижении частоты вспышек байкальского криофильного комплекса диатомовых водорослей, представленного *Aulacoseira baicalensis* (K.I. Meyer) Simonsen, *A. islandica* (O. Müller) Simonsen и *Stephanodiscus meyeri* Genkal & Popovskaya;
- 2) смене доминирующих видов весеннего крупноклеточного комплекса на мелкоклеточный, с доминированием диатомовых *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal, *Fragilaria radians* (Kützing) D.M. Williams & Round, *Nitzschia graciliformis* Lange-Bertalot & Simonsen.

Ко вторым относятся:

- 1) увеличение в видовом списке альгофлоры озера числа видов нанопланктонных фитофлагеллят – показателей изменения биогенной нагрузки;
- 2) рост численности нанопланктонных жгутиковых.

Анализ многолетней динамики осеннего фитопланктона озера выявил и третий вариант трансформаций, связанных с совместным влиянием обоих факторов, проявившийся в резком снижении численности осеннего доминанта прошлого столетия – диатомовой *Cyclotella minuta* (Skvortzov) Antipova, которую, также, как представителей криофильного комплекса, ранее относили к эндемикам озера.

1. Курашов Е.А. и др. Экосистема Ладожского озера: современное состояние и тенденции ее изменения в конце 20-начале 21 веков // Биосфера. 2018. Т. 10. № 2. С. 65. DOI: 10.24855/biosfera.v10i2.439.

2. Минеева Н.М. и др. Структура и функционирование планктонных сообществ Рыбинского водохранилища в условиях климатических изменений // Биология внутренних вод. 2024. № 1. С. 3. DOI: 10.31857/S0320965224010018.

3. Федотов А.П. и др. Влияние природных и антропогенных факторов на развитие удаленных озер Восточной Сибири за последние 200 лет // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 2. С. 394.

4. Revie E.D. et al. Climate warning and changes in *Cyclotella* sensu lato in the Laurentian Great Lakes // Limnol. Oceanogr. 2017. V. 62. P. 768. DOI: 10.1002/lno.10459.

5. Rühland K. et al. Hemispheric scale patterns of climate-related shifts in planktonic diatoms from North American and European lakes // Global Change Biol. 2008. V. 14. P. 2740.

6. Sterner R.W. et al. A first assessment of cyanobacterial blooms in oligotrophic Lake Superior // Limnol. Oceanogr. 2020. V. 65. P. 2984. DOI: 10.1102/lno.11569

7. Бондаренко Н.А., Логачева Н.Ф. Структурные изменения в фитопланктоне прибрежной зоны озера Байкал // Гидробиол. журн. 2016. № 6. С. 17.

8. Bondarenko N.A. et al. Structural changes of phyto- and zooplankton caused by the climate shifts and anthropogenic pressure, Lake Baikal, Russia // Inland Waters Biology 2023. V. 16. № 6. P. 955. DOI: 10.1134/S1995082923060056.

9. Hampton S.E. et al. 2008. Sixty years of environmental change in the world's largest freshwater lake – Lake Baikal, Siberia // Glob. Change Biol. 2008. V. 14. № 8. P. 1947. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01616.x.

10. Izmet'eva L.R. et al. 2016. Lake-wide physical and biological trends associated with warming in Lake Baikal // J. Great Lakes Res. V. 42. P. 6. DOI: 10.1016/j.jglr.2015.11.006.

ДОМИНИРУЮЩИЕ ВИДЫ ФИТОПЛАНКТОНА БРАТСКОГО И УСТЬ-ИЛИМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ ЛЕТОМ 2024 ГОДА

Бубаева В.В., Марченков А.М., Галачянц Ю.П., Таничев А.И., Фирсова А.Д.,
Ширшова В.К., Лихошвай Е.В.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия
e-mail: vasilisa.buzevich@mail.ru

Братское и Усть-Илимское водохранилища входят в Ангарский каскад водохранилищ. Нами исследован летний фитопланктон этих водохранилищ с целью выявления доминирующих видов в период наиболее активного антропогенного воздействия. Ранее состояние сообщества микроводорослей было изучено почти 40 лет назад [1]. Пробы были отобраны 23–29 августа 2024 г. на 18 станциях, исследования проводили по ранее описанным методам [2].

Температура воды в Братском водохранилище изменялась от 20,3 °С до 22,4 °С. Прозрачность колебалась от 3,5 м до 10 м. Всего в водохранилище обнаружено 64 вида, из которых по числу видов преобладали Chlorophyta (29 таксонов) и Bacillariophyta (15 таксонов), остальные группы были немногочисленны. В следующем по течению Усть-Илимском водохранилище температура воды была прохладнее и изменялась от 15 °С до 20,5 °С. Прозрачность колебалась от 4,5 м до 7 м. Видовой состав сократился до 49 видов, среди которых также преобладали Chlorophyta (21 таксон) и Bacillariophyta (13 таксонов). На большинстве станций Братского водохранилища по численности доминировала синезеленая *Aphanocapsa* sp., достигая 585 тыс. кл./л, хотя ее биомасса не превышала 1,5 мг/м³. На приплотинной станции BR_N преобладал *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Born. & Flah., достигая численности 1,2 млн кл./л; его биомасса не превышала 95,6 мг/м³. В качестве субдоминанта на всех станциях выступала диатомовая *Fragilaria crotonensis* Kit. и только на станции BR_I преобладала *Chromulina* sp. В Усть-Илимском водохранилище доминантом на большинстве станций была синезеленая *Aphanizomenon flos-aquae*, за исключением четырех станций, где лидирующее положение по численности заняли *Aphanocapsa* sp. (UR_V и UR_Ups), зеленые *Coenococcus planctonicus* Korsh. (UR_G) и *Sphaerocystis planctonica* (Korsh.) Bourrelly (UR_I). И так же, как в Братском водохранилище, повсеместно в качестве субдоминанта выступала диатомовая *Fragilaria crotonensis*. Основной вклад в общую биомассу фитопланктона обоих водохранилищ вносили крупноклеточные виды: *Ceratium hirundinella* (O.F. Müll.) Dujard. и *Fragilaria crotonensis*.

Таким образом, фитопланктон Братского и Усть-Илимского водохранилищ в августе 2024 г., как и в предыдущие годы [1], сохраняет свой основной видовой состав. По численности доминировали синезеленые и зеленые водоросли. Значения общей биомассы фитопланктона в Братском водохранилище варьировали от 87 до 619 мг/м³, в Усть-Илимском – от 145 до 608 мг/м³, на основании полученных данных оба водохранилища в августе 2024 г. были отнесены к олиготрофным водоемам.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 23-14-00028 (<https://rscf.ru/project/23-14-00028/>) и бюджетной темы ЛИИ СО РАН № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR-2026-0001).

1. Воробьева С.С. Фитопланктон водоемов Ангары / РАН СО. Лимнол. ин-т. ред. Поповская Г.И., Скрыбин А.Г. – Новосибирск. 1995. – С. 126.

2. Firsova A. et al. Environmental factors affecting distribution and diversity of phytoplankton in the Irkutsk Reservoir ecosystem in June 2023 // Diversity. 2023. V. 15. P. 1070. DOI: 10.3390/d15101070.

ЗИМНИЙ ФИТОПЛАНКТОН НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Винокурова Г.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Российская Федерация

e-mail: gvkim@mail.ru

Новосибирское водохранилище, расположенное на р. Обь, – крупнейший искусственный водоем Западной Сибири, предназначенный для комплексного использования. Среднемноголетний коэффициент водообмена 6,55, площадь водного зеркала при НПУ 1070 км², максимальная глубина 25 м. В период открытой воды по гидрохимическим показателям и по наиболее часто встречающимся значениям обилия фитопланктона (ФП) водохранилище характеризуется как водоем эвтрофного типа с временным локальным повышением уровня трофности на отдельных участках до гипертрофного [1].

В период ледостава в середине февраля 2022 и 2023 гг. выявлены водоросли, вегетирующие в толще воды до глубины 14 м. При примерно одинаковой толщине льда (0,40–0,97 м в 2022 г. и 0,78–0,93 м в 2023 г.), но более мощном снежном покрове во второй год исследования (0–0,2 м в 2022 г. и 0,25–0,47 м в 2023 г.) обилие водорослей было выше. Если в 2022 г. численность водорослей составляла 4,0–116,0 тыс. кл./л, биомасса – 0,001–0,22 г/м³, то в 2023 г. – 3,75–507,38 тыс. кл./л, биомасса – от 0,001 до 0,98 г/м³ соответственно. Трофический статус водохранилища по зимнему ФП оценивался как олиготрофный. Существенной чертой зимнего ФП водохранилища является присутствие цист, пустых створок и неидентифицированных водорослей, биомасса которых превышала 10% от общей: в 2022 г. она достигала 0,08 г/м³, в 2023 г. – 0,14 г/м³.

Из идентифицированных вегетирующих таксонов в 2022 г. доминантами в поверхностном слое по численности и биомассе были *Stephanodiscus hantzschii* Grunow, *Synedra* sp., *Cyclotella* cf. *stelligera* (Cleve & Grunow) Van Heurck, *Asterionella formosa* Hassal, *Navicula* sp., *Cymbella aspera* (Ehrenberg) Cleve, *C. lanceolata* (C. Agardh) Kirchner и *Dactylococcopsis irregularis* G.M. Smith.

Из идентифицированных в 2023 г. вегетирующих таксонов доминантами по численности были: до глубины 1 м – *Asterionella formosa*, *Cyclotella* sp., *Stephanodiscus hantzschii*, *Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg; на глубине 4–7 м – *Cyclotella* sp., *Trachelomonas volvocina*, *Gymnodinium* sp., *Microcystis* sp., *Chlamydomonas* sp., *Scenedesmus* sp., *Selenastrum gracile* Reinsch; на глубине 8–14 м – *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Trachelomonas volvocina* и *Euglena* sp.

Всего в середине февраля в вегетирующем ФП обнаружено: в 2022 г. – 18 таксонов диатомовых и 3 – цианопрокариот; в 2023 г. – 7 таксонов диатомовых, 6 – эвгленовых, 4 – зеленых водорослей и 3 – цианопрокариот. Вегетировали также неидентифицированные динофитовые и криптофитовые водоросли.

Анализ межгодовой динамики подледного фитопланктона в периоды 1992–1998 гг., 2008 г. [1,2] и 2022–2023 гг. не выявил выраженных отличий по его состоянию, несмотря на особенности гидролого-климатических условий изученных лет.

1. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 393 с.

2. Науменко Ю.В., Нечаева В.С. Видовой состав зимнего фитопланктона Новосибирского водохранилища // Сиб. экол. журн. 2000. № 2. С. 173–176.

ОСОБЕННОСТИ ПОДЛЕДНОГО РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ПОЙМЕННОГО ВОДОЕМА В УСЛОВИЯХ РАЗНОГО ТИПА ЗИМЫ (БАССЕЙН СРЕДНЕЙ ВОЛГИ)

Воденеева Е.Л.¹, Кулизин П.В.¹, Шарагина Е.М.¹, Журова Д.А.^{1,2},
Старцева Н.А.¹, Охупкин А.Г.¹

¹ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия;

² Институт водных проблем РАН, Москва, Россия
e-mail: vodeneeva@mail.ru

Аномальные метеорологические явления (повышенные температуры, обильные осадки) приводят к нарушению ледового режима водоемов умеренной зоны (поздние сроки ледостава, раннее вскрытие зимой), что может отразиться на структурных характеристиках их биоты, включая фитопланктон. В настоящей работе проведен анализ таксономической и функциональной структуры фитопланктона малого эвтрофного озера Лунское, являющегося отсоединившейся старицей р. Волги (расположен в черте г. Нижнего Новгорода). Водоем испытывает сильную антропогенную нагрузку и регулярные вспышки «цветения» цианобактериями.

Исследования проводились в разные по фенологии годы (2023, 2025 гг.), в том числе в условиях «европейского» варианта зимы (2025 г.) с погодными аномалиями в виде высоких температур, дождей и раннего таяния льда. Проведенный анализ абиотических и биотических факторов водной среды позволил выявить сезонные изменения. В затяжную зиму 2023 г. с резкими похолоданиями из-за скандинавского антициклона в середине марта в озере отмечалось массовое развитие водорослей (численность – до 294 млн кл./л, биомасса – до 11,81 г/м³) при доминировании безгетероцистных цианобактерий – *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom. (до 86% общих значений) и *Limnothrix redekei* (Van Goor) Meffert (до 55%), которые оставались в доминантах и в летний сезон. Массовое развитие этих водорослей происходило как в подледной воде, так и в толще льда, при этом максимальные концентрации чаще отмечались в нижнем кристаллическом слое льда, иногда превышая таковые в подледном горизонте. В теплую зиму 2025 года роль цианобактерий в подледном фитопланктоне озера оказалась ниже (отмечались *P. agardhii*, виды родов *Microcystis*, *Aphanocapsa* и др.), при этом степень развития фитопланктона по-прежнему достигала уровня эвтрофных вод (до 8,8–21 г/м³ биомассы) и была сопоставима с данными летнего сезона. Основу зимнего фитопланктона в озере определяли миксотрофные криптомонады (*Komma caudata* (L. Geitler) D.R.A. Hill, *Cryptomonas* spp. – до 80–90% общих численности и биомассы) при высоком участии фитофлагеллят из динофитовых и зеленых водорослей. Во льду развитие водорослей было слабым, более активно шло в верхней снеговой (непрозрачной) фракции, периодически таявшей в период оттепелей. Летом основными компонентами альгоценозов также выступали криптомонады при заметном вкладе диатомовых и зеленых в июне и цианобактерий родов *Microcystis* и *Dolichospermum* в последующие месяцы.

Полученные результаты указывают на значимую роль фитопланктона в функционировании водоема в зимний период, а также на возможные варианты развития подледного фитопланктона и водорослей льда в условиях разной фенологии зимы, что необходимо учитывать при проведении мониторинговых исследований.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 25-24-00573.

МАКРОВОДОРОСЛИ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Володина А.А.

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия;

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

e-mail: AVolodina@kantiana.ru

Изучение биоразнообразия макроводорослей континентальных водоемов Калининградской области остается фрагментарным, несмотря на длительную историю гидробиотических исследований в регионе. Отбор проб макроводорослей в Калининградской области проводился преимущественно на реках бассейна р. Преголи и некоторых реках бассейна р. Неман в 2014–2025 гг. Исследовались также оз. Виштынецкое, городские пруды, песчаные карьеры, мелиоративные каналы. Всего исследован 21 водоток, 2 озера и 10 прудов. Определение видов проводилось как на базе БФУ им. И. Канта, так и в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Во флоре по количеству видов преобладали водоросли классов Chlorophyceae и Ulvophyceae. По обилию – виды из классов Ulvophyceae и Zygnematophyceae. К редким можно отнести представителей классов Florideophyceae (Rhodophyta) – 6 видов и Charophyceae – 5 видов.

В реках и водотоках обнаружено 35 видов макроводорослей. Из важных находок следует отметить *Thorea hispida* (Thore) Desvaux в августе 2018 г. на границе верхнего и среднего течения реки Преголи, а также находки в торфяных каналах (*Batrachospermum turfosum* Bory) и на каменистых перекатах рек водорослей рода *Batrachospermum*, а также *Hildenbrandia rivularis* (Liebmann) J. Agardh и *Audoniella chalybaea* (Roth) Bory de Saint-Vincent. В озерах, карьерах, прудах определено 18 видов, что связано с меньшей степенью их изученности. Наибольшее количество находок отмечено в оз. Виштынецком – 11 видов (материалы исследования 2014–2015 гг.), а также в р. Преголя – 17 видов. Предполагаются новые находки харовых водорослей в многочисленных обводненных песчаных карьерах области.

ФИТОПЛАНКТОН ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА В РАЙОНЕ ВАЛААМСКОГО АРХИПЕЛАГА

Воякина Е.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;
Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр РАН,
Санкт-Петербург, Россия;
Российский государственный гидрометеорологический университет,
Санкт-Петербург, Россия
e-mail: katerina.voyakina@gmail.com

Работа проводилась на Валаамском архипелаге, находящемся в северо-восточной части Ладожского озера на расстоянии около 40 км от г. Сортавала. Общая площадь архипелага – 36 км². Район расположения Валаамского архипелага входит в ультрапрофундальную зону Ладожского озера с максимальными глубинами (в среднем 113 м) и представляет собой часть, наименее подверженную влиянию вод притоков.

В работе представлен многолетний материал, собранный с 1998 по 2025 г. Отбор интегральных проб фитопланктона проводился в течение сезона с мая по сентябрь на четырех станциях с разной степенью антропогенной нагрузки и в период максимального прогрева воды (июль – август) на 12–18 станциях, расположенных в различных частях Валаамского архипелага. Параллельно проводили исследование основных лимнологических параметров. Исследование проводилось стандартными методами.

Разнообразие биотопов акватории Ладожского озера в районе Валаамского архипелага обуславливает значительное видовое богатство водорослей и цианобактерий. На данной акватории обнаружено 183 таксона водорослей и цианобактерий рангом ниже рода, среди которых преобладали цианобактерии (19% от общего числа видов), зеленые и диатомовые водоросли (29 и 18% соответственно).

В сезонной динамике отмечается активное развитие диатомовых водорослей в весенний, раннелетний и осенний периоды. С началом прогрева воды наблюдали доминирование охрофитовых, криптофитовых, динофитовых водорослей и цианобактерий. В период максимального прогрева воды, который приходится на июль–август, характерны высокие значения численности и биомассы фитопланктона. Именно в этот период на большинстве участков акватории доминировали цианобактерии.

Для большинства станций побережья Валаамского архипелага был характерен широкий диапазон показателей обилия фитопланктона: численность варьировала от 0,08 до 56,1 млн кл./дм³ (среднее значение – 6,5 млн кл./дм³); биомасса изменялась от 0,1 до 29,5 мг/дм³ (среднее значение – 6,2 мг/дм³). Максимальные средние значения численности и биомассы фитопланктона были отмечены для мелководных станций южного побережья, минимальные – на глубоких станциях западного побережья.

В разные годы в состав видов-доминантов входили *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Born. & Flah., *Dolichospermum spiroides* (Kleb.) Wacklin et al., *Limnothrix planctonica* (Wolos.) Meffert, *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. & Kom., *Woronichinia compacta* (Lemm.) Komárek & Hindák. Из криптофитовых чаще всего встречались виды рода *Cryptomonas*, *Komma caudate* (Geitler) Hill, из зеленых водорослей – *Chlamydomonas* spp., *Coenococcus planctonicus* Korsh., *Botryococcus braunii* Kütz.

Ключевыми факторами, определяющими таксономическую структуру, уровень вегетации и показатели видового разнообразия фитопланктона на исследуемой акватории, являются ветровой и температурный режим, а также содержание биогенных элементов.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМАХ

Гайсина Л.А.¹, Суханова Н.В.¹, Сущенко Р.З.², Муфазалова А.С.¹, Хиляжетдинова Л.Б.¹,
Ухаткина К.Б.¹, Махмутов А.Р.³, Ван Эрп И.И.¹, Назаров Д.К.¹, Ренганатхан П.¹

¹ Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия;

² Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия;

³ Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

e-mail: lira.gaisina@mail.ru

Подбор штаммов водорослей и цианобактерий с наиболее выраженным ростостимулирующим действием при выращивании овощных культур на гидропонных системах является актуальной задачей. Для определения наиболее перспективных штаммов было проведено пять серий экспериментов с 42 штаммами по изучению влияния их суспензий на развитие рассады овощных культур: в чашках Петри с семенами и проростками огурца; в простых гидропонных системах на 200 и 25 мл с проростками огурца; в пробирках по 14 мл с проростками томатов; экспресс-эксперименты в чашках Петри с семенами и проростками кресс-салата.

Установлено, что 38 штаммов способствовали улучшению показателей роста и развития растений. Некоторые штаммы оказывали положительное влияние на целый ряд морфологических и физиологических параметров. Так, в первой серии экспериментов с огурцами BCAC 258 GSE 2F *Micractinium* sp. вызывал увеличение 5 показателей (длины и массы проростков, длины и ширины листьев, массы корней), BCAC 108* *Desmodesmus abundans* (аутентичный штамм) стимулировал 4 параметра (длины проростков и листьев, массы проростков и корней), BCAC 388 S11-17 *Bracteacoccus minor* – 3 параметра (длины листьев, массы проростков и корней). Во второй серии экспериментов штаммы BCAC 132 *Scotinosphaera lemnae* (аутентичный штамм) и UTEX 2351 *Vischeria magna* вызывали увеличение 3 показателей – длины проростков, сырой и сухой биомассы проростков. Использование BCAC 152* *Oocystella oogama* (аутентичный штамм), Paris *Scotiellopsis* sp. и КК 20-39 *Scenedesmus lacustris* привело к увеличению длины и массы проростков, массы корней. В экспериментах с кресс-салатом суспензия UTEX 2351 *Vischeria magna* благоприятствовала увеличению длины и массы корней, штамм цианобактерии BCAC 1302 *Kovacicikia brockii* стимулировал длину и массу проростков. BCAC 1051 *Scotiellopsis* sp. и BCAC 641 КТ 20 *Gloeotilopsis sarcinoidea* увеличивали содержание хлорофилла в листьях огурца посевного. BCAC 99 *Coccomyxa peltigera* (аутентичный штамм) и UTEX 2351 *Vischeria magna* ускоряли появление третьего листа у проростков огурцов.

Таким образом, водоросли и цианобактерии обладают значительным потенциалом для использования в качестве биостимуляторов в гидропонных системах.

Исследования выполнены при поддержке РНФ, проект № 25-24-00481.

СООБЩЕСТВА МИКРОЭУКАРИОТ ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРСКОГО КАСКАДА В 2024 ГОДУ ПО ДАННЫМ МЕТАБАРКОДИРОВАНИЯ

Галачьянц Ю.П., Петрова Д.П., Марченков А.М., Налимова М.А., Лихошвай Е.В.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: yuri.galachyants@lin.irk.ru

Микроэукариоты играют ключевую роль в функционировании пресноводных экосистем, однако их разнообразие и пространственно-временная организация сообществ в крупных водоемах Восточной Сибири до недавнего времени оставались малоизученными. Ранее в рамках комплексных исследований сообществ водохранилищ Ангарского каскада в период гидрологической весны 2024 г. с использованием методов микроскопии и метабаркодирования нами было показано, что микробные сообщества формируют две региональные группы: Иркутское водохранилище (ИВ), которое находится под влиянием Южного Байкала (ЮБ), и северные водохранилища, расположенные ниже по течению р. Ангара: Братское (БрВ), Усть-Илимское (УВ) и Богучанское (БгВ), а их структура определяется локальными факторами [1]

В настоящей работе эти результаты дополнены материалами конца лета 2024 г. В целом, анализ данных двух сезонов показал, что сообщества микроэукариот Ангарского каскада разделяются на две региональные группы – ИВ и северные водохранилища (БрВ, УВ и БгВ), внутри которых наблюдается сезонное разделение. Региональный фактор является определяющим, тогда как сезонный действует внутри этих групп.

Весенние сообщества характеризуются высокой мозаичностью и большим числом кластеров, особенно в северных водохранилищах, где выражена пространственная неоднородность, что указывает на доминирование локальных факторов. В конце лета структура упрощается: число кластеров снижается, сообщества становятся более однородными; в БгВ все станции объединяются в один кластер. Это свидетельствует об усилении регионального фактора. Сезонные изменения сопровождаются таксономическими сдвигами. В ИВ уменьшается доля Bacillariophyceae и Rozellomycota и возрастает доля Chrysophyceae и Dinophyceae. В северных водохранилищах снижается численность диатомей класса Coscinodiscophyceae, инфузорий и Dinophyceae при увеличении Cryptophyceae, Perkinsida и Chlorophyceae.

Таким образом, весной сообщества формируются под влиянием локальных факторов и отличаются высокой гетерогенностью, тогда как в конце лета они становятся более однородными и определяются региональными условиями; влияние оз. Байкал на ИВ и, в меньшей степени, на северные водохранилища сохраняется в течение всего сезона.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14-00028 (<https://rscf.ru/project/23-14-00028/>) и бюджетной темы ЛИН СО РАН № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR-2026-0001).

РОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОЙ АККЛИМАТИЗАЦИИ В МОДУЛЯЦИИ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И УСТОЙЧИВОСТИ К ТЕМПЕРАТУРЕ У ЗЕЛЕННЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Галиева Г.Ш., Хлебова Д.Л., Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Институт экологии, биотехнологии и природопользования, Казань, Россия
e-mail: goolnaz0708@gmail.com*

Промышленное культивирование микроводорослей в фотобиореакторных системах неизбежно сопряжено с колебаниями температуры, которые могут снижать продуктивность и стабильность накопления целевых метаболитов. Целью настоящего исследования была акклиматизация пяти штаммов зеленых микроводорослей к повышенным температурам и сравнительная оценка изменений их ростовых характеристик, биохимического состава (содержания липидов, углеводов, белков и фотосинтетических пигментов), а также экспрессии генов, связанных с тепловым стрессом, в зависимости от температурного режима культивирования. Тепловой акклиматизации подвергли 5 штаммов микроводорослей, выделенных из различных природных объектов (А – почва; В – озеро Сям; С – река Волга; D – избыточный активный ил очистных сооружений; Е – лужа). Акклиматизацию проводили при постепенном повышении температуры культивирования: 25, 27, 30, 35, 37, 39, 40, 40,5 °С; культивирование проводили в 50 мл 50% среде Тамия при интенсивности света 150 мкмоль/(м²·с). При каждой температуре проводили не менее 10 пассажей с пересевом каждые 3 суток. Для каждого штамма получены неакклиматизированный (дикий) и акклиматизированный варианты. Оба варианта штаммов культивировали при двух температурах (20 °С и 40 °С) в течение 10 суток в условиях непрерывного освещения и барботаж. Оценивали кривые роста, сухую биомассу, содержание белков, углеводов, липидов, пигментов, а также относительную экспрессию гена ко-шаперона НОР методом ПЦР-РВ с нормализацией по гену 18S рРНК.

В ходе тепловой акклиматизации у пяти штаммов зеленых микроводорослей наблюдались штамм-специфичные изменения температурных оптимумов: у штаммов В и Е оптимум сместился на +5 °С, у А и D расширился температурный диапазон, а скорость роста (по оптической плотности) возросла в 1,3–1,5 раза по сравнению с дикими культурами. При 40 °С у диких штаммов содержание липидов увеличилось на 10–30%, углеводов – на 30–41%, а белков снизилось на 15–22%; акклиматизированные штаммы накапливали липидов на 31–44% больше при 20 °С и на 43–50% больше при 40 °С (относительно диких при 20 °С), при этом потери белка у них были в два раза ниже, чем у диких. Акклиматизированные штаммы сохраняли на 20–40% больше хлорофилла а+b при 40 °С, что указывает на стабилизацию фотосинтетического аппарата. Молекулярный анализ экспрессии ко-шаперона НОР показал, что у акклиматизированных культур базальный уровень экспрессии при 20 °С был повышен в 1,5–2,0 раза, тогда как индукция при 40 °С оказалась менее выраженной, чем у диких штаммов, что свидетельствует о более стабильном протеостазе. Таким образом, тепловая акклиматизация индуцирует устойчивую метаболическую реорганизацию, повышает липидную продуктивность и термотолерантность, что делает акклиматизированные штаммы перспективными для высокотемпературных биотехнологических процессов.

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ КУЛЬТУР МИКРОВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ (ОТ ЛАБОРАТОРНЫХ ДО ПРОМЫШЛЕННЫХ МАСШТАБОВ)

Геворгиз Р.Г.¹, Шарифуллин Б.Р.^{1,2}, Скрипкин С.Г.^{1,2}, Наумов И.В.^{1,2}, Железнова С.Н.¹

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия;

² Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия

e-mail: r.gevorgiz@yandex.ru

При интенсификации процесса культивирования фотосинтезирующих микроорганизмов ключевым фактором, определяющим физиологическое состояние клеток, динамику роста и гибель культуры, является перемешивание. Интенсивное перемешивание культуры препятствует седиментации клеток, обеспечивает увеличение скорости газообмена, повышает доступность биогенных элементов и поглощение клетками лучистой энергии. Поэтому интенсивность перемешивания оказывает существенное влияние на протекание многих биосинтетических процессов в клетках и на продуктивность культуры в целом. Однако избыточная интенсивность перемешивания приводит к гибели культуры из-за возрастания сдвигового напряжения в культуральной среде, высоких механических нагрузок на клетки [1,2] и увеличения эффектов схлопывания пузырьков на поверхности суспензии [3].

В современной научной литературе проблеме перемешивания культур микроводорослей и цианобактерий уделяется недостаточное внимание. По-прежнему отсутствуют универсальные общепризнанные критерии для оценки различных режимов перемешивания, учитывающие физические и биологические особенности культур. Это обусловлено чрезвычайным разнообразием особенностей фотосинтезирующих микроорганизмов и отсутствием единых принципов проектирования конструкций фотобиореакторов с различными способами перемешивания. Проблема перемешивания особенно остро проявляется при масштабировании процесса. В промышленных фотобиореакторах существенно увеличиваются градиенты, возникают технические сложности с перемешиванием без застойных зон, а также возрастают затраты на перемешивание суспензии. В промышленной культуре поиск оптимального режима перемешивания сводится к поиску компромисса между поддержанием высокой продуктивности культуры, снижением затрат на перемешивание и уменьшением потерь урожая из-за механического разрушения клеток.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-79-30002.

1. Sobczuk T.M. et al. Effects of agitation on the microalgae *Phaeodactylum tricornutum* and *Porphyridium cruentum* // Bioprocess Biosyst. Eng. 2006. V. 28. P. 243–250. DOI: 10.1007/s00449-005-0030-3.

2. Skifa I. et al. Microalgae cultivation in raceway ponds: Advances, challenges, and hydrodynamic considerations // EFB Bioeconomy J. 2025. V. 5. P. 100073. DOI: 10.1016/j.bioeco.2024.100073.

3. Camacho F.G. et al. Effects of mechanical and hydrodynamic stress in agitated, sparged cultures of *Porphyridium cruentum* // Process Biochemistry. 2000. V. 35. P. 1045–1050. DOI: 10.1016/S0032-9592(00)00138-2.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАТОМОВОГО ФИТОПЛАНКТОНА В СИСТЕМАХ РЕКА-МОРЕ БОЛЬШОГО СОЧИ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД 2025–2026 ГОДОВ

Глушко П.А., Моисеева Ю.А.

АНОО ВО «Университет «Сириус», ФТ Сириус, Россия

e-mail: polinglu@mail.ru

Основная масса первичной продукции морских и пресноводных экосистем приходится на фитопланктон. Особую роль в морских экосистемах играют диатомовые водоросли: они могут составлять до 80–100% биомассы. Кроме того, диатомовые сообщества чутко реагируют на изменения внешних условий и являются хорошими индикаторами качества воды. В российском секторе Чёрного моря в районе Большого Сочи данные о составе и распределении диатомового фитопланктона остаются фрагментарными, пространственная изменчивость альгоценозов в градиенте «река–море» в холодный сезон практически не исследована.

Пробы отбирали в конце октября 2025 г. и в конце января 2026 г. Всего было отобрано 33 пробы в русловых, устьевых и прилегающих морских зонах рек Сочи, Хоста, Кудепста, Мацеста и Мзымта. Пробы фиксировали формалином и концентрировали осадочным методом, численность определяли в камере Горяева. Пробы для химического анализа отбирали по ГОСТ Р 59024-2020. pH и TDS измеряли непосредственно при отборе. Биогенные элементы (N, P, Si) определяли спектрофотометрическим методом.

Места отбора проб характеризовались различными гидрохимическими условиями. В русловых участках рек минерализация составляла 0,07–0,42 г/л, в устьевых зонах – 1,0–5,5 г/л, в морских – 12,28–19,3 г/л. Высокие концентрации кремния (до 4289 мкг/л) отмечены в руслах рек, в море его содержание было низким (50–578 мкг/л). Во всех точках отбора концентрации других биогенных элементов (азота, фосфора) были низкими. В октябре в фитопланктоне доминировал вид *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström. Максимальная численность (225 тыс. кл./л) отмечена на морском участке у р. Кудепста. В зимний период, при сохранении градиентов минерализации и кремния, численность фитопланктона была крайне низкой, произошла смена доминантов на пеннатные диатомеи. В большинстве проб доминировал вид *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky.

Полученные данные свидетельствуют о выраженной пространственной дифференциации условий и сезонной сукцессии диатомового сообщества: в осенний период в зонах речного влияния с повышенным содержанием кремния отмечалась более высокая численность центрических диатомей, тогда как зимой при общем снижении обилия доминирующее положение перешло к пеннатным формам.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-20030, <https://rscf.ru/project/25-17-20030>.

РОД *CYMBOSSELLAPHORA* (BACILLARIOPHYCEAE, CYMBELLALES) НА КАМЧАТКЕ: ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Глушченко А.М.¹, Миронов А.В.^{1,2}, Цеплик Н.Д.¹, Мальцев Е.И.¹,
Генкал С.И.³, Куликовский М.С.¹

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;

³ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия

e-mail: closterium7@gmail.com

Работа посвящена изучению молекулярной филогении и морфологии рода *Cymbosellaphora* (Bacillariophyceae, Cymbellales). Нами был изучен штамм *Cymbosellaphora geisslerae* (Jahn) Kulikovskiy, Glushchenko, Genkal & Kociolek, выделенный из реки Плотникова (Камчатский край, Россия), с использованием световой, сканирующей и трансмиссионной электронной микроскопии, а также молекулярных методов. Филогенетический анализ, основанный на последовательностях генов 18S рДНК и *rbcL*, показал, что *Cymbosellaphora geisslerae* относится к порядку Cymbellales и группируется в общую кладу с представителями родов *Gomphonella* и *Reimeria*. Результаты молекулярного исследования подтверждаются морфологическими данными; в докладе обсуждается разнообразие морфологии створок у *Cymbosellaphora*, *Gomphonella*, *Reimeria* и близких родов. В результате предложен новый тип закрытия ареол, характерный для *Cymbosellaphora*, уточнены диагнозы рода *Cymbosellaphora* и вида *Cymbosellaphora geisslerae*, а также выделена последовательность ДНК из эпителичного материала и проведена неотипификация с использованием молекулярных данных этого вида. Наши данные указывают на то, что концепции морфологии ареол и структуры закрытия ареол в порядке Cymbellales нуждаются в критической оценке [1].

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 25-14-00286 (<https://rscf.ru/project/25-14-00286/>).

1. Mironov A. et al. Molecular Phylogeny of the Genus *Cymbosellaphora* (Bacillariophyceae, Cymbellales): Evolutionary Significance of Areolae Morphology vs. Structure of Pore Occlusions // Phycology. 2026. V. 6. P. 34. DOI: 10.3390/phycology6020034.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТАКСОНОМИИ ДЕСМИДИЕВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ (DESMIDIACEAE, ZYGNEMATOPHYCEAE)

Гончаров А.А.

*Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
Владивосток, Россия
e-mail: gontcharov@biosoil.ru*

Зеленые конъюгирующие водоросли (класс Zygnematophyceae) занимают обособленное положение среди стрептофитных водорослей и отличаются высоким разнообразием (около 8800 видов). Омиксные исследования установили, что конъюгаты являются сестринской группой наземных растений, несмотря на простоту их организации (одноклеточные или неветвящиеся нити), отсутствие тканей и сложных диплоидных стадий жизненного цикла. Вероятнее всего, такая морфология является результатом вторичного упрощения под действием неблагоприятных условий существования.

Традиционно в составе класса выделяли два порядка – Desmidiales (с 4 семействами) и Zygnematales. Была показана полифилия этих порядков и описаны три новых порядка: Spirogyrales, Spirogloales и Serritaeniales.

Семейство Desmidiaceae отличается наибольшим разнообразием родов (30–35) и видов (>2500) в классе. Сборная природа большинства этих родов была очевидна едва ли не с момента описания, но за последние 50 лет не предпринималось ни одной попытки их ревизии. Анализ 291 последовательности гена *rbcL*, представляющих 23 рода десмидиевых, установил 22 полиродовые клады, четыре кластера, не поддержанных значениями бутстрепа, и восемь видов, не показавших родства ни с одной из этих линий. Таким образом, молекулярные данные подтвердили полифилию большинства родов десмидиевых и подчеркнули противоречия между традиционными концепциями родов, основанных на морфологических признаках, и паттерном филогенетических отношений в семействе. Очевидна необходимость уточнения диагнозов практически всех родов и описания большого числа новых. Результаты анализов расширенной выборки (>600 последовательностей *rbcL*) выявили новые клады и филогенетические линии в семействе. Практически ни одна клада не имеет синапоморфных фенотипических признаков, а большинство из них объединяет представителей нескольких традиционных родов. Ревизия семейства и поиск родовых признаков затрудняется необходимостью сравнительного анализа практически всего разнообразия десмидиевых водорослей.

ЦИАНОБАКТЕРИИ ПРИБРЕЖНЫХ МЕСТООБИТАНИЙ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Горин К.К.

*Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
Санкт-Петербург, Россия;
Ботанический институт РАН им. В.Л. Комарова, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: gorinbio@yandex.ru*

Цианобактериям, ассоциированным с субстратами, в исследованиях экосистемы Финского залива традиционно уделялось меньше внимания, чем планктонным формам, несмотря на их важную роль в формировании прибрежных сообществ. Так, за период с конца XIX до первого десятилетия XXI века в бентосе было выявлено всего 48 видов [1–5]. Настоящая работа основана на анализе материалов, собранных в два этапа. Первый этап (2010–2014 гг.) включал отбор проб с растительных, каменистых, древесных и рыхлых субстратов в Невской губе. Второй этап (2015–2025 гг.) охватывал остальные районы восточной части Финского залива. Собранная коллекция цианобактерий представлена фиксированными пробами, гербарными образцами и живыми культурами. Определение большинства таксонов выполнено по морфологическим признакам. Для 15 штаммов проведена молекулярная идентификация на основе последовательностей участка 16S рРНК.

На текущий момент в цианобактериальной флоре прибрежных местообитаний идентифицировано 197 видов, относящихся к 62 родам, 28 семействам и 11 порядкам. Среди 13 ведущих родов наиболее разнообразны *Phormidium* Kützinger ex Gomont (13 видов), *Aphanocapsa* Nägeli (12 видов) и *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont (11 видов). По составу экологических элементов флоры преобладают бентосные и пресноводные виды. Наибольшее число видов цианобактерий (115) обнаружено в ассоциациях с растительными субстратами. На рыхлых грунтах зарегистрировано 63 вида, среди которых заметную долю (13 видов, 20,6%) составляют представители порядка *Oscillatoriales* Schaffner. Каменистые субстраты содержат 62 вида, причем 43 из них (70%) также встречаются в эпифитоне. Наименьшее число видов – всего 10 – выявлено на древесных субстратах.

1. Гоби Х.Я. Отчет об альгологических изысканиях, проведенных летом 1877 г. в Финском заливе // Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. 1879. Т.10. С. 83–93.

2. Вислоух С.М. К познанию микроорганизмов Невской губы. // Известия Российского Гидрологического института. 1921. Т. 1–3. С. 83–96.

3. Häyren E. Über die Meeresalgen der Insel Hogland im Finnischen Meerbusen // Acta Phytogeographica Suecica. 1940. V. 13. P. 50–62.

4. Никулина В.Н., Анохина Л.Е. Флористический состав планктона и перифитона // Невская губа. Гидробиологические исследования. – Л.: Наука, 1987. С. 14 – 20.

5. Губелит Ю.И. Структура и функционирование прибрежных альгоценозов восточной части Финского залива. Дис. канд. биол. наук. СПб. 2011. 201 с.

РАЗНООБРАЗИЕ ЗОЛОТИСТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ТРОПИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Гусев Е.С.¹, Мартыненко Н.А.¹, Подунай Ю.А.², Шкурина Н.А.³,
Чонг Хуан Фан⁴, Чан Хоан Куок⁴, Литуанас Крис Рэй⁵

¹ *Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия;*

² *Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН,
Феодосия, Россия;*

³ *Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия;*

⁴ *Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и
технологический центр, Ханой, Вьетнам;*

⁵ *Институт биологических наук, Колледж искусств и наук, Университет Центрального
Минданао, Отдел биологии растений, Марамбаг, Букиднон, Филиппины
e-mail: algogus@yandex.ru*

Золотистые водоросли (класс Chrysophyceae) — разнообразная группа организмов, широко распространенная в пресных водах. Она включает около 1200 видов, относящихся примерно к 112 родам. Среди золотистых водорослей преобладают монады, неподвижные формы встречаются реже. Отмечены одноклеточные и колониальные формы. Большинство хризифитовых водорослей не имеют твердых клеточных покровов. У многих видов клетки окружены домиком (лорикой), имеющим различную форму и строение. Есть несколько групп золотистых водорослей, клетки которых покрыты кремнеземными структурами (чешуйки, щетинки, шипы). Характерным признаком класса считается способность образовывать кремнеземные стоматоцисты всеми представителями. Автотрофные золотистые водоросли могут доминировать в фитопланктоне, тогда как гетеротрофные являются важными компонентами микробной петли. Такое разнообразие морфологического строения и типов питания осложняет изучение золотистых водорослей, так как требует специальных подходов к изучению каждой таксономической группы. Поэтому разнообразие и распространение золотистых водорослей изучено очень неравномерно как по регионам, где наиболее изученными можно считать водоемы умеренной зоны, так и по таксономическим группам, где наиболее исследованы виды с кремнеземными покровами. Молекулярно-генетические исследования, проведенные в последние годы, существенно изменили подходы к систематике золотистых водорослей и показали, что разнообразие этой группы серьезно недооценено как в пресноводных, так и в морских экосистемах.

В докладе будут представлены данные о разнообразии водорослей класса Chrysophyceae в тропическом регионе, полученные в результате морфологических исследований фиксированных образцов, изучения культур водорослей и данных высокопроизводительного секвенирования. Материалом работы послужили результаты собственных исследований, которые проводились во Вьетнаме в 2008–2025 гг., в Индонезии в 2014–2015 гг. и Филиппинах в 2024–2025 гг., а также обзор опубликованных работ по тропическому региону. Обсуждаемые вопросы включают скрытое разнообразие в различных группах золотистых водорослей, наличие криптических/псевдокриптических видов, находки видов с признаками ископаемых таксонов, эндемичные и космополитные таксоны, а также общие особенности распространения золотистых водорослей в тропиках и сравнение их разнообразия с другими климатическими зонами.

МОДЕЛЬ ГЕНЕРАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ДАННЫХ СЕКВЕНИРОВАНИЯ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ С КОНТРОЛИРУЕМОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ВАЛИДАЦИИ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Гутник Д.И., Букин Ю.С.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: daria_gutnik@mail.ru

Анализ данных высокопроизводительного секвенирования (шотган-метагеномика, метабаркодинг) широко используется для оценки таксономического состава и функционального потенциала микробных сообществ водных экосистем. Вместе с тем композиционная природа таких данных, их разреженность и зависимость от абиотических факторов среды могут приводить к появлению ложных статистических взаимосвязей между таксонами, затрудняя экологическую интерпретацию результатов.

Для решения проблемы композиционности разрабатываются специальные методы, такие как SparCC и SPIEC-EASI [1]. Однако их валидация опирается на симуляторы синтетических данных: NorTA [1], CAMISIM [2] и SparseDOSSA 2 [3], задающие корреляции через статистические параметры. Это ограничивает биологическую интерпретируемость формируемых паттернов и не позволяет надежно дифференцировать экологические взаимодействия от математических артефактов.

В работе представлена модель генерации синтетических метагеномных данных, в которых корреляции между таксонами возникают эмерджентно как следствие контролируемого экологического механизма потребления ресурсов. Задачи исследования включали: (1) создание алгоритма генерации ресурсов с произвольной топологией зависимостей; (2) реализацию распределения видов по ресурсным группам с параметризуемой специализацией; (3) построение модели численности видов на основе линейного потребления ресурсов; (4) разработку конвейера постобработки и анализа, включающего реконструкцию корреляционных сетей; (5) валидацию модели.

Методологическую основу составила статическая модель ресурсной конкуренции, реализованная на языке Python с использованием библиотек NumPy, SciPy, Pandas, Matplotlib, Seaborn и NetworkX. Корреляции между видами в модели формируются автоматически через общие зависимости потребляемых ресурсов: каждый ресурс может быть независимым (равномерное распределение) или зависимым от другого ресурса через регулируемый коэффициент связи с контролируемым уровнем шума.

В тестовой конфигурации модель продемонстрировала формирование устойчивых корреляционных паттернов, согласующихся с заданными параметрами. Иерархическая кластеризация корректно восстановила ресурсные группы, а визуализация сети подтвердила топологическую структуру взаимодействий. Таким образом, разработанный алгоритм может служить для систематической оценки чувствительности и специфичности методов реконструкции сетей в микробных сообществах.

1. Kurtz Z.D. et al. Sparse and compositionally robust inference of microbial ecological networks // PLoS Computational Biology. 2015. V. 11. P. e1004226. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1004226.

2. Fritz A. et al. CAMISIM: simulating metagenomes and microbial communities // Microbiome. 2019. V. 7. P. 17. DOI: 10.1186/s40168-019-0633-6.

3. Ma C. et al. A statistical model for describing and simulating microbial community profiles // PLoS Computational Biology. 2021. V. 17. P. e1008913. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1008913.

ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАСХОЖДЕНИЕ ПОЛОВОГО ПРОЦЕССА У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *HASLEA* SIMONSEN

Давидович О.И., Давидович Н.А.

Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал
ФИЦ ИнБЮМ РАН, Феодосия, Россия
e-mail: olivdav@mail.ru

В настоящее время род диатомовых водорослей *Haslea* Simonsen включает 38 таксономически признанных видов. Среди них есть виды, способные синтезировать уникальный пигмент сине-зеленого цвета, называемый мареннином, и виды, не продуцирующие этот пигмент. Более того, эти две группы на филогенетическом дереве разделяются на две клады. Ранее нами было изучено половое воспроизведение, жизненный цикл и система скрещивания у четырех мареннин-синтезирующих видов (*H. ostrearia* (Gaillon) Simonsen, *H. karadagensis* Davidovich, Gastineau & Mouget, *H. provincialis* Davidovich, Gastineau & Mouget, *H. silbo* Gastineau, Hansen & Mouget). Новые данные получены для представителя рода *Haslea*, не содержащего пигмент.

У всех окрашенных видов половой процесс изогамный (полная изогамия, морфологическая и поведенческая). У вновь изученного вида половой процесс кардинально отличается: здесь наблюдается цис-анизогамия с активными гаметами в мужском гаметангии и пассивными – в женском. При формировании мужских гамет содержимое клетки делится транс-апикально с последующей перегруппировкой. При этом на поверхности мужских гамет формируются цитоплазматические выросты, которые ранее не отмечались у представителей рода *Haslea*. Зиготы, как правило, располагаются между женскими гаметангиальными створками. После формирования аукоспор процесс заканчивается образованием инициальных клеток. Обычно каждая гаметангиальная пара производит две инициальные клетки.

Псевдоподии у гамет – это эволюционная инновация, появившаяся у пеннатных диатомей взамен жгутикового аппарата, характерного для гамет центрических диатомей. Эти актин-содержащие цитоплазматические выросты выполняют функции поиска, распознавания и непосредственного цитоплазматического контакта необходимого для сингамии. Псевдоподии особенно актуальны для бесшовных пеннатных, неспособных к движению. Сохранение этой эволюционной адаптации у шовных пеннатных, в частности у изучаемого нами вида, представляет особый интерес, поскольку у этих диатомей функция доставки гамет перешла к самим родительским клеткам благодаря их подвижности.

Таким образом, получено весомое биологическое доказательство эволюционного расхождения представителей рода *Haslea* на две группы: одна объединяет виды, способные синтезировать пигмент мареннин, а вторая – виды, у которых он отсутствует.

Работа выполнена с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «Коллекция диатомовых водорослей Мирового океана».

ПОЧЕМУ *NITZSCHIA LONGISSIMA* НЕ ОТНОСИТСЯ К РОДУ *NITZSCHIA*: УБЕДИТЕЛЬНЫЙ ПРИМЕР ИНТЕГРАТИВНОЙ ТАКСОНОМИИ

Давидович Н.А.¹, Давидович О.И.¹, Куликовский М.С.²

¹ Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал
ФИЦ ИнБЮМ РАН, Феодосия, Россия;

² Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия
e-mail: karadag-algae@yandex.ru

Пеннатные диатомовые водоросли рода *Nitzschia* Hassall в широком смысле (*sensu lato*) являются классическим примером полифилетического «сборного таксона», где морфологическое сходство в форме створки замаскировало глубокие эволюционные расхождения. Эта проблема наиболее ярко иллюстрируется видом *Nitzschia longissima* (Brébisson ex Kützinger) Grunow – обычным, широко распространенным и очень заметным, знакомым каждому диатомологу. Такие виды, как *N. longissima*, долгое время служили воплощением традиционного морфологического понимания рода, однако их истинные филогенетические связи оставались под вопросом, что подчеркивает ограниченность сугубо морфологического подхода.

Для проверки родовой принадлежности *N. longissima* и ее ближайших родственников мы применили полифазный подход: (1) молекулярную филогенетику (гены SSU, LSU, *rbcL*) для установления четких границ клад; (2) детальную морфологию и ультраструктуру (световая и сканирующая электронная микроскопия) с особым вниманием к хлоропластному аппарату; и (3) сравнительную биологию размножения, исследуя системы спаривания и тип полового размножения.

Филогенетический анализ неизменно выделяет *N. longissima*, *N. rectilonga* Takano и *N. ventricosa* J.L.Palmer в отдельную, хорошо поддержанную кладу, обособленную от ядра рода *Nitzschia* и других родственных родов. Поразительное и редкое состояние в рамках рода *Nitzschia* – полипластидия (более 30 хлоропластов на клетку) – характерно для всех представителей этой клады, что является заметной апоморфией среди пеннатных диатомей. Исследование полового воспроизведения выявило в пределах данной клады уникальную цис-анизогамную схему полового процесса, лишенную копуляционных каналов, что представляет собой фундаментальное расхождение с репродуктивными паттернами, характерными для базальной группы *Nitzschia*, у которой копуляционные каналы присутствуют, и с их ближайшими родственниками, которые изогамны или транс-анизогамны.

Согласованные данные, полученные по трем независимым направлениям исследований, представляют собой убедительное и неопровержимое доказательство того, что клада, включающая *N. longissima*, является самостоятельной эволюционной линией, которая заслуживает признания на родовом уровне. Поэтому мы предлагаем описать новый род, включающий названные виды. Данное исследование подчеркивает, что интегративная таксономия – особенно включение репродуктивных признаков в качестве ключевых филогенетических маркеров – это современный и необходимый подход для устранения искусственных группировок и перехода систематики диатомовых к естественной и прогностической системе.

КОЛЛЕКЦИЯ ЖИВЫХ КУЛЬТУР КАРОТИНОГЕННЫХ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ ФИЦ ИНБЮМ: ПОПОЛНЕНИЕ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НОВЫХ ШТАММОВ

Данцюк Н.В., Мансурова И.М., Дегтяр И.В., Кулешова О.Н., Кирип М.П.,
Бочарова Е.А., Лишаев В.Н., Кривенко О.В.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия
e-mail: dantsiuk@ibss-ras.ru

Специализированная коллекция живых культур каротиногенных микроводорослей ФИЦ ИнБЮМ создана более 20 лет назад для изучения механизмов адаптации эврибионтных и экстремофильных водорослей, а также перспектив их биотехнологического применения. На сегодняшний день в ней поддерживается 131 штамм Chlorophyta, преимущественно представителей порядков Chlamydomonadales и Sphaeropleales. Изоляты отличаются высокой метаболической пластичностью и способностью синтезировать биологически активные соединения, включая кетокаротиноиды группы астаксантина и жирные кислоты, широко востребованные в медицине, косметологии, производстве кормов и биодизеля.

В рамках развития коллекции в 2024 году начат скрининг альгофлоры Крыма с целью получения адаптированных к местным условиям штаммов. На текущий момент из экстремальных биотопов западной и юго-восточной частей полуострова выделено 37 изолятов Chlorophyta. Они относятся к различным экологическим группам микроводорослей: водные, аэрофильные, почвенные виды, фикобионты лишайников. Точная таксономическая идентификация выполнена для шести изолятов. Для обоснования видовой принадлежности использовали интегративный подход, который включал описание жизненного цикла, морфологическую характеристику на основе световой и сканирующей электронной микроскопии, а также филогенетический анализ участка ядерного генома в области рибосомного кластера ITS1–5.8S–ITS2. По совокупности диагностических признаков новые изоляты отнесены к классу Chlorophyceae и Trebouxiophyceae и зарегистрированы в каталоге как *Coelastrella thermophila* IBSS-98, *Tetrademus obliquus* IBSS-164, *Desmodesmus multivariabilis* IBSS-167, *D. multivariabilis* IBSS-171, *Dictyosphaerium ehrenbergianum* IBSS-163 и *Stichococcus* sp. IBSS-168. Геномные последовательности штаммов депонированы в NCBI. Все виды являются новыми для коллекции, а *C. thermophila* IBSS-98, по-видимому, является первым представителем этого таксона в российских коллекциях. Электронные паспорта с подробной информацией доступны на сайте <https://algae.ibss-ras.ru>.

Анализ литературных данных подтверждает высокую эффективность практического использования выделенных штаммов микроводорослей в замкнутых биотехнологических циклах, включая переработку отходов, очистку вод и синтез ценных биопродуктов. Высокий потенциал новых крымских изолятов для развития биоэкономики определяет необходимость их дальнейшего изучения и открывает перспективы для практического применения.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда №24-26-20121 «Создание биоресурсной коллекции каротиногенных водорослей региона» (номер гос. регистрации 124102900026-9) и гос. задания «Комплексное исследование механизмов функционирования морских биотехнологических комплексов с целью получения биологически активных веществ из гидробионтов» (№ гос. регистрации 124022400152-1).

ВСТРЕЧАЕМОСТЬ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕТИПИЧНЫХ ДЛЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Дмитриева О.А.^{1,2}, Мельник А.С.¹, Голенко М.Н.¹, Шартон А.Ю.¹

¹ Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН, Москва, Россия;

² Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Калининград, Россия
e-mail: AnastassizaHabar@mail.ru

Юго-восточная часть Балтики (ЮВБ) в значительной степени подвержена влиянию адвекций североморских вод. Эти периодически возникающие события влияют на всю экосистему моря, в том числе на структуру сообществ фитопланктона. Многолетние мониторинговые данные позволили установить, что помимо типичных для ЮВБ и моря в целом диатомей, формирующих осеннее «цветение» воды – *Coscinodiscus granii* L.F. Gough, *Actinocyclus octonarius* Ehrenberg, *A. normanii* (W. Gregory ex Greville) Hustedt, – в составе осенних сообществ стали многочисленными нетипичные для ЮВБ диатомеи – *Dactyliosolen fragilissimus* (Bergon) Hasle и *Cerataulina pelagica* (Cleve) Hendey. Их массовое развитие в прибрежной и открытой части ЮВБ регистрировалось осенью 2020–2021 гг. Анализ проб фитопланктона, отобранных 01–20.12.2025 г. в 64-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» в исключительной экономической зоне России в ЮВБ, а также результатов экспедиций в прибрежной зоне ЮВБ вдоль побережья Куршской косы в сентябре–октябре 2025 г., показал, что суммарная биомасса фитопланктона в фотическом слое в декабре 2025 г. (до 30 м) варьировала от 0,11 до 0,6 мг/л. На склоне Гданьской и Готландской впадин (глубины 70–109 м), а также в районе Самбийско-Куршской возвышенности (глубина 49 м) по биомассе доминировали крупноклеточные диатомеи *Coscinodiscus granii*, составившие до 90% от суммарной биомассы. В открытой части (Готландская впадина) в доминантный комплекс также вошел *Actinocyclus octonarius*. Анализ вертикального распределения фитопланктона в мелководно-прибрежной зоне северного побережья Самбийского полуострова (глубина 14 м) показал наличие в составе доминантного комплекса нетипичной для акватории ЮВБ крупноклеточной диатомеи *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg, составившей от 11 до 20% от суммарной биомассы. Наибольшая биомасса этого вида была отмечена на горизонте 9 м – 0,13 мг/л. В поверхностном и придонном горизонтах (0 м и 14 м соответственно) биомасса была сходной – 0,05 мг/л. Вид также обнаружен в фотическом слое районов Гданьской и Готландской впадин, а также в районе Самбийско-Куршской возвышенности, где его биомасса составила 0,003 мг/л.

Coscinodiscus radiatus наряду с *Coscinodiscus granii* был отмечен также и в прибрежной зоне моря вдоль побережья Куршской косы в сентябре 2025 г., при этом биомасса фитопланктона изменялась от 0,95 до 11,99 мг/л, составляя в среднем 3,92 мг/л. К октябрю на фоне доминирования тех же видов биомасса изменялась от 2,55 до 9,32 мг/л, составляя в среднем 5,45 мг/л. Возможно, приносимые в результате адвекций нетипичные виды диатомей находят в ЮВБ благоприятные условия для своего развития.

Вопрос, который требует рассмотрения: почему адвекции, которые и ранее периодически регистрировались в Балтийском море (в период мониторинговых наблюдений за фитопланктоном с 2009 по 2019 гг.), не оказывали такого влияния на структуру осенних сообществ фитопланктона? Более частая встречаемость и высокий уровень количественного развития нетипичных для ЮВБ диатомей отмечаются только в последние пять лет.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН, тема № FMWE-2024-0025.

ВОДОРОСЛИ И ЦИАНОБАКТЕРИИ В ПОЧВАХ ДЕТСКИХ ПЛОЩАДОК ЮГО-ВОСТОКА МОСКВЫ

Дорохова М.Ф., Якушев А.В.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: dorochova@mail.ru

Водоросли и цианобактерии в почвах детских площадок Москвы (на примере Юго-Восточного административного округа – ЮВАО) изучены в рамках комплексного исследования экологического состояния почв селитебных зон Москвы. Микрофототрофы чутко реагируют на изменения среды обитания, что делает их ценным объектом биологической диагностики почв и позволяет получить дополнительные сведения о процессах, протекающих в городских почвах.

Пробы почв отобраны по периметру 20 детских площадок в ЮВАО г. Москвы на газонах, вне проекции крон деревьев; пробы фоновой почвы – в Мещерском национальном парке 1–9 ноября 2024 г. из слоя 0–5 см. Водоросли и цианобактерии, а также сопутствующие им актиномицеты и микромицеты, изучены в чашечных культурах на стеклах обростания, диатомовые водоросли – в постоянных препаратах на среде Эльяшева. Культивирование осуществлялось при температуре 16–18 °С и влажности проб 60–80% от ПВ в течение 2 месяцев.

ЮВАО – один из относительно загрязненных районов Москвы, где источниками загрязнения воздуха и почв являются автомобильный и железнодорожный транспорт, несколько промышленных предприятий; зимой – противогололедные реагенты.

В фоновых почвах обнаружено 6 видов цианобактерий и 51 вид водорослей, преобладали зеленые и стрептофитовые. В комплексе диатомовых водорослей велика представленность гидрофильных и амфибиальных видов, галофильные и алкалифильные виды не встречены. В составе эдафотрофных водорослей число видов, не устойчивых к высушиванию почвы, значительно превышает число ксерофильных видов (отношение $X+N/P+M$ жизненных форм = 6,3).

В почвах детских площадок обнаружено 30 видов цианобактерий и 74 вида водорослей. Исчезают виды, не устойчивые в условиях городской среды. В составе сообществ микрофототрофов появляются синантропные виды – разнообразные безгетероцистные цианобактерии-ксерофиты, тяготеющие к незадернованным участкам почвы (отношение $X+N/P+M$ жизненных форм = 1,7), галофильные и алкалифильные виды. В поверхностных разрастаниях отмечены межорганизменные взаимодействия водорослей и цианобактерий с гифами микромицетов и актиномицетным мицелием. Состав водорослей и цианобактерий почв детских площадок в ЮВАО отражает основные направления антропогенной трансформации почв – подщелачивание, сезонное засоление, периодическое сильное иссушение почвы, загрязнение тяжелыми металлами.

Альгологические исследования выполнены в рамках темы государственного задания «Эколого-геохимическая трансформация ландшафтов в условиях климатических изменений и усиления антропогенной нагрузки». Микробиологические исследования выполнены в рамках темы государственного задания № 121040800174-6 «Почвенные микробиомы: геномное разнообразие, функциональная активность, география и биотехнологический потенциал».

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА КАК ЭЛЕМЕНТА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АКВАТОРИИ ЧЁРНОГО МОРЯ

Егоркин А.А., Андреева Н.А.

Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия

e-mail: egorkin1974@yandex.ru

Одной из составляющих экологического мониторинга водных объектов является обнаружение загрязнений органическими веществами. В данном случае, индикаторами могут служить микроводоросли – показатели сапробности. Сапробность обуславливается как потребностью организмов в органическом питании, так и приспособлением к существованию в загрязненных водах. Чем больше организм приспособлен к загрязнению, тем выше степень его сапробности.

Идентификация и подсчет частоты встречаемости микроводорослей, присутствующих в определенный момент времени в акватории, осуществлялись при микроскопировании прижизненных образцов перифитона [1]. Вычисление индекса сапробности исследуемого водного объекта и его загрязненности зависело от видового состава микроводорослей в исследуемой пробе.

Данный способ требует наличия высококвалифицированных специалистов и много времени для обработки результатов. В связи с этим для совершенствования методики экологического мониторинга акватории Чёрного моря были использованы технологии искусственного интеллекта, что и явилось целью работы. Именно к таким технологиям относится применение нейронных сетей, которые хорошо себя зарекомендовали для решения задач классификации изображений в различных научных областях [2]. Наибольшее распространение в практике получило семейство моделей YOLO [3].

Алгоритм совершенствования методики включал следующие этапы:

1. Ежемесячное исследование образцов перифитона с использованием метода «стекло обростания», установленных на прибрежном мелководье.
2. Микроскопирование и идентификация микроводорослей в изучаемых образцах перифитона и определение индекса сапробности.
3. Составление базы данных, а также создание обучающей и тестовой выборки.
4. Обучение нейронной сети YOLO и выбор соответствующих гиперпараметров.
5. Аprobация модели с использованием тестового набора изображений.

Практическая ценность результатов предложенной методики заключается в возможности создания интеллектуальной системы автоматизации процессов альгологических исследований и ее использования для проведения экологического мониторинга водных объектов.

1. Андреева Н.А. Структура перифитонных сообществ микроводорослей и цианобактерий в прибрежной акватории Севастополя // Системы контроля окружающей среды. 2025. № 1. С. 79–90. DOI: 10.33075/2220-5861-2025-1-79-90.

2. Горохов О.Е. и др. Интеллектуальные технологии сегментации и классификации микробиологических фотоизображений // Вестник Московского ун-та. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2023. № 4. С. 21–32. DOI: 10.55959/MSU/0137.

3. Liu S. et al. ADA-YOLO: Dynamic Fusion of YOLOv8 and Adaptive Heads for Precise Image Detection and Diagnosis // arXiv preprint arXiv:2312.10099. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2312.10099.

«МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ»: РОССИЙСКАЯ ПЛОЩАДКА МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУКИ

Егоров В.Н., Корнийчук Ю.М.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

e-mail: mbj@imbr-ras.ru

«Морской биологический журнал» (Marine Biological Journal) издается с 2016 года под эгидой двух научных учреждений РАН – Зоологического института и Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского. Специализация институтов-соиздателей закономерно определяет его профиль: публикация оригинальных научных статей и кратких научных сообщений, содержащих новые данные теоретических и экспериментальных исследований в области морской биологии, материалы о разнообразии морских организмов, их популяций и сообществ, закономерностях распределения живых организмов в Мировом океане, результаты комплексного изучения морских и океанических экосистем, антропогенного воздействия на морские организмы и экосистемы в целом.

Журнал с названием на русском и английском языках действует как двуязычная научная площадка, содействующая беспрепятственному обмену научными результатами в области морской биологии. Этой же цели служит интернациональный состав редколлегии, в которой представлены ученые из причерноморских стран, Средиземноморья и приатлантических регионов (России, Болгарии, Румынии, Турции, Греции, Туниса, Италии, Черногории, США). Стремясь повысить доступность результатов российских ученых для международного научного сообщества, мы бесплатно для авторов переводим на английский язык тексты опубликованных на русском языке статей. Переводные версии публикуются на сайте издания наряду со статьями на русском. Такая политика уже обеспечила привлечение авторов из «морских» научно-исследовательских институтов и университетов России, Турции, Китая, Вьетнама, Италии, Алжира, Норвегии, Польши, Мексики, США, ЮАР, Гвинеи, Омана. Важно, что ни один выпуск журнала не бывает ни полностью, ни преимущественно «домашним».

Способствует успеху журнала его сайт <https://marine-biology.ru/mbj>: полностью двуязычный, интерактивный, очень информативный; все его разделы оперативно обновляются. Мы используем не OJS, а прямую подачу авторами материалов на электронную почту журнала, полагая живое общение издателей и авторов ценностью в нашем все более механистичном мире.

Мы практикуем открытый доступ к текстам опубликованных статей. Они представлены на сайте журнала, в репозиториях ФИЦ ИнБЮМ, AquaDocs и CORE, Российской государственной библиотеке и eLibrary.ru.

Научный уровень журнала (отражающийся в росте наукометрических индексов) обеспечивают: высокий уровень рецензентов – активно работающих профильных ученых; стандарт двойного слепого рецензирования; контроль (автоматический и экспертный) оригинальности рукописей; тщательная редакторская правка и высокопрофессиональная корректура; и, конечно, научный уровень публикуемых статей.

По состоянию на 2026 год «Морской биологический журнал» индексируется в SCOPUS (Q3–Q4) и Web of Science (Zoological Records, Biological Abstracts), реферируется в Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA) и ВИНИТИ. Журнал входит в ядро РИНЦ, перечень ВАК (1 категория), Белый список (ЕГПНИ) (уровень 1).

ВОДОРΟΣЛИ РОДА *NAUTOCOCCUS* (CHLOROPHYCEAE, CHLOROPHYTA) И ИХ ПРЕДСТАВИТЕЛЬ ИЗ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Егорова И.Н.¹, Кулакова Н.В.¹, Болдина О.Н.²

¹ Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия;

² Ботанический институт РАН им. В.Л. Комарова, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: egorova@sifibr.irk.ru

Род *Nautococcus* с типовым видом *N. mamillatus* Korshikov был установлен А. А. Коршиковым в 1926 г. [1] на основе изучения материалов с территории современной Украины. Представители рода – одноклеточные организмы, обитающие преимущественно на поверхности воды, с характерной морфологией клеток: от шаровидной до грушевидной или луковичеобразной формы, с крупным центральным хлоропластом и пиреноидом; на одном из полюсов клетки, как правило, развит плавательный колпачок. В разное время в составе рода насчитывалось от пяти до 15 видов [1,2]. *Nautococcus* не относится к часто встречающимся организмам. Тем не менее его представителей находили в разных регионах мира: в Европе, Азии, Северной и Южной Америке, Антарктиде и Арктике. Водоросли приурочены к водным биотопам, известны их находки и в наземных местообитаниях. Это все еще малоизученная группа: для большинства описанных видов типом служат иллюстрации. Только для одного вида – *N. soluta* P.A. Archibald – имеются опубликованные данные молекулярно-генетических исследований. На территории России *Nautococcus* регистрировали в водных и наземных биотопах в разных регионах, однако находки здесь единичны. Нами был обнаружен представитель рода в Забайкальском крае, в ассоциациях с наземными мохообразными. Водоросль была введена в культуру и изучена с помощью методов микроскопии и молекулярной генетики (маркеры 18S-ITS1-5.8S-ITS2, *tufA*). По морфологическим признакам находка из Забайкалья соответствует виду *N. caudatus* Korshikov. В результате проведенной работы получены новые данные об особенностях жизненного цикла, размножения представителей рода и их распространения.

1. Korshikov A.A. On some new organisms from the groups Volvocales and Protococcales and on the genetic relations of these groups // Archiv für Protistenkunde. 1926. V. 55. P. 439–503.

2. Index Nominum Algarum, University Herbarium, University of California, Berkeley. Compiled by Paul Silva. – URL: <https://ucjeps.berkeley.edu/INA.html> (Дата обращения 01.02.2026).

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ФОТОБИОСИНТЕЗА ЭЙКОЗАПЕНТАЕНОВОЙ КИСЛОТЫ В КУЛЬТУРЕ *PORPHYRIDIDIUM PURPUREUM* (BORY) ROSS ПРИ ВИХРЕВОМ ПЕРЕМЕШИВАНИИ

Железнова С.Н.¹, Шарифуллин Б.Р.^{1,2}, Скрипкин С.Г.^{1,2}, Наумов И.В.^{1,2}, Геворгиз Р.Г.¹

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия;

² Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск, Россия

e-mail: zheleznovasveta@yandex.ru

Эйкозапентаеновая кислота (ЭПК) – неотъемлемый компонент рациона человека, нормализующий липидный профиль, снижающий воспаление и регулирующий агрегацию тромбоцитов. Перспективным возобновляемым источником ЭПК являются микроводоросли [1–5]. Красные микроводоросли *Porphyridium* sp. отличаются высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), включая ЭПК, и рассматриваются как перспективные продуценты для промышленного производства [5].

В работе изучено накопление ПНЖК клетками *P. purpureum* в фотобиореакторах (ФБР) вихревого и плоскопараллельного типа в условиях накопительного и непрерывного культивирования. Объем культуры составлял 10 л, рабочий слой – 5 см. Облученность – 300 мкЕ/м². В плоскопараллельном ФБР перемешивание осуществляли барботажем воздуха (1,2 л/мин на литр культуры), в вихревом – за счет плавающей шайбы из поликарбоната, генерирующей вихревое движение.

Концентрация ЭПК в биомассе *P. purpureum*, выращенной в вихревом ФБР, достигала 33 мг/г, продукция ЭПК – 0,33 г/(сут·м²); в плоскопараллельном ФБР – 2,73 мг/г и 0,0273 г/(сут·м²) соответственно. Таким образом, продукция ЭПК в условиях вихревого перемешивания увеличилась в 12 раз. Отношение ω_6/ω_3 также различалось: 0,48 в вихревом и 6,6 в плоскопараллельном ФБР. Следовательно, вихревое перемешивание является наиболее перспективным для промышленного производства ЭПК.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-79-30002.

1. Bailey E. et al. Comparative bioavailability of DHA and EPA from microalgal and fish oil in adults // International Journal of Molecular Sciences. 2025. V. 26. P. 1–14. DOI: 10.3390/ijms26199343.

2. Preechaphonkul N. et al. Freshwater green alga *Chlorella* sp. KLSc59 produced all forms of omega-3 oil: ALA, EPA, and DHA // Algal Research. 2024. V. 80. P. 1–18. DOI: 10.1016/j.algal.2024.103532.

3. Cui Y. et al. Development of high-level Omega-3 Eicosapentaenoic Acid (EPA) production from *Phaeodactylum tricornutum* // Journal of Phycology. 2021. V. 57. P. 258–268. DOI: 10.1111/jpy.13082.

4. Piyatilleke S. et al. Large-scale production of *Nannochloropsis*-derived EPA: Current status and perspectives via a biorefinery context // Food and Bioproducts Processing. 2024. V. 148. P. 255–268. DOI: 10.1016/j.fbp.2024.09.002

5. Asgharpour M. et al. Eicosapentaenoic acid from *Porphyridium cruentum*: increasing growth and productivity of microalgae for pharmaceutical products // Energies. 2015. V. 9. P. 10487–10503. DOI: 10.3390/en80910487.

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ И БАКТЕРИЙ ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Захарова Ю.Р.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: julia.zakharova@gmail.com

Диатомовые водоросли и бактерии сосуществуют и совместно эволюционируют более 200 миллионов лет, и их сложные и гетерогенные взаимодействия варьируют от синергических до конкурентных и антагонистических. Взаимодействия диатомовых водорослей и бактерий, регулируемые разнообразными метаболитами и биохимическими посредниками, влияют на формирование водных пищевых цепей, управляют круговоротом питательных веществ и контролируют цветение водорослей. Большая часть современных исследований проводилась в водных экосистемах океана – на них приходится более 70% от общего объема литературы по взаимодействию диатомей и бактерий. Основные направления научных работ включают механизмы множественных взаимодействий и их изменчивости под влиянием изменений окружающей среды, а также потенциальные биотехнологические применения. Пресноводные экосистемы менее изучены в этих направлениях, однако озеро Байкал является наиболее исследованным озером в области альго-бактериальных взаимоотношений [1].

Результаты получены в экспериментах по совместному культивированию диатомей и бактерий, а также в ходе полевых исследований в сочетании с анализом данных высокопроизводительного секвенирования. Комплексные исследования включают изучение структуры альго-бактериальных сообществ в различных экотопах озера Байкал, закономерностей совместного обитания диатомовых водорослей и бактерий, методов и процедуры удаления сателлитных бактерий из культур диатомовых водорослей, а также эффекта обмена метаболитами между диатомовыми водорослями и бактериями. Всестороннее изучение взаимодействий между диатомовыми водорослями и бактериями способствует пониманию их фундаментального значения для регулирования динамики популяций обеих групп, которые связаны с потоком энергии и круговоротом питательных веществ в озере Байкал.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR-2026-0001).

1. Hu C. et al. Comprehensive review of diatom-bacterial interactions inferred from bibliometric analysis // Rev. Aquac. 2025. V. 17. P. e12974. DOI: 10.1111/raq.12974.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОПЛАНКТОНА И МИКРОФИТОБЕНТОСА В РАЙОНЕ ЛОКАЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ЛИТОРАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Захарова Ю.Р., Фирсова А.Д., Родионова Е.В., Бузевич В.В., Лихошвай Е.В.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: julia.zakharova@gmail.com

Литоральная зона Байкала наиболее чувствительна к влиянию природных и антропогенных факторов, характеризующихся повышением температуры и концентрации биогенных элементов. Целью работы было определение таксономической структуры и количественных характеристик летнего фитопланктона и микрофитобентоса литорали озера Байкал в районе сброса сточных вод канализационно-очистных сооружений (КОС) г. Слюдянка в реку Похабиха. Для исследования фитопланктона пробы воды отбирали в реке до и после места сброса сточных вод КОС, а также в прибрежной воде Байкала на расстоянии 50–550 м от берега в литорали и 3 км от берега в пелагиали озера в августе 2024 г. Микрофитобентос отбирали с камней и ила на глубинах 1,8–12,6 м. Анализ проб проводили с использованием методов световой и электронной микроскопии.

В результате исследований фитопланктонных и факультативно-планктонных сообществ было выявлено 54 вида и внутривидовых таксона. По количеству видов преобладали Chrysophyta (20), Chlorophyta (10) и Bacillariophyta (15); менее разнообразны были Cyanobacteria (5), Dinophyta (2) и Charophyta (2). Количество видов в исследуемом районе увеличивалось по мере удаления от реки. В большинстве проб, за исключением пелагической станции, было высоко содержание бентосных диатомей. Общая численность водорослей изменялась от 156 до 2312 тыс. кл./л, а биомасса достигала 307,5 г/м³ за счет крупноклеточной *Spirogyra* sp. Высокая численность *Spirogyra* sp. (1441,2 тыс. кл./л) была отмечена в прибрежной воде напротив устья реки, однако в остальных пробах она не встречалась. В литоральной зоне на расстоянии от берега от 330 до 550 м доминировали *Dinobryon suecicum* Lemmermann и *Ankistrodesmus arcuatus* Korshikov, а в качестве субдоминантов определены *D. Sociale* (Ehrenberg) Ehrenberg, *Microcystis pulvereae* (H.C. Wood) Fort, *Lindavia minuta* (Skvortzov) T. Nakov, *Monoraphidium griffithii* (Berkeley) Komárková-Legnerová. Также в доминирующую группу входили диатомовые *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal / *Fragilaria radians* (Kützing) D.M. Williams & Round с максимальной численностью в пелагиали.

В альгоценозах микрофитобентоса озера Байкал вблизи устья р. Похабиха выявлено 200 таксонов диатомей, среди которых доминировали семейства Naviculaceae (36), Cymbellaceae (26), Fragilariaceae (19), Achnanthaceae (16) и Bacillariaceae (17). Из всех обнаруженных таксонов около 40% являлись космополитами и 22% – эндемичными видами озера. На каменистых субстратах видовое богатство диатомовых с глубиной увеличивалось. Здесь средняя численность микрофитобентоса составила 350×10^6 кл./м². Наибольшее число видов наблюдалось на фоновой станции на глубине 11 м (80 видов). На илистых песках количество таксонов не зависело от глубины отбора проб и составляло 46–51 вид, среди которых были определены многочисленные эндемики Байкала. Таким образом, по отношению к степени органического загрязнения состав видов-показателей сапробности в большинстве сформирован ксено-, олиго- и ксеноолигосапробами, что соответствует статусу олиготрофного водоема.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR-2026-0001).

ЛАМИНАРИЕВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ КАМЧАТКИ КАК ИСТОЧНИК ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ

Кальченко Е.И.¹, Аминина Н.М.², Юрьева М.И.²

¹ Камчатский филиал Государственного научного центра Российской Федерации
Федерального государственного бюджетного научного учреждения «ВНИРО»,
Петропавловск-Камчатский, Россия;

² Тихоокеанский филиал Государственного научного центра Российской Федерации
Федерального государственного бюджетного научного учреждения «ВНИРО»,
Владивосток, Россия

e-mail: e.kalchenko@kamniro.vniro.ru

В искусственных кормах для рыб основным источником физиологически важных жирных кислот (ЖК) – эйкозапентаеновой (ЭПК), докозагексаеновой (ДГК) и арахидоновой (АРК) – является рыбий жир. В настоящее время актуальной задачей является поиск альтернативных источников, способных заменить рыбий жир в аквакультуре. Для снижения потребления рыбьего жира практикуют его частичную замену на масла наземных растений, в которых отсутствуют ЭПК, ДГК и АРК, что приводит к ухудшению качества выращиваемых рыб [1]. Промышленное культивирование морской микроводоросли *Schizochytrium limacinum* обеспечивает биомассу с высоким содержанием липидов и ДГК, однако отличается высокой стоимостью [2].

Цель работы – оценка состава ЖК общих липидов массовых видов ламинариевых водорослей (*Hedophyllum bongardianum* (Postels & Ruprecht) Yendo и *Alaria angusta* Kjellman) из Авачинского залива (Юго-Восточная Камчатка).

Материалом для работы послужили сборы проб водорослей из Авачинского залива (мыс Вилкова, бухта Шлюпочная, мыс Маячный, бухта Безымянная, бухта Вилучинская, бухта Спасения) в период с мая по сентябрь 2005–2008 годов.

H. bongardianum. Содержание липидов у водорослей-макрофитов составляло 1,2–2,2% сухого вещества. В составе ЖК на долю полиненасыщенных ЖК (ПНЖК) ω -3 типа приходилось 14,1–28,7%, ω -6 типа – 18,1–29,8% (от суммы всех ЖК). Концентрация ЭПК составляла 5,7–11,4%, АРК – 7,5–12,6%, ДГК отсутствовала.

A. angusta. Содержание липидов составляло 1,0–1,8% сухого вещества. На долю ПНЖК ω -3 типа приходилось 23,2–36,6%, ω -6 типа – 22,8–26,7%. Концентрация ЭПК у этого вида составляла 10,3–14,5%, АРК – 14,0–15,5%, ДГК отсутствовала. Следует отметить, что *A. angusta* по уровню содержания ПНЖК ω -3 и ω -6 типов превосходила *H. bongardianum*.

Содержание липидов у ламинариевых водорослей невелико, однако их огромные запасы позволяют рассматривать данные водоросли в качестве потенциального источника ЭПК и АРК для аквакультуры.

1. Махутова О.Н., Гладышев М.И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты в физиологии и метаболизме рыб и человека: значение, потребности, источники // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 2020. Т. 106. № 5. С. 601–621. DOI: 10.31857/S0869813920050040.

2. Kousoulaki K. et al. Microalgal *Schizochytrium limacinum* Biomass Improves Growth and Filet Quality When Used Long-Term as a Replacement for Fish Oil, in Modern Salmon Diets // Front. Mar. Sci. 2020. V. 7. P. 1–22. DOI: 10.3389/fmars.2020.00057.

АНАЛИЗ ГЕНОМА ПИКОЦИАНОБАКТЕРИИ РОДА *SYNECHOCOCCUS* ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Калюжная О.В., Гутник Д.И., Краснопеев А.Ю., Тихонова И.В., Белых О.И.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: Olga@lin.irk.ru

Представители рода *Synechococcus* распространены в морских и пресноводных водоемах и играют значимую роль в глобальном цикле углерода, азота и первичной продукции органического вещества; имеют цилиндрическую или эллипсоидную форму клеток диаметром 0,6–1,6 мкм. Геном *Synechococcus* spp. представлен одной кольцевой хромосомой размером 1,8–3,0 Мпн у разных видов. Цель работы – анализ структурной организации генома и адаптивных механизмов байкальских пикоцианобактерий на примере генома *Synechococcus* sp_bin8, восстановленного из метагеномных данных проб байкальской воды. Отбор проб, экстракцию ДНК, секвенирование, метагеномную сборку и аннотацию генома выполняли согласно ранее описанной методике [1].

Геном *Synechococcus* sp_bin8 состоял из 149 контигов общей длиной 1 829 603 п.н. (N50 = 22 259 п.н., содержание G + C – 50,21%, полнота сборки – 97,27%). Наиболее близкородственным восстановленным геномом для байкальского MAGa является *Synechococcus* sp. LacPavin 09200 (NCBI, GenBank GCA_026389135.1) из оз. Павин (Франция); средняя нуклеотидная идентичность (ANI) между ними составила 97,32%. В геноме *Synechococcus* sp_bin8 выявлено 1995 кодирующих белок последовательностей (CDS); аннотация в базе KEGG позволила идентифицировать среди них 1101 ген-ортолог, участвующий в метаболических путях. Из них 320 генов распределены по 51 функциональному блоку завершенных метаболических путей, включая: метаболизм углеводов (30 генов), фиксацию углерода (11), метаболизм азота (4) и серы (4), гены фотосинтеза (6), синтез АТФ (25), метаболизм жирных кислот и липидов (14), пуринов и пиримидинов (12), аминокислот (42), полиаминов (4), нуклеотидных сахаров (22), кофакторов и витаминов (41), биосинтез терпеноидов (7) и ассимиляцию нитратов (4). При сопоставлении генома *Synechococcus* sp_bin8 с аннотированным в KEGG полным геномом пресноводного модельного штамма *Synechococcus elongatus* PCC 6301 (NCBI, GenBank GCA_000010065.1) по генам-ортологам установлено, что у *Synechococcus* sp_bin8 и оз. Байкал отсутствуют гены биосинтеза пирувата, триптофана и гуанозиндифосфоманнозы, а также ассимиляции сульфатов и серы. Вместе с тем в его геноме выявлены гены-ортологи синтеза спермидина – полиамина, повышающего выживаемость цианобактерий при осмотическом и холодовом стрессе и гены синтеза молибденового кофактора – компонента ключевых ферментов азотного и серного метаболизма, обеспечивающего рост в условиях дефицита связанного азота, не представленные в геноме *S. elongatus* PCC 6301. Дополнительная аннотация генома *Synechococcus* sp_bin8 в бактериальной базе данных PATRIC показала наличие 17 генов устойчивости к антибиотикам. Предполагаемая редукция в геноме *Synechococcus* sp_bin8 ряда метаболических путей, наличие генов стрессового ответа и антибиотикорезистентности может указывать на адаптацию штамма к условиям обитания и необходимость оптимизации энергетических затрат клетки, а также на возможные симбиотические взаимодействия.

Работа выполнена в рамках госзадания ЛИН СО РАН № 1023032700318-2-1.6.2.

1. Gutnik D.I. et al. Characterization of Saccharimonadia bacteria in Lakes Baikal and Khubsugul: taxonomic and functional diversity // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 4. P. 908–924. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-908.

АЛЬГОЛОГИЯ РОССИИ В ЛИЦАХ – ВЕХИ РАЗВИТИЯ

Камнев А.Н.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

e-mail: dr.kamnev@mail.ru

Становление альгологии охватывает более двух с половиной веков – от экспедиций натуралистов до формирования академических и университетских школ. Ее зарождение в России связано с именами великих естествоиспытателей XVIII–XIX веков: П.С. Палласа, И.И. Лепехина, Н.Я. Озерцовского, С.Г. Гмелина, Ф.И. Рупрехта.

Организационное оформление дисциплины произошло в рамках будущего Ботанического института (БИН) им. В.Л. Комарова РАН. Ключевую роль сыграло основание Спорового гербария (1898), преобразованного в 1913 г. в Институт споровых растений. Здесь под руководством А.А. Еленкина начались планомерные исследования материалов экспедиций Л.Л. Брейтфуса в Баренцевом море. Параллельно в Ботаническом музее В.А. Траншель, один из авторов «Энциклопедического словаря Брокгауза и Ефрона», возглавил Отдел низших споровых растений. В 1931 г. эти центры объединились в БИН АН СССР. Вокруг Еленкина собрались ученики: М.М. Голлербах, В.И. Полянский, Е.К. Косинская, создавшие монументальную монографию «Синезеленые водоросли СССР». Активно работали Е.С. Зинова (флора Мурмана) и А.Н. Данилов (пигменты и клеточные включения). В 1919 г. основан Отдел гидробиологии и микробиологии, который с 1922 г. возглавлял Н.Н. Воронихин, ученик Еленкина. Он опубликовал сводки по водорослям Чёрного моря и обработал материалы экспедиции В.Л. Комарова на Камчатку. Лабораторию альгологии с 1947 г. возглавил М.М. Голлербах, патриарх почвенной альгологии. С 1935 г. в БИНе трудилась А.Д. Зинова, продолжая традиции морской альгологии. В конце 1940-х гг. при ведущей роли БИНа создано руководство «Диатомовый анализ», в котором значительную авторскую и редакторскую работу выполнила А.И. Прошкина-Лавренко – один из основателей российской школы диатомологии.

Особое место в развитии альгологии занимает МГУ им. М.В. Ломоносова. Комплексное изучение альгологии и гидробиологии связано с деятельностью нескольких кафедр. Кафедру низших растений основал и много лет возглавлял Л.И. Курсанов. Его преемниками стали М.В. Горленко и Ю.Т. Дьяков. Становление экологического направления связано с С.А. Зерновым, основателем кафедры гидробиологии, открывшим в Чёрном море «филлофорное поле Зернова». Научная линия продолжилась в работах его преемника В.Г. Богорова: исследования биологической продуктивности океана углубили понимание экологической роли водорослей. Дальнейшее развитие направление получило при В.Д. Фёдорове, исследовавшем закономерности функционирования водных сообществ. Работы Д.А. Сабина по физиологии водорослей открыли новую страницу в альгологии. Традицию развили М.В. Гусев (фотосинтез цианобактерий) и И.П. Ермаков (экофизиология). Физико-химическое направление оформилось с созданием в 1976 г. кафедры под руководством Ф.Ф. Литвина, сделавшего водоросли ключевым объектом для изучения фотосинтеза на молекулярном уровне.

В области классической альгологии и систематики выдающуюся роль сыграли Е.И. Блинова, К.Л. Виноградова, В.Б. Возжинская, К.П. Гемп, И.С. Гусарова, А.А. Калугина-Гутник, Л.П. Перестенко, Т.В. Седова, Т.Ф. Щапова, К.М. Хайлов, Э.А. Титлянов и многие другие. Их работы позволили сформировать преемственную научную традицию и определить основные исследовательские направления сегодня.

БИОКОНЦЕНТРИРОВАНИЕ КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В АЛЬГОЛОГИИ

Камнев А.Н.¹, Стуколова И.В.²

¹ Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия;

² Журнал «Вопросы современной альгологии», Москва, Россия

e-mail: info@algology.ru

Любая живая система от микроорганизма до экосистемы является открытой, участвуя в постоянном обмене веществом, энергией и информацией с окружающей средой. Это обеспечивает метаболизм, поддержание гомеостаза системы и ее адаптацию к изменяющимся условиям среды.

Обмен веществом с окружающей средой приводит к накоплению химических субстанций в живой системе. Концентрация многих компонентов, в частности тяжелых, благородных и редкоземельных металлов внутри организма может намного превышать их содержание в окружающей среде. Этот процесс называется биоконцентрированием.

Отношение концентрации вещества в организме к его концентрации в среде (воде или почве) называется коэффициентом биоконцентрирования (BCF – Bioconcentration Factor). Он позволяет определить способность организма накапливать вещества, а также оценить токсичность и экологические риски. На величину BCF влияют эволюционный возраст систематической группы, морфология и физиология организма, место и условия обитания, степень загрязнения среды.

Водоросли – одни из наиболее удобных объектов для определения BCF и мониторинга. Например, для оценки качества морских вод применяются бурые, красные и зеленые макроводоросли, разработаны соответствующие методики. Значительный вклад в развитие этого направления внесли К.С. Бурдин, Е.Ю. Золотухина, Г.Н. Саенко, Н.К. Христофорова, М.В. Крупина, И.В. Тропин и их коллеги.

Макро- и микроводоросли могут накапливать вещества до уровней, на порядки превышающих их концентрацию в морской воде. Выявлены виды с исключительно высокой способностью к накоплению: у *Gracilaria* sp. BCF для редкоземельных элементов превышает 1000, у *Ulva intestinalis* Linnaeus для ртути – 3000.

Накопленные водорослями вещества в дальнейшем могут быть извлечены. В качестве примера можно привести добычу йода из бурых водорослей. В современной экологической и ресурсной повестке все большее внимание уделяется биотехнологическим подходам к рациональному использованию морских экосистем, и способность водорослей к биоконцентрированию приобретает новое значение. В морской воде как вследствие естественного содержания, так и из-за антропогенного загрязнения могут присутствовать редкоземельные и благородные металлы, радионуклиды и др. Изучение видов водорослей, эффективно осуществляющих процесс биоконцентрирования ценных элементов, позволяет разработать технологии извлечения этих веществ из морской воды для дальнейшего использования, а также для очистки воды.

Очистка загрязненных вод, как и добыча золота и многих редкоземельных металлов, сегодня более чем необходимы. На наш взгляд, развитие данного направления является не только актуальным, но и стратегически обоснованным.

ЗОЛОТИСТЫЕ ВОДОРОСЛИ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА: СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ

Капустин Д.А., Куликовский М.С.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

e-mail: dima_kapustin@outlook.com

Первые сведения о золотистых водорослях Московского региона содержатся в работе Л.А. Иванова, в которой указываются четыре вида хризофитовых [1]. В другой его статье, посвященной морфологии и систематике хризофитовых [2], приводится описание нового для науки вида – *Mallomonas caudata* Iwanoff, и указана его находка в озере Глубоком.

Новые для науки виды золотистых водорослей из водоемов Москвы и Московской области описывались Е.М. Вермелем [3], А.А. Коршиковым [4,5] и К.А. Гусевой [6].

В сводке И.С. Усачевой [7] для Московской области приводится 45 видов хризофитовых, часть из которых является сомнительными, а другие и вовсе не относятся к этой группе.

В водоемах Звенигородской биостанции МГУ О.В. Анисимова и Е.М. Танченко обнаружили 14 таксонов золотистых водорослей из семи родов [8].

Этот краткий обзор показывает, что видовое богатство золотистых водорослей в водоемах Москвы и Подмосковья практически не изучено, особенно если сравнивать с другими регионами России (например, Ярославской и Нижегородской областями). Очевидно, что в водоемах Московского региона должно обитать сопоставимое число видов. Необходимы дальнейшие исследования для инвентаризации видового состава хризофитовых водоемов Москвы и Подмосковья.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 26-14-20039.

1. Иванов Л. Материалы по флоре водорослей (excl. Diatomaceae) Московской губернии // Бюллетень МОИП. 1899. Т. 12. С. 350–392.
2. Iwanoff L. Beitrag zur Kenntniss der Morphologie und Systematik der Chrysomonaden // Известия Императорской Академии наук. 1899. Т. 11. С. 247–262.
3. Wermel E. Neue oder wenig bekannte Protisten. XII. Neue oder wenig bekannte Flagellaten. XI. Beschreibung neuer Flagellaten aus Rußland // Archiv für Protistenkunde. 1924. V. 48. P. 204–206.
4. Коршиков А.А. Протистологические заметки III // Русский архив протистологии. 1926. Т. 5. С. 259–268.
5. Korshikov A.A. *Skadovskiiella sphagnicola*, a new colonial Chrysomonad // Archiv für Protistenkunde. 1927. V. 58. P. 450–455.
6. Гусева К.А. Новые и редкие планктонные организмы Москва-реки, найденные в районе постройки плотины Рублевской насосной станции // Бюллетень МОИП. Отд. Биологии. 1936. Т. 45. С. 220–222.
7. Усачёва И.С. Водоросли водоемов Московской области. Основы изучения видового разнообразия. – М.: ИВП РАН, 2002. – 140 с.
8. Анисимова О.В., Танченко Е.М. К флоре Chrysophyceae Звенигородской биологической станции // Труды Звенигородской биологической станции. 2005. № 4. С. 136–142.

ВЗАИМОСВЯЗЬ КОЛИЧЕСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА С ФАКТОРАМИ СРЕДЫ В ОЗЕРАХ РАЗНОГО ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ

Карпаева А.Ю.

*Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр
Национальной Академии наук Беларуси по биоресурсам», Минск, Беларусь
e-mail: karpaevanastya1@gmail.com*

Трофическое состояние является ключевой биологической характеристикой водоемов, объединяющей основные гидроэкологические факторы, однако характер взаимосвязи между структурно-функциональными показателями фитопланктона и трофическим состоянием озер оставался неясным [1]. В данном исследовании проведен анализ количественного развития фитопланктона в 11 озерах Белорусского Поозерья (2023–2025 гг.) для выявления взаимосвязи между структурой сообществ, трофическим статусом водоемов и абиотическими факторами среды.

Пробы фитопланктона отбирали в поздневесенний, летний и позднелетний периоды 2023–2025 гг. на 11 озерах разного трофического статуса. Обработку проб проводили стандартными гидробиологическими методами с использованием световой микроскопии [2]. Для анализа взаимосвязи между фитопланктоном и факторами окружающей среды был проведен корреляционный анализ, регрессионный анализ и анализ избыточности (RDA) с использованием Python и библиотек NumPy, Scikit-Learn, SciPy.

В ходе исследования было установлено, что количественное развитие фитопланктона тесно связано с трофическим статусом озер и изменяется вдоль выраженного экологического градиента. Корреляционный анализ выявил положительную корреляцию между количественными характеристиками фитопланктона и концентрациями биогенных элементов, прежде всего с соединениями азота (N-NO_3 , N-NH_4), а также, в меньшей степени, фосфора (TP). При этом такие факторы, как pH и растворенный кислород, не продемонстрировали значимого влияния. Результаты ординационного анализа (RDA) подтвердили наличие главного градиента, связанного с увеличением трофности. Озера с низкой продуктивностью ассоциированы с высокой прозрачностью и содержанием кислорода, тогда как эвтрофные водоемы – с повышенными концентрациями биогенных элементов и высокой биомассой фитопланктона.

Развитие фитопланктона определяется комплексным воздействием факторов среды, однако ключевая роль принадлежит биогенным элементам, причем их относительная значимость меняется вдоль трофического градиента.

1. Adamovich B.V. et al. Relations between variations in the lake bacterioplankton abundance and the lake trophic state: evidence from the 20-year monitoring // Ecological Indicators. 2019. V. 97. P. 120–129. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.09.049.

2. Mikheyeva T.M. Methods of quantitative enumeration of nanophytoplankton (review) // Hydrobiological Journal. 1989. V. 25. P. 3–21.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОПИЙНОСТИ ГЕНА 18S рРНК МЕТОДОМ КАПЕЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ ПЦР У НЕКОТОРЫХ МОРСКИХ ДИАТОМОВЫХ

Кезля Е.М.¹, Черкашин Е.А.², Лебедева Ю.Л.², Глушенко А.М.¹, Капустин Д.А.¹,
Доан Нху Х.², Нгуэн Нгок Л.², Хюинь Тхи Нгок Д.³, Куликовский М.С.¹

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;

² ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Москва, Россия;

³ Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, Нячанг, Вьетнам
e-mail: melosira@mail.ru

Увеличение частоты вредоносных цветений водорослей (ВЦВ) вызывает экологические и экономические проблемы во всем мире. По сравнению с классическими гидробиологическими методами, развитие подходов NGS-секвенирования облегчает и повышает эффективность прибрежного мониторинга для оценки видового разнообразия и раннего обнаружения токсигенных видов с целью предупреждения и организации мероприятий по снижению влияния ВЦВ. В настоящее время разработаны руководства и протоколы по использованию метабаркодинга для мониторинга прибрежных вод и ВЦВ. В большинстве из них в качестве генетического маркера используются регионы гена 18S рРНК. При этом известно, что данные метабаркодинга не дают точных сведений о количестве микроорганизмов в образце. Это связано со значительными различиями в числе копий гена 18S рРНК на клетку у различных микроводорослей. В настоящее время данные о копийности 18S рРНК доступны только для ограниченного числа видов.

Цель настоящей работы – определение числа копий гена 18S рРНК у некоторых диатомовых водорослей методом цифровой капельной ПЦР (ddPCR).

Для исследования из Коллекции культур и баркодов микроводорослей и цианобактерий «Альгабанк» (<https://algabank.ru/>) выбрано семь штаммов, принадлежащих к пяти родам диатомовых водорослей: *Psammodictyon* (2 вида), *Bellerochea malleus*, *Navicula* sp. (2 вида), *Pseudo-nitzschia* cf. *pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle и *Helicotheca tamesis* (Shrubsole) M. Ricard. Штаммы изолированы из проб планктона, собранных в Южно-Китайском море (Вьетнам) в июле 2024 г. Для анализа суспензию клеток гомогенизировали, подсчитывали концентрацию клеток при помощи камеры Горяева, 1 мл клеточной суспензии осаждали центрифугированием и замораживали. Затем из полученной биомассы выделяли ДНК, амплифицировали и секвенировали регион V4 18S рРНК. На основе полученных сиквенсов были разработаны праймеры и флуоресцентные зонды, синтез которых проведен в ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора. Анализ копийности 18S рРНК проведен в 5 повторностях на базе ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора в ЦКП «Безопасность и новые технологии» с помощью системы для капельной цифровой ПЦР DropDX-2044NT (RainSure Scientific, Китай).

Значения числа копий гена на одну клетку варьировали от 42 ± 16 до 510 ± 224 . В докладе будут подробно обсуждены полученные результаты, величина погрешности измерений, проблемы при постановке и проведении исследования, результаты статистической оценки полученных значений и сопоставление с данными литературы.

Работа выполнена за счет гранта РНФ № 24-44-04006 (<https://rscf.ru/project/24-44-04006/>).

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА НАКОПЛЕНИЕ ВНЕКЛЕТОЧНОГО МАРЕННИНА В КУЛЬТУРАХ *HASLEA KARADAGENSIS* (BACILLARIOPHYTA)

Кириенко Е.С., Давидович Н.А.

*Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал
ФИЦ ИнБЮМ РАН, Феодосия, Россия
e-mail: esk-00@bk.ru*

Пигменты из группы мареннинов, синтезируемые некоторыми представителями диатомовых водорослей рода *Haslea* Simonsen, представляют интерес в области аквакультуры и биотехнологии. Несмотря на предположения о ключевой роли освещения в регуляции их синтеза, количественное влияние параметров светового режима, в особенности спектрального состава, на продукцию этих метаболитов остается предметом дискуссий. Целью данной работы было исследование влияния интенсивности и спектрального состава света на накопление внеклеточного мареннина в культурах *H. karadagensis* Davidovich, Gastineau & Mouget.

В эксперименте варьировали плотность потока фотонов (5–300 мкмоль/(м²·с)) и спектральный состав света (синий, красный, комбинированный, фитолампа). Клоны *H. karadagensis* культивировали в 10-мл пробирках на среде ESAW соленостью 20‰ при 20 °C с одинаковой начальной плотностью клеток. Концентрацию внеклеточного пигмента определяли спектрофотометрически, дополнительно оценивали темп деления клеток.

При освещении синим светом в культуральной среде наблюдалась минимальная концентрация мареннина, при этом накопление пигмента внутри клеток было наибольшим по сравнению с другими источниками света [1]. При интенсивности 127–300 мкмоль/(м²·с) отмечено полное подавление деления клеток, что указывает на стрессовое действие избыточного синего излучения. Красный свет обеспечил относительно более высокую концентрацию внеклеточного мареннина, однако темп деления клеток был минимальным. Использование комбинированного света сопровождалось существенным увеличением накопления пигмента по сравнению с монохромными вариантами.

Наибольшая концентрация внеклеточного мареннина (1,87 мг/л) и максимальный темп деления клеток, значительно превосходящие соответствующие показатели для других источников света, зафиксированы при использовании фитолампы, сочетающей спектры синего, красного и частично зеленого диапазонов. Оптимальная интенсивность, обеспечившая максимальную продуктивность, составила 136,4 мкмоль/(м²·с).

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что среди регулируемых параметров именно спектральный состав света выступает ключевым детерминантом физиологического состояния культур *H. karadagensis*. Выявленные закономерности могут быть использованы для оптимизации культивирования мареннин-продуцирующих видов диатомовых.

1. Mouget J.-L. et al. Enhancement of marennine production by blue light in the diatom *Haslea ostrearia* // Journal of Applied Phycology. 2005. V. 17. P. 437–445. DOI: 10.1007/s10811-005-0561-7.

ВОДОРΟΣЛИ – ФАКТОР И ИНДИКАТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ МНОГОЦЕЛЕВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Кириллов В.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

e-mail: vkirillov@iwep.ru

Водоросли – внетаксономическая группа низших растений со значительным разнообразием по биологическим и экологическим характеристикам, факторам среды обитания, морфологии, жизненным циклам, скорости роста, физиологии, обмену веществ, типу питания и экзометаболитам. Водоросли – системообразующий фактор первичной продукции, определяющей биологическую продуктивность текучих и стоячих вод. Могут использоваться для питания и получения биологически активных веществ в наземных условиях. Водоросли – фактор изменения физических и химических свойств гидрозолей и донных отложений водных объектов и снижения концентрации загрязняющих веществ в системах очистки сточных вод. Для обеспечения экологической безопасности многоцелевого использования поверхностных вод целесообразно исследовать и управлять потенциальными экологическими рисками с разделением их на антропоцентрические, геоцентрические и техноцентрические.

Антропоцентрические риски связаны с использованием водных объектов в рыбохозяйственных целях, для питьевого водоснабжения и рекреации. Известна Сартланская, или Юковская, болезнь с возможными летальными исходами для людей после употребления в пищу планктоноядных рыб, вызванная токсинами цианобактерий при их гиперразвитии («цветении») в озерах. При использовании поверхностных вод для питьевого водоснабжения возможно попадание цианотоксинов в питьевую воду. При купании в «цветущих» водоемах наблюдаются аллергические реакции у человека вследствие воздействия водорослей на кожу и при попадании их внутрь при неизбежном проглатывании воды.

Геоцентрические риски вследствие функционирования альгоценозов проявляются при эволюции озер и переходе их экосистем от олиготрофных к политрофным с последующим обмелением и заболачиванием, с преобладанием гетеротрофных процессов над автотрофными, детритной стадии преобразования органических веществ над пастбищной. Естественное эвтрофирование озер ускоряется при воздействии хозяйственной деятельности.

Техноцентрические риски возникают при высокой концентрации водорослей в исходной воде и последующем снижении или полном прекращении фильтрации на очистных сооружениях систем питьевого водоснабжения. При обрастании водорослями внутренней поверхности трубок конденсаторов на тепловых и атомных электростанциях снижается теплообмен через стенки трубок и срок эксплуатации оборудования, увеличивается расход топлива.

Биологическая индикация экологического состояния водных объектов и качества воды производится по наличию в них видов-индикаторов органического загрязнения (сапробности), по биотическим индексам, рассчитываемым с учетом относительной доли этих видов в общем обилии водорослей. Сезонная и межгодовая динамика соотношения видов в альгоценозах позволяет рассчитать индексы скорости сукцессии сообщества. При сочетании контактных и дистанционных аэро- и космических данных по количеству хлорофилла *a* в воде осуществляется мониторинг фитопланктона с большим пространственным разрешением в реальном времени.

НЕБЕЛКОВЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ КАК АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ РЕГУЛЯЦИИ ФОТОСИНТЕЗА ЦИАНОБАКТЕРИЙ И ВОДОРΟΣЛЕЙ

Кокшарова О.А., Сафронова Н.А.

Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского,
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
e-mail: koksharova@genebee.msu.ru

Небелковые аминокислоты – это природные аминокислоты, которые не кодируются в геноме и не входят в состав белков. Многие из них биологически активны. Для таких небелковых аминокислот, как мета-тирозин (m-Тур), γ -аминомасляная кислота (ГАМК) и β -N-метиламин-L-аланин (БМАА) было показано сильное аллелопатическое действие на рост и развитие растений, водорослей и цианобактерий.

Аминокислота m-Тур является аналогом ароматических аминокислот тирозина и фенилаланина и обладает фитотоксичностью в отношении различных цианобактерий. У цианобактерий, обработанных m-Тур, изменяется клеточный гомеостаз аминокислот. Фермент фенилаланил-тРНК-синтетаза ошибочно инкорпорирует m-Тур в белки цианобактерии *Synechocystis* sp. При этом клетки цианобактерии проявляют измененную трансляционную и фотосинтетическую активности, что сопровождается задержкой роста *Synechocystis* и повышенной гибелью клеток [1]. ГАМК защищает клетки цианобактерий от действия ультрафиолета (УФ-В, 280–320 нм). При добавлении ГАМК культуры *Nostoc muscorum* C. Agardh ex Bornet & Flahault и *Anabaena* sp. приобретали устойчивость к воздействию УФ-В-излучения, при этом у них восстанавливалось содержание фотосинтетических пигментов и активность процесса фотосинтеза [2]. Небелковая нейротоксичная аминокислота БМАА синтезируется цианобактериями и диатомовыми водорослями и накапливается в пищевых цепях, что может приводить к многочисленным повреждениям в клетках различных организмов. Воздействие экзогенного БМАА вызывает хлороз и снижение скорости роста цианобактерии *Synechocystis* sp., уменьшает поток электронов через фотосистему II. БМАА подавляет процесс азотфиксации, формирование гетероцист и экспрессию ключевых генов дифференцировки в клетках *Nostoc* sp. PCC 7120. БМАА снижал уровень многих белков в составе комплексов обеих фотосистем и комплексов переноса электронов между фотосистемами *Nostoc* sp. PCC 7120. БМАА также снижал уровень белков, участвующих в углеродном метаболизме цианобактерий, что соответствует ситуации в клетках диатомовых водорослей *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin, где БМАА подавлял экспрессию гена *rbcL*. Высказана гипотеза о том, что БМАА может использоваться фитопланктоном как инструмент аллелопатии для контроля популяций цианобактерий в условиях жесткой конкуренции за ресурсы [3].

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ им. М.В. Ломоносова.

1. Zer H. et al. The toxic effects of meta-tyrosine are related to its misincorporation into the proteome and to altered metabolism in cyanobacteria // FEBS J. 2025. V. 292. № 20. P. 5439–5456. DOI: 10.1111/febs.70154.
2. Pandey A. et al. Regulatory role of gamma-aminobutyric acid in cyanobacteria challenged with UV-B: The implication of nitric oxide // Plant Stress. 2022. V. 5. P. 100094. DOI: 10.1016/j.stress.2022.100094.
3. Koksharova O.A., Safronova N.A. Non-Proteinogenic Amino Acid β -N-Methylamino-L-Alanine (BMAA): Bioactivity and Ecological Significance // Toxins. 2022. V. 14. P. 539. DOI: 10.3390/toxins14080539.

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ МИКРОМИЦЕТОВ У ДВУХ ВИДОВ ГЕЛОФИТОВ СЕМЕЙСТВА РОГОЗОВЫЕ

Кононенко Г.П., Буркин А.А.

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук», Москва, Россия
e-mail: kononenkogp@mail.ru

Макрофиты – рогоз узколистный *Typha angustifolia* L. и рогоз широколистный *Typha latifolia* L. – растения из экологической группы гелофитов, обычные во всех областях Средней России, которые образуют обширные заросли в водоемах и по их берегам [1]. О биологически активных веществах этих растений известно крайне мало. Недавно по содержанию метаболитов токсигенных несовершенных грибов методом иммуноферментного анализа охарактеризованы морские водоросли [2] и пресноводные растения глубинного обитания [3]. Рогоз узколистный и рогоз широколистный для исследования отбирали в июне-августе 2025 г. на берегах озера Мстино (Тверская область) и в пойме реки Сетунь (ЗАО, Москва) с учетом особенностей строения длинноцилиндрического соцветия [1]. Перед высушиванием растения разделяли на стебли и листья, пестичную (утолщенную, коричневую, бархатистую) и верхушечную (тонкую) тычиночную части соцветий. Анализ выполняли с помощью иммуноферментных тест-систем для определения 14 аналитов, в их числе Т-2 токсин (Т-2), дезоксиниваленол (ДОН), зеараленон (ЗЕН), фумонизины группы В (ФУМ), альтерналиол (АОЛ), охратоксин А (ОА), цитринин (ЦИТ), стеригматоцистин (СТЕ), афлатоксин В₁ (АВ₁), циклопиазоновая кислота (ЦПК), эргоалкалоиды (ЭА), эмодин (ЭМО), PR-токсин (PR) и роридин А (РОА), результаты выражали в нг/г. В 128 исследованных образцах РОА не был найден. У обоих видов типичными для стеблей, листьев и пестичных частей соцветий были АОЛ в средних содержаниях (13–81) и ЭМО (45–1340), преимущественно в стеблях и соцветиях находили ОА (25–102), в соцветиях – PR (323–732), АВ₁ (5–8), СТЕ (22–40), ЦПК (82–124) и ЭА (16–37). В нижних частях соцветий концентрация Т-2 значительно варьировала (5–490), в отдельных образцах находили ДОН (55–220), ЗЕН (20–32) и в единичных случаях – ФУМ (29, 63). Верхние тычиночные части соцветий резко отличались от пестичных – у рогоза узколистного ($n = 4$) найден ЭМО (75–151) и в одном – ОА (8), у широколистного ($n = 4$) – также ЭМО (55–645), в одном – ОА (18) и в одном – СТЕ (30). Полученные результаты указывают на сходство токсигенных микромицетов и характера органотропности их метаболитов у этих растений.

1. Губанов И.А. и др. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Т. 1: Папоротники, хвощи, плауны, голосеменные, покрытосеменные (однодольные). – М.: Т-во научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований, 2002. – С. 128–129.

2. Кононенко Г.П. и др. Микотоксины в макроводорослях из пролива Великая Салма Канда拉克шского залива Белого моря // Биология моря. 2022. Т. 48. С. 53–61. DOI: 10.31857/S0134347522010077.

3. Кононенко Г.П., Буркин А.А. Иммуноферментный анализ метаболитов эндофитных микромицетов у многолетних водных трав *Elodea* sp. и *Potamogeton* sp. из озера Мстино (Тверская область) // Гидробиотаника 2025: материалы конференции. – Борок: ИБВВ РАН; Ярославль: Канцлер, 2025. – С. 42–43.

ФИТОПЕРИФИТОН БАССЕЙНОВ РЕК ЯКУТИИ

Копырина Л.И.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

e-mail: l.i.kopyrina@mail.ru

Приведены результаты многолетних исследований фитоперифитона, выполненных с 1996 по 2025 г. в период летней межени (июнь–сентябрь) на разных субстратах водоемов и водотоков 13 рек Якутии: Анабар, Вилуй, Витим, Пеледуй, Пилка, Нюя с Хамрой, Лена, Муна, Алдан с Амгой, Яна, Индигирка, Алазея и Колыма – в составе комплексных экспедиций Института от южных границ региона до арктического побережья Северного Ледовитого океана. Всего за период работы собрано и обработано более 7000 проб фитоперифитона. Также проведены подробные и объемные исследования на шести озерах Оймяконского нагорья Якутии совместно с сотрудниками отдела ультраструктуры клеток Лимнологического института СО РАН в открытый период воды (июль) 2014 г. и в подледный период (март–май) 2016–2022 гг. [1]. В фитоперифитоне бассейнов рек обнаружено 2422 вида (в том числе 143 внутривидовых таксона) из 9 отделов. Установлены доминирующие комплексы водорослей, встречающиеся в сообществах прикрепленных водорослей. Следует отметить, что с использованием СЭМ нами выявлено и определено наибольшее число видов у диатомовых, золотистых и криптофитовых водорослей.

На уровне классов по числу видов доминирует класс Bacillariophyceae – 1010 видов (75 ввт). Также высокое видовое богатство сформировали классы Zygnematomphyceae – 377 видов, Cyanophyceae – 296, Chlorophyceae – 176, Chrysophyceae – 140 (8), Xanthophyceae – 75 (1 ввт). Далее показатели Mediophyceae составили 66 видов, Euglenophyceae и Trebouxiophyceae – по 52 вида, Eustigmatophyceae – 44, Dinophyceae – 42, Ulvophyceae – 29, Coscinodiscophyceae – 19, Klebsormidiophyceae – 12, Florideophyceae – 9, Charophyceae – 8, Coleochaetophyceae и Cryptophyceae – по 7 видов, Coccolithophyceae и Dictyochophyceae – по 1 виду.

Среди 196 семейств наибольшее таксономическое богатство выявлено для следующих семейств: Desmidiaceae – 290 видов, Naviculaceae – 119, Cymbellaceae – 100, Pinnulariaceae – 84, Bacillariaceae и Eunotiaceae – по 82 вида, Achnanthidiaceae – 72, Gomphonemataceae – 67, Dinobryaceae – 56, Aphanizomenonaceae – 52, Closteriaceae – 51 вид. Из 512 родов наибольшее количество таксонов обнаружено в родах: *Cosmarium* – 120 видов, *Eunotia* – 81, *Pinnularia* – 80, *Navicula* – 67, *Staurostrum* – 66, *Gomphonema* – 63, *Nitzschia* – 55, *Closterium* – 51, *Cymbella* – 49, *Characiopsis* – 32, *Dinobryon* – 29, *Encyonema* – 27.

В настоящее время видовой состав фитоперифитона в бассейнах рек составил: Лена – 923 вида, Колыма – 880, Алдан – 800, Индигирка – 767, Вилуй – 630, Пеледуй – 578, Анабар – 568, Муна – 495, Яна – 483, Нюя с Хамрой – 456 видов.

Автор выражает глубокую благодарность д.б.н. Е.В. Лихошвай, Ю.Р. Захаровой, М.В. Башенхасовой, А.Д. Фирсовой, А.Ю. Бессудовой, Е.В. Родионовой и другим сотрудникам ЛИИ СО РАН за помощь и возможность работы на световом и электронном микроскопах в ЦКП «Ультрамикроанализ». По госзаданию Минобрнауки РФ № 126021217283-5.

1. Захарова Ю.Р. и др. Общие закономерности и региональные особенности фитопланктона в подледных сообществах озера Байкал и субарктических озер восточной Якутии // Мат-лы III Междунар. конф. Озера Евразии: проблемы и пути их решения (Казань, 20 – 23 мая 2025 года). – С. 706–710.

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ ВЕСЕННИХ ВРЕМЕННЫХ ВОДОЕМОВ ТОМИЛИНСКОГО ЛЕСОПАРКА (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Корнилова П.Н., Хазанова К.П., Чудаев Д.А.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Биологический факультет,
Москва, Россия
e-mail: P_K2004@mail.ru*

В настоящее время разнообразие диатомовых водорослей во временных водоемах многих регионов мира практически не изучено. Однако данные о структуре сообществ диатомей в таких водоемах полезны для накопления знаний об экологии отдельных видов и о диатомовой флоре периодически пересыхающих луж в целом.

Для изучения структуры диатомовых сообществ в весенних временных водоемах Томилинского лесопарка, расположенного в Московской области, был дважды проведен сбор проб из 15 разнотипных луж с интервалом в 2 недели. Материалом служили смывы с прошлогодней листвы. Из образцов изготовили постоянные препараты, которые изучали с помощью световой микроскопии.

В результате работы в 13 из 15 луж было обнаружено 72 вида диатомовых водорослей, относящихся к 23 родам, 17 семействам, 9 порядкам и 2 классам. Наиболее многочисленными по видовому разнообразию оказались роды *Pinnularia* (10 видов), *Stauroneis* (8 видов), *Eunotia* (7 видов) и *Sellaphora* (7 видов). Было определено обилие видов и выделено 24 вида-доминанта. Часть видов, занимавших доминантное положение в водоемах на первую дату сбора, перешли в группу субдоминантов в пробах второго сбора. Группы субдоминантов оказались менее стабильны в краткосрочной временной перспективе по сравнению с группами доминантов, поскольку их состав практически полностью изменился за две недели. Кластерный анализ показал наличие нескольких групп водоемов, объединяющихся по составу видов-доминантов.

Временные водоемы вследствие специфической гидрологии и структуры крайне интересны с точки зрения изучения диатомовой флоры. Для более глубокого понимания структуры и динамики сообществ диатомовых водорослей в таких водных объектах необходимы дальнейшие исследования.

ПИГМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВЕННОГО ШТАММА *BRACTEACOCOCCUS* SP. MZ CH-42 ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Кочубей А.В.¹, Яковийчук А.В.^{1,2}, Черкашина С.В.¹

¹ Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия;

² Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия
e-mail: KochubeyA92@yandex.ru

Микроводоросли – уникальный и перспективный природный ресурс. Экономическая выгода и биотехнологический интерес обусловлены их быстрой скоростью роста, способностью к накоплению ценных метаболитов, а также автотрофным типом питания [1]. Рост и качественный состав метаболитов пластичны и определяются действием многих факторов, но для автотрофного роста первоочередное значение имеет свет [2]. Пигментный состав микроводоросли при этом имеет ключевое значение как индикатор их адаптации и важный параметр роста [3].

Целью данной работы было изучение влияния спектрального состава и интенсивности монохроматического света на пигментный состав штамма *Bracteacoccus* sp. CAMU MZ Ch-42. Для постановки эксперимента была разработана схема с девятью экспериментальными режимами освещения при культивировании: красный (631,9 нм), синий (455,5 нм) и зеленый (521,4 нм) монохроматический свет интенсивностью 26, 90 и 150 мкмоль/(м²·с) для каждого. В качестве контроля были приняты условия с интенсивностью 26 мкмоль/(м²·с) для каждого источника света.

Установлено, что повышение интенсивности до 150 мкмоль/(м²·с) при различных спектральных составах света приводило к увеличению содержания хлорофилла *a*. Для красного света его содержание увеличилось в 2 раза относительно контроля, для синего и зеленого – в 1,2 и 1,6 раза соответственно. Максимальное содержание пигмента было зафиксировано при освещении красным светом интенсивностью 150 мкмоль/(м²·с) и составило 1,72 мг/г. Тенденция увеличения содержания пигмента при повышении интенсивности также соблюдалась и для хлорофилла *b*. Соотношение каротиноидов к хлорофиллу *a* увеличивалось по мере повышения интенсивности. При всех значениях интенсивности отношение каротиноидов к хлорофиллу *a* изменялось в порядке: красный > зеленый > синий.

Для *Bracteacoccus* sp. CAMU MZ Ch-42 красный и зеленый свет при 150 мкмоль/(м²·с) значительно повышал содержание каротиноидов на 68% и 46% по сравнению с группой, культивируемой при 26 мкмоль/(м²·с).

Проведенное исследование штамма *Bracteacoccus* sp. CAMU MZ Ch-42 демонстрирует специфическую зависимость содержания пигментов от спектрального состава и интенсивности света.

1. Parmar P. et al. Microalgae as next generation plant growth additives: functions, applications, challenges and circular bioeconomy-based solutions // Front. Plant Sci. 2023. V. 14. P. 1073546. DOI: 10.3389/fpls.2023.1073546.

2. Metsoviti M.N. et al. Effect of Light Intensity and Quality on Growth Rate and Composition of *Chlorella vulgaris* // Plants. 2019. V. 9. P. 31. DOI: 10.3390/plants9010031.

3. Maltsev Y. et al. Influence of Light Conditions on Microalgae Growth and Content of Lipids, Carotenoids, and Fatty Acid Composition // Biology. 2021. V. 10. P. 1060. DOI: 10.3390/biology10101060.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ РОДА *CHLORELLA*

Кривенко В.В., Мальцева И.А.

Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия

e-mail: 10valja78@mail.ru

Род *Chlorella* Beijerinck включает многочисленные виды мелких коккоидных зеленых микроводорослей (диаметром 2–10 мкм) с простым морфотипом, но широким спектром физиолого-экологических стратегий. За последние десятилетия *Chlorella* стала модельным объектом для изучения экологической физиологии микроводорослей, процессов эвтрофикации водоемов, нашла практическое применение при очистке сточных вод, биоремедиации, в биотехнологических производствах. Современные представления о систематике рода *Chlorella* существенно уточнены благодаря применению молекулярно-филогенетических методов [1].

Представители рода демонстрируют широкую экологическую пластичность и адаптивность, занимая различные биотопы. В пресноводных экосистемах, таких как озера, реки, водохранилища, пруды и каналы, они часто выступают в качестве ведущего компонента фитопланктона и перифитона. В солоноватых и морских биотопах, включая эстуарии, лагуны, лиманы, прибрежные акватории и соленые озера, виды *Chlorella* также находят благоприятные условия для существования. Кроме того, эти микроводоросли обнаруживаются в почвенных и субаэральных местообитаниях, таких как верхние горизонты почв, поверхность скал, кора деревьев и техногенные субстраты [2].

К числу основных экологических факторов, определяющих распространение *Chlorella*, относят температурный режим, освещенность, влажность и химические характеристики среды. Виды этого рода способны существовать при широком диапазоне световых условий. Для большинства представителей *Chlorella* оптимальная температура роста находится в пределах 20–30 °С, однако встречаются как холодоустойчивые, так и термотолерантные представители [2]. Многие виды *Chlorella* способны выживать в широком диапазоне pH (от 4 до 10), но предпочитают нейтральную или слабощелочную среду. Кроме того, отдельные виды демонстрируют устойчивость к высоким уровням солености – вплоть до 30–40‰ [1]. Такие особенности *Chlorella* делают ее одним из приоритетных объектов «зеленых» технологий, в том числе для регуляции углеродного баланса в экосистемах, трансформированных антропогенной деятельностью [3].

Нами в лабораторных условиях была исследована скорость фиксации углекислого газа штаммом *Chlorella* sp. G-145, выделенным из почвы под *Quercus robur* L. Установлено, что она была на уровне 0,016 г CO₂/л/день, что превышает данные, полученные в других исследованиях [4].

1. Darienko T. et al. Are there any true marine *Chlorella* species? Molecular phylogenetic assessment and ecology of marine *Chlorella*-like organisms, including a description of *Droopiella* gen. nov // Systematics and Biodiversity. 2019. V. 17. P. 811–829. DOI: 10.1080/14772000.2019.1690597.

2. Krienitz L., Bock C. Present state of the systematics of planktonic coccoid green algae // Hydrobiologia. 2012. V. 698. P. 295–326. DOI: 10.1007/s10750-012-1079-z.

3. Петрова М.Г. и др. Культивирование микроводорослей *Chlorella vulgaris* совместно с полимерным материалом на основе хитозана с целью сорбции тяжелых металлов и биомассы // Российские нанотехнологии. 2023. Т. 18. С. 88–92. DOI: 10.56304/S1992722323010090.

4. Jain D. et al. CO₂ fixation and production of biodiesel by *Chlorella vulgaris* NIOCCV under mixotrophic cultivation // Bioresour. Technol. 2019. V. 273. P. 672–676. DOI: 10.1016/j.biortech.2018.09.148.

НОВЫЕ НАХОДКИ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *COELASTRELLA* (CHLOROPHYTA) В ТУНДРОВЫХ ПОЧВАХ ДУВАННОГО ЯРА (ЯКУТИЯ): ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

Кривина Е.С.¹, Хазанова К.П.²

¹ Всероссийская коллекция микроорганизмов, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина РАН, ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пуццино, Россия;

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
e-mail: pepelisa@yandex.ru

Род *Coelastrella* с типовым видом *C. striolata* Chodat был описан в 1922 году. В настоящее время в его состав входит 20 видов. Однако, несмотря на длительную историю изучения, исследования видового богатства, особенностей географического распространения и биотехнологического потенциала представителей *Coelastrella* продолжают до сих пор. Полярные экосистемы, в том числе Азиатского Севера России, до сих пор остаются слабо исследованными. Между тем необходимость микроорганизмов адаптироваться к суровым условиям арктического климата создает предпосылки для нахождения штаммов с ценными, с точки зрения биотехнологии, свойствами. В качестве объекта исследования выступили 6 штаммов. Все они были изолированы из торфяно-криозема глееватого Дуванного Яра, опорного разреза верхнеплейстоценовых отложений Колымской низменности в Нижнеколымском районе Якутии в 2023 году.

Морфология исследуемых штаммов была типична для представителей рода *Coelastrella*. Штаммы D2_3c1, D4_8k и D7_11k имели одиночные, овальные или лимоновидные клетки с 8 ребрами, с полярными утолщениями на полюсах клеток и без них. Клетки штаммов D2_6a2 и D4_1/5 были шаровидными, овальными или широкоовальными, ребра и полярные утолщения отсутствовали. Штамм D2_11b характеризовался яйцевидными, овальными и круглыми клетками, с многочисленными ребрами, но без апикальных утолщений. Клетки штаммов D2_3c1, D4_8k, D7_11k (6–16 × 4–8 мкм) и D2_6a2 и D4_1/5 (6–16 × 4–8 мкм) были несколько крупнее, чем у штамма D2_11b (4–11 × 3–10 мкм). Хлоропласт в молодых клетках у всех штаммов был пристенным, во взрослых клетках – распадался на дисковидные пластинки. Пиреноид 1, с крахмальной оберткой из нескольких скорлупок. Количество автоспор у штамма D2_11b достигало 16, тогда как у остальных штаммов не превышало 8. Согласно данным филогенетического анализа с использованием маркера ITS2, штаммы D2_3c1, D4_8k и D7_11k относились к виду *C. affinis* Krivina, Sinetova, Zadneprovskaya, Shibzukhova, Lobakova & Temraleeva, штаммы D2_6a2 и D4_1/5 – к виду *C. polaris* E. Krivina, M. Sinetova, O. Anissimova & A. Temraleeva, штамм D2_11b – к виду *C. multistriata* (Trenkwalder) Kalina & Puncová.

Анализ профиля жирных кислот (ЖК) показал, что у всех исследуемых штаммов преобладает α-линоленовая кислота, которая относится к группе незаменимых омега-3-ненасыщенных ЖК. При этом, у представителей *C. polaris* ее содержание было наибольшим (*C. polaris* D2_6a2 – 40%, D4_1/5 – 42%) по сравнению с другими штаммами (*C. affinis* D2_3c1 – 35%, D4_8k – 37%, D7_11k – 35%; *C. multistriata* D4_1/5 – 35%). У представителей *C. polaris* и *C. affinis* заметный вклад в профиль ЖК вносили пальмитиновая (20–23%) и линолевая кислоты (9–12%), у штамма *C. multistriata* D4_1/5 – пальмитиновая (19%) и транс-3-гексадеценовая кислоты (16%).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-00873, <https://rscf.ru/project/25-24-00873/>.

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЗОТА НА ПРОФИЛИ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ШТАММА *ANABAENA* SP.

Кривова З.В., Мальцева С.Ю., Куликовский М.С., Мальцев Е.И.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

e-mail: kosiapeya@mail.ru

В настоящее время отдел Cyanobacteriophyta представляет значительный интерес для биотехнологии. Цианобактерии являются богатым источником разнообразных биологически активных соединений, обладающих противовирусной, антибактериальной, противогрибковой и противоопухолевой активностью [1]. Они могут использоваться в качестве сырья для биотоплива, БАД, сельского хозяйства и косметологии [2]. Активно проводятся исследования, в рамках которых цианобактерии под воздействием различных экстремальных условий (колебания температур, ограничение света, лимитирование питательных веществ) начинают активно запасать ценные жирные кислоты, широко востребованные в современном мире [3].

В данной работе исследовано влияние разных концентраций азота в среде на изменение профилей жирных кислот пресноводного штамма *Anabaena* sp. Альгологически чистую культуру выращивали на модифицированной жидкой среде BBM в течение 20 дней. Культивирование проводили при концентрации фосфора 0,11 г/л и концентрациях азота: 0; 0,05; 0,15; 0,3 и 0,6 г/л в колбах Эрленмейера. Таксономическое положение штамма определяли с помощью анализа морфологии, а также молекулярно-филогенетических исследований. Для получения профилей жирных кислот использовали метод экстрагирования метиловых эфиров жирных кислот. Состав МЭЖК определяли с использованием газовой хроматографии.

По составу жирных кислот прослеживается схожая тенденция качественного состава: цианобактерии накапливали высокие проценты насыщенной пальмитиновой (39,75–42,2%) и стеариновой кислот (5,47–10,13%), мононенасыщенной олеиновой (8,48–18,11%) и полиненасыщенных омега-6 линолевой (7,15–12,79%) и омега-3 α -линоленовой кислот (12,87–29,94%). Также в профиле жирных кислот отмечались невысокие концентрации мононенасыщенной пальмитолеиновой (2,75–4,64%) и полиненасыщенной омега-6 гексадиеновой (2,74–4,19%) кислот. В целом доминирующие позиции занимали насыщенная пальмитиновая (до 42,2%) и полиненасыщенная омега-3 α -линоленовая кислота (до 29,94%).

Максимальная концентрация насыщенных кислот составила 52,33% при росте на среде с концентрацией азота 0,05 г/л, а максимальная концентрация полиненасыщенных кислот – 40,76% при росте на среде с концентрацией азота 0,3 г/л. Установлено, что использование разных концентраций азота в первую очередь влияло на количество ценных омега-3 и омега-6 жирных кислот, содержание которых находилось в диапазоне 19,85–29,94% и 10,84–16,98% соответственно.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 124052200012-7 (FFES-2024-0001).

1. Abed R.M.M. et al. Applications of cyanobacteria in biotechnology // Journal of applied microbiology. 2009. V. 1. P. 1–12. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2008.03918.x.
2. Critchley A.T. et al. Advances in temperate phyconomy: algal harvest and cultivation in globally distributed temperate waters. – Springer Cham, 2026. DOI: 10.1007/978-3-032-02955-3.
3. Tiwari O.N. et al. Strategies for improved induction of lipid in *Leptolyngbya* sp. BTA 287 for biodiesel production // Fuel. 2019. V. 256. P. 115896. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.115896.

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МАКРОФИТОВ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Крупнова Т.Н.¹, Малащенко А.С.²

¹ Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия;

² Федеральное агентство по рыболовству, Москва, Россия

e-mail: tatiana.krupnova@tinro.vniro.ru, malashenko@fish.gov.ru

Марикультура водорослей в Дальневосточном регионе и, в частности, в Приморье, начала свое развитие в 70-х годах прошлого столетия. Это направление рыбохозяйственной деятельности было совершенно новым, не имеющим отечественного опыта и соответствующих знаний. Благодаря одновременному изучению биологии бурых водорослей и проведению экспериментальных работ на подвесных морских плантациях (ГБТС – гидробиотехнических сооружениях) по выращиванию ламинарии японской *Saccharina japonica* (J.E. Areschoug) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & G.W. Saunders, были получены основополагающие данные, которые вошли в Инструкции по выращиванию урожая ламинарии. Дальнейшие эксперименты по выращиванию растений ламинарии на разных горизонтах водной толщи и с различной плотностью на субстрате позволили получать урожай с заданными товарными качествами, с разным содержанием альгиновой кислоты, маннита или йода. А также удалось сократить время получения урожая водоросли до одного года, полутора лет или выращивать ее в двухгодичном цикле.

В настоящее время марикультурные хозяйства Дальневосточного региона выращивают ламинарию по разработанным нормативам в промышленных масштабах. Ее урожай составляет около 1–2 тыс. т сырца в год и полностью потребляется существующими перерабатывающими предприятиями. Практически весь урожай ламинарии идет на пищевую переработку. Однако существующие технологии выращивания вполне могут обеспечить сырьем альгинатное производство, для которого необходимы более высокие объемы водорослевой биомассы – не менее 5 тыс. т в год.

В последнее время начато успешное выращивание таких макрофитов, как ундария и костария, биология которых хорошо изучена, и они биогеографически являются широкобореальными видами, исторически произрастающими в северо-западной части Японского моря в небольших количествах. Эти водоросли содержат полезные для здоровья человека вещества и могут использоваться в пищевой индустрии и для получения альгинатов, фукоидана, фукоксантина и других препаратов и лекарственных средств.

Актуальна и тема создания кормовой базы в виде восстановленных полей ламинарии для такого важного промыслового объекта, как серый морской еж. При питании ежа на полях ламинарии гонады (икра) увеличиваются в размере и приобретают лучшие вкусовые качества, что отражается на повышении его репродуктивного потенциала и увеличивает товарную стоимость на международном рынке.

Биотехнологии выращивания бурых водорослей и повышения товарных качеств серого морского ежа оригинальны и воспроизводимы для разных регионов Дальневосточного региона, что подтверждается соответствующими Патентами.

МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ ВОДОРΟΣЛИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

Куклин А.П.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия

e-mail: kap0@mail.ru

Начало систематическому изучению фитобентоса в Восточном Забайкалье было положено М.И. Качаевой при описании водорослей р. Ингода [1]. Впоследствии имеются лишь отдельные упоминания видов водорослей с макроскопическими талломами в составе фитопланктона [2]. За период с 1998 года по настоящее время обследованы водные объекты в бассейне озера Байкал [3,4], Амурском бассейне [5–7], Ленском бассейне [8], а также во внутреннем бессточном бассейне [9]. Исследована макрофлора озер, больших и малых водотоков, термальных источников, минеральных озер, а также техногенных водоемов разного генезиса. В верхней литорали ледниково-моренных водоемов обильна цианобактерия *Stigonema mamillosum* Ag. ex Born. & Flah. Массовые скопления в реках таежной территории формируют *Hydrurus foetidus* (Villars) Trevisan, *Ulothrix zonata* (Weber & Mohr) Kütz., *Draparnaldia glomerata* (Vauch.) Ag., *Tetraspora lubrica* (Roth) Ag., а из цианобактерий – *Nostoc verrucosum* Vauch. ex Born. & Flah. В литорали таежных озер в массе развиваются такие роды харовых водорослей, как *Zygnema*, *Spirogyra*, *Nitella*, *Chara*. Степные водоемы и водотоки с минерализацией до 5–8 г/л обильно зарастают *Cladophora fracta* (Mühl. ex Vahl.) Kütz., реже видами родов *Spirogyra* и *Enteromorpha*. В озерах с минерализацией от 20 до 45 г/л произрастает *Rhizoclonium riparium* (Roth.) Harv. В техногенных водоемах лесных территорий преобладают представители родов *Tribonema* и *Bumilleria*, в то время как в водоемах степных территорий – зеленые и харовые водоросли (*C. fracta*, *Oedogonium* sp. ster., виды родов *Spirogyra*, *Chara*). К видам с ограниченным ареалом распространения относится *Prasiola fluvialis* (Somm.) Aresch. ex Lagerstedt (3 местообитания), *Lemanea fluviatilis* (L.) Ag. (4), *Aegagropila linnaei* Kütz. (2), *Rh. riparium* (Roth.) Harv (2). К редким можно отнести *Chara strigosa* A. Braun.

1. Качаева М.И. Водоросли донных обрастаний в реке Ингода // Гидробиол. журн. 1976. Т. 12. № 5. С. 68–72.
2. Оглы З.П. Фитопланктон разнотипных водных экосистем Восточного Забайкалья. – Чита: ЗабГУ, 2011. – 162 с.
3. Куклин А.П. Макрофитные водоросли в малых реках бассейна реки Хилок // Известия ИГУ. Серия: Биология. Экология. 2009. Т. 2. № 1. С. 45–48.
4. Куклин А.П. Макроскопические водоросли *Sirodotia suecica* Kylin., *Lemanea fluviatilis* Ag., *Prasiola fluviatilis* (Sommerf.) Aresch, *Hydrurus foetidus* (Vill.) Trev. в озерах и реках Забайкалья // Известия ИГУ. Серия: Биология. Экология. 2013. Т. 6. № 3. С. 70–76.
5. Ташлыкова Н.А., Куклин А.П. Водоросли малых водотоков бассейна р. Онон (Кыринский район, Забайкальский край) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2014. № 2. С. 79–87.
6. Куклин А.П. Флора макрофитных водорослей (Cyanophyta, Xanthophyta, Rhodophyta, Chlorophyta, Charophyta) бассейна реки Аргунь (Забайкалье). Аннотированный список флоры и фауны водоемов и водотоков бассейна реки Аргунь. – Новосибирск, 2012. – С. 51–60.
7. Куклин А.П. и др. Современное состояние экосистемы реки Ингоды (Восточное Забайкалье) // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 2. С. 211–218.
8. Куклин А.П. Макроскопические водоросли в водотоках хребта Зусы (Витимское плоскогорье, Забайкалье) // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды Всероссийской науч. конф. с межд. участием: в 3 т. Барнаул. 2012. Т. 2. С. 120–126.
9. Куклин А.П. и др. Состояние водных экосистем озер Онон-Торейской равнины за 1983–2011 годы (Восточное Забайкалье) // Аридные экосистемы. 2013. № 3. С. 16–26.

ОЦЕНКА РАЗНООБРАЗИЯ ВОДОРΟΣЛЕЙ ФИТОПЛАНКТОНА РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР БАССЕЙНА СРЕДНЕЙ ВОЛГИ МЕТОДОМ МЕТАБАРКОДИНГА

Кулизин П.В.¹, Мартыненко Н.А.², Гусев Е.С.², Шарагина Е.М.¹, Воденеева Е.Л.¹

¹ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия;

² Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия
e-mail: KulizinPavel@yandex.ru

Метабаркодинг – современный метод идентификации состава сообщества путем анализа последовательностей маркерных генов-баркодов. В настоящее время данный подход активно внедряется в практику исследований биоразнообразия и биомониторинга по всему миру. В 2025 году экспедиционные исследования и отбор проб для метабаркодинга проводились на двух разнотипных озерах бассейна Средней Волги (оз. Великое, оз. Лунское). Озеро Великое (55,40° с.ш., 43,35° в.д.) образовано на месте карстового провала и входит в озерно-речную систему Пустынских озер Национального парка «Нижегородское Поволжье». Озеро Лунское (55,38° с.ш., 43,80° в.д.) – пойменный водоем, старица р. Волги, расположено на территории г. Нижнего Новгорода. Оба озера имеют схожий ледовый режим, в течение 4–5 месяцев (ноябрь–март) покрыты льдом. Исследованные озера испытывают сильную рекреационную нагрузку и регулярное цианобактериальное «цветение» воды в летние месяцы. Изучение зимнего фитопланктона и водорослей льда было начато с первой декады января 2025 г. Для проведения метабаркодинга было собрано 14 проб (3 пробы льда, 3 пробы подледной воды и 8 проб воды из безледного периода). Параллельно сообщества фитопланктона и льда изучались с помощью традиционного микроскопического метода.

В докладе будут обсуждены первые результаты изучения генетического разнообразия микроводорослей и цианобактерий, полученные путем секвенирования тотальной ДНК (Illumina NovaSeq, 2 × 250 п.н.). В качестве генетических маркеров были выбраны регионы V4 16S рДНК для цианобактерий и V9 18S + ITS1 рДНК для эукариот. Биоинформатический анализ проводили в QIIME 2 инструментами DADA2. Для классификации использовалась база данных GenBank. Операционные таксономические единицы (ОТЕ) группировались при уровне сходства 97% для эукариот. ОТЕ с числом чтений менее 10 удалялись. Выявленные ОТЕ эукариот принадлежали к 7 отделам, среди которых наиболее многочисленными были Ochrophyta (46%), Chlorophyta (26%), Dinophyta (17%) и Cryptophyta (10%). Молекулярно-генетические данные позволили корректно идентифицировать мелкоклеточные и сложные для морфологического анализа группы охрофитовых и криптофитовых водорослей, часто доминирующих в составе сообществ льда.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 25-24-00573.

СКРЫТОЕ РАЗНООБРАЗИЕ В КОМПЛЕКСЕ *MICRASTERIAS MAHABULESHWARENSIS* (DESMIDIALES, ZYGNEMATOPHYCEAE)

Кулизин П.В.¹, Мартыненко Н.А.², Подунай Ю.А.³, Шкурина Н.А.⁴, Гусев Е.С.¹

¹ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия;

² Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия;

³ Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН,
Феодосия, Россия;

⁴ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия
e-mail: kulizinpavel@yandex.ru

Виды рода *Micrasterias* С. Agardh ex Ralfs являются одними из наиболее узнаваемых десмидиевых водорослей. Их полуклетки разделены на несколько лопастей, что приводит к образованию морфологически сложных, дифференцированных клеток. С XIX века было описано около 110 видов и разновидностей рода *Micrasterias*. Таксономическая история рода не раз была отражена в различных определителях и сводках. Однако до сих пор не существует единого мнения относительно статуса многих видов, разновидностей и форм, описанных на основании незначительных морфологических различий. Тем не менее анализ филогенетической структуры рода показал, что *Micrasterias* представляет собой монофилетическую линию. Однако в этот род входит еще и несколько морфологически несходных таксонов, не имеющих рассеченных полуклеток и ранее относимых к другим родам десмидиевых водорослей [1]. Морфологические концепции видов в целом хорошо согласуются с молекулярными данными, хотя и требуют привлечения более сложных инструментов морфометрического анализа. В то время как различные популяции отдельных видов, таких как *M. rotata* Ralfs, обычно образовывали монофилетические или близкородственные линии, разнообразие клад нескольких других таксонов, таких как *M. truncata* Brébisson ex Ralfs, *M. crux-melitensis* Ralfs или *M. fimbriata* Ralfs, оказалось выше, чем ожидалось, исходя исключительно из анализа морфологических данных [2].

В нашей работе мы обсуждаем скрытое разнообразие внутри вида *M. mahabuleshwarensis* J. Hobson, а именно филогенетическое положение и таксономический статус двух его разновидностей – *M. mahabuleshwarensis* var. *surculifera* Lagerheim и *M. mahabuleshwarensis* var. *bengalica* De Toni, выделенных нами из водоемов Вьетнама.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-24-01159.

1. Škaloud P. et al. A multilocus phylogeny of the desmid genus *Micrasterias* (Streptophyta): Evidence for the accelerated rate of morphological evolution in protists // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2011. V. 61. P. 933–943. DOI: 10.1016/j.ympev.2011.08.018.

2. Neustupa J. et al. Splitting of *Micrasterias fimbriata* (Desmidiaceae, Viridiplantae) into two monophyletic species and description of *Micrasterias compereana* sp. nov. // Plant Ecology and Evolution. 2014. V. 147. P. 405–411. DOI: 10.5091/plecevo.2014.991.

КРИПТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ У ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ**Куликовский М.С.***Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия**e-mail: max-kulikovsky@yandex.ru*

В настоящее время, согласно данным различных исследований, известно от 10 до 100 тысяч видов диатомовых водорослей. Изначально систематика диатомовых базировалась исключительно на морфологической концепции таксонов, где основными диагностическими признаками родов и видов служили признаки живых клеток и кремнеземного панциря, выявляемые с помощью световой и электронной микроскопии. Однако широкое применение методов молекулярной филогении в последние десятилетия привело к пересмотру представлений о границах таксонов и выявлению значительного скрытого, криптического разнообразия диатомовых водорослей [1].

Под криптическими понимаются таксоны, имеющие идентичные морфологические особенности, но отличающиеся по молекулярно-генетическим данным. В настоящее время классическими примерами подобных «видов-двойников» стали комплексы *Sellaphora pupula* (Kützinger) Mereschkowsky, *Nitzschia palea* (Kützinger) W. Smith и *Achnanthes minutissimum* (Kützinger) Czarnecki [2–4]. Наряду с криптическими видами среди диатомовых водорослей существует значительное количество псевдокриптических таксонов – обладающих очень близкими, но все же различимыми морфологическими признаками.

Для изучения скрытого разнообразия диатомовых водорослей в современных исследованиях применяется интегративный подход, сочетающий молекулярно-генетическое типирование, анализ жизненных циклов и количественную морфометрию. Приоритетным направлением остается расширение коллекций альгологически чистых штаммов и референсных баз нуклеотидных последовательностей. Нашей группой неоднократно была продемонстрирована эффективность интегративного подхода при анализе различных криптических видовых комплексов, таких как *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow, *Gomphonema ventricosum* W. Gregory и др. В докладе будут представлены новейшие сведения о криптическом разнообразии диатомей из состава различных филогенетических линий – порядков Cymbellales, Mastogloiales и Naviculales.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 24-14-00165 (<https://rscf.ru/project/24-14-00165/>).

1. Mann D.G. The species concept in diatoms // *Phycologia*. 1999. V. 38. P. 437–495. DOI: 10.2216/i0031-8884-38-6-437.1.
2. Mann D.G. et al. The *Sellaphora pupula* species complex (Bacillariophyceae): morphometric analysis, ultrastructure and mating data provide evidence for five new species // *Phycologia*. 2004. V. 43. P. 459–482. DOI: 10.2216/i0031-8884-43-4-459.1.
3. Trobajo R. et al. Morphological, genetic and mating diversity within the widespread bioindicator *Nitzschia palea* (Bacillariophyceae) // *Phycologia*. 2009. V. 48. P. 443–459. DOI: 10.2216/08-69.1.
4. Tseprik N. et al. Molecular investigation of the *Achnanthes minutissimum* complex (Bacillariophyceae) from the Transbaikalian region with the description of three new species // *Water*. 2023. V. 15. P. 3379. DOI: 10.3390/w15193379.

ВОДОРΟΣЛИ В ЭКСПОЗИЦИЯХ БАЙКАЛЬСКОГО МУЗЕЯ СО РАН

Купчинский А.Б.

Байкальский музей СО РАН, р.п. Листвянка, Россия

e-mail: bm@isc.irk.ru

Байкальский музей СО РАН сегодня сочетает в себе функции научно-исследовательского института и просветительского центра. Одна из главных задач музея заключается в том, чтобы сделать академические открытия доступными каждому посетителю. Десятки тысяч посетителей ежегодно приходят сюда, чтобы не только увидеть легендарных обитателей озера – омуля, голомянку, байкальскую нерпу, но и понять, как формировалась и функционирует сегодня экосистема Байкала.

Одним из самых удивительных, но часто скрытых от глаз обывателя «сокровищ» музея является мир водорослей. Водоросли – важный компонент первичного трофического звена в оз. Байкал, они во многом определяют кислородный и биогенный режим озера. Изучение фитобентоса Байкала началось еще в начале XX века: первые исследователи – Верещагин Г.Ю., Дорогостайский В.Г., Мейер К.И., Скабичевский А.П., Яснитский В.Н. – сосредоточились на выявлении видового богатства. В Байкальском музее хранится большое количество уникальных исторических материалов того времени (дневники, негативы и т.д.), позволяющих прикоснуться к истории научного поиска.

Планомерное и систематическое изучение фитобентоса оз. Байкал началось в 1961 г., когда в Биолого-географическом НИИ Иркутского госуниверситета Л.А. Ижболдина под руководством М.М. Кожова начала регулярные круглогодичные наблюдения за развитием донных фитоценозов. Исследования проводились на протяжении более 25 лет и стали фундаментом современной байкальской альгологии. В 2024 году в серии «Исследователи Байкала» Байкальским музеем была выпущена книга, посвященная жизни и научной деятельности Л.А. Ижболдиной. Одним из самых любимых объектов ее научного внимания стали эндемичные байкальские водоросли рода *Draparnaldioides*, представляющие собой ажурные кустиковидные талломы. Живые экземпляры этих водорослей ежегодно украшают аквариумные экспозиции Байкальского музея, позволяя посетителям увидеть воплощение многолетних научных изысканий.

Особое место в фондах Байкальского музея занимает уникальное собрание из 16 гипсовых муляжей диатомовых водорослей, поступившее в 2022 году. Эти муляжи были выполнены художницей Е. Чудиновой в 1995 году и представляют собой увеличенные в 1000 раз объемные копии створок представителей родов *Navicula*, *Gomphonema*, *Didymosphenia*, *Aulacoseira* и других, характерных для озера Байкал. Экспонаты диатомовых водорослей, несомненно, обладают высоким познавательным и демонстрационным потенциалом. Они позволяют наглядно иллюстрировать морфологическое разнообразие диатомей – структуру створки, расположение швов, форму клеток – что невозможно передать с помощью плоскостных изображений в учебной аудитории или на выставках. Использование таких необычных экспонатов позволяет решить амбициозную задачу: показать, что Байкал – это не только вода и волны, нерпа и омуль, но и самый сложный микромир, который требует не меньшей защиты и изучения. В планах развития Байкальского музея – создание отдельной экспозиции, посвященной водорослям.

ЭПИФИТНЫЕ ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА (ОСТРОВ СТАРИЧКОВ, БУХТА ВИЛЮЧИНСКАЯ)

Курбанова Л.В.¹, Клочкова Т.А.²

¹ Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, Россия;

² Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, Россия
e-mail: kurbanovakftig@mail.ru

Настоящее исследование посвящено обнаружению новых для данной акватории эпифитных видов диатомей. Выявление этих видов подчеркивает необходимость дальнейших исследований для полного понимания биоразнообразия и экологической устойчивости Вилючинской бухты и прибрежных вод острова Старичков.

Эпифитные микроводоросли – это сообщества микроскопических водорослей, которые живут, прикрепляясь к поверхности макроскопических водных растений (макрофитов) – морских трав, крупных водорослей (макроводорослей).

Проведенные ранее исследования были посвящены в основном планктонным микроводорослям, тогда как эпифитные виды диатомовых прибрежных вод Авачинского залива мало изучены. Эти виды играют значительную роль в сообществах фитопланктона, как в таксономическом, так и в количественном отношении, учитывая их высокую численность и биомассу. На одной из станций в бухте Вилючинской были зарегистрированы плотные эпифитные обрастания, сформированные микроводорослями на макрофите *Ptilota asplenoides* (Esper) C.Agardh. В таксономической структуре обрастаний доминировали диатомовые водоросли: *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing, *Fragilariopsis oceanica* (Cleve) Hasle, *Odontella aurita* (Lyngbye) C.Agardh и *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky. Массовое развитие наблюдалось у вида *Parlibellus delognei* (Van Heurck) E.J.Сох, широко распространенного в составе различных обрастаний. Данный вид формирует слизистые трубчатые макроколонии на поверхности макрофитов и иных субстратов.

Особый интерес в собранных образцах представляла диатомея *Isthmia nervosa* Kützing, выступившая в роли массового вида. Высокая численность *I. nervosa*, по-видимому, обусловлена наличием благоприятных условий для ее прикрепления к субстрату. Несмотря на указания многих определителей и научных источников на планктонный образ жизни данного вида, в наших планктонных пробах воды *I. nervosa* обнаружена не была. Встречалась она исключительно в бентосных пробах в качестве эпифита, образуя массовые обрастания на субстрате. Это наблюдение позволяет предположить, что в условиях исследуемой акватории *I. nervosa* является типичным донным эпифитным организмом, а не планктонным.

В апреле 2025 г. у острова Старичков на макрофите *P. asplenoides* отмечены массовые обрастания диатомовых водорослей: *Cocconeis* sp., *Hyalodiscus* sp., *Licmophora abbreviata* C.Agardh, *Tabellaria flocculosa*, *T. fenestrata* (Lyngb.) Kützing, *Thalassionema nitzschioides*, *Melosira nummuloides* C.Agardh, а также *Isthmia nervosa* Kützing.

Работа подготовлена в рамках выполнения проекта «Исследование и сохранение уникального морского биоразнообразия Камчатки» (Рег. № 124093000049-8).

ПЕРВЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ АЛЬГОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОЗ. БАЙКАЛ

Лихошвай Е.В.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: likhoshway@mail.ru

Исследования микроводорослей озера Байкал начались в конце XIX в. На первом этапе (1877–1915 гг.) было установлено, что: основу фитопланктона составляют диатомовые водоросли; их видовой состав своеобразен; виды по-разному распределены по глубинам; часть видов проходят сквозь водную толщу на большие глубины и сохраняются на дне озера. На втором этапе (1916–1937 гг.) было показано своеобразие доминирующих видов диатомовых водорослей фитопланктона и описаны новые виды; по составу флоры в озере выделено 7 зон; определена сезонная динамика видового состава, численности и биомассы фитопланктона; для части видов диатомей описана биология; утверждена идея эндемизма байкальской флоры; обоснован экологический подход и показано влияние притоков, ветрового перемешивания, горизонтальных и вертикальных течений на перенос видов фитопланктона; описано большое количество новых видов, в основном бентосных (ссылки см. в [1]). Третий период (1946–1995) – это регулярные многолетние наблюдения за фитопланктоном озера. В работах Н.Л. Антиповой, выполненных в п. Большие Коты в 1953–1974 гг., показаны существенные межгодовые колебания видового состава доминирующих видов фитопланктона и общей численности [2–4]. О.М. Кожовой был предложен экосистемный подход в исследовании фитопланктона [5,6]. Г.И. Поповской, начиная с работ 1960 г., проведен многолетний мониторинг видового состава и динамики развития фитопланктона оз. Байкал и его заливов; данные обобщены в диссертации [7] и монографии [8]. В 1975–1995 гг. были составлены видовые списки фитопланктона. Тем самым была заложена основа для мониторинга экосистемы оз. Байкал.

Работа проведена в рамках бюджетной темы ЛИИ СО РАН № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR-2026-0001).

1. Лихошвай Е.В. История альгологических исследований на озере Байкал // VIII Междунар. Верещагинская Байкальская конф., 8–14 сент. 2025 г., г. Иркутск, Россия: тез. докл. и станд. сообщ. / ЛИИ СО РАН. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2025. – С. 344–345. http://lin.irk.ru/8vbc/files/abstracts_vbc2025.pdf
2. Антипова Н.Л., Кожов М.М. Материалы по сезонным и годовым колебаниям численности руководящих форм фитопланктона оз. Байкал // Тр. Иркут. ун-та. Сер. биол. 1953. Т. 7, вып. 1–2. С. 63–68.
3. Антипова Н.Л. Сезонные и годовые колебания фитопланктона в оз. Байкал // Тр. ЛИИ СО АН СССР. 1963. Т. 2 (22), ч. 2: Исследования по микрофлоре и зоопланктону Байкала. С. 12–28.
4. Калужная Л.И., Антипова Н.Л. О роли синедры в фитопланктоне оз. Байкал // Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1974. – С. 85–94.
5. Кожова О.М. Питание *Epishura baicalensis* Sars (Copepoda, Calanoida) на озере Байкал // ДАН СССР. 1953. Т. 906. № 2. С. 299–301.
6. Кожова О.М. Фитопланктон Байкала в районе Лиственичного и его влияние на формирование планктонной флоры Иркутского водохранилища // Изв. СО АН СССР. 1960. № 12. С. 120–130.
7. Поповская Г.И. Фитопланктон Байкала и его многолетние изменения (1958–1990): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Новосибирск, 1991. – 32 с.
8. Поповская Г.И., Генкал С.И., Лихошвай Е.В. Диатомовые водоросли планктона озера Байкал. – Новосибирск: Наука, 2011. – 192 с.
9. Вотинцев К.К., Мещерякова А.И., Поповская Г.И. Круговорот органического вещества в озере Байкал. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. – 189 с.
10. Измestьева Л.Р., Кожова О.М. Структура и сукцессии фитопланктона // Долгосрочное прогнозирование состояния экосистем. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. – С. 97–129.
11. Бондаренко Н.А. Список планктонных водорослей Байкала // Атлас и определитель пелагиобионтов Байкала с краткими очерками их экологии. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1995. – С. 621–630.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Лях А.М.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

e-mail: me@antonlyakh.ru

Жизненный цикл диатомовой водоросли состоит из двух фаз. В фазе вегетативного размножения клетка диатомеи последовательно делится на две дочерние клетки. Многочисленные деления приводят к постепенному измельчанию дочерних особей. Уменьшение диатомеи до определенных размеров инициирует вторую фазу развития – половой процесс, во время которого она восстанавливает свой первоначальный размер.

Такая картина жизненного цикла характерна для большинства диатомей. Иногда встречаются исключения, когда размер одной из створок диатомеи (гипотеки) уменьшается скачкообразно, либо когда не происходит уменьшения размеров дочерних клеток. Эти случаи редкие, и в работе не рассматриваются.

В работе описывается геометрическая модель, имитирующая вегетативную фазу жизненного цикла диатомовых водорослей, при которой размеры клеток постепенно уменьшаются. Модель имитирует изменение размеров и формы створок диатомей.

Известно, что после деления вновь образованная гипотека незначительно уменьшается в размерах и меняет форму по сравнению с материнской створкой. Эти изменения постепенно накапливаются и хорошо заметны после нескольких делений (size diminution series). Основным физическим фактором, ограничивающим размеры новой гипотеки, служит размер внутренней полости материнской створки. Размер этой полости, в свою очередь, зависит от толщины кремниевых стенок материнской створки.

Предлагаемая модель работает по такому же принципу. Она использует контур материнской створки и значения толщины кремниевых стенок, и по этим данным генерирует контур новой створки, вписанной в материнскую. Процесс повторяется заданное число раз.

Имитационное моделирование показало, что особенности распределения толщины кремниевых стенок вдоль границы створки сильно влияют на геометрические преобразования дочерних створок. Если считать толщину кремниевых стенок везде одинаковой, то любые вытянутые створки будут неестественно быстро уменьшаться по ширине и, в итоге, станут минимально узкими при значительной длине. В природе наблюдается обратная картина, когда длина створки уменьшается быстрее ширины и при небольшой длине створка имеет заметную ширину. Помимо этого, любые зауженные и вытянутые концы створок при указанных параметрах очень быстро становятся неправдоподобно узкими или исчезают, что также не наблюдается в природе. Отсюда следует, что толщина стенок створки должна быть распределена неравномерно, что позволяет створке сохранять приемлемую ширину и узнаваемую форму концов даже при небольшой длине.

Модель позволяет имитировать как прямые изменения формы и размеров створок, происходящие при вегетативном уменьшении размеров, так и обратные, когда из контура створки мы пытаемся восстановить форму и размеры ее родителя (или прародителя).

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ФИТОПЛАНКТОНА МАЛОЙ РЕКИ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ Р. СОДЕМЫ, ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Макарёнкова Н.Н.

*Вологодский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии», Вологда, Россия
e-mail: mackarenckowa@yandex.ru*

Река Содема относится к малым рекам ($L = 19$ км) бассейна Северной Двины, является правым притоком р. Вологды. Значительная часть р. Содемы протекает на территории г. Вологды, где в нее поступают сточные воды предприятий и стоки ливневой канализации. Для реки характерно загрязнение соединениями азотной группы, органическими веществами, нефтепродуктами, наблюдается недостаток кислорода в воде [1].

Пробы фитопланктона были собраны в 2021 г. (май–октябрь) по всей протяженности реки. Функциональная организация фитопланктона оценивалась по системе Рейнольдса [2]. Анализ был проведен на основе численности фитопланктеров (экз./л).

Флористическое богатство и численность фитопланктона р. Содемы определяли диатомовые, зеленые, эвгленовые водоросли и цианобактерии. В составе фитопланктона р. Содемы было зарегистрировано 19 функциональных групп (B, C, D, E, F, H1, J, K, MP, P, S1, Tв, W1, W2, W0, X1, X2, X3, Y). Наиболее часто на всем протяжении реки встречались виды из групп MP (98% всех проб), D (97%) и W1 (77%). Остальные функциональные группы были зарегистрированы с частотой менее 50%. К группе MP относятся преимущественно случайно планктонные виды из обрастаний или бентоса, которые в результате интенсивного перемешивания оказываются в толще воды мелководного водоема, при этом они способны переносить повышенную мутность неорганического происхождения. D-организмы также приспособлены к условиям дефицита света в мутной и подвижной среде и чувствительны к снижению биогенов. Группа W1 объединяет виды, предпочитающие водоемы с очень высоким содержанием органики. Функциональная структура фитопланктона различалась как по сезонам ($F = 4,96$, $p = 0,0001$), так и между станциями в зависимости от их расположения по отношению к городу ($F = 2,57$, $p = 0,0164$). Влияние урбанизированной среды в разные сезоны проявлялось по-разному ($p = 0,0003$). Наиболее выраженные отличия были характерны для мая по сравнению со всеми остальными периодами ($F = 5,08–7,89$ при $p < 0,0001$). В летний период наблюдалась относительная стабильность сообщества; к осени сформировался специфический комплекс групп, значимо отличающийся от летнего, но сохраняющий внутреннее сходство ($F = 4,00–7,27$ при $p < 0,007$). Индекс Шеннона изменялся от 0,2 до 2,6 бит/экз. По продольному профилю реки функциональное разнообразие фитопланктона было однородно. В течение вегетационного периода индекс Шеннона значимо изменялся ($F = 5,16$, $p < 0,0001$); в октябре его значение было ниже по сравнению с маем и июлем ($p < 0,01$).

1. Трусова Л.Н., Федченко Е.И. Современное экологическое состояние притоков реки Вологды // Материалы VI ежегодной сессии аспирантов и молодых ученых по отраслям наук. Т. 1. Технические науки (Плеханов А.А. и др., ред.). – Вологда, 2012. – С. 383–390.

2. Reynolds C.S. et al. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // Journal of plankton research. 2002. V. 24. № 5. P. 417–428. DOI: 10.1093/plankt/24.5.417.

МЕЗОГАЛОБНЫЕ ВИДЫ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ПРЕСНОМ ОЗЕРЕ ИТКУЛЬ (ХАКАСИЯ)

Макеева Е.Г.^{1,2}, Михайлина Н.Р.², Семенова В.В.²

¹ Государственный природный биосферный заповедник «Хакасский», Абакан, Россия;

² Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Россия

e-mail: meg77@yandex.ru

Для некоторых пресных озер Хакасии, расположенных в степной засушливой зоне, характерно наличие мезогалобных видов диатомей в составе различных альгоценозов. Как правило, это спорадически встречаемые виды с низкой численностью. Однако в последние годы наблюдаются случаи их массового развития (на отдельных станциях) в эпилитных и эпифитных сообществах одного из крупных пресных озер Хакасии – оз. Иткуль. Вода озера гидрокарбонатная натриево-магниева, с минерализацией 0,6–0,7 г/л.

Видовой состав планктонных, бентосных и перифитонных водорослей изучали с 2006 по 2009 гг. Далее – фитопланктон ежегодно, а с 2023 г. по 2025 г. – эпилитные сообщества диатомей, в 2024–2025 гг. – диатомовый эпифитон тростника. Относительную частоту встречаемости рассчитывали для всех выявленных видов различных отделов водорослей и всех сообществ в 2006–2009 гг., в последующие периоды только для диатомей отдельно для эпилитона и эпифитона.

При преобладании индифферентных (62,3%) и галофильных видов (12,3%) по отношению к минерализации воды мезогалобы составляли 8,6% таксономического разнообразия диатомовых водорослей (27 видов, 28 видовых и внутривидовых таксонов). Подавляющее большинство мезогалобов обнаружено в перифитоне (23) и бентосе (18), в планктоне озера выявлено 15 видовых и внутривидовых таксонов. Характерными представителями мезогалобного комплекса озера являлись виды рода *Mastogloia*: *M. braunii* Grunow (ранее частота встречаемости для всех сообществ – 5,5%, в последние годы в диатомовом эпилитоне – до 7,7% от общего числа видовых и внутривидовых таксонов диатомовых эпилитона), *M. danseyi* (Thwaites) Thwaites ex W. Smith (встречаемость 16,5% для всех сообществ, сейчас в эпилитоне 7,7–53,3%, в эпифитоне тростника – 34,9%), *M. elliptica* (C. Agardh) Cleve (ранее 0,9% – для всех сообществ, сейчас в эпилитоне 23,1–26,6%, в эпифитоне тростника – 44,2%, в 2025 г. вид доминировал в обрастаниях камней), *M. smithii* Thwaites ex W. Smith (для всех сообществ 31,2%, сейчас в эпилитоне 7,7–22,5%). Также кроме вышеперечисленных видов на протяжении всего периода исследования в пробах присутствовали: *Navicula capitatoradiata* H. Germain ex Gasse (16,5% для всех сообществ, сейчас в эпилитоне 47,5–86,6%, в 2024 г. вид содоминировал в эпилитоне и доминировал на одной из станций в эпифитоне), *Nitzschia denticula* Grunow (ранее – 11,9%; сейчас в эпилитоне – 7,7%, в эпифитоне тростника 50–69,8%), *Rhopalodia gibberula* (Ehrenberg) O. Müller (ранее 18,3%, сейчас 2,5–26,6% в эпилитоне); виды с низкой активностью (0,9–1,8%) – *Anomoeoneis sphaerophora* Pfitzer, *Craticula halophila* (Grunow) D.G. Mann, *Prestauroneis crucicula* (W. Smith) Genkal & Yarushina, *Prestauroneis protracta* (Grunow) Kulikovskiy & Glushchenko, *Surirella ovalis* Brébisson. В 2023–2025 гг. в эпифитоне тростника появились новые для озера виды, малоактивные: *Anomoeoneis costata* (Kützinger) Hustedt, *Amphora affinis* Kützinger, *Tryblionella apiculata* W. Gregory. Часть видов, выявленных в 2006–2009 гг., в последние годы не обнаружена, возможно, из-за отсутствия бентосных проб. Среди них *Halamphora perpusilla* (Grunow) Q.-M. You & Kociolek, *H. coffeiformis* (C. Agardh) Mereschkowsky; *Navicymbula pusilla* (Grunow) Krammer и др.

ВЛИЯНИЕ СТУПЕНЧАТОГО ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЗОТА И ФОСФОРА В ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ НА МЕТАБОЛИЗМ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Мальцев Е.И.¹, Кривова З.В.¹, Мальцева С.Ю.¹, Куликовский М.С.¹, Яковийчук А.В.^{1,2}

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;

² Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия

e-mail: maltsev.ye@yandex.ru

Неоднократно сообщалось, что с помощью таких факторов, как питательное голодание, интенсивность освещения, УФ-излучение, высокие температуры и т.д., во время культивирования можно стимулировать накопление биомассы у микроводорослей и увеличивать содержание биотехнологически ценных соединений. Для изучения влияния азотного и фосфорного стресса на метаболизм микроводорослей предложено использование 10 модифицированных вариантов среды BBM (Bold's Basal Medium) [1].

Сравнительный анализ метаболома и его изменений в экспериментах с питательным голоданием у 20 штаммов Chlorophyta (представители родов *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Coccoloba* и др.) показал, что уменьшение количества азота и фосфора в питательной среде сопровождается повышением содержания каротиноидов, а их состав смещается в сторону увеличения количества полярных пигментов. Содержание хлорофиллов снижается при повышении концентрации азота и фосфора, а полное их удаление стимулирует увеличение содержания пигментов в биомассе относительно стандартной среды BBM. Также отмечена прямая зависимость между увеличением концентрации азота и фосфора в питательной среде и такими характеристиками, как накопление биомассы, содержание жирных кислот и α -токоферола. Изменение соотношения азота и фосфора в сторону преобладания фосфора ограничивает накопление биомассы и негативно влияет на содержание пигментов и α -токоферола.

В целом для исследованных штаммов зеленых водорослей установлены общие тенденции, направленные на снижение содержания вторичных продуктов распада липидов при повышении в среде концентрации азота и фосфора. Полное удаление азота из питательной среды способствовало повышению количества вторичных продуктов распада липидов, а фосфора – понижению. Антиоксидантная активность зеленых микроводорослей увеличивалась при снижении концентрации или полном отсутствии азота и фосфора в среде, что связано с накоплением в клетках вторичных метаболитов с выраженными антиоксидантными свойствами, однако данные изменения являлись специфичными и были обусловлены филогенетическими и экологическими особенностями штаммов.

Сделан вывод, что разные по происхождению штаммы зеленых микроводорослей характеризуются различными адаптациями к содержанию азота в питательной среде и различными стратегиями метаболизма для преодоления стресса, вызванного избытком или недостатком азота. Также отличия между штаммами прослеживались в реакции на уровень доступности фосфора, на соотношение азот : фосфор и адаптации к интенсивности освещения.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 124052200012-7 (FFES-2024-0001).

1. Krivova Z.V. et al. Effect of nitrogen and phosphorus stress on growth and fatty acid composition in microalga *Vischeria calaminaris* (Eustigmatophyceae) // Microbiology. 2025. V. 94. P. 756–769. DOI: 10.1134/S0026261725600971.

СТРАТЕГИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА АЛЬФА-ТОКОФЕРОЛА МИКРОВОДОРОСЛЯМИ: КОМБИНИРОВАННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И ГИДРОКАРБОНАТА НАТРИЯ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЕ

Мальцева И.А., Яковийчук А.В., Лысова Е.А., Цюпа Е.А., Дукова И.С.

Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия

e-mail: lysovae190@yandex.ru

Витамин Е представляет собой группу соединений, среди которых наибольшую биодоступность и, соответственно, ценность имеет α -токоферол природного происхождения. Синтезируется он только фотосинтезирующими организмами. На мировом рынке спрос на данное соединение имеет устойчивую тенденцию роста. Также отмечается существенный дисбаланс между спросом на продукцию с природным α -токоферолом и возможностью обеспечить его производство. Для решения этой проблемы и удовлетворения растущего спроса на природный α -токоферол необходим его новый природный источник, который дополнял бы объемы традиционного растительного сырья и не требовал при этом выделения дополнительных площадей земель сельскохозяйственного назначения. Новым источником природного α -токоферола, как свидетельствуют наши предыдущие исследования, а также некоторые научные публикации, может быть биомасса микроводорослей. Важной задачей является изучение способности микроводорослей синтезировать α -токоферол, а также поиск подходов, позволяющих повысить его синтез. Сообщалось, что добавление в питательную среду гидрокарбоната (бикарбоната) стимулирует рост микроводорослей и интенсифицирует фотосинтетические процессы [1,2]. В процессе фотосинтеза газообразный CO_2 фиксируется в качестве основной формы углерода и включается с помощью фермента рибулозо-1,5-бисфосфаткарбоксилазы/оксигеназы (RubisCO) в органические соединения с использованием солнечной энергии. Низкое сродство RubisCO к CO_2 снижает эффективность фиксации углерода. HCO_3^- является дополнительным источником углерода и может активно транспортироваться в клетки [2]. При использовании в системах культивирования гидрокарбоната удавалось повысить содержание липидов в биомассе микроводорослей [1,3]. Эффекты воздействия NaHCO_3 на накопление α -токоферола микроводорослями пока не исследованы. Целью работы была оценка роста и синтеза α -токоферола штаммом *Chlorella vulgaris* G-145 при периодическом культивировании. В ходе экспериментов установлено, что внесение NaHCO_3 существенно повышает продуктивность биомассы по сравнению с аэрацией культур воздушной смесью. При этом постоянная подача CO_2 с воздухом обеспечивала большее накопление α -токоферола по сравнению с использованием NaHCO_3 .

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 25-14-00125.

1. Aldaby E.S.E. et al. Photosynthesizing carbonate/nitrate into *Chlorococcum humicola* biomass for biodiesel and *Bacillus coagulans*-based biohydrogen production // Microb. Cell. Fact. 2024. V. 23. P. 247. DOI: 10.1186/s12934-024-02511-0.

2. Kupriyanova E.V. et al. Adapting from low to high: an update to CO_2 -concentrating mechanisms of cyanobacteria and microalgae // Plants. 2023. V. 12. P. 1569. DOI:10.3390/plants12071569.

3. Li J. et al. Effects of sodium bicarbonate on cell growth, lipid accumulation, and morphology of *Chlorella vulgaris* // Microb. Cell. Fact. 2018. V. 17. P. 111. DOI:10.1186/s12934-018-0953-4.

БИОСИНТЕЗ АЛЬФА-ТОКОФЕРОЛА В МИКРОВОДОРОСЛЯХ: ОТ ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ К БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПЕРСПЕКТИВАМ

Мальцева И.А.¹, Яковийчук А.В.^{1,2}, Мальцева С.Ю.²,
Куликовский М.С.², Мальцев Е.И.²

¹ Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия;

² Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

e-mail: maltseva-irina22@yandex.ru

Альфа-токоферол – жирорастворимое соединение, обладающее высокой антиоксидантной активностью. Также считается, что он оказывает стабилизирующее воздействие на мембраны, участвует в регуляции внутриклеточной сигнализации. В природе синтез альфа-токоферола осуществляется фотосинтезирующими организмами. При этом он играет важную роль не только в жизнедеятельности растительных организмов, но и в поддержании функционирования животных и человека. В последние годы были достигнуты значительные успехи в изучении основных путей биосинтеза токоферола. Показано, что основным местом его локализации в клетках фотосинтезирующих эукариот являются пластиды. Изучение особенностей синтеза токоферола у цианобактерий и водорослей в контексте теории происхождения и эволюции пластовид представляет как большой теоретический, так и практический интерес. Полученные результаты позволят лучше понять, как связаны цитозольный и пластовидный метаболические пути синтеза токоферола, а также сформировать научную основу для разработки методов повышения его биопродукции. В настоящее время данные о путях синтеза токоферола у цианобактерий и водорослей ограничены изучением модельных организмов *Synechocystis* sp. PCC 6803 и *Chlamydomonas reinhardtii* P.A. Dangeard. Как свидетельствуют наши данные и результаты других исследований [1–3], цианобактерии и различные филогенетические группы микроводорослей существенно отличаются по способности накапливать альфа-токоферол. Chlorophyta и Heterokontophyta (особенно Chlorodendrophyceae и Eustigmatophyceae) накапливают больше альфа-токоферола в сравнении с Cyanobacteria и Rhodophyta. Также установлено, что накопление токоферола зависит от способа культивирования. При этом штаммы одного вида микроводорослей и цианобактерий в одинаковых условиях культивирования не всегда содержат одинаковое или близкое количество токоферола. Дальнейшие исследования позволят детальнее описать пути и регуляторные механизмы биосинтеза альфа-токоферола, разработать подходы к целенаправленной индукции его синтеза. Это имеет существенное значение для удовлетворения растущего спроса на природные высокоактивные антиоксиданты.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 25-14-00125.

1. Mudimu O. et al. Screening of microalgae and cyanobacteria strains for α -tocopherol content at different growth phases and the influence of nitrate reduction on α -tocopherol production // J. Appl. Phycol. 2017. V. 29. P. 2867–2875. DOI: 10.1007/s10811-017-1188-1.

2. Durmaz Y. Vitamin E (α -tocopherol) production by the marine microalgae *Nannochloropsis oculata* (Eustigmatophyceae) in nitrogen limitation // Aquaculture. 2007. V. 272. P. 717–22. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2007.07.213.

3. Bandarra N.M. et al. Fatty acids, sterols and α -tocopherol in *Isochrysis galbana* // J. Food Lipids. 2003. V. 10. P. 25–34. DOI: 10.1111/j.1745-4522.2003.tb00003.x.

ВЛИЯНИЕ СТУПЕНЧАТОГО АЗОТНОГО ГОЛОДАНИЯ НА МЕТАБОЛИЗМ ШТАММА *ALIINOSTOC*

Мальцева С.Ю., Кривова З.В., Мальцев Е.И.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

e-mail: svetadm32@gmail.com

Азотное голодание – распространенный стресс-фактор, который вызывает перестройку метаболизма у фотосинтезирующих организмов [1]. Понимание механизмов перестройки липидного профиля в ответ на азотный стресс важно для оптимизации биотехнологических процессов. Ступенчатое снижение азота в среде позволяет управлять метаболизмом цианобактерий рода *Aliinostoc* для получения биополимеров и липидов [1]. Штамм *Aliinostoc* sp. MAC-C82 выделен микропипетированием отдельных гормогоний из почвенной культуры в чашке Петри с использованием инвертированного микроскопа Olympus CKX53.

Анализ жирнокислотного состава штамма *Aliinostoc* sp. MAC-C82 показал высокое содержание стеариновой (18:0), пальмитиновой (16:0) и α -линоленовой (18:3) кислот, что согласуется с ранее опубликованными данными для представителей рода *Aliinostoc* [2]. Ступенчатое азотное голодание штамма *Aliinostoc* sp. MAC-C82 вызывает перестройку жирнокислотного профиля: увеличение доли насыщенных жирных кислот на 30% (с 34,41 до 44,86% от общего содержания жирных кислот в биомассе); снижение доли моновенасыщенных жирных кислот на 32% (с 35,94 до 24,48%); повышение соотношения омега-3:омега-6, при этом баланс C16:C18 стабилен, что указывает на стабильную регуляцию синтеза основных цепей жирных кислот. Повышение соотношения омега-3:омега-6 с 1,17 до 1,76 обусловлено накоплением α -линоленовой кислоты (18:3n-3).

Полученные результаты свидетельствуют о возможности направленного регулирования жирнокислотного состава *Aliinostoc* sp. MAC-C82 путем ступенчатого азотного голодания, что открывает перспективы для биотехнологического получения липидных биопродуктов с заданным соотношением омега-3:омега-6.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации тема № 124052200012-7 (FFES-2024-0001).

1. Spät P. et al. Phosphoproteome of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC 6803 and its dynamics during nitrogen starvation // *Frontiers in Microbiology*. 2015. V. 6. P. 248. DOI: 10.3389/fmicb.2015.00248.

2. Maltseva S. et al. Phylogeny and fatty acid profiles of *Aliinostoc vietnamicum* sp. nov. (Cyanobacteria) from the soils of Vietnam // *Journal of Phycology*. 2022. V. 58. P. 789–803. DOI: 10.1111/jpy.13283.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА НА ВЕГЕТАТИВНЫЙ РОСТ КАРОТИНОГЕННОЙ МИКРОВОДОРОСЛИ *COELASTRELLA* *RUBESCENS* IBSS-156 В КУЛЬТУРЕ

Мансурова И.М., Данцюк Н.В., Сахонь Е.Г., Кривенко О.В.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

e-mail: ira.mansurova2013@yandex.ru

Впервые для рода *Coelastrella* получена световая кривая роста штамма *C. rubescens* IBSS-156, выделенного из крымского лишайника, при адаптации к 10 интенсивностям света в диапазоне от 8,6 до 688 мкЭ/(м²·с) (режим освещения – 15:9 ч свет:темнота). Культивирование проводили в трех биологических повторах в модифицированном полупротоочном режиме с уравниванием культур по плотности, ежедневно заменяли часть культуры на свежую питательную среду, при температуре 25 ± 1 °С, и барботировали газовой воздушной смесью с СО₂ для поддержания pH~7. Среднесуточную удельную скорость роста рассчитывали на основе ежедневных измерений оптической плотности культуры. Дополнительно определяли переменную флуоресценцию хлорофилла методом РАМ-флуориметрии и линейные размеры клеток.

На основе полученных кривых рассчитали параметры световой зависимости роста: максимальная удельная скорость роста $\mu_{\max} = (1,02 \pm 0,05)/\text{сут}$; интенсивность насыщающего света $I_k = (97,1 \pm 14,8) \text{ мкЭ}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; эффективность роста $\alpha = 0,011$; интенсивность света для достижения $\mu_{\max}$, $I(\mu_{\max}) = 350 \text{ мкЭ}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. При 600 мкЭ/(м²·с) наблюдали снижение скорости роста на 30 %, что указывает на угнетение водоросли избыточным светом. Дальнейшее увеличение освещенности до 688 мкЭ/(м²·с), очевидно, индуцировало вторичный каротиногенез (ВКГ), а выраженность светового угнетения роста снижалась. Показатель относительной переменной флуоресценции (F_v/F_m) достигал максимума (0,70–0,73) в диапазоне освещенности 8,6–34 мкЭ/(м²·с). При 52 мкЭ/м²/с значение F_v/F_m снижалось до 0,65–0,67 и сохранялось на этом уровне в пределах плато светового насыщения, падая до 0,53 при 600 мкЭ/(м²·с). Показатель F_v/F_m возрастал до 0,63 при 688 мкЭ/(м²·с) на фоне активации ВКГ, процессы которого, очевидно, способствовали восстановлению эффективности работы фотосистем, а также роста водоросли, по-видимому, за счет фотопротекторной функции вторичных каротиноидов. Объем клеток также закономерно изменялся в зависимости от световых условий роста культуры. При световом лимитировании (<100 мкЭ/(м²·с)) объем клеток возрастал от 86 до 214 мкм³ с увеличением освещенности. В области светового насыщения он снижался по мере повышения освещенности, параллельно с увеличением удельной скорости роста. Минимального объема (100 мкм³) клетки достигали при 350 мкЭ/(м²·с) на фоне максимальной скорости роста. При 600–688 мкЭ/(м²·с) объем клеток резко увеличивался, что характерно для водорослей при переходе на стадию ВКГ.

Результаты настоящего исследования определили диапазоны фотоадаптации и фотоингибирования *C. rubescens* IBSS-156, а также характер изменений переменной флуоресценции хлорофилла и объема клеток в широком диапазоне значений освещенности, что необходимо для прогнозирования продуктивности штамма в условиях управляемого культивирования.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-26-20121 «Создание биоресурсной коллекции каротиногенных водорослей региона» (№ гос. регистрации 124102900026-9) и темы гос. задания ФИЦ ИнБЮМ № 124022400152-1 «Комплексное исследование механизмов функционирования морских биотехнологических комплексов с целью получения биологически активных веществ из гидробионтов».

ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ РОДА *EUASTRIDIDIUM* НА ДРЕВЕ DESMIDIALES (ZYGNEMATOPHYCEAE, STREPTOPHYTA)

Мартыненко Н.А.¹, Кулизин П.В.², Подунай Ю.А.³, Шкурина Н.А.⁴, Гусев Е.С.¹

¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия;

² Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия;

³ Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН,
Феодосия, Россия;

⁴ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия
e-mail: nikita-martynenko@yandex.ru

Представители класса Zygnematomphyceae характеризуются значительным морфологическим и таксономическим разнообразием. Морфологическая вариабельность проявляется в разнообразии типов талломов и особенно в ультраструктуре их клеточных стенок. Несмотря на их большое разнообразие и широкие экологические ниши, филогенетические отношения внутри этого класса изучены весьма фрагментарно. Большинство таких исследований были сосредоточены на таксонах более высокого уровня, соответствующих порядкам и семействам. Поскольку текущая классификация Zygnematomphyceae основана исключительно на морфологических признаках, которые могут быть весьма изменчивыми, неудивительно, что традиционная видовая концепция противоречит результатам молекулярной филогении для многих родов. Показано, что семейство *Desmidiaceae* состоит как минимум из 22 независимых филогенетических линий, которые могут стать основой для новых монофилетических родов в этой важной группе микроводорослей [1].

Большое разнообразие десмидиевых водорослей сосредоточено в тропиках. Многие таксоны этой группы встречаются почти исключительно в тропических и субтропических местообитаниях и в настоящее время недоступны в коллекциях культур [2]. Род *Euastridium* W. West & G.S. West можно отнести к редким тропическим таксонам, ранее не встречавшимся в культуре. Штаммы этого рода не были включены ни в один филогенетический анализ, поэтому невозможно достоверно говорить о связях этого рода с другими родами десмидиевых водорослей. Мы успешно выделили в культуру штамм VN 3 *Euastridium staurastroides* Carter из национального парка Кат Тьен на юге Вьетнама и включили его в филогенетический анализ. В докладе будут обсуждены морфологические особенности и приведены результаты филогенетического анализа представителя этого редкого тропического рода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 25-24-01159.

1. Gontcharov A.A., Melkonian M. A study of conflict between molecular phylogeny and taxonomy in the Desmidiaceae (Streptophyta, Viridiplantae): analyses of 291 *rbcL* sequences // Protist. 2011. V. 162. P. 253–267. DOI: 10.1016/j.protis.2010.08.00.

2. Zhou H., von Schwanzenberg K. Zygnematomphyceae: from living algae collections to the establishment of future models // Journal of Experimental Botany. 2020. V. 71. P. 3296–3304. DOI: 10.1093/jxb/eraa091.

ВАРИАБЕЛЬНОЕ УНИПАРЕНТАЛЬНОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ МИТОХОНДРИЙ У ПРЕСНОВОДНОЙ ПЕННАТНОЙ ДИАТОМОВОЙ ВОДОРОСЛИ *ULNARIA ACUS*

Марченков А.М.¹, Налимова М.А.¹, Захарова Ю.Р.¹, Давидович Н.А.²,
Давидович О.И.², Подунай Ю.А.², Петрова Д.П.¹

¹ Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия;

² Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН –
филиал ФИЦ ИНБЮМ им. А.О. Ковалевского, Феодосия, Россия

e-mail: marchenkov.am@bk.ru

Ядерные геномы эукариот наследуются бипарентально и демонстрируют менделевское расщепление, в то время как большинство геномов органелл характеризуются унипарентальным наследованием, чаще по материнской линии. На данный момент наследование органелл диатомовых водорослей остается малоизученным. У *Epithemia gibba* var. *ventricosa* (Kütz.) Grunow хлоропласты наследуются стохастически от одного из родителей, изредка возможна биродительская передача [1]. У *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden пластиды передаются потомству F1 случайно [2]. В отличие от пластид, митохондрии наследуются строго унипарентально у *Haslea ostrearia* (Gaillon) Simonsen [3] и *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Smith [4].

Цель работы – исследование наследования митохондрий у *Ulnaria acus* (Kütz.) Aboal с использованием маркеров *cox1* и *atp6*. Использованы моноклональные штаммы *U. acus* из разных мест обитания и гибриды F1. Для подтверждения видовой принадлежности использовали световую, сканирующую электронную микроскопию и филогенетический анализ фрагментов генов 18S рРНК.

Анализ митохондриальных маркеров у четырех родительских пар и 24 потомков при каждом скрещивании показал унипарентальное наследование мтДНК: у гибридов F1 проявляется генотип *cox1* только одного из родителей; аналогично для *atp6*. У родительских пар *U. acus* R5.1015-C × I5.0227-F и АхВК280 × I5.0227-F при разных скрещиваниях наследовался генотип мтДНК как по отцовской, так и по материнской линии. Анализ пар R5.1015-C × I5.0227-F и N0.0304-YE × I5.0227-F показал, что среди гибридов F1 могут встречаться клоны разного пола с одинаковым генотипом мтДНК. Таким образом, наследование митохондрий *U. acus* унипарентально, происходит как по мужской, так и по женской линии и не зависит от факторов, определяющих пол.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR-2026-0001) и № 124030100100-0.

1. Kamakura S. et al. Inheritance of spheroid body and plastid in the raphid diatom *Epithemia* (Bacillariophyta) during sexual reproduction. // *Phycologia*. 2021. V. 60. P. 265–273. DOI: 10.1080/00318884.2021.1909399.

2. Ghiron J.H.L et al. Plastid inheritance in the planktonic raphid pennate diatom *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Bacillariophyceae) // *Protist*. 2021. V. 159. P. 91–8. DOI: 10.1016/j.protis.2007.06.002.

3. Gastineau R.V. et al. Inheritance of mitochondrial DNA in the Pennate diatom *Haslea ostrearia* (Naviculaceae) during auxosporulation suggests a uniparental transmission // *Protist*. 2013. V. 164. P. 340–351. DOI: 10.1016/j.protis.2013.01.001.

4. Bagmet V.B. et al. Life Cycle of *Nitzschia palea* (Kütz.) W. Smith (Bacillariophyta) // *Russian Journal of Developmental Biology*. 2020. V. 51: P. 106–114. DOI: 10.1134/S1062360420020022.

ПРИНЦИП РАБОТЫ ИННОВАЦИОННОЙ РАЗРАБОТКИ «АЛЬГОЛАМПА»

Махмутов А.Р., Фархутдинов Р.Г.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

e-mail: almaz_makhmutov@list.ru

В связи с антропогенным воздействием качество атмосферного воздуха на планете ежегодно ухудшается. Загрязнение воздуха является фактором риска развития заболеваний не только дыхательной, но также кровеносной, пищеварительной и нервной систем, что вносит вклад в рост смертности населения. Инновационная разработка «Альголампа» направлена на потенциальное решение обозначенных проблем. Устройство является многофункциональным и выполняет несколько процессов одновременно: очищение воздуха от мелкодисперсной пыли, его увлажнение, а также насыщение воздуха кислородом в ходе фотосинтеза микроводорослей, обитающих внутри разработки. Согласно неопубликованным данным, микроводоросль *Chlorella vulgaris* Beijerinck потенциально способна также очищать воздух от тяжелых металлов и опасных летучих соединений, концентрация которых в атмосфере повышена, особенно вблизи городов.

Цель данной работы – создание инновационной разработки «Альголампа», обладающей всеми перечисленными функциями. Для достижения цели планируется использовать анализ литературных данных, методы базового программирования и инженерии, а также обеспечить условия культивирования микроводорослей, необходимые для их жизнедеятельности.

В результате проделанной работы создана инновационная разработка «Альголампа». Доказана ее способность поглощать углекислый газ (методом титрования взаимодействующих с ним щелочей), улавливать пыль в помещении (на основании анализа загрязнения бумажного фильтра) и увлажнять воздух за счет испарения воды внутри системы [1]. Разработанное устройство является прототипом, который будет совершенствоваться и модернизироваться в дальнейшем. Представленная разработка демонстрирует потенциал внедрения биотехнологических устройств в жилые помещения для улучшения качества жизни человека.

1. Махмутов А.Р. Изучение поглощения углекислого газа водорослью *Clorella vulgaris* в условиях инновационной разработки «альголампа» // Актуальные вопросы современной селекции, генетики и биотехнологии: Сборник статей научно-практической конференции, Москва, 12 ноября 2025 г. – Москва: ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА им. К.А.Тимирязева, 2025. – С. 122–126.

ИСТОРИЯ И ТРАЕКТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЖУРНАЛА «ACTA BIOLOGICA SIBIRICA»

Мацюра А.В.¹, Яковлев Р.В.², Яковлева Л.С.²

¹ *Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия;*

² *Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия*
e-mail: amatsyura@gmail.com

Основанный в 2015 году на базе Алтайского государственного университета, журнал изначально задумывался как платформа для публикации исследований в области биологического разнообразия. Ключевым этапом стала смена издательской модели – переход к открытому доступу и сотрудничество с престижным международным издательством Pensoft в 2020 году, что дало доступ к современной системе ARPHA. В 2022 году журнал вернулся на собственную платформу АлтГУ (построенную на OJS), сохранив наработанный профессиональный уровень. В 2020 году состоялось включение в базу данных Scopus, а также индексация в Web of Science (BIOSIS Previews, Zoological Record) и более чем 20 международных базах, что подтвердило статус издания мирового уровня. Основной фокус журнала – фаунистика, флористика, биогеография и систематика. Издательская политика предусматривает публикацию материалов на английском языке, отсутствие ограничений по объему статей и их количеству в выпуске, модель непрерывной публикации (continuous publication), что способствует привлечению широкого круга авторов. За время существования журнала опубликовано 217 статей, часть из которых посвящена водорослям (10 работ за 2023–2025 гг.). Статьи в журнале получили суммарно 467 цитирований в индексируемых источниках. Импакт-фактор (IF) демонстрирует положительную динамику, достигнув 0,90 в 2024 году (прирост на 60,71% по сравнению с предыдущим годом). Авторский пул (кроме российских биологов) включает исследователей из Азербайджана, Венгрии, Ирана, Казахстана, Мали, Узбекистана, Эфиопии и других стран, что обеспечивает широкую географию и разнообразие исследований. Успех журнала стал прямым следствием нескольких взаимосвязанных управленческих решений. Первое – выбор стратегического партнера: сотрудничество с издательством Pensoft обеспечило переход на современную платформу ARPHA, что заложило технологическую основу для всех последующих преобразований. Второе – ориентация на международную аудиторию: английский язык стал предпочтительным языком публикаций, а редколлегия приобрела интернациональный характер. Третье – введение двойного «слепого» рецензирования, гарантирующего высокий научный уровень статей. Четвертое – публикационная стратегия, основанная на отказе от «домашнего» формата, активном привлечении авторов-нерезидентов и расширении географии исследований. Пятое – системная работа над качеством: от академического контроля рукописей до усиления рецензирования и постпубликационного продвижения материалов. Особое внимание уделяется качеству иллюстративного и картографического материала с опорой на наивысшие стандарты, принятые в журналах по биоразнообразию. Именно эта совокупность решений закрепила достигнутые позиции и обеспечила устойчивый рост наукометрических показателей. Ключевым решением также стало предоставление статей в трех взаимодополняющих форматах: классический PDF (для чтения и печати), семантически обогащенный HTML (для комфортного просмотра на любых устройствах и оптимизации под поисковые системы) и машиночитаемый XML в стандарте JATS (для автоматической обработки и индексации в агрегаторах данных). Платформа также обеспечивает качественное наполнение метаданных (заголовки, аннотации, ключевые слова, DOI, ORCID авторов) и встроенные инструменты SEO, что в совокупности гарантирует высокое ранжирование статей в результатах поиска Google Scholar и других научных баз данных.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА В УСЛОВИЯХ ЛЕТНЕГО ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНОГО ЦВЕТЕНИЯ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 2018 ГОДУ

Мельник А.С.¹, Полунина Ю.Ю.¹, Дмитриева О.А.^{1,2}, Голенко М.Н.¹, Шартон А.Ю.¹

¹ Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия;

² Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Калининград, Россия

e-mail: AnastassizaHabar@mail.ru

Ежегодные цианобактериальные цветения в Балтике сказываются на состоянии всей ее экосистемы, влияя на особенности пространственного распределения сообществ зоопланктона. Крупные колониальные цианобактерии не являются предпочтительной пищей для зоопланктона ввиду больших размеров клеток и колоний. В период «цветения» зоопланктон может переходить на другие источники питания, благодаря чему цианобактерии получают преимущество. Цель работы: анализ структуры и пространственного распределения фито- и зоопланктона в условиях цианобактериального цветения. Пробы отобраны 27–30 июня 2018 г. в 43-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» в Юго-Восточной Балтике (ЮВБ). Зоопланктон представлен 23 видами, суммарная биомасса – 0,13–2,8 г/м³. Кластерный анализ видов-фильтраторов по биомассе выделил три зооценотические группировки. Крупнейшая объединила мелководно-прибрежную зону и глубины 30–60 м, где доминировали *Acartia tonsa*, *A. bifilosa*, *Temora longicornis*, *Centropages hamatus*. В открытой части моря (60–110 м) *A. tonsa* отсутствовала, в доминантный комплекс вошли *A. longiremis* и *Eurytemora affinis*. Отдельно выделялся район (глубины 70 м), где преобладали эвригалинные виды и группы: *Eubosmina maritima*, *A. tonsa* и личинки двустворчатых моллюсков (*Bivalvia*), что обусловлено, вероятно, влиянием опресненных вод из р. Вислы, Вислинского и Куршского заливов. Цветение формировали нитчатые diaзотрофы *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Born. & Flah., и *Nodularia spumigena* Mertens ex Born. & Flah. (биомасса превышала 0,2 мг/л). Кластерный анализ фитопланктона выявил пять фитоценотических группировок. В основе доминантного комплекса практически всех группировок были *A. flos-aquae* и *N. spumigena*. Одна из группировок находилась в районе, подверженном влиянию опресненных вод из р. Вислы, Вислинского и Куршского заливов; доминировал в основном *A. flos-aquae*. Группировка открытой части моря характеризовалась доминированием наряду с нитчатыми diaзотрофами крупноклеточных динофлагеллят. Мелководно-прибрежная зона и район с глубинами 30–60 м включали три фитоценотические группировки, которые совпадали с самой крупной группировкой зоопланктона в этом районе. Выявлена прямая заметная ранговая корреляция ($R = 0,7$) между видами-фильтраторами зоопланктона и цианобактериями. Обратная умеренная связь ($R = -0,4$) выявлена только между видами-фильтраторами зоопланктона и динофлагеллятами *Biecheleria baltica* Moestrup, Lindberg & Daugbjerg, *Pyrophacus horologium* F. Stein, *Oblea rotunda* (Lebour) Balech. Таким образом, зоопланктон слабо контролировал количественные показатели цианобактерий в ЮВБ в 2018 г. Районы с повышенной и пониженной биомассой фитопланктона, где цианобактерии составляли до 90% биомассы, совпадали с таковыми для зоопланктона.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН тема № FMWE-2024-0025.

АНАЛИЗ СООБЩЕСТВ НИТЧАТЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ ITS МЕТАБАРКОДИНГОМ

Минчева Е.В.^{1,2}, Кабилов М.Р.³, Тупикин А.Е.³, Борисенко Д.А.^{2,4},
Букин Ю.С.^{1,4}, Кравцова Л.С.¹

¹ Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия;

² Байкальский музей СО РАН, р.п. Листвянка, Россия;

³ Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН,
Новосибирск, Россия;

⁴ Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

e-mail: e.mincheva2023@gmail.com

В последние десятилетия в озере Байкал наблюдается массовое развитие нитчатых водорослей, особенно в зонах с антропогенной нагрузкой. Для оценки структурных изменений сообществ и уточнения таксономического состава ключевых групп микроэукариот был проведен метабаркодинг с использованием маркера ITS2 ядерной ДНК. Образцы были отобраны водолазами в десяти районах Байкала, различающихся по степени антропогенного воздействия (фоновые: губа Иринда, река Хара-Мурин, мыс Боро-Елга, падь Емельяновка; зоны с антропогенной нагрузкой: Листвянка, Култук, Байкальск, Максимиха, губа Онококчанская), с трех глубин (0–2, 2–5, 6–10 м). Секвенирование (Illumina MiSeq) проводили на базе ЦКП «Геномика» (ИХБФМ СО РАН). Биоинформатическая обработка включала сборку контигов, кластеризацию в операционные таксономические единицы (ОТЕ) на уровне 97% сходства и расчет α -разнообразия (индекс Шеннона, Chao1).

Всего идентифицировано 332 ОТЕ видового ранга. На долю зеленых водорослей в исследованных сообществах приходилось от 79 до 95% прочтений. Наибольшее количество последовательностей принадлежало зеленым водорослям класса Ulvophyceae и Chlorophyceae. Также присутствовали классы Trebouxiophyceae и Zygnematomorphyceae. Максимальное таксономическое разнообразие отмечено в районах Култук (86 ОТЕ) и Хара-Мурин (85 ОТЕ). Наиболее низкие показатели разнообразия и выравненности зарегистрированы в сообществах из Байкальска, Боро-Елги и Онококчанской, что, вероятнее всего, связано с преобладанием песчаных грунтов в этих районах, которые не способствуют развитию бентосных зеленых водорослей. Сравнение полученных данных с результатами многолетнего мониторинга фитобентоса 1968–1988 гг. показало, что в фоновых районах (Иринда, Максимиха, Хара-Мурин) таксономический состав сообществ сохраняет высокую стабильность. В то же время в некоторых условно чистых (фоновых) районах и районах с антропогенной нагрузкой (Боро-Елга, Емельяновка, Култук, Онококчанская) отмечено увеличение таксономического богатства за счет появления или более частой встречаемости представителей родов *Spirogyra*, *Ulothrix*, *Stigeoclonium*, *Oedogonium*. Эти изменения согласуются с современными наблюдениями о расширении ареалов и повышении обилия нитчатых водорослей в Байкале.

Таким образом, применение ДНК метабаркодинга водорослевых сообществ позволяет оперативно получить общую картину их видового состава, выявить ключевые виды и закономерности их распространения. Установлено, что нитчатые водоросли родов *Spirogyra* и *Oedogonium* встречаются преимущественно в районах с повышенной антропогенной нагрузкой, тогда как *Ulothrix* демонстрирует повсеместное распространение. Учитывая огромные масштабы озера Байкал и разнообразие его подводных ландшафтов, прямое сравнение сообществ водорослей между разными участками остается достаточно сложной задачей.

ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ФИЛОГЕНИИ СЕМЕЙСТВА PINNULARIACEAE (BACILLARIOPHYCEAE)

Миронов А.В.¹, Глущенко А.М.¹, Мальцев Е.И.¹, Нергуй С.², Куликовский М.С.¹

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;

² Монгольский национальный университет, Улан-Батор, Монголия

e-mail: diatomironov@yandex.ru

Pinnularia Ehrenberg и *Caloneis* Cleve – одни из наиболее обширных родов пеннатных диатомовых водорослей, суммарно объединяющие более 1000 видов [1]. Исследования таксономического разнообразия комплекса *Pinnularia-Caloneis* демонстрируют существенную морфологическую диверсификацию представителей различных видовых групп внутри этого объединения [2,3]. Накопленные за последние годы молекулярно-генетические данные свидетельствуют о гетерогенности родов *Pinnularia* и *Caloneis* и, как следствие, указывают на необходимость пересмотра их таксономической концепции [4,5].

Настоящее исследование объединяет методы анализа морфологии кремнеземного панциря и молекулярной филогении для проведения критической ревизии «сборных» родов *Pinnularia* и *Caloneis*. По данным молекулярно-генетического анализа новых штаммов из различных водоемов Монголии и России показано, что эти роды образуют монофилетичную группу, внутри которой выделяются четыре самостоятельные филогенетические линии. По результатам комплексного анализа ультраструктурных признаков (строения шва, штрихов, ареол и поровых окклюдий) предложены описания трех новых родов в составе семейства Pinnulariaceae D.G. Mann – *Langebertalotia*, *Genus1* и *Genus2*. Также представлен уточненный диагноз рода *Pinnularia* s. str., сформулированный с учетом результатов молекулярно-генетического и морфологического сравнения. В рамках данной группы проведена эпитипификация вида *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg. Дополнительно в работе обсуждается эволюционное и филогенетическое значение изученных признаков, в первую очередь строения поровых окклюдий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 24-44-03001 (<https://rscf.ru/project/24-44-03001/>).

1. Kociolek J.P. et al. DiatomBase. URL: <https://www.diatombase.org/aphia.php?p=taxdetails&id=149488> (Дата обращения 23.03.2026).

2. Krammer K. *Pinnularia*. Eine Monographie der europäischen Taxa // Bibliotheca Diatomologica. 1992. V. 26. P. 1–353.

3. Krammer K. The genus *Pinnularia* // Diatoms of the European inland waters and comparable habitats (Lange-Bertalot H., ed.). – Königstein: A.R.G. Gantner Verlag K.G., 2000. – P. 1–703.

4. Witkowski A. et al. Diatom flora of marine coasts I // Iconographia diatomologica. 2000. V. 7. P. 1–925.

5. Souffreau C. et al. A time-calibrated multi-gene phylogeny of the diatom genus *Pinnularia* // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2011. V. 61. P. 866–879. DOI: 10.1016/j.ympev.2011.08.031.

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫХ ЭНДОСИМБИОНТОВ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ПОРЯДКА RHOPALODIALES

Миронова Э.А., Миронов А.В., Мальцев Е.И., Куликовский М.С.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

e-mail: elechka-03@mail.ru

Порядок *Rhopalodiales* D.G. Mann представляет собой группу диатомовых водорослей, уникальной особенностью которых является эндосимбиоз с коккоидными цианобактериями. В результате этого взаимодействия в клетках диатомей формируются органеллоподобные структуры – сфероидные тельца, обеспечивающие азотфиксацию в клетке хозяина [1]. В недавних исследованиях были представлены данные о метаболическом взаимодействии сфероидных телец и диатомовых водорослей; в частности, описаны механизмы обмена азотом и гликогеном между участниками эндосимбиоза. В геноме сфероидных телец выявлены гены и кластеры генов, ответственные за процессы азотфиксации и синтеза гликогена, такие как *nif* (группа генов нитрогеназного комплекса), *glgA* (ген гликогенсинтазы) и *glgP* (ген гликогенфосфорилазы) [2,3]. Анализ генома цианобионтов подтвердил их diazотрофную функцию, а также указал на значительную редукцию генома, связанную с потерей ряда генов клеточного дыхания и фотосинтеза [4].

Вместе с тем сведения о таксономическом разнообразии цианобионтов и их филогенетическом положении остаются крайне скудными. Это обусловлено прежде всего сложностью выделения в культуру как клеток диатомей-хозяина, так и непосредственно цианобионта. Настоящее исследование направлено на получение новых штаммов диатомовых водорослей порядка *Rhopalodiales*, вступающих в эндосимбиоз с цианобактериями. В ходе работы с моноклональными штаммами были получены нуклеотидные последовательности генов 18S рРНК и *rbcL* диатомей, а также 16S рРНК цианобионтов. На основе этих данных проведена реконструкция филогении эндосимбионтов и диатомовых водорослей, что позволило уточнить таксономическое положение цианобионтов сфероидных телец.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 25-24-00915 (<https://rscf.ru/project/25-24-00915/>).

1. Precht J. et al. Intracellular spheroid bodies of *Rhopalodia gibba* have nitrogen-fixing apparatus of cyanobacterial origin // Mol. Boil. Evol. 2004. V. 21. P. 1477–1481. DOI: 10.1093/molbev/msh086.

2. Kneip C. et al. Nitrogen fixation in eukaryotes – new models for symbiosis // BMC Evol. Biol. 2007. V. 7. P. 55. DOI: 10.1186/1471-2148-7-55.

3. Nakayama T. et al. Complete genome of a nonphotosynthetic cyanobacterium in a diatom reveals recent adaptations to an intracellular lifestyle // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2014. V. 111. P. 11407–11412. DOI: 10.1073/pnas.1405222111.

4. Kneip C. et al. The cyanobacterial endosymbiont of the unicellular algae *Rhopalodia gibba* shows reductive genome evolution // BMC Evol. Biol. 2008. V. 8. P. 30. DOI: 10.1186/1471-2148-8-30.

ОСОБЕННОСТИ ПОДЛЕДНОЙ ВЕГЕТАЦИИ ВОДОРΟΣЛЕЙ В ПЛАНКТОНЕ ГЛУБОКИХ ХОЛОДНОВОДНЫХ ОЗЕР

Митрофанова Е.Ю.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

e-mail: mitelena-09@mail.ru

Изучение подледного периода в озерах средних и высоких широт активизировалось в связи с глобальным потеплением [1]. В озерах между 45° и 80° с.ш. лед устанавливается ежегодно (полностью или частично) или не каждый год – в зависимости от регионального климата [2]. Водоросли при экстремально низких температурах вырабатывают белки холодового шока [3]. Зимой в фитопланктоне (ФП) чаще развиваются фитофлагелляты (ФФ) из золотистых и криптофитовых [4], в том числе и в холодноводных глубоких озерах [5], как с ледовым покрытием, так и без него [6]. На сосредоточение водорослей подо льдом в верхних горизонтах больше влияют свет и наличие бактерий, чем количество биогенов [7], вследствие гетеротрофного типа питания ФФ. Подо льдом биомасса водорослей может значительно увеличиваться и создавать эффект цветения, как, например, в оз. Байкал, где весенний максимум, единственный в году, обусловлен развитием диатомовых и перидиниевых, чему способствует толстый байкальский лед и пустоты в нем [8]. Подобное наблюдают и в других глубоких озерах мира [9], но при меньшем обилии. Телецкое озеро (Алтай, Россия) относится к водоемам с ежегодно замерзающей только северной широтной частью и редким полным ледоставом. Подледный ФП исследовали в январе–апреле 1997 г. (оз. Яйлю, пелагиаль, лед до 12 см, мало снега), марте 2006 г. (там же, лед 39 см, снег 30 см), апреле 2023 г. (устье р. Ойер – исток р. Бии, лед до 48 см, снег до 30 см) и марте 2024 г. (Камгинский залив, лед до 35 см, снег до 5 см). Выявлено, что при толстом слое льда и снега как в пелагиали (2006 г.), так и на более мелководных участках (2023–2024 гг.) в ФП наиболее значим диатомово-криптофитовый компонент – *Pantocsekiella teletskoyensis* Genkal et Mitrofanova и *Komma caudata* (L. Geitler) D.R.A. Hill. При более прозрачном льде в ФП пелагиали (1997 г.) преимущественно вегетировали цианобактерии – *Anabaena flos-aquae* Brebisson ex Born. & Flah., *A. circinalis* Ralfs ex Born. & Flah., а также *Microcystis pulvereae* (H.C. Wood) Forti и *Aphanothece clathrata* West & G.S. West. В целом подо льдом в пелагиали обилие ФП ниже, в то время как на мелководьях – выше: максимальная численность – 143 и 381 тыс. кл./л, максимальная биомасса – 106 и 515 мг/м³ соответственно.

Работа выполнена при поддержке госзадания, тема № FUFZ-2026-0005.

1. Hampton S.E. et al. Ecology under lake ice // Ecology Letters. 2017. V. 20. P. 98–111. DOI: 10.1111/ele.12699.
2. Kirillin G. et al. Physics of seasonally ice-covered lakes: a review // Aquat. Sci. 2012. V. 74. P. 659–682. DOI: 10.1007/s00027-012-0279-y.
3. Richardson T.L., Gibson C.E., Heaney S.I. Temperature, growth and seasonal succession of phytoplankton in Lake Baikal, Siberia // Freshwater Biology. 2000. V. 44. P. 431–440. DOI: 10.1046/j.1365-2427.2000.00581.x.
4. Шкундина Ф.Б. Сезонная динамика фитопланктона в некоторых озерах мира // Гидробиол. журн. 1983. Т. XIX. С. 3–8.
5. Munawar M., Munawar I. Phytoplankton Lake Superior 1973 // J. Great Lakes Res. 1978. 4. P. 415–442. DOI: 10.1016/S0380-1330(78)72212-4.
6. Salmaso N. et al. Understanding deep oligotrophic subalpine lakes for efficient management // Hydrobiologia. 1999. V. 395/396. P. 253–263. DOI: 10.1023/A:1017010913918.
7. Watson S.B. et al. Under-ice and source-water odour in a nutrient-poor reservoir: biological, ecological and applied perspectives // Freshwater Biology. 2001. V. 46. P. 1553–1567.
8. Карнаухов Д. и др. Особенности «вспышек» численности *Gymnodinium baicalense* и *Gymnodinium coeruleum* (Dinophyta) в оз. Байкал // Acta Biologica Sibirica. 2019. Т. 5. С. 109–113. DOI: 10.14258/abs.v5.i4.7143.
9. Верхозина В.А. и др. Проявление климатической изменчивости в периодичности урожайности планктона озера Байкала // Докл. Акад. Наук. 2000. Т. 374. С. 252–254.

СТОМАТОЦИСТЫ ЗОЛОТИСТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ИЗ ПРИДАТОЧНЫХ ВОДОЕМОВ: ДОНОРЫ ИЛИ РЕЦИПИЕНТЫ ДЛЯ ФИТОПЛАНКТОНА ГЛУБОКОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД ПОЛОВОДЬЯ?

Митрофанова Е.Ю.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

e-mail: mitelena-09@mail.ru

В глубоких озерах с большим разнообразием биотопов литоральным участкам отводится особая роль в процессах функционирования и поддержания устойчивости экосистемы водоема в целом, так как они являются средоточием жизни [1]. Литораль озера аккумулирует в себе не только неорганическую составляющую (частицы почвы, химические элементы и соединения), поступающую с водами притоков, но и водоросли, которые поступают с водосборного бассейна или из бентоса и обрастаний береговой части рек и ручьев. Пойменные водоемы (ПВ), расположенные в непосредственной близости от основного озера, также вносят свой вклад в пополнение разнообразия планктона озера. Основная роль в фитопланктоне (ФП) глубоких холодноводных озер как в пелагиали, так и на литоральных участках принадлежит диатомовым водорослям, но значимы также и золотистые, или хризифитовые водоросли (Chrysophyceae). О разнообразии последних можно судить по составу их стоматоцист, или покоящихся стадий. В период весеннего половодья ПВ соединяются с озером. Два таких водоема были исследованы в непосредственной близости от Телецкого озера (Алтай, Россия) в июне 2025 г. Один расположен по левому берегу Чебачьей протоки р. Чулышмана (ур. Кырсай, ст. 1, глубина до 1 м), другой – по правому берегу основного русла (ур. Карагай, ст. 2, глубина до 0,3 м). В ФП ПВ (ст. 1 и 2), р. Чулышман (ст. 3), литорали (ст. 4) и пелагиали (ст. 5) озера в районе впадения р. Чулышман исследовали состав стоматоцист золотистых водорослей. Стоматоцисты, попадая в подходящие условия, начинают вегетировать снова, то есть пополняют разнообразие водорослей планктона в водоеме.

Выявлено, что наиболее разнообразный состав стоматоцист обнаружен на ст. 1 – 21 морфотип, немного меньше на ст. 2 – 19 морфотипов, и только 3 морфотипа были общими для этих водоемов, то есть состав золотистых водорослей достаточно оригинален в каждом из ПВ. Так, например, на ст. 1 отмечено массовое развитие *Dinobryon divergens* O.E. Imhof, большие кустистые колонии которого были хорошо заметны на фильтрах, чего не выявлено на ст. 2. На ст. 3, выше по течению от места соединения ПВ с рекой, отмечено 14 морфотипов, причем всего по 3 и 2 морфотипа из ПВ были общими с речным составом соответственно. То есть большая часть стоматоцист, которые были образованы хризифитами в ПВ, так и остались в них – 85,7 и 89,5% соответственно. На ст. 4 количество выявленных морфотипов стоматоцист уменьшилось до 11, и только 9,5 и 10,5% из них были сходны со стоматоцистами ПВ. На ст. 5 состав стоматоцист несколько пополнился (15 морфотипов), но сходство с ПВ еще более снизилось – 6,7 и 5,3 общих стоматоцист соответственно. Таким образом, в двух ПВ выявлен оригинальный состав стоматоцист золотистых водорослей, отличный во многом как друг от друга, так и от такового в реке, литорали и пелагиали озера в районе впадения данного водотока. В период половодья и соединения ПВ с основным водоемом лишь малая часть стоматоцист из ПВ возможно поступает в русло реки и далее в озеро.

Работа выполнена при поддержке госзадания, тема № FUFZ-2026-0005.

1. Зарубина Е.Ю. и др. Литоральные биоценозы как один из факторов устойчивости экосистемы Телецкого озера // Ползуновский вестник. 2005. Т. 4. С. 201–207.

КОВСТРЕЧАЕМОСТЬ МИКРОЭУКАРИОТ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Михайлов И.С., Петрова Д.П., Букин Ю.С., Башенхаева М.В., Лихошвай Е.В.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: ivanmikhail@gmail.com

Микроэукариоты являются одними из ключевых участников пищевой сети водных экосистем. Фитопланктон (Bacillariophyta, Chrysophyta, Cryptophyta, Dinophyta, Chlorophyta) создает первичную продукцию, а гетеротрофные микроэукариоты (Ciliophora, Cercozoa и Fungi) потребляют фитопланктон и бактерий. С помощью метабаркодинга V8-V9 региона гена 18S рРНК мы охарактеризовали пространственно-межгодовые закономерности распределения относительных численностей микроэукариот в фотическом слое (0–25 м) трех котловин озера Байкал в период гидрологической весны (начало июня) 2020–2022 гг. Секвенирование ампликонов V8-V9 региона 18S рРНК проводили на секвенаторе Illumina MiSeq. Анализ данных секвенирования и получение ампликон-сиквенс вариантов (АСВ) проводились с помощью пакета DADA2 в R [1].

Выявлено, что в сообществах микроэукариот в 2020 г. преобладали Bacillariophyceae, Ciliophora, Cryptophyceae и Dinophyceae; в 2021 г. – Fungi, Mediophyceae и Chrysophyceae; а в 2022 г. – Chrysophyceae, Bacillariophyceae и Ciliophora.

На основе несходства Брея–Кёртиса относительные численности АСВ группировались согласно их ковстречаемости. Первый кластер включал доминирующие таксоны Bacillariophyceae, Mediophyceae, Coscinodiscophyceae, Dinophyceae, Cryptophyceae, Eustigmatophyceae, Ciliophora, Fungi, которые были представлены во всех котловинах и во все годы. Второй кластер включал таксоны Chrysophyceae, Trebouxiophyceae, Chlorophyceae, Choanoflagellata, Ciliophora, представленные в основном в средней и северной котловинах в 2020 и 2022 гг. Третий кластер включал таксоны Ciliophora, Chrysophyceae, Cryptophyceae, Prymnesiophyceae, Dinophyceae, Trebouxiophyceae, представленные в небольших долях в разные годы. Четвертый кластер включал Bacillariophyceae, Ciliophora, представленные в южной котловине в 2022 г., а пятый – Mediophyceae, Dictyochophyceae, Fungi и Chrysophyceae, представленные в основном в южной и северной котловинах в 2021 и 2022 гг.

Разделение таксонов микроэукариот на различные кластеры согласно межгодовой и пространственной ковстречаемости показывает их различные предпочтения к условиям окружающей среды и различия в экологических нишах. Ковстречаемость может показывать сходство экологических ниш или трофические взаимодействия.

Данное исследование было поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, проект ЛИН СО РАН № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR-2026-0001).

1. Callahan B.J. et al. DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data // Nature methods. 2016. V. 13. №. 7. P. 581–583. DOI: 10.1038/nmeth.3869.

ДВА НОВЫХ ВИДА РОДА *STRICOSUS* (ULNARIACEAE) ИЗ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ (О. ЛИШОН, ВЬЕТНАМ): МОРФОЛОГИЯ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ДАННЫЕ

Муравьева А.В.¹, Кезля Е.М.¹, Капустин Д.А.¹, Глушенко А.М.¹, Цеплик Н.Д.¹,
Генкал С.И.², Мальцев Е.И.¹, Доан Нху Хай³, Нгуэн Нгок Лам³,
Хюинь Тхи Нгок Дуйэн³, Куликовский М.С.¹

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;

² Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия;

³ Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, Нячанг, Вьетнам
e-mail: murav722@gmail.com

В 2018 году J.M.S. Sabir с соавторами провели молекулярно-филогенетический анализ диатомовых водорослей рода *Hyalosynedra* по регионам SSU rPHK, *rbcL* и *psbC* [1]. Этот анализ показал, что последовательности образуют пять отдельных максимально поддерживанных клад. Одна из этих клад содержала виды диатомовых водорослей, характеризующихся плотным расположением штрихов и симметричными покровами римопортул. На основе полифазного подхода авторы выделили новый род *Stricosus* Sabir & Theriot in Sabir et al. 2018 и отнесли к нему 7 новых видов [1].

При наблюдении в световой микроскоп представители родов *Hyalosynedra* и *Stricosus* отличить практически невозможно. Дифференцирующие морфологические признаки можно выявить только при помощи сканирующего электронного микроскопа. Основными отличиями служат строение римопортулы (симметричная у *Stricosus* и ассиметричная у *Hyalosynedra*) и строение апикального порового поля оцеллюлимбуса (5–9 рядов пор у *Stricosus* и не более 3 у *Hyalosynedra*).

Материалом для работы послужили три штамма *Stricosus*, изолированных из проб эпифитона, собранных в прибрежной части Южно-Китайского моря (остров Лишон, Вьетнам) во время совместной российско-вьетнамской экспедиции в 2025 году. Морфология штаммов была проанализирована при помощи световой и сканирующей электронной микроскопии. Получены нуклеотидные последовательности по регионам 18S rRNA и *rbcL*, проведен филогенетический анализ.

На филогенетическом дереве новые штаммы *Stricosus* формируют две отдельные ветви в кладе с известными видами *Stricosus*, депонированными в GenBank. Обе клады имеют высокую статистическую поддержку. На основании комбинации молекулярных и морфологических данных нами были описаны два новых вида рода *Stricosus*. В докладе будут подробно обсуждены морфологические признаки, по которым можно отличить новые виды.

Работа выполнена при поддержке грантов Российского научного фонда № 24-44-04006 (<https://rscf.ru/project/24-44-04006/>) и Вьетнамской Академии Наук и Технологий № QTRU06.05/24-26.

1. Sabir J.S.M. et al. Systematics of araphid diatoms with asymmetric rimoportulae or densely packed virgae, with particular attention to *Hyalosynedra* (Ulnariaceae, Bacillariophyta) // Phytotaxa. 2018. V. 347. P. 1–49. DOI: 10.11646/phytotaxa.347.1.1.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ В КАЧЕСТВЕ БИОСТИМУЛЯТОРОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ БОЛГАРСКОГО ПЕРЦА НА ГИДРОПОНИКЕ

Муфазалова А.С.¹, Яхин Э.Р.¹, Большакова Э.Р.¹, Хилажетдинова Л.Б.¹, Ухаткина К.Б.¹,
Сущенко Р.З.², Ренганатхан П.¹, Назаров Д.К.¹, Ван Эрп И.И.¹, Гайсина Л.А.¹

¹ Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия;

² Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия
e-mail: alfi.mufazalova@mail.ru

Гидропоника – перспективный метод культивирования растений в контролируемых условиях, а применение водорослей и цианобактерий в качестве биостимуляторов позволяет снизить использование химических удобрений. Болгарский перец является одной из наиболее популярных овощных культур, выращиваемых в условиях гидропоники. В этой связи, определение наиболее активных штаммов для улучшения показателей роста и развития болгарского перца является актуальной задачей.

В исследованиях изучали ростостимулирующую активность 25 штаммов водорослей и цианобактерий, депонированных в Коллекцию водорослей и цианобактерий Башкортостана (BCAC). При проведении исследований использовали методики, описанные ранее [1]. Испытывали суспензии водорослей и цианобактерий с концентрацией клеток не менее 10^6 клеток/мл. В качестве контроля использовали среду Хогланда. Семена перца проращивали в чашках Петри, в которые добавляли суспензии исследуемых штаммов, после чего проростки культивировали в простых гидропонных системах. Определяли воздействие штаммов водорослей и цианобактерий на всхожесть семян, морфологию проростков и содержание хлорофилла. Повторность экспериментов составляла 10. Для оценки достоверности результатов экспериментов применяли критерий Манна – Уитни.

Исследования показали, что водоросли и цианобактерии способствовали повышению всхожести семян перца. Так, если в контрольном варианте всхожесть семян перца составляла 65%, то при внесении штамма BCAC 1051 *Scotiellopsis* sp. – 97%, BCAC 4 *Bracteacoccus minor* (аутентичный штамм) – 95%, BCAC 108 *Desmodesmus abundans* (аутентичный штамм) – 93%, BCAC 76 *Chlorella vulgaris* (аутентичный штамм) – 91%, BCAC 99 *Coccomyxa peltigera* (аутентичный штамм) – 89%, BCAC 258 GSE 2F *Micractinium* sp. – 88%, BCAC 739 P6 *Nostoc punctiforme* (P6) – 84%, BCAC 164 *Pseudococcomyxa simplex* (аутентичный штамм) – 83%.

Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 25-24-00481.

1. Vildanova G.I. et al. Application of *Chlorella vulgaris* Beijerinck as a biostimulant for growing cucumber seedlings in hydroponics // BioTech. 2023. V. 12. P. 42. DOI: 10.3390/biotech12020042.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ НАЗЕМНЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «РАМИТ» (ТАДЖИКИСТАН)

Назаров Д.К.¹, Сушенко Р.З.², Махмутов А.Р.³, Ван Эрп И.И.¹, Кассиров Ф.З.¹,
Гайсина Л.А.¹

¹ Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы,
Уфа, Россия;

² Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия;

³ Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

e-mail: dzovidonnazarov@mail.ru

Анализ биоразнообразия водорослей и цианобактерий является актуальной задачей альгологии. Особый интерес представляет изучение горных экосистем, альгофлора которых исследована крайне недостаточно. К числу таких территорий относится государственный природный заповедник «Рамит» (Таджикистан), расположенный на южном склоне Гиссарского хребта в западной части Памиро-Алайской горной системы.

Материалом для работы послужили 7 проб почвы, отобранных в апреле 2025 года на территории заповедника «Рамит» на лесных и горных участках согласно общепринятым в почвенной альгологии методам. Выделение водорослей и цианобактерий проводили с использованием метода разбавления. Для идентификации микроорганизмов использовали традиционные определители [1] и интернет-ресурсы [2].

В результате проведенных исследований было обнаружено 20 таксонов водорослей и цианобактерий, относящихся к 4 отделам: Cyanobacteriophyta – 10; Chlorophyta – 5 (Chlorophyceae – 2, Trebouxiophyceae – 3); Ochrophyta – 4 (Bacillariophyceae – 3, Xanthophyceae – 1, Eustigmatophyceae – 1); Streptophyta – 1. В видовом составе альгофлоры преобладали нитчатые цианобактерии *Schizothrix hollerbachiana*, *Phormidium breve* (Kützing ex Gomont) Anagnostidis & Komárek, *Nodosilinea foveolarum* (Gomont) Drimalová & Hasler, *Oculatella* sp., *Pseudanabaena* sp. Остальные отделы водорослей были представлены таксонами с широким географическим распространением и устойчивостью к экстремальным экологическим факторам. К их числу относились *Klebsormidium flaccidum* (Kützing) P.C. Silva, Mattox & W.H. Blackwell, *Coelastrella terrestris* (Reisigl) Hegewald & N. Hanagata, *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow, *Mayamaea atomus* (Kützing) Lange-Bertalot, *Vischeria magna* (J.B. Petersen) Kryvenda, Rybalka, Wolf & Friedl и *Mychonastes homosphaera* (Skuja) Kalina & Puncová.

Следует отметить, что полученные сведения являются предварительными. Для получения более точной информации о видовом составе наземной альгофлоры заповедника «Рамит» необходимо проведение молекулярно-генетического анализа и изучение ультраструктуры водорослей и цианобактерий.

1. Ettl H., Gärtner G. Syllabus der Boden, Luft- und Flechtenalgen. – Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1995. – 721 p.

2. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2023. – URL: <http://www.algaebase.org> (Дата обращения 11.03.2026).

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД ЗАКРЕПЛЕНИЯ НЕФЕЛИНОВЫХ ПЕСКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Невзорова Ю.В.¹, Давыдов Д.А.²

¹ *Институт проблем промышленности Севера – обособленное подразделение ФИЦ Кольский научный центр РАН, Апатиты, Россия;*

² *Полярно-альпийский ботанический сад–институт им. Н.А. Аврорина – обособленное подразделение ФИЦ Кольский научный центр РАН, Апатиты, Россия
e-mail: junevzorova@mail.ru*

Нерекультивируемые отвалы и хвостохранилища, подверженные ветровой эрозии, являются источником экологической опасности. Перспективное направление их стабилизации – фикоремедиация, где в контексте нарушенных почвенных экосистем цианобактерии применяются для формирования биопленок и запуска процессов почвообразования. Однако эффективность метода напрямую зависит от успешности колонизации цианобактериями неустойчивого субстрата. Для решения этой задачи перспективно использование материалов-носителей (агро- и геотекстилей), которые могут выполнять роль физического барьера, защищающего инокулят от выдувания, и создавать благоприятный микроклимат для развития биомассы.

Поскольку плотность синтетического текстиля влияет на проницаемость для света и воды, в лабораторном эксперименте оценивали способность штамма цианобактерий *Nostoc* sp. LK-20-1 к росту на спанбонде плотностью (20 и 60 г/м²) и дорните (100, 150 и 250 г/м²) в течение месяца с погружением материала в жидкую среду Z8.

Экстракция хлорофилла, применяемая для оценки накапливаемой биомассы, показала, что штамм *Nostoc* sp. LK-20-1 закрепился на полимерных нитях. При этом накопление биомассы снижалось с увеличением плотности материала (0,77 мг Chl *a*/см² и 0,05 мг Chl *a*/см² для спанбонда 20 г/м² и дорнита 250 г/м² соответственно). В работе также использовали аборигенный для Мурманской области штамм *Microcoleus autumnalis* КРАВГ-610028, предполагая, что консорциум гетероцистных и негетероцистных видов может способствовать успешной колонизации твердых субстратов. Вопреки исходному предположению, добавление штамма *M. autumnalis* КРАВГ-610028 показало статистически значимое ($p = 0,045$) снижение накопления биомассы относительно монокультуры *Nostoc* на субстрате той же плотности.

Результаты подтверждают возможность использования данных материалов в качестве носителей для иммобилизации цианобактерий в целях биологической ремедиации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-14-20011, <https://rscf.ru/project/25-14-20011/>.

МОЛЕКУЛЯРНО-ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЙ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ *NITZSCHIA* SP. (BACILLARIOPHYTA) (ЧЁРНОЕ МОРЕ, КРЫМ)

Неврова Е.Л., Челебиева Е.С., Кулешова О.Н., Кривенко О.В., Лишаев В.Н.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

e-mail: el_nevrova@mail.ru

Один из самых обширных по видовому богатству парафилетический род *Nitzschia* Hassall объединяет свыше 1000 таксонов [1]. Из них к настоящему моменту в Чёрном море зарегистрировано 117 видов и внутривидовых таксонов [2]. Неидентифицированный вид *Nitzschia* sp., обнаруженный на скалистом субстрате у побережья Крыма (Чёрное море) на глубине 0,5 м в 2019 г., дал начало клоновой линии *Nitzschia*_Cher_0.5_22092019. Сравнительный анализ морфологии с использованием световой и сканирующей электронной микроскопии выявил существенные различия с известными представителями рода *Nitzschia*, сходными по структуре панциря [3]. Проведены детальная диагностика и описание ультраструктуры створки. Молекулярно-генетическое исследование с применением маркеров *rbcL* и 18S rDNA показало, что на филогенетическом древе исследуемый таксон формирует общую кладу с двумя ранее описанными штаммами *Bacillaria* SH 349 и *Nitzschia inordinata* BIOTAP44 [4]. Данные полифазного подхода позволяют предположить, что *Nitzschia*_Cher_0.5_22092019 является самостоятельным видом. Его название будет посвящено светлой памяти выдающегося диатомолога Анджея Витковски (Польша). Полученные данные могут послужить дополнительным материалом для выделения нового рода в семействе Bacillariaceae Ehrenberg [4].

1. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2023. – URL: <http://www.algaebase.org> (Дата обращения 06.02.2026).

2. Неврова Е.Л. Разнообразие и структура таксонов бентосных диатомовых водорослей (Bacillariophyta) Чёрного моря/Ред. А.В. Гаевская. – Севастополь: ФИЦ ИнБИОМ, 2022. – 329 с. DOI: 10.21072/978-5-6048081-0-8.

3. Mucko M. et al. A polyphasic approach to the study of the genus *Nitzschia* (Bacillariophyta): three new planktonic species from the Adriatic Sea // Journal of Phycology. 2021. V. 57. P. 143–159. DOI: 10.1111/jpy.13085-20-093.

4. Mann D.G. et al. Ripe for reassessment: A synthesis of available molecular data for the speciose diatom family Bacillariaceae // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2021. V. 158. P. 1–9. DOI: 10.1016/j.ympev.2020.106985.

НОВЫЕ НАХОДКИ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И ВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА С АРХИТЕКТУРНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. ВЛАДИВОСТОКА

Никулин А.Ю., Никулин В.Ю., Сущенко Р.З., Багмет В.Б., Абдуллин Ш.Р.

ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

e-mail: artyrozz@mail.ru

Аэрофитные сообщества цианобактерий и водорослей, развивающиеся на поверхности архитектурных сооружений, представляют собой уникальные экосистемы, формирующиеся в условиях периодического увлажнения, высоких температурных колебаний и антропогенной нагрузки. Эти организмы не только вызывают эстетическую порчу фасадов, но и могут активно участвовать в процессах биоповреждения строительных материалов. В условиях умеренного муссонного климата юга Дальнего Востока России подобные исследования ранее практически не проводились, а имеющиеся данные основывались исключительно на морфологических методах. В ходе нашего исследования из проб биообрастаний, отобранных с бетонных и оштукатуренных поверхностей архитектурных сооружений г. Владивостока, были выделены и охарактеризованы с использованием комплексного подхода четыре таксона: цианобактерии *Dulcicalothrix desertica* (G.H.Schwabe) Saraf et al. (Nostocales, Calotrichaceae) и *Wilmottia murrayi* (West et G.S. West) Strunecky, Elster et Komarek (Oscillatoriales, Coleofasciculaceae), а также зеленые водоросли *Xerochlorella minuta* (J.B. Petersen) Mikhailyuk et P.M. Tsarenko (Trebouxiophyceae incertae sedis) и *Jenufa aeroterrestica* Prochazkova, Nemcova et Neustupa (Chlorophyceae incertae sedis). Морфологическая идентификация проводилась с использованием световой микроскопии, а молекулярно-генетический анализ включал секвенирование маркерных участков (16S/SSU рДНК) и построение филогенетических деревьев.

Филогенетический анализ подтвердил видовую принадлежность всех четырех изолятов. Морфологически выделенные изоляты в целом соответствовали описаниям соответствующих видов, однако были отмечены незначительные отличия, которые не выходят за пределы видовой изменчивости и не противоречат молекулярной идентификации. Все выявленные таксоны представляют собой новые находки: вид *Dulcicalothrix desertica* впервые подтвержден для Восточной Азии и России; *Wilmottia murrayi* – для Дальнего Востока России; *Xerochlorella minuta* – для Северо-Восточной Азии; *Jenufa aeroterrestica* – для Северо-Восточной Азии и территории России. Эти находки расширяют известные ареалы видов и свидетельствуют об их высокой экологической пластичности. Обнаружение данных организмов на антропогенных субстратах в условиях умеренного муссонного климата дополняет представления об их способности колонизировать разнообразные местообитания – от почв, скал и коры деревьев до поверхностей зданий, а также существовать в широком диапазоне климатических условий – от пустынь и полярных регионов до умеренных широт.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012400285-7) и частично финансировалась за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00224, <https://rscf.ru/project/24-24-00224/>.

НОВЫЕ НАХОДКИ ВИДОВ *COELASTRELLA* НА РОССИЙСКОМ ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ

Никулин В.Ю., Сущенко Р.З., Никулин А.Ю., Багмет В.Б.,
Абдуллин Ш.Р., Гончаров А.А.

ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия
e-mail: nikulinyacheslav@gmail.com

Изучение разнообразия зеленых водорослей рода *Coelastrella* в наземных местообитаниях остается актуальной задачей, поскольку многие таксоны характеризуются широкой морфологической изменчивостью и нередко скрытым видовым разнообразием. Особенно слабо исследованы территории Российского Дальнего Востока, где экстремальные и мозаичные условия обитания способствуют формированию уникальных сообществ этих организмов. Поэтому выявление новых таксонов и обнаружение ранее описанных видов на основе комплексного подхода представляет значительный интерес.

В работе исследованы четыре штамма *Coelastrella*, выделенные из наземных местообитаний (почва, мхи на скалах) Приморского края и Курильских островов. Культуры поддерживались в лабораторных условиях, морфология изучалась с использованием световой и электронной микроскопии, а молекулярно-филогенетический анализ проведен на основе последовательностей ядерных (SSU рДНК, ITS рДНК) и хлоропластного (*tufA*) маркеров.

Полученные результаты показали, что два идентичных по последовательностям штамма формируют самостоятельную, хорошо поддержанную кладу внутри линии «core *Coelastrella*». Эти штаммы характеризуются уникальными молекулярными признаками, включая особенности баркодируемого участка ITS2, и в совокупности с морфологическими данными дают основания полагать, что они являются новым видом этого рода. Два других штамма кластеризуются с типовым материалом известных видов: *C. polaris* E. Krivina, M. Sinetova, O. Anissimova et A. Temraleeva и *C. affinis* E. Krivina, M. Sinetova, E. Zadneprovskaya, K. Shibzukhova, E. Lobakova et A. Temraleeva.

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует скрытое разнообразие *Coelastrella* на Российском Дальнем Востоке и подчеркивает необходимость применения комплексного морфолого-молекулярного подхода для корректной таксономической интерпретации. Полученные данные указывают на существование нового вида рода *Coelastrella* и дополняют информацию о распространении двух ранее известных таксонов.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема № 124012400285-7.

COELASTRELLA FERROEDAPHICA SP. NOV. (CHLOROPHYTA), ВЫДЕЛЕННАЯ ИЗ ПОЧВ СЕВЕРНОГО УРАЛА

**Новаковская И.В.¹, Патова Е.Н.¹, Шадрин Д.М.¹,
Дымова О.В.¹, Егорова И.Н.², Кулакова Н.В.²**

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия;

² Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия
e-mail: novakovskaya@ib.komisc.ru

Род *Coelastrella* – таксономически сложная группа зеленых водорослей семейства Scenedesmaceae. Включает свободноживущие и достаточно распространенные в водных и наземных местообитаниях водоросли. Виды отличаются наличием многочисленных меридиональных ребер на клеточной оболочке. Род был описан Робертом Шодой (R. Chodat) в 1922 году. Типовым видом этого рода является *Coelastrella striolata* Chodat. В настоящее время *Coelastrella* включает 20 видов и 5 разновидностей, род активно пополняется новыми видами на основе полифазного подхода. Благодаря способности производить кетокаротиноиды и нейтральные липиды эта группа организмов перспективна для получения биологически активных веществ и биотоплива.

Целью нашего исследования было изучение морфологических, молекулярно-генетических и хемотаксономических характеристик штамма SYKOA Ch-072-17. Водоросль была выделена из горной почвы с высоким содержанием железа кустарничково-лишайниковой тундры Северного Урала в 2016 г. Штамм SYKOA Ch-072-17 поддерживается в коллекции живых культур водорослей и цианобактерий Института биологии (ИБ) Коми НЦ УрО РАН; подробная информация доступна по ссылке: <http://ib.komisc.ru:8008/sykoa/collection/275/>. Морфологические особенности штамма изучали с помощью светового микроскопа Nikon Eclipse80i с DIC системой. ДНК выделена с помощью набора FastDNASpinKit (QBioGene, Канада). В ЦКП ИБ «Молекулярная биология» определены фрагменты последовательностей генов 18S-ITS1-5.8S-ITS2, *tufA* и депонированы в GenBank под номерами MK450459 и PQ658714, соответственно. Анализ состава жирных кислот проводили с использованием газовой хроматографии в Центре коллективного пользования ИБ «Хроматография». Состав каротиноидов определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Впервые на основе полифазного подхода описан новый для науки вид зеленой водоросли *Coelastrella ferroedaphica* sp. nov. Novakovskaya, Patova et Shadrin. Клетки этой водоросли имеют лимоновидную или широкоэллипсоидную форму, одиночные с 2 (3) полярными утолщениями на концах. Оболочка с 8–10 (12) меридиональными ребрами. Размеры клеток (7) 8–19 (22) × (4,5) 5–15 (17) мкм. Старые клетки окрашены в оранжевый цвет. Акинеты до 25 мкм в диаметре. Размножение при помощи 2–4–8–16 автоспор (иногда неравной величины) лимоновидной, реже веретеновидной формы. Филогенетический анализ частичных последовательностей генов 18S рДНК, ITS1–ITS2 и *tufA* подтвердил, что *Coelastrella ferroedaphica* sp. nov. отличается от других видов рода. В клетках штамма обнаружено 16 жирных кислот (с преобладанием α-линоленовой кислоты – до 40%), β-каротин (до 37%), лютеин и зеаксантин (до 63% от суммы каротиноидов) и хлорофиллы. Дефицит минеральных веществ индуцировал синтез ценного вторичного каротиноида астаксантина. Полученные результаты расширяют представление о видовом разнообразии рода *Coelastrella*. Биохимический анализ выявил значимость данного таксона как потенциального биотехнологического объекта.

Работа выполнена в рамках госзаданий № 125021902460-2 и № 125020301262-2.

УЛЬТРАСТРУКТУРА КЛЕТКИ *LINDAVIA BAICALENSIS* ИЗ ПРИРОДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Орлова А.А.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: nastay.orlowa2002@yandex.ru

Фитопланктон озера Байкал играет ключевую роль в формировании уникальной пелагической экосистемы, выступая в качестве кормовой базы для многих организмов. Среди многообразия байкальских водорослей особое место занимает эндемик озера *Lindavia baicalensis* (Skvortsov & K.I. Meyer) Nakov, Guillory, M.L. Julius, E.C. Theriot & A.J. Alverson 2015. Вид является исключительно пресноводным; *L. baicalensis* входит в состав доминирующего комплекса диатомовых водорослей в Селенгинском мелководье и регулярно встречается в акватории Баргузинского залива [2]. В определенные периоды вегетационного сезона данный вид может доминировать в фитопланктонном сообществе, оказывая существенное влияние на трофические связи и биогеохимические циклы водоема [1]. Развитие *L. baicalensis* происходит в пелагиали и подо льдом, и в период открытой воды, а пик численности приходится на май–июль, когда температура воды варьирует в пределах 1–6 °С.

Несмотря на экологическую значимость *L. baicalensis*, исследования ее внутриклеточной морфологии недостаточны из-за сложности культивирования в искусственных условиях. Детальное изучение структуры клетки *L. baicalensis* с использованием трансмиссионной и сканирующей электронной микроскопии позволит расширить представление об организме и смоделировать оптимальные условия культивирования *in vitro*. Отбор проб, быстрая фиксация и подготовка препаратов в полевых условиях позволили впервые выявить ультраструктурные особенности этого вида. Отбор проб был проведен в июне 2024 года, фиксация для ТЭМ проводилась как описано ранее [3].

На срезах клетки *L. baicalensis* хорошо узнаваемы по характерной морфологии створки с хорошо выраженной двухзональной структурой диска диаметром от 35 до 135 мкм [4]. Благодаря толстым дисковидным створкам клетки на ультратонких срезах имеют полувыгнутую форму. Анализ ультратонких срезов позволил выявить основные особенности ультраструктуры. Ядро расположено в центральной части клетки. Липидные включения крупные, их размер варьирует от 5 до 12 мкм. Многочисленные хлоропласты преимущественно расположены по периферии клетки. В центре каждого хлоропласта находится пиреноид полосковидной формы с тонкой слабовыраженной оболочкой. Тилакоиды упакованы в стопки по три, образуют многочисленные анастомозы. Пластоглобулы в хлоропластах не превышают 0,1 мкм в диаметре. Митохондрии имеют разнообразную неправильную форму и размеры, не превышающие 1,5 мкм.

1. Бедошвили Е.Д. и др. Сезонная динамика фитопланктона и ассимиляция кремния доминирующими видами диатомовых водорослей в оз. Байкал в 2021-2022 гг. // Развитие физико-химической биологии, биоинженерии и биоинформатики на современном этапе: тезисы докл. IV Всеросс. научно-практич. конф. с междунар. участием. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2023. – С. 166–168.

2. Поповская Г.И. и др. Диатомовые водоросли планктона озера Байкал: Атлас-определитель. – Новосибирск: Наука, 2002. – 168 с.

3. Cvjetinovic J. et al. Exploring salinity induced adaptations in marine diatoms using advanced photonic techniques // Sci Rep. 2024. V. 14. DOI:10.1038/s41598-024-83640-9.

4. Jewson D.H. et al. Coexistence of two *Cyclotella* diatom species in the plankton of Lake Baikal // Freshwater Biol. 2015. V. 60. P. 2113–2126. DOI: 10.1111/fwb.12636.

ФИТОПЛАНКТОННЫЕ СООБЩЕСТВА – ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ОЗЕР ПОЛЯРНОГО УРАЛА В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА И РОСТА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Патова Е.Н.¹, Шабалина Ю.Н.², Сивков М.Д.¹

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия;

² Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,
Сыктывкар, Россия
e-mail: patova@ib.komisc.ru

Горные озера Полярного Урала представляют собой уникальные и крайне уязвимые природные объекты, играющие ключевую роль в региональном биоразнообразии и являющиеся перспективными для развития товарного рыболовства и рекреации [1,2]. В настоящее время эти экосистемы находятся под воздействием комплекса негативных факторов: изменения климата и роста антропогенной нагрузки, что приводит к сокращению ледового периода, изменению термической стратификации и гидрологического режима озер. Активное освоение территории, развитие газодобывающей промышленности и ее транспортной инфраструктуры, и, как следствие, развитие экстенсивного оленеводства (сокращение пастбищ при значительном увеличении поголовья), а также увеличение турпотока создают риски химического загрязнения и эвтрофирования водных экосистем региона. Необходима оценка совокупного воздействия климатических и антропогенных факторов на сообщества гидробионтов, их структурно-функциональную организацию и устойчивость озерных экосистем Полярного Урала.

С использованием классических и современных методов в 2024 г. проведены исследования фитопланктонных сообществ шести разнотипных озер в бассейне реки Собь (территория природного парка «Ингилор»), перспективных для использования в рыбохозяйственных целях (выпуск молоди рыб). Изучены динамика абиотических параметров среды (гидрофизические, гидрохимические характеристики) в водных объектах. Всего в обследованных озерах выявлено 114 таксонов водорослей из 7 отделов. В составе фитопланктонных сообществ исследованных озер отмечено от 29 до 44 видов водорослей. Общая численность водорослей варьировала от 0,11 до 3,92 млн кл./л, биомасса от 0,08 до 4,18 мг/л. В комплекс доминантов входят диатомовые, цианобактерии, золотистые и динофитовые водоросли. Ведущие в планктонных сообществах виды: *Asterionella formosa* Hassal, *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Born. & Flah., *Dolichospermum lemmermannii* P. Wacklin, L. Hoffmann & J. Komárek, *D. flos-aquae* (Born. & Flah.) P. Wacklin, L. Hoffmann & Komárek, *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin, *Dinobryon cylindricum* O.E. Imhof. Классификация озер, статус которых изменился от ультраолиготрофных до бета-мезотрофных, была проведена на основе продукционных показателей и данных альгоиндикации, а также в сравнении с исследованиями 2004–2007 гг. [1,2]. Переход ряда озер в категорию бета-мезотрофных указывает на усиление процессов эвтрофикации водоемов на Полярном Урале. Данные о разнообразии и продуктивности фитопланктонных сообществ в дальнейшем будут применены для оценки порогов устойчивости экосистем к основным стресс-факторам (потепление, загрязнение), а также расчета современного и будущего рыбохозяйственного потенциала озер Полярного Урала.

1. Волошко Л.Н. и др. Биоразнообразие экосистем Полярного Урала. – Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2007. – 252 с.

2. Богданов В.Д. и др. Биоресурсы водных экосистем Полярного Урала. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 167 с.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ *CONTICRIBRA WEISSFLOGII* (BACILLARIOPHYTA) В БЕЛАРУСИ

Петров В.Н.

Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича
Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь
e-mail: ulpiatrou@gmail.com

Наиболее крупной работой по альгофлоре Беларуси является монография Т.М. Михеевой «Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог», изданная в 1999 году. В нее включены обобщенные результаты многолетних работ ученых-альгологов, посвятивших свои труды изучению водорослей Беларуси [1]. С момента опубликования монографии и по сегодняшний день накоплены дополнительные сведения о некоторых видах и их распространении на территории страны, в том числе и о *Conticribra weissflogii* (Grunow) Stachura-Suchoples & D.M. Williams (= *Thalassiosira weissflogii* (Grunow) G.A. Fryxell & Hasle). *C. weissflogii* – планктонный пресноводно-солонатоводный широкобореальный и нотальный вид [2].

В литературных источниках находки *C. weissflogii* отмечались для трех рек Беларуси: Вилия, Неман, Свислочь [1, 3–5]. В ходе флористических исследований полученные нами результаты позволили расширить список мест вегетации данного вида еще на 6 водных объектов из 3 областей и 4 районов: Гомельская обл., Хойникский р-н: Кожушковский канал; Гродненская обл., Островецкий р-н: р. Полпе; Могилёвская обл., Кричевский р-н: р. Мертвица, пруд без названия в д. Слобуты (связан протокой с р. Сорочинка); Мстиславский р-н: пруд на р. Черная Натопа, р. Белая Натопа. Представленные водные объекты относятся к водосборам Чёрного и Балтийского морей [6]. Электропроводность воды (мкСм/см) в местах отбора проб установлена в пределах значений 28,5–525,0 (наименьшие значения отмечены в р. Мертвица – 28,5 и пруду на р. Ч. Натопа – 168,0), водородный показатель – 6,49–8,29.

Как видно из вышеизложенных сведений, *C. weissflogii* в условиях Беларуси встречается в водотоках (7) и связанных с ними водоемах (2) с широкой амплитудой значений электропроводности и нейтральными значениями pH.

1. Михеева Т.М. Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог. – Минск: Изд-во БГУ, 1999. – 396 с.
2. Генкал С.И., Куликовский М.С. К морфологии, экологии и распространению *Thalassiosira weissflogii* (Bacillariophyta) // Поволжский экологический журнал. 2009. № 3. С. 183–189.
3. Генкал С.И. и др. Диатомовые водоросли планктона реки Свислочь и ее водохранилищ. – М.: Научный мир, 2013. – 235 с.
4. Генкал С.И. и др. Материалы к флоре диатомовых водорослей (Centrophyceae, Bacillariophyta) реки Неман и ее притоков // Бот. журн. 2006. Т. 91. № 3. С. 420–424.
5. Хурсевич Г.К., Свирид А.А. К ревизии диатомовых водорослей семейств Thalassiosiraceae и Stephanodiscaceae из водоемов Беларуси // Весці БДПУ. Серыя 3. 2013. № 3. С. 3–9.
6. Брилевский М.Н. Физическая география Беларуси. – Минск: БГУ, 2022. – 119 с.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ПЕННАТНОЙ ДИАТОМОВОЙ ВОДОРΟΣЛИ *ULNARIA ACUS* В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД В ОЗ. БАЙКАЛ

Петрова Д.П., Михайлов И.С., Фирсова А.Д., Марченков А.М.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: daryapetr@gmail.com

Известно, что популяции диатомовых водорослей представляют собой сочетание разных генотипов, что обеспечивает более эффективную адаптацию к изменениям окружающей среды. Варибельная область V3-V4 18S рРНК может быть использована для идентификации нескольких сотен видов диатомей, однако не позволяет различать генотипы одного и того же вида. В своем исследовании с помощью метабаркодирования *cox1* мы установили генетическую дифференциацию пеннатной диатомеи *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal в оз. Байкал, которая играет важную роль в весеннем цветении фитопланктона.

С помощью световой и сканирующей электронной микроскопии определены распределение численности и биомассы видов фитопланктона на 19 станциях в трех котловинах оз. Байкал, а также в крупных заливах и проливе Малое Море в течение гидрологической весны (май–июнь) 2020 г. Весенний фитопланктон в основном был представлен диатомовыми, хризифитовыми и зелеными водорослями. Общая численность фитопланктона в этот период варьировала в диапазоне от 19,1 тыс. кл./л. в северной котловине озера, до 151,5 тыс. кл./л. в Баргузинском заливе. Почти на всех станциях доминировали диатомовые водоросли *Ulnaria acus*. На долю этого вида приходилось от 20% до 71% от общей численности фитопланктона. Анализ данных секвенирования варибельной области V3-V4 18S рРНК показал, что станции с наибольшими долями диатомовых водорослей находились в Баргузинском, Чивыркуйском заливах и проливе Малое Море, а также северной котловине оз. Байкал. Среди диатомей *U. acus* доминировала в северной котловине озера. Применение метабаркодирования *cox1* показало, что большинство выявленных вариантов последовательностей ампликонов (ASV от англ. Amplicon Sequence Variant) относятся к генотипу 1 и составляют около 95% от всех ASV *U. acus*. Более 2% приходится на ASV, соответствующий генотипу 2. ASV группы IV не относились ни к одному из ранее выделенных генотипов *cox1 U. acus*. Это дало нам основание выделить новый генотип 4, который, по данным проведенного анализа, присутствовал только на станциях в северной котловине озера и Чивыркуйском заливе. Таким образом, метабаркодирование *cox1* показало генетическую гетерогенность популяции и отсутствие географической изоляции между отдельными генотипами *U. acus* в оз. Байкал в период цветения фитопланктона.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR- 2026- 0001).

ОСОБЕННОСТИ ПОЛОВОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ И ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА *NEOSYNEDRA DELICATISSIMA* (BACILLARIOPHYTA)

Подунай Е.А.¹, Подунай Ю.А.², Мартыненко Н.А.³, Давидович О.И.², Давидович Н.А.²

¹ МБОУ «Гимназия № 5 г. Феодосии Республики Крым», Феодосия, Россия;

² Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН, Феодосия, Россия;

³ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия
e-mail: lizapodunay@yandex.ru

Пересмотр таксонов диатомовых водорослей на основе электронной микроскопии привел к описанию многочисленных новых родов, среди которых *Neosynedra* D.M. Williams & Round, выделенный из крупного гетерогенного рода *Synedra* Ehrenberg 1830 [1]. В 2006 году к роду был присоединен вид *N. delicatissima* (Proshkina-Lavrenko) Bukhtiyarova (syn. *Fragilaria delicatissima*) [2], описанный А.И. Прошкиной-Лавренко как эндемик Чёрного моря. Половое воспроизведение *N. delicatissima* описано А.М. Роциным [3], однако некоторые его особенности оставались невыясненными.

Клоновые культуры *N. delicatissima* были изолированы микропипеточным способом из проб, отобранных в обрастаниях водорослей-макрофитов в бухтах Карадагского заповедника, и культивировались в среде ESAW с соленостью 20‰ [4]. Ультраструктуру створок исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi SU8020 (Япония). Филогенетический анализ проведен на основе фрагмента гена *rbcL* хпДНК. Клетки удлинённые, содержат два пластинчатых хлоропласта, соединены в зигзагообразные колонии. Длина створок вегетативных клеток *N. delicatissima*, культивировавшихся в лаборатории, составляла 15–133 мкм, ширина – 3,2–4,8 мкм. Поперечные штрихи очень тонкие, почти не различимые при световой микроскопии, 31–35 в 10 мкм. На третьи–четвертые сутки после посева смешанных клонов противоположного типа спаривания наблюдался аллогамный половой процесс. Для *N. delicatissima* характерна морфологическая дифференциация типов спаривания, которую легко обнаружить на этапе гаметогенеза. После слияния гамет формировалась шаровидная зигота, которая вскоре начинала удлиняться. У *N. delicatissima* наблюдается способность мужских гамет к движению с помощью цитоплазматических выростов. На филогенетическом древе штаммы *N. delicatissima* находились в одной кладе со штаммом *Neosynedra provincialis* (Grunow) D.M. Williams & Round с максимальными значениями статистических поддержек. Понимание особенностей полового процесса и жизненного цикла расширяет знания о биологии вида.

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 124030100100-0. Использованы ресурсы Центра коллективного пользования «Коллекция диатомовых водорослей Мирового океана».

1. Williams D.M., Round F.E. Revision of the genus *Synedra* Ehrenb. // *Diatom Research*. 1986. V. 1. P. 313–339. DOI: 10.1080/0269249X.1986.9704976.

2. Bukhtiyarova L.N., Compère P. New taxonomical combinations in some genera of Bacillariophyta // *Algologia*. 2006. V. 16. P. 280–283.

3. Роцин А.М. Жизненные циклы диатомовых водорослей. – Киев: Наукова думка, 1994. – 171 с.

4. Полякова С.Л. и др. Модификация среды ESAW, используемой для культивирования морских диатомовых водорослей // *Морской биологический журнал*. 2018. Т. 3. С. 73–78. DOI: 10.21072/mbj.2018.03.2.06.

РАЗНООБРАЗИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ РЕСПУБЛИКИ ДЖИБУТИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подунай Ю.А.¹, Мартыненко Н.А.², Шкурина Н.А.³,
Неплюхина А.А.², Идрисс Окие⁴, Гусев Е.С.²

¹ Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН,
Феодосия, Россия;

² Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия;

³ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия;

⁴ Университет Джибути, Джибути
e-mail: grab-ua@yandex.ru

Джибути – государство в Северо-Восточной Африке, расположенное на Африканском Роге. Его территория находится в зоне разлома тектонической плиты, а ландшафт преимущественно состоит из вулканических образований. На сегодняшний день о водорослях внутренних водоемов региона сведений крайне мало. Основные данные получены в ходе исследования гиперсоленого озера Ассаль [1]. В данной работе представлены данные о разнообразии микроводорослей региона, полученные с помощью высокопроизводительного секвенирования и изучения клоновых культур отдельных видов.

В 2024–2025 годах было отобрано 45 планктонных и бентосных проб из разнотипных водных объектов Джибути. Изучено разнообразие микроводорослей озер Ассаль и Аббе (Абхе) и соленых термальных водоемов вокруг них, а также некоторых временных пресных пересыхающих водоемов и водотоков. Для метабаркодинга использовали секвенирование тотальной ДНК на платформе Illumina NovaSeq (2×250 п.н.), в качестве генетических маркеров были выбраны регионы *rbcL* хпДНК, V9 и V4 18S рДНК. Биоинформатический анализ проводили в QIIME2 инструментами DADA2. Моноклональные штаммы были получены путем выделения отдельных клеток микропипеточным методом. Исследование ультраструктуры створок штаммов диатомовых водорослей проводилось с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопе Tescan Mira3 (Tescan Brno, s.r.o., Брно, Чехия) в Центре коллективного пользования «Инструментальные методы в экологии» ИПЭЭ РАН.

Большое количество обнаруженных в результате метабаркодинга операционных таксономических единиц (ОТЕ), согласно молекулярно-генетическим данным, представляют собой новые для науки виды и роды различных групп водорослей. Описан новый вид диатомовых водорослей – *Hantzschia djiboutiensis* Podunay, E.S. Gusev, Martynenko, Neplyukhina & N. Shkurina и выделены в культуру более десяти новых для науки видов диатомей. Получены данные по разнообразию видов рода *Dunaliella* Teodor из озера Ассаль и выделен в культуру представитель нового рода из этой группы хламидомонад. В докладе будут представлены общие данные о разнообразии водорослей республики Джибути и обсуждены новые для региона и науки находки.

1. Gasse F., Fontes J.-C. Palaeoenvironments and palaeohydrology of a tropical closed lake (Lake Asal, Djibouti) since 10,000 yr B.P. // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1989. V. 69. P. 67–102. DOI: 10.1016/0031-0182(89)90156-9.

ВНУТРИ- И МЕЖПОПУЛЯЦИОННАЯ РЕПРОДУКТИВНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ШТАММОВ ЭКСТРЕМОФИЛЬНОГО ВИДА *NAVICULA GREGARIA* DONKIN

Полякова С.Л., Давидович Н.А.

Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник Российской
академии наук – филиал ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ, Феодосия, Россия
e-mail: svietlana.poliakova.77@mail.ru

Вид *Navicula gregaria* широко толерантен к солености, от 0 до 100‰, с оптимумом близким к океанической солености. Клетки вида *N. gregaria* способны выдерживать изменение осмотического давления при резкой смене солености (из 36, 45‰ в 0‰ и обратно) [1]. Это дает возможность виду существовать в разных экологических нишах и осваивать новые места обитания. Уникальные адаптационные характеристики делают вид *N. gregaria* перспективным объектом для биотехнологий.

Клоновые культуры *N. gregaria* (20.1029-SL, 21.0512-SK и 22.1211-SZ) были выделены микропипеточным способом из морских проб, отобранных на Камчатке (бухта Южная [52°57'09" N, 158°41'16" E]) и у побережья Вьетнама [12°11'44.1" N, 109°17'24.1" E]. Скрещенные посевы осуществляли в среде ESAW (36‰) и в пресноводной среде DM (после постепенной ступенчатой акклимации штаммов к этой среде в течение месяца).

В смешенных посевах в среде океанической солености на третьи сутки наблюдался половой процесс у разнополюх сексуально-индуцированных клеток. В гаметангиях одного родительского штамма после трансипикального деления формировались две активные гаметы. В гаметангиях другого штамма происходило апикальное деление с образованием двух пассивных гамет. В поведении гамет наблюдалась цис-анизагомия. Сливаясь, гаметы образовывали зиготы с четырьмя хлоропластами. Как правило, в каждой паре формировалось по две ауксоспоры. В случае абортирования гамет развивалась одна ауккоспора. Растущие ауксоспоры по отношению к панцирям родительских клеток позиционировались произвольно. Под световым микроскопом хорошо просматривалось наличие перезониума. По схеме Гайтлера половой процесс соответствовал типу IA2. В результате успешного полового воспроизведения выделены и введены в культуры клетки с размером близким к максимально-видоспецифическому (43–50 мкм). В среде DM пары гаметангиальных клеток не воспроизводились, половой процесс отсутствовал на протяжении всего эксперимента.

Эксперимент по влиянию солености на рост клеток проводили на клетках родительского 21.0512-SK (16 мкм) и дочернего 23.0725-SA (36 мкм) штаммов. Клетки родительского штамма делились и нарастали в средах с разной соленостью, включая среду DM, в то время как постинициальные клетки начинали делиться только в среде 10‰ и выше, при более низкой солености они переставали вегетативно размножаться и со временем погибали.

1. Полякова С.Л., Давидович Н.А. Уникальная особенность диатомовой водоросли *Navicula gregaria* Donkin 1861 // Мат-лы XXV Междунар. научн. конф. с элементами школы для мол. учен. «Влияние изменения климата на биологическое разнообразие и распространение вирусных инфекций в Черноморско-Каспийском регионе» (г. Махачкала, 2–4 ноября 2023 г.) – Махачкала: АЛЕФ 2023. – 352 с.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА НА МИДИЙНО-УСТРИЧНЫХ ФЕРМАХ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА

Поспелова Н.В., Челядина Н.С., Попов М.А. Панасюк С.А.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

e-mail: chelydina2007@mail.ru

Морской фитопланктон – основа водной пищевой цепи и важнейший корм для двустворчатых моллюсков-фильтраторов, обеспечивающий их рост и развитие гонад [1]. Для мидий и устриц значение имеют не только количественные показатели фитопланктона, но и его качественный состав. Поэтому оценка структуры фитопланктонных сообществ в районах морских ферм имеет как теоретическое, так и прикладное значение.

Целью работы было выявление региональных особенностей общего и кормового фитопланктона в акваториях мидийно-устричных ферм Черноморского побережья Крыма, различающихся по физико-географическим условиям. Исследования проведены в 2018–2019 гг. на внешнем рейде г. Севастополя, в районе Кацивели и в заливе Донузлав. Анализировали видовой состав, частоту встречаемости, численность и биомассу микроводорослей в течение года [2].

Показано, что фитопланктон исследованных акваторий имел сходное таксономическое ядро, но отличался по региональным особенностям. В Донузлаве отмечено 55 видов микроводорослей, в Кацивели – 51, в Севастополе – 54; попарное сходство по индексу Чекановского–Сёренсена составляло 52–55%. Во всех районах по числу видов преобладали диатомовые и динофитовые водоросли. Наиболее часто встречались *Cerataulina pelagica* (Cleve) Hendey, *Nitzschia tenuirostris* Manguin, *Prorocentrum micans* Ehrenberg и *P. balticum* (Lohmann) Loeblich. При этом в Кацивели заметную роль играла *Emiliania huxleyi* (Lohmann) W.W. Hay & H. Mohler, в Севастополе – *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky, в Донузлаве – *Cyclotella caspia* Grunow. Случаев «цветения» воды не отмечено; численность фитопланктона изменялась от 0,2 до 87 млн кл./м³, биомасса – от 0,5 до 570 мг/м³. Максимумы численности и биомассы в трех акваториях не совпадали по времени. В зимне-весенний период существенную роль играли виды, служащие кормом для моллюсков, прежде всего *E. huxleyi*, *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve и *T. nitzschioides*. В Кацивели и Донузлаве значительную часть года в структуре фитопланктона преобладали крупноклеточные диатомовые: *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström, *Pseudosolenia calcaravis* (Schultze) B.G. Sundström, а также виды рода *Chaetoceros*; тогда как на внешнем рейде Севастополя преобладали мелкоклеточные формы, входящие в пищевой спектр культивируемых мидий и устриц.

Таким образом, несмотря на общее сходство таксономического состава фитопланктона, акватории трех ферм различались по сезонной структуре сообществ и соотношению кормовых и некормовых форм. Наиболее благоприятные условия для питания моллюсков отмечены на внешнем рейде Севастополя, тогда как в Кацивели и Донузлаве чаще развивались виды с низкой кормовой ценностью.

Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ ИнБЮМ, тема № 124022400152-1.

1. Холодов В.И. и др. Выращивание мидий и устриц в Чёрном море. – Воронеж: Издательский дом ООО «Издат-Принт», 2017. – 508 с.

2. Moncheva S. et al. Manual for phytoplankton sampling and analysis in the Black sea / Phytoplankton Manual. – UP-GRADE Black Sea Scene Project, FP7, 2010. – 67 pp.

ВИРУСЫ ЭУКАРИОТИЧЕСКИХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ОЗ. БАЙКАЛ, ВЫЯВЛЕННЫЕ МЕТАГЕНОМИКОЙ

Потапов С.А., Тихонова И.В., Гутник Д.И., Белых О.И.

Лимнологический институт Сибирского отделения РАН, Иркутск, Россия

e-mail: poet1988@list.ru

Вирусы, инфицирующие эукариотические водоросли, чрезвычайно разнообразны; их филогения и классификация до сих пор находятся в стадии изучения. В водных средах наиболее многочисленными являются фаги и вирусы, инфицирующие планктонные микроводоросли, поэтому они играют важную экологическую роль в регулировании динамики популяций своих хозяев. Цель данного исследования – идентификация вирусов эукариотических водорослей в озере Байкал во фракциях менее 0,2 мкм и более 0,2 мкм с помощью метагеномного и биоинформатического анализов, а также описание их геномных характеристик.

Фракция FR_less0.2 (фильтрат через фильтр 0,2 мкм, ДНК свободных вирусов) получена в различные сезоны и на разных станциях (описано в [1]), фракция FR_more0.2 (ДНК с фильтра 0,2 мкм, содержит клетки хозяев и крупные вирусы) отобрана на центральной станции разреза п. Листвянка – п. Танхой в мае 2025 г. с глубин 5 и 20 м. Анализ качества прочтений, тримминг и сборка описаны в [1]. Первичный скрининг всех контигов выполнялся с помощью программы geNomad [2] и инструмента BEREN [3], ориентированного на поиск крупных ядерно-цитоплазматических ДНК-содержащих вирусов (NCLDV).

В результате анализа в обеих фракциях выявлены контиги, принадлежащие семействам: *Phycodnaviridae* (широкий круг водорослей), *Allomimiviridae* (поражают зеленые водоросли), *Schizomimiviridae* (поражают гаптофитовые водоросли). Среди этих трех семейств *Phycodnaviridae* принадлежало большинство контигов (до 98%).

Количество выявленных контигов, относящихся к вирусам эукариотических водорослей, составило 3488 в FR_less0.2 и 2735 в FR_more0.2. Длина контигов NCLDV из фракции FR_less0.2 достигала 77 тыс. нк, в то время как в FR_more0.2 – 145 тыс. нк. С помощью биннинга, реализованного в BEREN, восстановлены высококачественные геномы альгавирусов для фракции FR_less0.2 – 15 геномов (максимальная длина 181 тыс. нк), для FR_more0.2 – 14 геномов (максимальная длина 580 тыс. нк).

В контигах обнаружены маркерные гены NCLDV, такие как основной капсидный белок (MCP), ДНК-полимераза В (PolB), ДНК-зависимая РНК-полимераза (RNAPS, RNAPL), АТФаза (A32), а также метаболические гены (*MutS*, *Rhodopsin*, *HSP90*, *Actin*).

Согласно базе данных RefSeq, наибольшее сходство генов *polB* и *MCP*, часто используемых в сравнительном анализе, отмечено с Yellowstone lake phycodnavirus 2 (до 99,6%) *Phaeocystis globosa* virus (до 99,6%), *Heterosigma akashiwo* virus 01 (до 65%).

Таким образом, в обеих исследованных фракциях выявлено наличие и превалирование последовательностей NCLDV, поражающих эукариотические водоросли, описаны их геномные характеристики, показано сходство с известными вирусами.

Работа выполнена в рамках гостемы ЛИИ СО РАН № 1023032700318-2-1.6.2.

1. Potapov S.A. et al. Circular Rep-encoding single-stranded (CRESS) DNA viruses in metagenomes of Lake Baikal // J. Great Lakes Res. 2026. P. 102747. DOI: 10.1016/j.jglr.2026.102747.

2. Camargo A.P. et al. Identification of mobile genetic elements with geNomad // Nat. Biotechnol. 2024. V. 42. P. 1303–1312. DOI 10.1038/s41587-023-01953-y.

3. Minch B., Moniruzzaman M. BEREN: A bioinformatic tool for recovering Giant viruses, Polinton-like Viruses, and Virophages in metagenomic data. // Bioinformatics Advances. 2025. P. vbaf284 DOI: 10.1093/bioadv/vbaf284.

СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА В АКВАТОРИЯХ РАЗМЕЩЕНИЯ МОРСКИХ ФЕРМ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Приймак А.С., Поспелова Н.В.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

e-mail: 123klimova321@gmail.com

Фитопланктон является основным источником питания двустворчатых моллюсков, при этом структура его сообщества во многом определяет устойчивость кормовой базы. Цель настоящей работы заключалась в сравнительной оценке фитопланктона двух морских ферм для определения уровня обеспеченности культивируемых моллюсков пищевыми ресурсами.

Пробы воды были отобраны с февраля по декабрь 2021 г. в акватории морской фермы, расположенной на внешнем рейде г. Севастополя, и с февраля по сентябрь 2021 г. в Ласпинской бухте (Чёрное море).

В акватории внешнего рейда было идентифицировано 78 видов микроводорослей, из них 53 вида относились к диатомовым, 17 – к динофитовым, 8 – к представителям других групп. На протяжении всего периода исследований наиболее часто встречались диатомовые микроводоросли родов *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, *Nitzschia* и *Pseudo-nitzschia* и динофлагелляты рода *Prorocentrum*. Относительная численность мелкоклеточной *Skeletonema* достигала 40% в феврале и марте, снижаясь до 10% в сентябре. Колониальный *Chaetoceros* встречался с февраля по июнь (18–47% от общей численности) и в сентябре–октябре (2–37%). Доля колониальной *Pseudo-nitzschia* составляла 18–22% в июле и августе, 5–10% – в мае, сентябре и октябре. На виды рода *Thalassiosira* приходилось 16% в августе, рода *Nitzschia* – 5% в декабре и 11% – в июле. Численность видов рода *Prorocentrum* менялась от 7% в феврале, мае и сентябре до 34% – в декабре.

В морской воде Ласпинской бухты было выявлено 33 вида микроводорослей, из них 14 видов диатомовых, 13 – динофитовых, 6 – представителей других групп. Наиболее часто встречались виды родов *Pseudo-nitzschia*, *Prorocentrum*, *Pseudosolenia*. Доля *Pseudo-nitzschia* в общей численности фитопланктона изменялась от 3% в апреле до 50% в феврале. Минимальное содержание видов рода *Prorocentrum* (2–3%) было отмечено в апреле и августе, максимальное (40%) – в феврале. Доля крупноклеточной *Pseudosolenia* достигала 70% в августе.

Таким образом, акватория внешнего рейда является более благоприятной для размещения морской фермы в сравнении с Ласпинской бухтой. Это обусловлено более высоким видовым обилием и преобладанием большего количества мелкоклеточных таксонов микроводорослей, доступных для питания культивируемых двустворчатых моллюсков.

Работа выполнена в рамках госзадания, темы № 124022400152-1 ИнБЮМ «Комплексное исследование механизмов функционирования морских биотехнологических комплексов с целью получения биологически активных веществ из гидробионтов» и № 124022400148-4 ИнБЮМ «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения».

НАЗЕМНЫЕ ФОТОТРОФНЫЕ БИОПЛЕНКИ ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТОВ: РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ И МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В УСЛОВИЯХ МАЛОГО ГОРОДА (Г.О. ПУЩИНО)

Редькина В.В., Кривина Е.С., Темралеева А.Д.

*Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрабина РАН,
ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, Россия
e-mail: kalmykova_v_v@mail.ru*

Актуальность изучения наземных фототрофных биопленок обусловлена высокой значимостью аэрофильных цианобактерий и микроводорослей как продуцентов ценных метаболитов (полисахаридов, полиолов, каротиноидов), так и агентов биоповреждения строительных сооружений городской среды. Для исследования были отобраны образцы визуально заметных фототрофных биопленок с различных искусственных субстратов в г.о. Пущино Московской области – с поверхностей бетонного цоколя и ступеней, кирпичной стены, металлических и деревянных столбов. Образцы биопленок были посеяны на твердую питательную среду BG-11 с азотом и без него, и многократно пересеяны до получения альгологически чистых культур. Для видовой идентификации морфологический анализ сочетали с молекулярно-генетическим, используя маркеры: 16S рРНК и ITS для цианобактерий; 18S рРНК, ITS2 и *rbcL* – для эукариотических микроводорослей. Всего было изолировано 17 штаммов цианобактерий и водорослей. Цианобактерии были представлены 5 штаммами из двух порядков – Synechococcales и Oscillatoriales. Штамм VKM A1-380 на 16S рРНК дереве попал в кладу *Leptolyngbya sensu stricto*. При этом вторичная структура шпилек D1-D1' и особенно box B штамма уникальна по сравнению с уже описанными видами рода. Поэтому штамм был идентифицирован как *Leptolyngbya* sp. Штамм VKM A1-382 был наиболее близок к представителям рода *Plectolyngbya*. Однако величины генетических дистанций позволяют предположить, что штамм является кандидатом в новый неописанный род цианобактерий. Штамм VKM A1-385 согласно топологии 16S рРНК дерева и генетическим дистанциям, соответствующим внутривидовым, идентифицирован как *Phormidesmis priestleyi* (F.E. Fritsch) Komárek, Kaštovský, S. Ventura, Turicchia & Smarda. Штамм VKM A1-383, вероятно, представляет собой новый вид рода *Cymatolege*. Штамм VKM A1-384 идентифицирован как *Microcoleus autumnalis* (Gomont) Strunecky, Komárek & J.R. Johansen. 12 штаммов эукариотических водорослей принадлежали двум отделам – Chlorophyta (классы Trebouxiophyceae и Chlorophyceae) и Charophyta (класс Klebsormidiophyceae). Два штамма со *Stichococcus*-подобной морфологией, VKM A1-401 и 411, идентифицированы как *Tritostichococcus corticola* Pröschold & Darienko и *Deuterostichococcus* sp. соответственно. Штаммы VKM A1-400, 406 и 407 являются представителями вида *Chloroidium saccharophilum* (W. Krüger) Darienko. Штаммы VKM A1-404 и VKM A1-399 относятся к виду *Pseudomuriella schumacherensis* Fuciková, Rada & L.A. Lewis. В группе *Klebsormidium* использование маркеров 18S рРНК и ITS2 не прояснило филогенетические отношения внутри рода. Поэтому дополнительно использовали пластидный ген *rbcL*. По результатам анализа штаммы VKM A1-402 и 405 вошли в кладу C, соответствующую виду *Klebsormidium flaccidum* (Kützinger) P.C. Silva, Mattox & W.H. Blackwell. Штаммы VKM A1-398, 409 и 410 попали в кладу E и отнесены к *Klebsormidium* sp. Выделенные штаммы представляют интерес для дальнейшего изучения их филогении и биотехнологического потенциала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № FMRM-2026-0015).

ПОД *GYROSIGMA* (BACILLARIOPHYTA) В ОЗ. БАЙКАЛ

Родионова Е.В., Щербакова Т.А.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: rodionova@lin.irk.ru

Род *Gyrosigma* Hassall включает морфологически разнообразные, широко распространенные донные диатомовые водоросли, адаптированные к морским, солоноватым и пресноводным местообитаниям. Виды этого рода легко распознаются благодаря крупным размерам (более 100 мкм), сигмовидному контуру створок и шва, а также характерному рисунку поверхности створок из поперечных и продольных штрихов.

В оз. Байкал широко распространенные виды *Gyrosigma* отмечались начиная с 1890 г. [1]. В немногих последующих работах они были дополнены описанием и рисунками нескольких эндемичных таксонов, однако в целом количество представителей рода в диатомовой флоре озера не достигало и 10 названий.

Ревизия байкальских *Gyrosigma* была проведена Д. Рейд в 2008 г. по материалам всебайкальской коллекции «Дарвиновская Инициатива. Бентос Байкала. 1997–1998» с применением световой и (впервые для *Gyrosigma*) электронной микроскопии [2]. В результате было идентифицировано шесть представителей рода, из которых *G. attenuatum* (Kützing) Rabenhorst (в виде единственной створки) и *G. nodiferum* (Grunow) Reimer – повсеместно распространенные виды, остальные – эндемики: в дополнение к ранее описанному *G. baicalensis* Skvortsov прибавился новый вид *G. floweri* G. Reid и поднятые до видового уровня вариации *G. skvortzovii* G. Reid и *G. olhonensis* G. Reid.

В нашей работе род *Gyrosigma* изучали как в образцах коллекции «Дарвиновская Инициатива», дубликат которой хранится в Лимнологическом институте, так и в полевых сборах 2021 г. В дополнение к данным Д. Рейд найдены створки известного и широко распространенного *G. acuminatum* (Kützing) Rabenhorst, а также ранее не описанного редкого представителя рода – *G. navicula* sp., найденного во всех трех котловинах озера. Набор признаков нового вида, отличающий его от известных *Gyrosigma*, составляют: ланцетная форма створки со слегка отклоненными в разные стороны концами, слабо сигмоидный с одинарной кривизной шов, внешние проксимальные концы шва отклонены в одну сторону, а также наличие утолщенных интерштрихов, окружающих центральное поле. Одностороннее отклонение центральных концов внешнего шва, как у *G. navicula* sp., наблюдаются только у четырех видов *Gyrosigma*, три из которых – морские.

Многие роды пеннатных диатомей, обитающие в оз. Байкал, включают десятки эндемичных видов, сформировавшихся за долгое время эволюции в стабильных условиях этого древнего водоема, например, *Neidium*, *Diploneis*, *Navicula*, *Hippodonta* и др. Однако крайне малочисленный род *Gyrosigma* относится к тем группам организмов, которым не удалось сформировать заметного разнообразия в оз. Байкал.

Работа проведена в рамках бюджетной темы ЛИН СО РАН № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR-2026-0001).

1. Gutwinski R. O pionowym rozszedleniu glonów jeziora Bajkalskiego. – Lwów: Kosmos, 1890. Т. 5. – С. 498–505.

2. Reid G. The *Gyrosigma* taxa (Bacillariophyceae) in Lake Baikal, Siberia, Russia // Proceeding of the nineteenth international Diatom Symposium (Likhoshway Y., ed.). – Bristol: Biopress Limited, 2008. – P. 71–82.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КУЛЬТУР ШТАММОВ *SYNECHOCOCCUS* SP. И *LYNGBYA AERUGINEOCAERULEA* F. MINOR В УСЛОВИЯХ КАРБОНАТООБРАЗОВАНИЯ

Родина О.А.¹, Сазанова К.В.¹, Волкова И.А.², Шевченко Б.А.¹,
Снарская Д.Д.¹, Шаварда А.Л.^{1,2}, Франк-Каменецкая О.В.¹

¹ Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия;

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: orodina@binran.ru

Фотосинтезирующие цианобактерии играют ключевую роль в биогенном осаждении карбонатов кальция, фиксируя углекислый газ и создавая условия для минералообразования. Для изучения роли метаболической активности в минерализации выбраны два штамма цианобактерий: *Synechococcus* sp. (CALU 535) и *Lyngbya aeruginosaerulea* (CALU 557). Культивирование проводили на среде BG-11 с пониженным содержанием NaNO₃ (в 5 раз) в колбах Эрленмейера при непрерывном освещении (500 люкс, 22–24 °C) в течение 21 дня. Клетки отделяли центрифугированием (4000 об/мин, 20 мин). Внеклеточные полимерные вещества (ЭПС) разделяли на связанные с клетками (LEPS) и продуцируемые в среду (REPS) и определяли гравиметрическим методом. Биомассу гомогенизировали в жидком азоте и экстрагировали смесью метанол:хлороформ:вода (5:2:2). Экстракт высушивали на вакуумном испарителе, затем растворяли в пиридине (30 мкл) с внутренним стандартом и дериватизировали BSTFA (30 мкл) при 100 °C в течение 15 мин. Дериватизированные образцы анализировали методом ГХ-МС.

Synechococcus продуцирует REPS в 7 раз больше, чем *L. aeruginosaerulea* (0,4 мг/мл против 0,06 мг/мл). Продуктивность образования REPS у *Synechococcus* достигала 899 мг/г биомассы, у *L. aeruginosaerulea* – 19 мг/г. Абсолютное содержание LEPS также выше у *Synechococcus*, однако соотношение LEPS/REPS на порядок выше у *L. aeruginosaerulea*, что указывает на активное формирование слизистых чехлов у последнего. В метаболомном профиле биомассы *L. aeruginosaerulea* обнаружено 117 соединений, у *Synechococcus* – 50. Разнообразие у *L. aeruginosaerulea* выше за счет аминокислот, органических кислот энергетического обмена, жирных кислот и алканов. В биомассе *Synechococcus* sp. доминируют полиолы, а также моно- и дисахариды, суммарное количество которых превышает таковое у *L. aeruginosaerulea*. Метаболомный профиль культуральной жидкости представлен простыми сахарами, полиолами и органическими кислотами; его разнообразие и количественное содержание выше у *Synechococcus* sp.

Таким образом, *Synechococcus* sp. выполняет более активную средообразующую функцию, играя ведущую роль в формировании биопленок и, вероятно, в инициировании карбонатообразования. Выделяя во внешнюю среду простые сахара и органические кислоты, он создает полимерный матрикс, который служит центром нуклеации и связывает ионы Ca²⁺, иницируя кристаллизацию CaCO₃. Напротив, продукты фотосинтеза *L. aeruginosaerulea* расходуются преимущественно на поддержание внутриклеточного метаболизма и формирование слизистых чехлов, которые влияют на локализацию и форму образования карбонатов.

Авторы выражают благодарность Научному парку СПбГУ и Ресурсному центру «Культивирование микроорганизмов» (в рамках научного проекта № 124032000041-1) за предоставление штаммов CALU 535 и CALU 557.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕСЫХАНИЯ ВОДОТОКА НА ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СОСТАВ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ПЕРИФИТОНА В МАЛЫХ РЕКАХ

Русанов А.Г.¹, Траберт Ж.², Киш К.Т.², Ач Е.²

¹ *Институт озераведения РАН, Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, Россия;*

² *Факультет водных наук, Национальный университет государственной службы, Будапешт, Венгрия
e-mail: rusanov.a@spcras.ru*

Глобальные изменения климата приводят к резкому увеличению продолжительности пересыхания ранее постоянных водотоков, влияя на биоразнообразие водных сообществ и функционирование речных экосистем. Реакция сообществ бентосных диатомовых водорослей на пересыхание водотоков до сих пор остается малоизученной. В нашем исследовании проведено сравнение таксономического и функционального состава диатомовых водорослей перифитона между постоянными и пересыхающими участками в малых реках юго-запада Венгрии. Диатомовые водоросли (305 видов) были классифицированы по функциональным группам на основе клеточного размера [1], принадлежности к экологическим гильдиям [2] и предпочтения в отношении влажности, насыщенности кислородом, сапробности и трофического состояния среды [3]. Выявлено значительное снижение видового и функционального богатства диатомовых водорослей на пересыхающих речных участках. Установлена положительная линейная связь между таксономическим и функциональным богатством, указывающая на то, что исчезновение видов вследствие пересыхания речного русла сопровождается сокращением функционального богатства диатомовых водорослей. Пересыхающие речные участки характеризовались увеличением относительного обилия видов с умеренными потребностями в кислороде и видов с частой встречаемостью во влажных местообитаниях. Напротив, для постоянных речных участков было характерно увеличение обилия оксибионтных видов и видов, для которых встречаемость во влажных местообитаниях случайна. Постоянные участки также отличались большим обилием крупноклеточных ($\geq 1500 \text{ мкм}^3$) видов, а пересыхающие участки – увеличением обилия низкопрофильных (low-profile) диатомовых водорослей, что указывает на нарушение естественного процесса сукцессии сообщества вследствие пересыхания русла. Кроме того, на пересыхающих участках наблюдалось увеличение обилия α -мезосапробных и α -мезо-полисапробных видов, что свидетельствует о снижении способности к самоочищению речных систем в условиях прерывания водного стока. В целом наши результаты дают детальное представление о реакции сообщества диатомовых водорослей перифитона на прерывание стока в пересыхающих реках, которые становятся все более распространенными в теплых районах умеренного климатического пояса.

1. Berthon V. et al. Using diatom life-forms and ecological guilds to assess organic pollution and trophic level in rivers: A case study of rivers in south-eastern France // *Hydrobiologia*. 2011. V. 673. P. 259–271. DOI: 10.1007/s10750-011-0786-1.

2. Passy S.I. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters // *Aquatic Botany*. 2007. V. 86. P. 171–178. DOI: 10.1016/j.aquabot.2006.09.018.

3. Mertens A. et al. A revised list of diatom ecological indicator values in the Netherlands // *Ecological Indicators*. 2025. V. 172. P. 113219. DOI: 10.1016/j.ecolind.2025.113219.

ДОМИНИРУЮЩИЕ ВИДЫ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ЭПИФИТОНА РЕКИ ГАЙНА (МИНСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ)

Свирид А.А., Богданович М.С., Кавцевич В.Н.

Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка,

Минск, Беларусь

e-mail: sviridanna.61@mail.ru

Работа выполнялась по проблеме инвентаризации биологического разнообразия водных объектов Беларуси. Материалом для исследования послужили пробы эпифитона, собранные в реке Гайна 02.08.2025 г. со стеблей тростника (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.). Река Гайна длиной 100 км является правым притоком р. Березины. В верхнем течении русло канализировано, в среднем и нижнем – извилистое. Характеризуется интенсивным половодьем, средним уклоном водной поверхности 1,01‰ и шириной русла до 20 м в устье [1].

В настоящем сообщении изложены первые результаты изучения диатомовых водорослей в постоянных препаратах с использованием светового микроскопа Axioscop (Carl Zeiss) и иммерсионных объективов A-Plan 100×/1,32 (окуляр WPI 10×/23). Идентификация видов проводилась с помощью ряда определителей и флор [2 и др.]. Для выявления структурных особенностей диатомовых комплексов производился подсчет до 500 створок подряд по горизонтальному ряду в средней части препарата. По этому показателю диатомовые подразделялись по шкале Н.Н. Давыдовой на доминанты (встречаются в пробах в количестве 10% и более) и субдоминанты (от 5 до 10% подсчитанных в препарате створок) [3].

В составе эпифитона *Phragmites australis* при подсчете численности обнаружено 44 вида диатомовых водорослей. Текущие названия видов приведены по данным AlgaeBase [4]. Среди них доминируют два пресноводных вида: обрастатель *Achnanthes minutissimum* (Kützinger) Czarnecki (23,5%) и донный *Nitzschia amphibia* Grunow (21,8%). Субдоминантами являются типичные обрастатели. Индифференты к минерализации – *Gomphonema parvulum* (Kützinger) Kützinger (9,6%), *Cocconeis placentula* Ehrenberg (9,0%), *Lemnicola hungarica* (Grunow) Round et Basson (6,2%) и галофильный вид *Rhoicosphenia abbreviata* (C. Agardh) Lange-Bertalot (8,3%). Обычные, или сопутствующие, виды, составляющие 1–5% численности, представлены 7 видами; единичные (относительная численность менее 1%) – 31 вид.

В докладе будут проанализированы систематическая и экологическая характеристики выявленного комплекса видов и проведен графический анализ его таксономической структуры.

1. Гайна (река) // Белорусская энциклопедия. – URL: <https://belarusenc.by/temy/waterru/11410/> (Дата обращения 22.03.2026).

2. Куликовский М.С. и др. Определитель диатомовых водорослей России. – Ярославль: Филигрань, 2016. – 804 с.

3. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий в голоцене. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. – 244 с.

4. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2023. – URL: <http://www.algaebase.org> (Дата обращения 06.02.2026).

ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМАХ

Селезнева А.В., Внукова К.В., Селезнев В.А.

*Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук – филиал Самарского
федерального исследовательского центра РАН, Тольятти, Россия
e-mail: Seleznev53@mail.ru*

Массовое развитие цианобактерий (МРЦ) оказывает негативное воздействие на формирование качества поверхностных вод [1,2] и создает проблемы для водоснабжения, рыбного хозяйства и рекреации. Проблемы обостряются в условиях глобального потепления климата, что вызывает повышенный интерес к оценке влияния погодных условий на развитие цианобактерий [3].

Комплексные наблюдения за процессом МРЦ проводятся на «климатическом полигоне» в южной части Куйбышевского водохранилища, где осуществляются: контроль за метеорологическими и гидрологическими параметрами, отбор проб воды для определения концентрации хлорофилла *a* (Хл), таксономического состава, численности и биомассы фитопланктона.

Установлено, что в период весеннего половодья с повышением температуры воды концентрация Хл постепенно увеличивалась, а в составе фитопланктона доминировали диатомовые (Bacillariophyta) и зеленые (Chlorophyta) водоросли. В период летней межени в составе фитопланктона начинали доминировать цианобактерии (Cyanophyta), наблюдалось МРЦ, концентрация Хл резко возрастала.

Наиболее благоприятными для МРЦ были условно «теплые» годы, когда в русловой части водохранилища средняя концентрация Хл в летний период (июнь–август) составляла 6–10 мкг/дм³, а максимальная наблюдалась в июле и достигала 20–25 мкг/дм³. Неблагоприятными для МРЦ были условно «холодные» годы, когда концентрация хлорофилла *a* за летний период составила 0,6–1,4 мкг/дм³, МРЦ не наблюдалось, доминировали диатомовые (Bacillariophyta) и зеленые (Chlorophyta) водоросли.

Значительная вариабельность процесса МРЦ в летний период обусловлена сменой погодных условий. При антициклоническом типе погоды концентрация хлорофилла *a* резко увеличивалась за счет устойчивой солнечной и безветренной погоды. Наоборот, при циклоническом типе погоды концентрация Хл резко снижалась.

В перспективе при дальнейшем повышении температуры воды Куйбышевского водохранилища в условиях глобального потепления климата процесс МРЦ будет усиливаться, что может нарушить экологическую устойчивость экосистемы водохранилища и создать риски его использования для комплексного водопользования.

1. Селезнева К.В. и др. Дефицит растворенного кислорода в условиях массового развития синезеленых водорослей на Куйбышевском водохранилище // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 4. С. 38–53.

2. Селезнева А.В., Селезнев В.А. Сезонная изменчивость содержания растворенных органических веществ в воде Куйбышевского водохранилища // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2025. № 1. С. 91–98.

3. Селезнева А.В., Селезнев В.А. Влияние погодных условий на процесс массового развития цианобактерий в Куйбышевском водохранилище // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 47. С. 57–76.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЗОТА НА РОСТ, ПИГМЕНТНЫЙ СОСТАВ И ПРОФИЛЬ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

Селезнева А.П.^{1,2}, Кривова З.В.¹, Гололобова М.А.², Мальцев Е.И.¹

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
e-mail: seleznevanna03@gmail.com

Диатомовые водоросли – группа фотосинтезирующих одноклеточных или колониальных организмов, населяющих пресноводные, морские и наземные экосистемы. В последнее время все больше исследований направлено на изучение их биотехнологического потенциала. На рост культур и состав метаболитов микроводорослей влияет состав питательной среды и в первую очередь азот [1].

Для исследования влияния концентрации азота были выбраны три штамма пресноводных диатомовых водорослей из коллекции лаборатории Молекулярной систематики водных растений Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН: штамм VN1210 *Nitzschia palea* (Kütz.) W.Smith и штаммы VN1213, VN1221 *Gomphonema parvulum* (Kütz.) Kütz. Их культивировали на пяти вариантах среды WC [2] с разной концентрацией азота: 0 г/л – Nw, 0,05 г/л – Nsl, 0,15 г/л – Nml, 0,3 г/л – Nm, 0,6 г/л – Nr. Динамика роста культур определялась подсчетом количества клеток с использованием автоматического счетчика. Регулярно проводилась оценка чистоты культур методом световой микроскопии.

В конце эксперимента для каждой культуры определили сухую биомассу, состав пигментов методом спектрофотометрии и состав жирных кислот с помощью газовой хроматографии. Для оценки значимости различий использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), для определения закономерностей влияния – метод главных компонент (PCA).

По результатам эксперимента оптимальная концентрация азота для эффективного роста *N. palea* составила 0,6 г/л, для *G. parvulum* – 0,15 и 0,3 г/л. Анализ показал, что увеличение доступности азота в среде приводит к снижению концентрации хлорофилла. Штамм *N. palea* VN1210 достиг максимальной сухой биомассы (0,47 мг/мл) на среде Nr, штамм *G. parvulum* VN1213 – на среде Nw (0,37 мг/мл), *G. parvulum* VN1221 – на среде Nml (0,32 мг/мл). Азотное голодание привело к накоплению насыщенных жирных кислот, в частности пальмитиновой (16:0), тогда как содержание полиненасыщенных кислот снизилось.

Изменение концентрации азота в питательной среде является гибким инструментом, позволяющим модифицировать рост культур и состав метаболитов микроводорослей. Его влияние на культуры определяется спецификой штамма, поэтому при исследовании биотехнологического потенциала каждого штамма необходимо проводить подбор оптимальных условий культивирования.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 124052200012-7 (FFES-2024-0001).

1. Richmond A. et al. Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology. – Oxford: Wiley, 2013. – 114 p.

2. Guillard R.R.L., Lorenzen C.J. Yellow-green algae with chlorophyllide c // Journal of Phycology. 1972. V. 8. P. 10–14. DOI: 10.1111/j.1529-8817.1972.tb03995.x.

ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ГИПЕРГАЛИННЫХ ВОДОЕМОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МУЛЬТИ-МАРКЕРНОГО ДНК-МЕТАБАРКОДИНГА

Селиванова Е.А., Тынников О.А., Балкин А.С., Катаев В.Я.,
Насырова М.А., Плотников А.О.

*Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза Уральского отделения
Российской академии наук, Оренбург, Россия
e-mail: selivanova-81@mail.ru*

Гипергалинные водоемы широко распространены в аридных и семиаридных регионах. В них формируются сообщества галофильных и галотолерантных организмов, некоторые из которых адаптированы к солености, близкой к насыщению. Диатомовые и зеленые микроводоросли – основные продуценты органического вещества в гипергалинных водоемах, но их разнообразие изучено недостаточно. Целью исследования было определить структуру сообществ и разнообразие галофильных микроводорослей в удаленных друг от друга гипергалинных водоемах с разной соленостью и ионным составом с применением высокопроизводительного секвенирования.

Образцы отбирали из водоемов Соль-Илецкой группы, Кулундинской степи, Крыма, озера Эльтон и рек Приэльтонья. Метабаркодинг с использованием трех маркеров (V4 фрагмента гена 18S рРНК, а также ITS2 и *rbcL* для анализа Chlorophyta и Bacillariophyta соответственно) позволил получить сведения о таксономическом составе и разнообразии микроводорослей в водоемах в зависимости от их географической локализации, уровня солености, химического состава воды; определить границы значений факторов для развития отдельных таксонов; дополнить картину биогеографического распределения экстремально галофильных водорослей в мире.

Установлено, что по мере увеличения солености разнообразие Chlorophyta уменьшается на уровне крупных таксонов, тогда как на уровне филотипов эта закономерность нарушается в связи со значительным генетическим разнообразием рода *Dunaliella* и близких ему таксонов. Большинство из изученных водоемов характеризовалось уникальными наборами доминирующих филотипов, которые определялись не только уровнем солености. Показано влияние географической локализации на бета-разнообразие. Определено пороговое значение солености (110‰), определяющее различия между сообществами Chlorophyta по структуре и разнообразию. По данным анализа сообществ микроводорослей Bacillariophyta показано влияние уровня солености и состава солей (рН) на таксономический состав и разнообразие. Отмечено более высокое таксономическое богатство в хлоридных озерах по сравнению с карбонатными и в образцах с соленостью 14–49 г/л по сравнению с образцами с соленостью 100 г/л и более. Определены таксоны микроводорослей, характерные для гипергалинных водоемов карбонатного и хлоридного типов, а также таксоны с дифференцированной представленностью в зависимости от уровня солености. Присутствие не идентифицированных на уровне рода филотипов, доля которых составила 20% от общего числа, свидетельствует о слабой изученности сообществ зеленых и диатомовых микроводорослей в гипергалинных условиях.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 25-24-20144 (<https://rscf.ru/project/25-24-20144/>) на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием «Персистенция микроорганизмов» ИКВС УрО РАН.

НОВЫЕ ДАННЫЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА О ЗЕЛЕННЫХ ГАЛОФИЛЬНЫХ МИКРОВОДОРОСЛЯХ КОЛЛЕКЦИИ КУЛЬТУР CALU

Селиванова Е.А.¹, Тынников О.А.¹, Снарская Д.Д.²

¹ Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия;

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: selivanova-81@mail.ru

Род *Dunaliella* Teod. был описан более 120 лет назад и включает 27 видов. Некоторые его представители являются важными биотехнологическими объектами и моделями для исследования физиологии галофильных микроводорослей. Однако, несмотря на активное изучение, ясности относительно его таксономии на сегодняшний день нет. Во второй половине прошлого века было описано много видов, подвидов и форм на основании морфологических особенностей [1]. Однако ограниченность диакритических критериев, высокая изменчивость клеток в связи с отсутствием плотной клеточной стенки затрудняют правильную идентификацию представителей этого рода. Отсутствие типового референсного материала (штаммов, нуклеотидных последовательностей) для значительной части видов, а также присутствие неправильно идентифицированных культур в коллекциях и нуклеотидных последовательностей в базах данных усложняет ситуацию. Несмотря на активную работу по таксономической ревизии рода, авторы отмечают необходимость проведения молекулярных исследований наряду с оценкой морфологии и физиологии, а также разработки точных генетических маркеров для идентификации видов *Dunaliella* [2].

На основании анализа последовательностей генов 18S рРНК и региона ITS1-5.8S-ITS2, вторичной структуры фрагмента ITS2 мы оценили филогенетическое положение и таксономическую принадлежность 14 штаммов микроводорослей родов *Dunaliella* и *Asteromonas*, хранящихся в Коллекции цианобактерий, водорослей и паразитов водорослей CALU. Большая часть этих галофильных микроводорослей была выделена в 1962–1972 гг. из гипергалинных местообитаний на территории бывшего СССР, определена по морфологии и передана Н.П. Масюк в коллекцию. В результате для части штаммов была подтверждена их принадлежность к виду *D. tertiolecta* Butcher (CALU 1925), *D. viridis* Teodoresco (CALU 1010, CALU 1012, CALU 1726), *A. gracilis* Atari (CALU 1373, CALU 1815), тогда как для другой части штаммов данные морфологической и молекулярно-генетической идентификации не совпали (CALU 1002, CALU 1006, CALU 1724, CALU 1725). Впервые определенные нуклеотидные последовательности культур *D. minuta* W. Lerche (CALU 1001) и *D. terricola* Masjuk (CALU 1376) характеризовались низким сходством с имеющимися в базах данных идентифицированными последовательностями, что дополняет морфофизиологическое описание этих видов молекулярно-генетическими данными.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 25-24-20144 (<https://rscf.ru/project/25-24-20144/>) при поддержке СПбГУ (проект № 124032000041-1) на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием «Персистенция микроорганизмов» ИКВС УрО РАН, а также с использованием оборудования Ресурсного центра «Культивирование микроорганизмов» Научного парка СПбГУ.

1. Масюк Н.П. Морфология, систематика, экология, географическое распространение рода *Dunaliella* Teod. и перспективы практического использования. – Киев: Наукова думка, 1973. – 244 с.

2. Borowitzka M.A., Siva C.J. The taxonomy of the genus *Dunaliella* (Chlorophyta, Dunaliellales) with emphasis on the marine and halophilic species // J. Appl. Phycol. 2007. V. 19. №. 5. P. 567-590. DOI: 10.1007/s10811-007-9171-x.

«НЕПОХОЖИЕ БЛИЗНЕЦЫ»: УНИКАЛЬНАЯ ПОЗИЦИОННАЯ СПЕЦИФИЧНОСТЬ СТРОЕНИЯ ТРИАЦИЛГЛИЦЕРИНОВ МАСЛИЧНЫХ ЖЕЛТО-ЗЕЛЕННЫХ И ЭУСТИГМАТОФИТОВЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ IPPAS

Сидоров Р.А., Крапивина А.А., Казаков Г.В., Стариков А.Ю., Синетова М.А.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

e-mail: roman.sidorov@mail.ru

Микроводоросли (МВ), способные накапливать в своих клетках значительные количества жирного масла, состоящего, главным образом, из *sn*-1,2,3-триацилглицерин (ТАГ), или – *масличные МВ* – рассматриваются исследователями в качестве эффективной альтернативы маслогенным дрожжам и другим гетеротрофным организмам для получения пищевых масел высокой нутрицевтической ценности. Например, ТАГ штаммов эустигматофитовых МВ *Vischeria* sp. IPPAS C-70 и IPPAS H-242 структурно близки к жиру грудного молока человека и потому могут выступить в качестве зеленой, неГМО альтернативы заменителям жира в смесях для искусственного вскармливания, что резко отличает эти организмы от зеленых МВ, у которых насыщенные жирные кислоты (ЖК) ацилируют исключительно *sn*-1,3-положения ТАГ.

Ранее, в ходе скрининга ЖК-состава ТАГ ряда *масличных МВ* коллекции IPPAS различных таксономических групп, мы обнаружили 4 штамма, ТАГ которых характеризовались практически идентичным качественным и количественным набором жирных кислот: миристиновая (C14:0) 1,5–3,0%, пальмитиновая (C16:0) 21,0–30,0%, пальмитолеиновая (C16:1) 48,3–60,6%, олеиновая (C18:1) 1,3–9,3%, линолевая (C18:2) 1,9–4,8% и эйкозапентаеновая (C20:5) 3,3–7,7%. Также нам было известно, на примере МВ рода *Vischeria* (штаммы IPPAS C-70 и H-242), что такие ТАГ могут иметь уникальное позиционное строение, не свойственное другим фотоавтотрофным организмам. Мы предположили, что ТАГ желто-зеленой МВ *Tribonema* sp. IPPAS H-150 и еще не идентифицированного вида диатомовой МВ из Баренцева моря IPPAS H-1564 могут иметь сходную позиционную структуру, так как относятся к тому же отделу Ochrophyta. С целью установления ЖК состава *sn*-2-положения мы применили технику деацилирования ТАГ панкреатической липазой. Оказалось, что ТАГ диатомовой водоросли в *sn*-2-положении, так же, как и штаммы рода *Vischeria*, содержали 3,5% 14:0, 30,7% 16:0, 50% 16:1, 7,0% 18:1 и 3,6% 18:2, то есть проявляли сходную позиционную специфичность строения, при которой насыщенные 14:0 и 16:0 ЖК ацилируют β -углеродный атом остатка глицерина в молекуле ТАГ. Резко отличались по строению от этих трех МВ ТАГ *Tribonema* sp. IPPAS H-150, *sn*-2 положение которых на 95% было занято 16:1 ЖК, 14:0 присутствовала в следовых количествах, а на долю 16:0 приходилось не более 2,9%.

Таким образом, удалось показать, что, с одной стороны, МВ разных таксономических групп (и даже филогенетически далеких, как в случае диатомовой МВ и МВ рода *Vischeria*) могут иметь структурно идентичные ТАГ и наоборот – резко различные по строению ТАГ при их идентичном качественном и количественном ЖК составе. Эти результаты подчеркивают важность анализа тонкой структуры ТАГ для оценки их нутрицевтического потенциала. Помимо того, весьма вероятно, что тонкая структура ТАГ может иметь и хемотаксономическую значимость, однако проверка этого предположения требует накопления значительного массива данных о структуре ТАГ МВ различных таксономических групп.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант № 21-74-30003.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ РОДА *COELASTRELLA*

Сизова Л.Э., Мальцева И.А.

Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия

e-mail: liliy127127@mail.ru

Род зеленых водорослей *Coelastrella* Chodat (Scenedesmaceae, Chlorophyta) относительно малочислен и насчитывает 31 вид [1]. В последние годы наблюдается повышенный интерес к биотехнологическому потенциалу микроводорослей данного рода. Это обусловлено высоким содержанием белков, липидов, пигментов, жирных кислот и других ценных метаболитов [2,3].

Представители рода *Coelastrella* характеризуются космополитным распространением. Среди них известны наземные и пресноводные виды. В наземных экосистемах они были выявлены в почве и субэкральных местах обитания (кора деревьев, поверхность камней, фасады зданий, бетонные конструкции) [2,3]. В пресноводных биотопах встречаются реже, преимущественно как бентосные, перифитонные и планктонные виды [3].

Представители рода устойчивы к экстремальным условиям среды, что объясняет их способность существовать при повышенной температуре и высокой интенсивности солнечной радиации [4]. Отмечена толерантность к повышенной минерализации среды и загрязнению тяжелыми металлами [3]. Эта толерантность обусловлена комплексом физиологических и биохимических адаптаций и активацией антиоксидантных систем [2,3].

Несмотря на широкое распространение, представители рода *Coelastrella* остаются недостаточно изученными. Это связано с простым морфологическим строением клеток и трудностями их таксономической идентификации, которая должна включать молекулярно-генетические методы. Таксономическое положение рода неоднократно пересматривалось и уточнялось.

Учитывая высокий интерес к *Coelastrella* как к источнику биотехнологически ценных соединений, необходимо дальнейшее изучение ее представителей и особенностей их распространения. Это позволит выявить и идентифицировать виды и штаммы с высокой продуктивностью ценных метаболитов, уточнить видовое разнообразие и экологические особенности *Coelastrella*, а также разработать эффективные решения для биотехнологии и решения различных экологических задач в будущем.

1. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2023. – URL: <https://www.algaebase.org/search/species/?name=Coelastrella> (Дата обращения 08.02.2026).

2. Abe K. et al. Accumulation and antioxidant activity of secondary carotenoids in aerial microalga *Coelastrella striolata* var. *multistriata* // Food Chemistry. 2007. V. 100. P. 656–661. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.10.026.

3. Maltsev Y. et al. Lipid accumulation by *Coelastrella multistriata* (Scenedesmaceae, Sphaeropleales) during nitrogen and phosphorus starvation // Sci. Rep. 2021. V. 11. P. 19818. DOI: 10.1038/s41598-021-99376-9.

4. Зайцева А.А. и др. Характеристика вакуолярных включений в клетках зеленой микроводоросли *Coelastrella rubescens* NAMSU R1 на свету низкой и высокой интенсивности // Физиология растений. 2022. Т. 69. С. 417–426. DOI: 10.1134/S1021443722040227.

**ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЦИАНОБАКТЕРИЯХ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ
ОЗЕРА ОТРАДНОЕ В ОКРЕСТНОСТЯХ НАУЧНО-ОПЫТНОЙ
СТАНЦИИ БОТАНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМЕНИ
В.Л. КОМАРОВА РАН**

Симоненко О.В.¹, Горин К.К.^{1,2}

¹ *Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
Санкт-Петербург, Россия;*

² *Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: oksid.magniya22@gmail.com*

Научно-опытная станция Ботанического института им. В.Л. Комарова «Отрадное» расположена в Приозерском районе Ленинградской области. Несмотря на то, что на станции в течение последних 80 лет ведутся работы, связанные с различными направлениями ботаники, сведения о водорослях этого района ограничены двумя публикациями: о десмидиевых [1] и золотистых водорослях [2]. Изучение разнообразия цианобактерий водных объектов в окрестностях НОС «Отрадное» ранее не проводилось.

Настоящая работа основана на изучении 6 проб фитопланктона, отобранных в сентябре 2025 г. в 6 точках прибрежной зоны оз. Отрадное. Образцы изучали в фиксированном состоянии, а также с использованием культуральных методов. Идентификацию таксонов проводили по морфологическим признакам с помощью определителей И. Комарека и К. Анагностидиса [3,4].

Выявлено 12 морфовидов цианобактерий из 2 порядков, 4 семейств и 8 родов. Ведущим был порядок Chroococcales Schaffner, представленный 10 видами. Наиболее широко распространенным видом был *Limnococcus limneticus* (Lemmerm.) Komárková, Jezber., O.Komárek et Zapomel., встреченный на 4 из 6 точек. Помимо него, в нескольких точках были встречены представители нитчатых цианобактерий из родов *Planktolyngbya* Anagn. et Komárek, а также коккоидные из родов *Aphanocapsa* Nägeli, *Microcystis* Lemmerm., *Synechocystis* Sauv. Для видов *Merismopedia tranquilla* (Ehrenb.) Trevis., *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek et Hindák, *Gomphosphaeria natans* Komárek et Hindák отмечены единичные находки.

1. Косинская Е.К. Редкие и интересные десмидиевые водоросли Ленинградской области // Ботанические материалы по споровым растениям. 1952. Т. VIII. С. 61–64.

2. Шадрина С.Н., Сафронова Т.В. Новые виды золотистых водорослей (Chrysophyceae) для флоры Ленинградской области // Новости систематики низших растений. 2025. Т. 59. С. 19–24. DOI: 10.31111/nsnr/2025.59.2.A19.

3. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 1. Teil. Part: Chroococcales. – Berlin: Spektrum, 1998. – 548 p.

4. Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 2. Teil. Part: Oscillatoriales. – Berlin: Spektrum, 2005. – 759 p.

СОСТАВ И ОБИЛИЕ ФИТОПЛАНКТОНА ВЫГОЗЕРСКО-ОНДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ФОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

Сластина Ю.Л.

Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

e-mail: jls@inbox.ru

Изучение фитопланктона Выгозерско-Ондского водохранилища связано с проблемой оценки последствий влияния сточных вод Сегежского ЦБК, начавшего функционировать в 1936 г. В основном воздействию подвержена северная часть водоема, куда непосредственно поступают промышленные стоки. В многолетнем аспекте наблюдаются периоды увеличения и уменьшения антропогенной нагрузки, в связи с чем выявлены изменения таксономической структуры и количественных показателей развития фитопланктона.

В 1960–1970-х гг. в летний период обнаружено до 115 видов фитопланктона. К концу 1990-х гг., после сокращения биогенного загрязнения водоема, число видов фитопланктона достигало 180. В летний период 2017 г. в рамках комплексных экспедиционных исследований было выявлено 90, а в июле 2022 г. – 82 вида и внутривидовых таксона фитопланктона из 8 систематических отделов. Руководящий комплекс представлен диатомовыми *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen, *Aulacoseira italica* (Ehrenberg) Simonsen, *Asterionella formosa* Hassal и *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing. В отдельных районах к доминантам присоединялись золотистые (*Dinobryon divergens* O.E. Imhof) и зеленые (*Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová, *Crucigenia tetrapedia* (Kirchner) Kuntze, *Coenococcus planctonicus* Korshikov). По биомассе их вклад был наибольшим в южной части, по численности – в центре и в северной части водоема. В центральном и северном районах в массе развивались цианобактерии *Dolichospermum spiroides* (Klebahn) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek, *Gloeocapsa limnetica* (Lemmermann) Hollerbach.

В летний период 2022 г. общая численность фитопланктона Выгозеро варьировала от 870 до 2940 тыс. кл./л, общая биомасса – от 0,6 до 1,9 мг/л. Высокая численность при незначительно увеличившейся биомассе объясняется развитием мелкоклеточных цианобактерий как летом 2017 г., так и в 2022 г. Хлорофилл *a* (ХЛ *a*) определен в диапазоне от 4,7 до 9,1 мкг/л. Наибольшие значения количественных показателей фитопланктона и концентрации ХЛ *a* отмечены в северной части водоема. В сравнении с данными 2007–2011 гг., летом 2017 и 2022 гг. отмечались структурные перестройки в составе альгоценозов во всех районах Выгозерского водохранилища, значительно повысилась концентрация ХЛ *a*, численность и биомасса фитопланктона. Так, если в начале 1970-х гг. и в 2007–2011 гг. и по численности, и по биомассе в водохранилище доминировали диатомеи (на 90–96%), то в августе 2017 г. и в июле 2022 г. заметную долю от общей численности составили цианобактерии, золотистые и зеленые (до 30% в совокупности от общей численности), став содоминантами в сообществе. Необходимы дальнейшие исследования водохранилища для корректного выявления изменений структуры фитопланктонных сообществ и динамики пигментного комплекса.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных проблем Севера Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН» «Комплексные исследования устьевых областей и прибрежных вод Белого моря в условиях меняющегося климата и антропогенного воздействия», FMEN-2026-0008.

ФИТОПЛАНКТОН РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР БАССЕЙНА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ

Сластина Ю.Л., Комулайн С.Ф.

¹ *Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,
Петрозаводск, Россия;*

² *Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия
e-mail: jls@inbox.ru*

Республика Карелия является лидером по выращиванию садковой форели в РФ уже не одно десятилетие. Поэтому очень важен регулярный мониторинг состояния водоемов, в частности определение воздействия стоков форелевой фермы на сообщества водорослей с точки зрения богатства видов, видового разнообразия, экологии видов, количественных показателей и содержания хлорофилла.

В период с 2020 по 2024 г. в летний период проводился отбор и обработка проб для определения видового состава и пигментного комплекса фитопланктона в разных по трофическому статусу и гидрохимическому состоянию карельских озерах: Хедо, Вендюрское, Крошнозеро. Пока поступающие в озера стоки форелевых ферм не вызывают коренных изменений в структуре сообществ. Структура альгоценозов определяется в первую очередь гидрографическими и гидрологическими особенностями исследуемых озерах. Состав массовых видов оз. Хедо типичен для холодноводных, олиготрофных водоемов бореальной и субарктической зон с низкой минерализацией, не испытывающих значительной антропогенной нагрузки. Количественные характеристики обилия фитопланктона и содержание хлорофилла *a* характеризуют водоем как олиготрофный.

На оз. Вендюрское вблизи форелевых ферм биомасса летом составляла 1,51 мг/л, осенью – 5,26 мг/л. В зоне форелевого хозяйства показатели биомассы летом были на уровне 1,14 мг/л, осенью – 6,27 мг/л. Численность и биомасса фитопланктона характеризуют водоем как α -мезотрофный, хлорофилл *a* – как β -мезосапробный.

Оз. Крошнозеро в период исследования по значениям биомассы в поверхностном горизонте (12,6 мг/л), доле численности цианобактерий (более 85% от общей численности) и концентрации хлорофилла *a* (до 46 мкг/л) фитопланктона позволяет охарактеризовать водоем как эвтрофный. По сравнению с более ранними исследованиями видовой состав цианобактерий стал разнообразнее, появился вид *Gloeotrichia echinulata* (Smith) Richt., отмечаемый обычно в высокоэвтрофных водоемах.

Результаты проведенной работы показывают, что при детальном исследовании водоемов, сочетающем изучение структуры альгоценозов наряду с гидрохимическим анализом, приоткрываются фундаментальные вопросы гидробиологии.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных проблем Севера и Института биологии Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр РАН».

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА АЛЬГОЦЕНОЗА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Смирнова В.С.

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН,

Петрозаводск, Россия

e-mail: SmirnovaLera24@yandex.ru

Таксономическая структура фитопланктона Онежского озера детально изучается с 60-х годов прошлого столетия [1]. Многолетние исследования (1964–2010 гг.) выявили 775 видов, в дальнейшем более детальному анализу подвергались отдельные районы озера. Таким образом, целью работы являлись анализ современного состояния альгоценоза и описание систематической, экологической и географической характеристики фитопланктона Онежского озера.

Пробы воды для анализа микроводорослей были отобраны в июле–августе 2022 г. в различных районах Онежского озера: Кондопожская, Петрозаводская, Уницкая и Лижемская губы, Повенецкий залив, Центральное, Большое, Малое и Южное Онего, район о. Киж. Кроме того, более детально была рассмотрена таксономическая характеристика весеннего, летнего и осеннего фитопланктона Кондопожской губы с 2015 по 2025 г. Пробы фитопланктона были обработаны в соответствии с общепринятыми методами [2].

В составе фитопланктона на момент исследования выявлено девять систематических отделов: Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Cyanobacteria, Chrysophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Dinophyta, Xanthophyta. В фитоценозе Онежского озера преобладали космополитные и бореальные виды. В сообществе в основном встречались планктонные, планктонно-бентосные и бентосные формы. По отношению к солености виды сообщества были представлены индифферентными видами, олигогалолами, олигогало-галофилами и олигогало-галофобами. По отношению к кислотности водной среды наибольшую долю составляли индифферентные виды и алкалофильные, предпочитающие слабощелочные воды, а наименьшую – ацидофильные, способные обитать в условиях высокой кислотности. Видовой состав фитопланктона в целом характерен для альгоценоза Онежского озера [3].

Для альгоценоза характерно высокое видовое богатство диатомовых, зеленых, золотистых водорослей и цианобактерий. Самое высокое флористическое разнообразие отмечено у диатомовых водорослей, где весенне-осенним доминантом является *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Sim., а летними – *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Asterionella formosa* Hass. var. *formosa*, *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz. Уровень биомассы летнего фитопланктона (0,360–1,251 мг/л) в целом соответствовал олиготрофному статусу [4], за исключением Кондопожской губы (0,493–4,067 мг/л) и района о. Киж (3,684–7,210 мг/л), где отмечается мезо-эвтрофия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания FMEN-2026-0011 КарНЦ РАН.

1. Петрова Н.А. Фитопланктон Онежского озера // Растительный мир Онежского озера. – Л.: Наука, 1971. – С. 88–127.
2. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / ред. Абакумов В.А. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.
3. Чекрыжева Т.А. Таксономическая и экологическая характеристика фитопланктона Онежского озера // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2012. №.1. С. 56–69.
4. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – 395 с.

ЦИАНОБАКТЕРИИ В ГЛУБОКОВОДНЫХ ВОДОРΟΣЛЕВЫХ СООБЩЕСТВАХ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДОЕМОВ ОАЗИСА БАНГЕРА (ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА)

Смирнова С.В.¹, Спиридонова Е.В.²

¹ *Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия;*

² *Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
Санкт-Петербург, Россия*

e-mail: SSmirnova@binran.ru

Оазис Бангера расположен в западной части Земли Уилкса (Восточная Антарктида) и представляет собой свободный от оледенения участок суши площадью 450 км² с многочисленными озерами различной глубины и минерализации. Вдоль южного и западного края оазиса расположено несколько эпишельфовых водоемов.

Для изучения внешнего вида, структуры и состава альго-бактериальных сообществ, обитающих на глубине, в ходе 69-й Российской Антарктической экспедиции в сезон 2023–2024 гг. из центральной части 14 континентальных и двух приледниковых озер были собраны образцы водорослевых сообществ (матов). Сборы проведены при помощи донных пробоотборников с лодки или со льда. Одновременно со сбором проб была произведена видеофиксация внешнего вида донных сообществ.

Глубина изученных озер в местах пробоотбора варьировала от 1,7 до 90 м. По мере увеличения глубины структура водорослевых матов менялась, становилась более рыхлой и студенистой. Изученные сообщества на основе внешнего вида разделены на 7 типов, распределение которых в определенной степени коррелировало с глубиной произрастания. В составе глубоководных матов было отмечено 28 морфовидов цианобактерий из 13 родов. Их разнообразие варьировало от 1 до 13 морфовидов на образец и, как правило, уменьшалось с увеличением глубины. Кроме цианобактерий, в составе матов важную роль играли диатомовые, десмидиевые и зеленые водоросли, а также водные мхи.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И БИОРЕМЕДИАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ *TETRASELMIS VIRIDIS* И *DUNALIELLA SALINA* ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ГЛИФОСАТОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВЕТОВЫХ УСЛОВИЙ

Соломонова Е.С., Шоман Н.Ю., Акимов А.И., Рылькова О.А.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

e-mail: solomonov83@mail.ru

Сельскохозяйственная деятельность в Крыму и Севастополе создает значительную нагрузку на водные экосистемы, в частности, за счет поступления гербицидов (включая глифосат) с сельскохозяйственным стоком и через подземные воды. Биоремедиация с использованием микроводорослей является перспективным подходом для очистки водных сред, однако эффективность этого метода зависит от абиотических факторов, среди которых ключевое значение имеет освещенность.

С помощью проточной цитометрии, РАМ-флуорометрии и флуоресцентной микроскопии оценивали динамику численности клеток двух видов микроводорослей *Tetraselmis viridis* (Rouchijajnen) R.E.Norris, Hori & Chihara и *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco, физиолого-биохимические параметры (содержание хлорофилла *a*, квантовую эффективность фотосистемы II (Fv/Fm), относительную скорость транспорта электронов (gETR), продукцию активных форм кислорода (АФК), накопление нейтральных липидов), а также численность ассоциированных бактерий при концентрациях гербицида глифосата от 0 до 2100 мкг/л в условиях оптимальной и высокой освещенности.

Для *T. viridis* характерна классическая горметическая кривая: стимуляция роста при низких и средних концентрациях глифосата (максимум при 700 мкг/л при оптимальной освещенности) и резкое угнетение при высоких дозах. *D. salina* проявляет исключительную устойчивость к высоким концентрациям гербицида (до 2100 мкг/л), демонстрируя устойчивый рост и отсутствие токсического эффекта в широком диапазоне доз. Повышенная интенсивность света усиливает как стимулирующее действие умеренных доз глифосата, так и его токсичность для *T. viridis*, смещая оптимум гормезиса в область более низких концентраций и сокращая время гибели культуры при высоких дозах. Для *D. salina* высокая освещенность также сужает диапазон толерантности: порог токсичности снижается, а оптимальная концентрация гербицида смещается с 2100 на 1400 мкг/л. Добавление глифосата стимулирует развитие ассоциированных бактерий у обоих видов микроводорослей. Однако интенсивный рост водорослей опережает рост бактериальной популяции, что указывает на способность к прямому потреблению глифосата водорослями как источника фосфора.

Таким образом, *D. salina* обладает более высокой устойчивостью к глифосату по сравнению с *T. viridis*, сохраняя функциональность фотосинтетического аппарата и демонстрируя рост в широком диапазоне концентраций гербицида. Выявленная способность обоих видов к прямому метаболизму глифосата, а также возможность управления их физиолого-биохимическим состоянием через варьирование светового режима, определяют высокий потенциал их применения в системах биологической очистки сточных вод от гербицидного загрязнения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оценку эффективности деградации глифосата и разработку оптимизированных технологических режимов культивирования.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 26-26-20041 и при поддержке правительства Севастополя.

НОВЫЕ ВИДЫ БЕНТОСНЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ: ПОЛИФАЗНЫЙ И ГЕНОМНЫЙ ПОДХОД В ТАКСОНОМИИ

Сороковикова Е.Г., Тихонова И.В., Краснопеев А.Ю., Гутник Д.И., Белых О.И.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: katrin@lin.irk.ru

Фитобентос Байкала исследуется с начала XX века. Наиболее подробные сведения о нем были получены в 1961–1985 гг. в ходе круглогодичных исследований вдоль всего побережья озера и оформлены Л.А. Ижболдиной в виде монографий [1,2]. Показано, что отдел Cyanophyta представлен в Байкале 51 видом и разновидностью [2]. В 1984 г. на основе морфологического изучения природных образцов был описан новый вид *Microcoleus baicalensis* Izb.

Современный подход к таксономии цианобактерий, предполагающий получение культур и изучение их морфологии, ультраструктуры клеток, 16S рДНК и вторичной структуры ITS-последовательностей, получил название полифазного. С развитием новых методов секвенирования все чаще применяется геномный анализ штаммов. В этом случае основными критериями выступают показатель средней нуклеотидной идентичности (ANI), а также филогеномные деревья. Такой комплексный подход дает наиболее достоверное разграничение близкородственных видов цианобактерий и позволяет выявить их скрытое разнообразие.

С 2011 г. в литоральной зоне озера Байкал отмечается ряд негативных явлений, которые были охарактеризованы как экологический кризис. Наблюдаются вспышки массового развития бентосных цианобактерий, колонизация необычных для них субстратов, например, байкальских эндемичных губок. Для понимания причин этих явлений необходима точная идентификация видов, формирующих обрастания.

В 2015–2016 гг. из бентосных обрастаний оз. Байкал были выделены два штамма нитчатых цианобактерий: ВВК-W-15 и ВВК16. Исследование штаммов с помощью полифазного и геномного подходов позволило описать новый род и вид *Limnofasciculus baicalensis* Sorokovikova & Tikhonova [3]. Этот вид формирует массивные кустистые обрастания на камнях, песке, погруженных предметах и губках. Предположительно ранее он упоминался для Байкала как *Schizothrix* sp. [2], однако размер колоний современного *L. baicalensis* в 10–60 раз крупнее, что может быть связано с изменением условий среды. Второй вид, описанный нами как *Tychonema litorale* Sorokovikova & Tikhonova [4], формирует биопленки на камнях, песке, погруженных предметах, часто встречается на макрофитах и губках. Колонизация биогенных субстратов, вероятно, связана со способностью вида к миксотрофии. Таким образом, применение современных таксономических подходов позволило выявить новые для науки виды и связать их морфофизиологические особенности с экологической ролью в озере Байкал.

Работа выполнена в рамках госзадания ЛИН СО РАН № 1023032700318-2-1.6.2.

1. Ижболдина Л.А. Мейо- и макрофитобентос озера Байкал (водоросли). – И.: Изд-во Иркут. ун-та, 1990. – 176 с.
2. Ижболдина Л.А. Атлас и определитель водорослей бентоса и перифитона озера Байкал (мейо-и макрофиты) с краткими очерками по их экологии. – Н.: Изд-во Наука-центр, 2007. – 248 с.
3. Sorokovikova E. et al. *Limnofasciculus baicalensis* gen. et sp. nov. (Coleofasciculaceae, Coleofasciculales): A new genus of cyanobacteria isolated from sponge fouling in Lake Baikal, Russia // *Microorganisms*. 2023. V. 11. P. 1–24. DOI: 10.3390/microorganisms11071779.
4. Sorokovikova E. et al. *Tychonema litorale* sp. nov. (Microcoleaceae, Oscillatoriales): A new species of cyanobacteria associated with ecological crisis in Lake Baikal coastal zone // *Diversity*. 2026. V. 18. P. 84. DOI: 10.3390/d18020084.

МНОГОЛЕТНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭПИФИТОНА ОЗЕРА КРАСНОГО (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Станиславская Е.В.

*Институт озерадения РАН - Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский
центр РАН, Санкт-Петербург, Россия.
e-mail: stanlen@mail.ru*

Озеро Красное расположено в центральной части Карельского перешейка (север Ленинградской области). На этом озере находится Лимнологическая станция Института озерадения РАН – СПб ФИЦ РАН, на которой проводятся многолетние наблюдения за его гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим режимами. Исследования эпифитона оз. Красного начались в начале 70-х годов прошлого века в период его интенсивного эвтрофирования [1]. Они были продолжены в 90-х гг., но наиболее полные и регулярные наблюдения охватывают период с 2000 по 2025 г. [2,3]. На протяжении всего периода наблюдений менялись как водность, так и термический, гидрологический и гидрохимический режимы озера.

В эпифитоне оз. Красного в течение многих лет преобладали широко распространенные диатомовые, зеленые и цианобактерии. Виды этих водорослей определяли структуру комплексов эпифитона на разных видах высшей водной растительности. На протяжении длительного периода исследования таксономический состав эпифитона оставался относительно постоянным. Доминирующие виды практически не менялись, но количественное развитие отличалось по сезонам и годам. Такие виды диатомовых водорослей, как *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz., *T. fenestrata* (Lyngb.) Kütz., *Fragilaria capucina* Desm., *Melosira varians* Ag., *Gomphonema acuminatum* Ehr., *Cymbella cistula* (Ehr.) Kirchn., *C. lanceolata* Ag., постоянно формировали комплекс доминирующих видов в весеннее и осеннее время. В летнее время в эпифитоне преобладали виды рода *Oedogonium*, *Stigeoclonium tenue* (C.Agardh) Kützing, *St. farctum* Berthold, а также *Heteroleibleinia kossinskajae* (Elenk.) Anagn. & Kom., *H. kuetzingii* (Schmidle) Compère. Структура и динамика биомассы изменялись по годам и зависели от климатических и гидрологических факторов. Наиболее существенным фактором развития обрастаний является изменчивость уровня режима озера. Значительные колебания уровня озера приводили, как правило, к изменению видового богатства комплексов, выпадению отдельных доминирующих видов и варьированию количественных показателей. В маловодные годы наблюдалось увеличение роли цианобактерий и наиболее высокие показатели биомассы эпифитона, тогда как в многоводные теплые периоды преобладали зеленые водоросли при низком уровне биомассы. Однако четкой достоверной зависимости биомассы и содержания хлорофилла эпифитона от уровня режима выявить не удалось. В целом, состав и продуктивность водорослей эпифитона, несмотря на сезонные особенности разных лет и межгодовые изменения, достаточно стабильны и находятся на уровне озер мезотрофного и слабоэвтрофного типа.

1. Басова С.Л. Состав, распределение и продуктивность перифитона и микрофитобентоса / Биологическая продуктивность озера Красного (Андроникова И.Н., ред). – Л.: Наука, 1976. – С. 104–120.
2. Станиславская Е.В. Многолетние исследования структуры и продуктивности перифитона озера Красного / Озерные экосистемы: Биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды. Матер. междунар. науч. конф. (12–17 сентября 2011 г., Минск–Нарочь). – Минск, 2011. – С. 85–88.
3. Станиславская Е.В. Многолетние изменения состава и структуры растительного перифитона / Многолетние изменения биологических сообществ мезотрофного озера в условиях климатических флуктуаций и эвтрофирования / ред. И.С. Трифонова. – СПб: Изд-во «Лема», 2008. – С. 65–83.

ДИНАМИКА ЦИАНОБАКТЕРИЙ ПЛАНКТОТРИХЕТОВОГО КОМПЛЕКСА В «УМИРАЮЩЕМ» ОЗЕРЕ (НА ПРИМЕРЕ ОЗ. БЕЛОЕ КОСИНСКОЕ, Г. МОСКВА)

Старцева Н.А., Лукашова Т.А., Никишин Д.А.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
e-mail: startseva@bio.unn.ru

В современных мегаполисах малые озера и реки становятся важной частью городского ландшафта. Такие водоемы рассматриваются не только как транспортные пути или декоративные элементы, но и как критически важные активы, которые, наряду с парками и скверами, формируют устойчивую, комфортную и здоровую городскую среду. Однако городские мелководные эвтрофные озера обладают благоприятными условиями (высокое содержание биогенных элементов, низкая прозрачность воды, низкий водообмен, небольшая глубина) для развития цианобактерий так называемого «планктотрихетового» комплекса. Это нитчатые безгетероцистные цианобактерии *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom., *Limnothrix redekei* (Van Goor) Meffert, *L. planctonica* (Wolosz.) Meffert, *Planktolynghya limnetica* (Lemm.) Komárková-Legnerová et Cronb., *Pseudanabaena* spp. и др. Опасность массового развития этих водорослей – в их способности продуцировать цианотоксины, угнетающие флору и фауну. Кроме того, устойчивые к самозатенению цианобактерии планктотрихетового комплекса при своем массовом развитии вытесняют из доминантов светолюбивых хлорококковых водорослей и диазотрофных цианобактерий, проигрывающих им в борьбе за световой ресурс, тем самым катастрофически меняя структуру альгоценоза, что может привести к гибели экосистемы в целом.

Озеро Белое – одно из трех озер Косинского озерного комплекса, находящегося на территории Косино-Ухтомского района в восточном округе г. Москвы и входящего в состав ООПТ «Природно-исторический парк «Косинский». Отбор проб на данном водоеме проводился ежемесячно с сентября 2021 г. по декабрь 2024 г. в пелагической зоне. За период исследований в планктоне оз. Белое обнаружено 107 видовых и внутривидовых таксонов водорослей. Отдел Cyanophyta представлен 19 видами, 6 из которых входят в планктотрихетовый комплекс. В исследованный период наиболее высокие значения биомассы цианобактерий ($31,4 \text{ г/м}^3$) были отмечены подо льдом в декабре 2021 г., когда в планктоне доминировали *L. planctonica*, *L. redekei* и *P. agardhii*. В 2021–2022 гг. основные сезонные колебания биомассы цианобактерий определял *L. redekei* (до $18,5 \text{ г/м}^3$). Вторым по значимости был *P. agardhii*, который присутствовал постоянно, но с меньшими значениями биомассы (до $8,1 \text{ г/м}^3$). Вспышки развития *L. planctonica* были отмечены в декабре 2021 и 2022 гг., когда его биомасса достигала $15,7\text{--}19,7 \text{ г/м}^3$ соответственно. В 2023–2024 гг. основным доминирующим видом стал *P. agardhii*. Максимумы его развития ($>10 \text{ г/м}^3$ и до $21,5 \text{ г/м}^3$) отмечались в феврале и августе 2023 г., а также марте и мае 2024 г. В сентябре 2024 г. главенствующую роль в альгоценозе снова начал играть *L. planctonica* ($14,6 \text{ г/м}^3$). Вероятно, особенности сезонной и межгодовой динамики развития цианобактерий в оз. Белое определяются уникальным сочетанием их физиологических адаптаций, различием экологических ниш и сложными межвидовыми взаимодействиями, а потенциальная угроза продуцирования ими цианотоксинов требует организации всесторонних мониторинговых исследований.

Авторы благодарят сотрудников географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова Д.И. Соколова, М.А. Терешину и О.Н. Ерину за предоставленные пробы фитопланктона. При поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЛАДОЖЬЯ

Стручкина Д.П., Трифонова И.С.

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Институт
озероведения, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: daryastruchkina@yandex.ru

Озера Карельского перешейка, входящие в водосборную систему Ладожского озера, испытывают возрастающую антропогенную нагрузку в связи с развитием рекреационной деятельности, индивидуальным строительством на берегах и строительством современных дорог. Кроме того, большую угрозу водной сети региона представляет интенсивная вырубка лесов. В связи с возрастающим загрязнением и эвтрофированием озер все более актуален мониторинг их экологического состояния. В системе мониторинга важную роль играет биоиндикация по фитопланктону. В 2023–2025 гг. проведены исследования фитопланктона четырех озер северо-западного Приладожья – Лопастное, Суури, Узкое и Кузнечное, ранее неизученных в альгологическом отношении. Целью работы было определение видового состава, количественных характеристик фитопланктона и оценка трофического статуса озер по биомассе фитопланктона и содержанию хлорофилла.

Исследованные озера расположены на северо-западном побережье Ладожского озера, относятся к одной озерно-речной системе, имеющей сток в Ладогу. Они имеют ледниковое происхождение, различаются по морфометрии. Длина озер от 1,2 до 2 км, ширина – 0,12–0,7 км. Максимальная глубина колеблется от 5 м в оз. Суури до 16 м в оз. Узком. Оз. Узкое отличается устойчивой стратификацией и наличием бескислородной зоны в течение всего периода исследований.

Выявлена значительная разница в составе альгофлоры озер. Максимальное число таксонов отмечено в оз. Узкое – 69, минимальное в оз. Кузнечное – 32. В озерах Суури и Лопастное отмечено по 60 таксонов. В стратифицированном оз. Узкое по числу таксонов наиболее разнообразны зеленые, диатомовые и эвгленовые водоросли. По биомассе преобладали жгутиконосцы из криптофитовых, хризофитовых, эвгленовых и десмидиевая *Closterium acutum* Brebisson. Максимальная биомасса в поверхностном слое отмечалась только весной. Летом и осенью наибольшие величины отмечались над слоем скачка (4–6 м). В зарастающем оз. Суури по биомассе преобладали криптофитовые, зеленые и динофитовые водоросли. В оз. Лопастное доминировали хризофитовые, диатомовые и *Gonyostomum semen* (Ehrenberg) Diesing. В оз. Кузнечном весной преобладали по биомассе хламидомонады, а летом отмечено абсолютное доминирование цианобактерий, в основном *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Born. & Flah. и *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek. Максимальная величина биомассы в этом озере достигала 166,5 г/м³, средняя за сезон – 45,6 г/м³, что позволяет считать оз. Кузнечное гипертрофным. По составу и количественным характеристикам фитопланктона оз. Узкое со средней биомассой около 1 г/м³ – мезотрофное. Озера Суури и Лопастное – мезотрофные с признаками эвтрофии, среднее значение биомассы 1,6 г/м³, содержание хлорофилла – 5,6 мг/м³.

Различия сообществ фитопланктона и разные трофические условия озер определяются разной степенью антропогенной нагрузки. К наиболее неблагоприятным водоемам можно отнести оз. Кузнечное. На его берегах расположен одноименный поселок, работает карьер по добыче щебня, вокруг – несколько оживленных дорог. Критическое состояние экосистемы озера требует срочного снижения антропогенного воздействия, которое оно испытывает.

ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА ФИТОСТИМУЛИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ ВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ ПРИ ГИДРОПОННОМ ВЫРАЩИВАНИИ КРЕСС-САЛАТА

Сущенко Р.З.¹, Ренганатхан П.², Гайсина Л.А.²

¹ Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия;

² Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия
e-mail: allaguvatova@yandex.ru

Гидропоника представляет собой способ выращивания растений в беспочвенной среде с добавлением питательных веществ и воды. В ходе проведения скрининга штаммов микроводорослей и цианобактерий, применимых для стимулирования роста культурных растений в условиях гидропоники, мы столкнулись с проблемой высокого расхода лабораторных ресурсов. Ряд характеристик и примеров по успешному выращиванию кресс-салата в беспочвенных условиях позволили нам выбрать этот объект для разработки экспресс-диагностики фитостимулирующей активности водорослей и цианобактерий в гидропонике. Было исследовано влияние суспензии штаммов цианобактерий и водорослей на длину и сырую массу побегов и корней кресс-салата. Эксперименты проводили согласно методике, описанной ранее [1]. Штаммы выращивали на среде Z8 [2] с модификациями, которая служила контролем. При статистическом анализе для попарного сравнения контрольной и опытных групп использовали критерий Манна – Уитни.

Обработка растений кресс-салата суспензией цианобактерии *Kovacikia brockii* BCAC 1302 при гидропонном выращивании привела к увеличению длины и массы побегов ($U = 0,0338$ и $U = 0,027$ соответственно, при $p < 0,05$). Обработка суспензией водоросли *Vischeria magna* UTEX 2351 способствовала достоверному увеличению длины и массы корней ($U = 0,0002$ и $U = 0,0001$ соответственно, при $p < 0,05$). Суспензия цианобактерии *Nostoc edaphicum* BCAC 1301 оказала фитостимулирующий эффект на длину корней ($U = 0,0332$ при $p < 0,05$), а *Bracteacoccus giganteus* H.W. Bischoff & H.C. Bold способствовал увеличению длины побегов ($U = 0,0403$ при $p < 0,05$).

Полученные результаты подтверждают положительное влияние перечисленных штаммов цианобактерий и водорослей на ростовые характеристики кресс-салата, выращиваемого в условиях гидропоники, и позволяют рекомендовать их в качестве стимуляторов роста.

Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда (проект № 25-24-00481).

1. Vildanova G.I. et al. Application of *Chlorella vulgaris* Beijerinck as a biostimulant for growing cucumber seedlings in hydroponics // BioTech. 2023. V. 12. P. 42. DOI: 10.3390/biotech12020042.

2. Carmichael W.W. Isolation, culture, and toxicity testing of toxic freshwater cyanobacteria (blue-green algae) / Fundamental research in homogenous catalysis 3 (Shilov V., Ed.). – New York: Gordon & Breach, 1986. – P. 1249–1262.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Сысова Е.А.

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

e-mail: sysovaelena@mail.ru

В условиях современной цифровизации невозможно представить развитие любой науки в отрыве от информационных технологий. В любой сфере деятельности ученые ежедневно сталкиваются с огромными массивами данных, которые, в силу их объема, уже невозможно обработать вручную.

В гидроэкологии математические модели и искусственный интеллект (ИИ) внедряются как необходимая составляющая для обработки экологической информации. Согласно ряду авторов, основными направлениями использования ИИ в экологии являются экологический мониторинг, прогнозирование опасных токсикологических процессов, а также робототехнические системы, направленные на отбор проб с глубин с высокой точностью. Анализ истории использования моделей в водных экосистемах показывает непрерывное усовершенствование математического аппарата, применяемого в гидроэкологических исследованиях, благодаря развитию современной вычислительной техники, позволяющей сократить ошибки и погрешности в расчетах.

С использованием математического моделирования разрабатываются модели эвтрофирования водоемов для прогноза состояния экосистемы и возможных путей предотвращения ухудшения экологического качества вод в условиях антропогенной нагрузки, а также предсказания токсического цветения водоемов. Разработаны модели закономерностей динамики содержания кислорода в придонном слое водоемов. Предложены модели динамики планктона, выявляющие влияние концентраций биогенных элементов на сообщество фито- и зоопланктеров. В настоящее время разрабатываются модели динамики фитопланктона под воздействием меняющихся условий среды обитания. Разрабатываются имитационные модели, отражающие динамику развития фитоперифитона на субстрате.

Использование сверточных нейронных сетей позволяет обнаруживать сбои в системах регистрации датчиков гидрологических режимов, корректировать их и прогнозировать расчет данных для бесперебойной работы и повышения точности результатов. Нейронные сети могут быть использованы для распознавания и классификации видов водорослей. Сравнительный анализ CNN-моделей показывает их потенциал для успешного определения видов водорослей при наличии достаточной базы иллюстративных данных для успешного машинного обучения. Применение гибридных методов глубокого обучения и машинного обучения оказывается наиболее эффективным для распознавания видов водорослей. Применение UNet-архитектуры глубокого обучения позволяет прогнозировать сезонную и многолетнюю динамику развития биомассы фитопланктона в океанах.

Развитие подобного рода моделей приведет к качественно более высокому уровню исследований продукционных процессов в водоемах. Применение нейронных сетей совместно с базами данных альгологических исследований будет способствовать углублению знаний о роли микроводорослей в экосистемах.

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ЖГУТИКОВЫХ PROTISTA ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРСКОГО КАСКАДА

Таничев А.И.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: atan_65@mail.ru

Культивирование низших эукариот (жгутиковых Protista) водохранилищ Ангарского каскада ведется в отделе ультраструктуры клетки Лимнологического института СО РАН с 2024 года. Создание монокультур – важный этап исследования таксономического разнообразия водоемов методами молекулярно-генетической идентификации (штрихкодирования). Многие таксоны Protista морфологически идентичны, и не все обладают видоспецифическими элементами ультраструктуры (например, чешуйками надмембранных покровов у жгутиковых Chrysophyta, Thaumatomonadida и др.), выявляемыми электронной микроскопией [1]. Помимо таксономических исследований, культуры Protista могут быть использованы для выделения биологически активных метаболитов.

Основой среды для культивирования простейших ангарских водохранилищ является нативная вода из Иркутского водохранилища (правобережье, вблизи п. Большая Речка, выше по течению). Воду фильтруют, затем автоклавируют. Для получения высокой численности клеток жгутиковых необходимо предварительно обеспечить в культуральной среде рост численности бактерий, которыми питается основная масса жгутиконосцев. С этой целью к нативной воде добавляют почвенную вытяжку [2] в соотношении 1:20, pH = 6–8.

Основные методы выделения монокультур:

1. Микроманипуляция – выделение клеток с помощью капиллярной пастеровской пипетки, вытянутой на спиртовой горелке. Для эффективности метода процесс выделения клеток следует проводить под визуальным контролем в поле инвертированного микроскопа ($\times 5$).
2. Серийное разбавление – наиболее подходящий метод в случае работы с мелкими (менее 15 мкм) клетками Protista. Материал последовательно, с разбавлением 1:10, 1:100, 1:1000 и т.д., переносится в лунки со стерильной культуральной средой 9- или 12-луночного планшета.

Изоляты хранятся в условиях без доступа света в пластиковых чашках Петри при уровне культуральной жидкости 5–8 мм. Для поддержания выделенных штаммов проводится регулярное (4–5 недель) пассирование. Контроль роста культур ведется через 3, 6 и 10 суток после посева. В настоящее время в отделе ультраструктуры водорослей ЛИН СО РАН содержится 7 монокультур и 5 смешанных (2–3 вида) культур из Иркутского, Братского, Усть-Илимского и Богучанского водохранилищ. Один из изолятов (Иркутское водохранилище, 2024 г.) определен как новый вид *Thaumatomonas sibirica* Bessudova [3].

Работа проведена в рамках бюджетной темы ЛИН СО РАН № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR-2026-0001).

1. Hausmann K. et al. Protistology. – Berlin: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2003. – 379 p.
2. Нестерова Л.Ю. и др. Культивирование бактерий, одноклеточных эукариот и изолированных клеток. Учебное пособие. – Пермь: Изд. ПГНИУ, 2024. – 87 с.
3. Bessudova A.Yu. et al. A New Species of Colourless Flagellates, *Thaumatomonas sibirica* sp.n. (Thaumatomonadida, Protista) According to Ultrastructural Data and Molecular Phylogeny // Journal of Eukaryotic Microbiology. 2026. V. 73. P. e70067. DOI: 10.1111/jeu.70067.

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАТОМОВЫХ РОДА *PSEUDO-NITZSCHIA* ИЗ ЮЖНО-КИТАЙСКОГО МОРЯ (ВЬЕТНАМ): МОРФОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ДАННЫЕ, ТОКСИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

Тарасова А.И.^{1,2}, Кезля Е.М.¹, Капустин Д.А.¹, Мальцев Е.И.¹, Доан Нху Х.³,
Нгуэн Нгок Л.³, Хюинь Тхи Нгок Д.³, Куликовский М.С.¹

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;

² Биотехнологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;

³ Институт океанографии Вьетнамской академии наук и технологий, Нячанг, Вьетнам
e-mail: tarasovaai04@mail.ru

Диатомовые водоросли рода *Pseudo-nitzschia* Н. Peragallo широко распространены в Мировом океане и являются основными продуцентами домоевой кислоты (ДК) – нейротоксина с высокой термостабильностью [1]. При массовом развитии токсигенных видов *Pseudo-nitzschia* ДК накапливается в моллюсках и передается по пищевым цепям, вызывая у человека нарушения функций ЖКТ и нервной системы. По данным AlgaeBase, известно 62 вида и 5 вариаций *Pseudo-nitzschia*, из них 26 видов токсигенны. Наличие криптических и псевдокриптических видов указывает на необходимость сочетания морфологических и молекулярных данных для точной идентификации. В связи с высоким уровнем потребления морепродуктов населением Вьетнама оценка токсического потенциала *Pseudo-nitzschia* представляет собой актуальное направление современных исследований. Для мониторинга распространения и развития представителей рода с использованием современных подходов NGS-секвенирования необходимо пополнение баз данных охарактеризованными и хорошо задокументированными референсными нуклеотидными последовательностями.

Материалом для работы послужили пробы планктона, отобранные в прибрежных водах Южно-Китайского моря (Вьетнам) в июле 2024 г. Изолировано 16 штаммов рода *Pseudo-nitzschia*. Определение видовой принадлежности штаммов проводили на основании морфологических признаков и молекулярных данных по регионам 18S-ITS и LSU рРНК. Для определения концентрации ДК использовали метод конкурентного ИФА с набором реагентов 5191DOMO (R-Biopharm ELISA, Euro Proxima, Нидерланды) в соответствии с инструкцией производителя.

На основе морфологического анализа и молекулярных данных изученные штаммы отнесены к трем видам: *P. calliantha* Lundholm, Moestrup & Hasle (3 штамма), *P. fukuyoi* H.Ch. Lim, S.T. Teng, Ch.P. Leaw & P.T. Lim (2 штамма), *P. pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle (5 штаммов). Шесть штаммов, морфологически близких к *P. pungens*, на филогенетическом древе формируют отдельную кладу, что указывает на необходимость более детального изучения и уточнения их таксономического положения. В результате проведения ИФА ДК была обнаружена в 12 из 16 исследованных штаммов. Среди них токсин присутствовал в четырех из пяти штаммов *P. pungens* (0,36–2,52 нг/мл) и во всех штаммах *P. calliantha* (0,24–1,64 нг/мл). Для *P. fukuyoi* установлена гетерогенность по наличию токсина – ДК обнаружена только в одном из двух штаммов. В группе из шести штаммов с неуточненным таксономическим положением ДК была обнаружена в четырех штаммах (0,08–3,8 нг/мл).

Работа выполнена за счет гранта РНФ № 24-44-04006 (<https://rscf.ru/project/24-44-04006/>).

1. Bates S.S. et al. *Pseudo-nitzschia*, *Nitzschia*, and domoic acid: new research since 2011 // Harmful Algae. 2018. V. 79. P. 3–43. DOI: 10.1016/j.hal.2018.06.001.

ФИТОПЛАНКТОН РУКАВА КРИВАЯ БОЛДА (НЕЗАРЕГУЛИРОВАННАЯ ВОЛГА)

Тарасова Н.Г.¹, Быкова С.В.², Мухортова О.В.¹, Семенова А.С.^{1,3}

¹ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия;

² Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Россия;

³ Атлантический филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Калининград, Россия
e-mail: muhortova-o@mail.ru

Дельта Волги, занимающая 19 тыс. км², начинается от с. Верхнее Лебяжье, где она делится на пять рукавов, в том числе Большую Болду, которая в районе Болдинского острова делится на Прямую Болду и Кривую Болду.

В сентябре 2025 г. в рамках комплексных исследований ИБВВ РАН было проведено детальное изучение фитопланктона в рукаве Кривая Болда, с учетом его вертикального распределения и развития в макрофитном сообществе (зарослях лотоса). Пробы отбирали по стандартным гидробиологическим методикам. Параллельно измеряли абиотические параметры и определяли связь водорослей с компонентами прото- и метазоопланктона.

В составе фитопланктона рукава Кривая Болда было зарегистрировано 145 таксонов водорослей, рангом ниже рода. Максимальное видовое богатство водорослей было зарегистрировано в сообществе лотоса. Сходство между альгофлорой планктона, развивающегося в незаросшей части водоема и в сообществе макрофитов, составило всего 40%. Численность водорослей, развивающихся в открытой воде, была ниже, чем в сообществе лотоса в 2,3 раза, а биомасса – в 3,7 раза. Аналогичная картина отмечалась и для представителей зоопланктона. Вероятно, для зоопланктеров в макрофите создаются не только благоприятные абиотические условия, но и пищевые. В сообществе лотоса отмечалась самая низкая смертность зоопланктеров.

Анализ вертикального распределения организмов показал, что сообщества водорослей, развивающиеся на разных глубинах, достаточно близки: коэффициент видового сходства составил 60%. Максимальные показатели численности и биомассы водорослей отмечены на глубине 4 м, минимальные – у дна (5 м), где была зарегистрирована максимальная мутность воды. Основную роль в формировании общей численности фитопланктона играли цианобактерии, в формировании общей биомассы – диатомовые водоросли, а именно *Skeletonema subsalsum* (A. Cleve) Bethge – солоноватоводный, теплолюбивый планктонный вид-космополит. Начиная с 60-х годов XX в. отмечается экспансия этого вида в волжские водохранилища. Максимальное развитие *Skeletonema subsalsum* (A. Cleve) Bethge отмечалось в придонном горизонте. Аналогичное распределение в толще воды было характерно и для зоопланктона.

Таким образом, при изучении фитопланктона рукава Кривая Болда показано, что водоросли предпочитают для своего развития сообщества макрофитов, где формируются более стабильные условия. Для зоопланктеров характерна та же тенденция, что, возможно, связано и с пищевыми отношениями между организмами.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИБВВ РАН № 124032500016-4, № 124032100076-2 и ИЭВБ РАН – филиал СамНЦ РАН) № 1024032600218-3-1.6.20 (FMRW-2025-0046)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ФИТОПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Тараховская Е.Р.^{1,2}, Миронова Д.С.¹, Орлова М.И.¹

¹ Санкт-Петербургский научный центр РАН, Санкт-Петербург, Россия;

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: elena.tarakhovskaya@gmail.com

Как первичный продуцент, играющий ключевую роль в круговороте биогенов и формирующий гидрохимический и трофический статус акватории, фитопланктон является традиционным объектом мониторинга при оценке состояния водоемов. Данная работа посвящена исследованию фитопланктонного сообщества восточной части Финского залива (ВЧФЗ) Балтийского моря. Эта акватория находится под сильным влиянием стока р. Невы, а также ряда более мелких водотоков, что формирует ее специфический гидрологический режим и сложную пространственную структуру распределения планктонных организмов.

В течение вегетационных сезонов 2023–2025 гг. была исследована структура фитопланктонного сообщества на основной акватории прибрежной зоны южного берега ВЧФЗ (мелководная зона, примыкающая к Невской губе, Копорская губа, Лужская губа, Нарвский залив), а также в примыкающих водотоках (устьевые зоны р. Луга, Выбь, Сиса, Коваши, Лужица, Хаболовка, Липовская протока). На основе детального анализа пигментного состава проб воды определяли общее содержание фитопланктона, проводили приблизительную оценку вклада цианобактерий, а также хлорофилл *b*- и хлорофилл *c*-содержащих микроводорослей в состав фитопланктонного сообщества, оценивали физиологическое состояние клеток.

В целом наиболее высокое содержание фитопланктона (0,4–0,8 мг сух. массы/л) было характерно для участков акватории ВЧФЗ, примыкающих к Невской губе и некоторым локальным водотокам (Липовская протока, р. Лужица и Хаболовка). При этом в фитопланктонном сообществе данных зон наблюдалось резкое доминирование цианобактерий (73–87% биомассы). Хлорофилл *b*- и хлорофилл *c*-содержащие водоросли (на акватории ВЧФЗ эти группы преимущественно представлены зелеными и диатомовыми водорослями) составляли соответственно 3–4 и 10–23% биомассы. По мере удаления от Невской губы и локальных водотоков наблюдалось постепенное изменение таксономического состава сообщества за счет снижения доли цианобактерий и увеличения доли других организмов (в первую очередь – диатомовых водорослей). В мористой части Копорской губы и на отдельных участках Лужской губы и Нарвского залива доля представителей этой группы микроводорослей в биомассе фитопланктона доходила до 40–60%. Наиболее сбалансированный состав сообщества с сопоставимым вкладом представителей всех трех групп фотосинтезирующих организмов был характерен для участков акватории с минимальной продуктивностью (Липовское озеро, реки Луга и Выбь, большая часть обследованной акватории Нарвского залива).

Таким образом, можно прийти к заключению, что влияние стока р. Невы (Невской губы) и локальных водотоков, приводящее к формированию гидродинамически активных участков, способствует усиленному развитию фитопланктона в прибрежной зоне ВЧФЗ, однако при этом преимущество получают цианобактерии, и по таксономическому составу фитопланктонное сообщество становится менее сбалансированным. Это создает предпосылки для цианобактериального «цветения воды» в данной части акватории Финского залива.

Работа выполнена при поддержке госзадания FMRU-2023-0002 (123041100032-1).

МЕТАГЕНОМНО-АССОЦИИРОВАННЫЕ ГЕНОМЫ НЕАКСЕНИЧНЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ: ТАКСОНОМИЯ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ОТБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ШТАММОВ ДЛЯ АГРОБИОТЕХНОЛОГИЙ

Темралеева А.Д.¹, Арефьева Н.А.², Каменев А.О.³, Дидович С.В.³

¹ Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН,
ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пуцино, Россия;

² Иркутский государственный медицинский университет, Иркутск, Россия;

³ ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»,
Симферополь, Россия

e-mail: temraleeva.anna@gmail.com

Цианобактерии обладают значительным потенциалом для разработки эффективных биостимуляторов и биоудобрений благодаря способности к азотфиксации, продукции фитогормонов и биологически активных метаболитов, а также растворению иммобилизованных форм фосфора и других биофильных элементов. Целью данного исследования являлся скрининг коллекционных штаммов цианобактерий, получение и функциональная аннотация их метагеномно-ассоциированных геномов (MAG) для обоснованного отбора перспективных для растениеводства штаммов. Из более чем 100 штаммов Всероссийской коллекции микроорганизмов (ВКМ) на основе культурально-морфологических критериев (скорость роста, наличие гетероцистов, акинетов и слизистых образований) отобрано 10 штаммов (ВКМ А1-35, 37, 56, 115, 153, 156, 158, 168, 299, 310). Для всех штаммов проведено полногеномное секвенирование и получены MAG. Оценка качества сборок показала полноту 95,6–100% и уровень контаминации 0,07–4,52%. Таксономический анализ (FastANI, 16S/23S рРНК филогения) выявил принадлежность 7 штаммов к роду *Nostoc*, один штамм (ВКМ А1-153) – к роду *Anabaena*, один (ВКМ А1-158) – к роду *Hassallia*. В составе MAG всех неаксеничных культур идентифицированы последовательности бактерий-спутников филумов Pseudomonadota, Bacteroidota, Actinomycetota и Bacillota.

Функциональная аннотация (Prokka/KEGG, RAST/SEED) выявила высокую представленность генов центрального метаболизма: метаболизма углеводов (293–417 генов), аминокислот (132–160) и кофакторов (128–156). Во всех геномах обнаружены гены систем стресс-ответа и сигнальной трансдукции (до 375 генов), а также гены синтеза вторичных метаболитов, терпеноидов и поликетидов (56–120 генов). На основании функциональных профилей штаммы дифференцированы на три группы: высокопотенциальные с максимальными метаболическими возможностями (ВКМ А1-115, 168, 35, 37); со сбалансированным профилем (ВКМ А1-156, 158, 310, 153); с минимальным числом аннотированных генов (ВКМ А1-299, 56). Интегральный анализ, учитывающий таксономическое и биогеографическое разнообразие, а также наличие ключевых агрономически ценных признаков (способность к синтезу фитогормонов, азотфиксации, мобилизации фосфатов, защите от патогенов и устойчивости к абиотическим стрессам), позволил отобрать три штамма-кандидата для дальнейших прикладных исследований по разработке биопрепаратов для растениеводства: *Nostoc* sp. ВКМ А1-115, *Hassallia pseudoramosissima* ВКМ А1-158 и *Anabaena pirinica* ВКМ А1-153.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00311.

УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ ФИЛЛОФОРЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ГРУНТАХ ДЖАРЫЛГАЧСКОГО ЗАЛИВА ЧЁРНОГО МОРЯ

Терентьев А.С.

Отдел «Керченский», Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (АзНИИРХ),

Керчь, Россия

e-mail: iskander65@bk.ru

Макрофиты Джарылгачского залива в 2001 г. были представлены морскими травами рода *Zostera* и красной водорослью филлофорой курчавой – *Phyllophora crispa* (Hudson) P.S. Dixon. Идентификация вида проводилась по «Определителю зеленых, бурых и красных водорослей морей СССР» [1] с поправкой по Всемирному реестру морских видов (World Register of Marine Species).

По акватории залива филлофора была распределена крайне неравномерно. Ее встречаемость в заливе была довольно низкой: 7–14%. Она была сосредоточена в основном в центральной части залива и в меньшей степени – в восточной. В юго-восточной части залива она граничит с малым филлофорным полем. В западной части залива практически не встречалась. В местах поселения ее численность колебалась от 40 до 240 экз./м², биомасса – от 0,2 до 4341 г/м². В среднем ее численность в местах поселения была 86±28 экз./м², при биомассе 640±520 г/м², а в целом по заливу 8,6±4,1 экз./м², при 63±42 г/м².

Встречаясь только на ракушевых грунтах, наиболее высокого уровня развития филлофора достигала на ракушечниках. Здесь ее встречаемость была 10–30%. Средняя численность равнялась 21±16 экз./м², но могла достигать 240 экз./м². Ее биомасса в среднем равнялась 293±75 г/м², а максимальная могла достигать 4384 г/м².

На песчанистой ракуше уровень развития филлофоры был ниже. Встречаемость составляла 6–20%. Численность в среднем равнялась 8,7±5,6 экз./м², биомасса – 2,0±1,7 г/м². Максимальная численность не превышала 120 экз./м², биомасса – 40 г/м².

На заиленной ракуше уровень развития филлофоры был еще ниже. Встречаемость составляла 4–16%. Численность в среднем равнялась 6,7±2,1 экз./м², биомасса – 0,09±0,03 г/м². Максимальная численность не превышала 80 экз./м², а наблюдаемая максимальная биомасса – 1,04 г/м².

На ракушечниках *P. crispa* может образовывать плотные скопления в виде матов. На песчаной ракуше произрастает в основном небольшими группами. На заиленной ракуше встречаются чаще всего одиночные талломы. Филлофора курчавая практически не встречалась на песчаных грунтах, таких как: песок, илистый песок и песчанистый ил. Она также избегала участков дна, занятых илом.

Чаще всего филлофора встречается на грунтах, содержащих 90% ракуши и по 5% песка и ила. Оптимальный состав грунта для филлофоры, рассчитанный методом линейного программирования, имел следующий состав: ракуша – 80%, ил – 15% и песок – 5%. При таком составе грунта также образуются наиболее крупные и тяжелые талломы. В целом наиболее подходящим грунтом для этого вида в Джарылгачском заливе являются ракушечники, состоящие из 80–87% ракуши 5% песка и 8–15% ила. Таким образом, определяющим компонентом грунта для развития *P. crispa* является ракуша.

1. Зинова А.Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. – М.–Л.: Наука, 1967. – 398 с.

МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА, АССОЦИИРОВАННЫЕ С ЦИАНОБАКТЕРИЯМИ В ПРИРОДНЫХ ОБРАЗЦАХ И НЕАКСЕНИЧНЫХ КУЛЬТУРАХ ИЗ ОЗ. БАЙКАЛ

Тихонова И.В., Краснопеев А.Ю., Сорокикова Е.Г., Потапов С.А., Белых О.И.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: iren@lin.irk.ru

Цианобактерии озера Байкал представлены как мельчайшими пикопланктонными формами (ПЦБ), так и крупными нитчатыми и коккоидными морфотипами, которые встречаются в составе бентосных биопленок или в планктоне. В отличие от эукариотических водорослей, цианобактерии обладают низкой питательной ценностью и продуцируют биоактивные метаболиты, способные ингибировать ряд ферментов, участвующих в биогеохимических циклах бактерий. В процессе своей жизнедеятельности цианобактерии создают специфические условия среды и тем самым формируют устойчивые бактериальные сообщества. За миллионы лет совместного существования между цианобактериями и бактериями сложились устойчивые симбионтные отношения [1].

С помощью высокопроизводительного секвенирования ампликонов V3-V4 фрагмента гена 16S рРНК исследованы образцы ДНК планктона озера Байкал в летний период во время массового развития ПЦБ, природной колонии *Nostoc pruniforme* C. Agardh ex Bornet & Flahault и культивируемых штаммов *Tychonema litorale* BBK16, *Limnofasciculus baicalensis* BBK-W-15, *Synechococcus* sp. BF2, *Leptolyngbya* sp. BF3. Согласно полученным данным, бактерии, развивающиеся в сообществах с доминированием цианобактерий, в основном, являются представителями трех филумов Pseudomonadota, Actinomycetota, Bacteroidota. Среди них в природных пробах преобладали бактерии семейств Caulobacteraceae, Comamonadaceae, Devosiaceae, Beijerinckiaceae, Paracoccaceae, Pseudomonadaceae, Rhizobiaceae, Rhodanobacteraceae, Sphingomonadaceae, Xanthobacteraceae, Nocardiaceae, Phycisphaeraceae, Chitinophagaceae, Microscillaceae, Sphingobacteriaceae. Уникальными спутниками ПЦБ озера Байкал являются представители семейств Chthoniobacteraceae (LD29), Gemmataceae, Plumatobacteraceae (CL500-29), Microtrichaceae (IMCC26207). Эти бактерии обладают «углевод-метаболизирующим» типом метаболизма, редуцированными геномами и способностью к агрегированию с фитопланктоном для полупаразитического образа жизни. В неаксеничных культурах цианобактерий разнообразие бактерий оказалось меньше, но всегда присутствовали актинобактерии семейства Nocardiaceae и планктомицеты-ферментеры семейства Phycisphaeraceae. В культурах цианобактерий, образующих слизистый чехол, часто встречались представители филума Bacteroidota семейств Chitinophagaceae (аэробные амилолитики родов *Lacibacter* и *Terrimonas*), подвижные хемоорганотрофы Sphingobacteriaceae (род *Daejeonella*), утилизирующие полимеры растительного происхождения. Также присутствовали бактерии, потребляющие C1-соединения (метиламин и др.), водород, простые и сложные органические вещества, включая токсины цианобактерий.

Работа выполнена в рамках госзадания ЛИН СО РАН № 1023032700318-2-1.6.2.

1. Tomescu A.M. et al. Earliest fossil record of bacterial-cyanobacterial mat consortia: the early Silurian Passage Creek biota (440 Ma, Virginia, USA) // *Geobiology*. 2008. V. 6. P.120–124. DOI: 10.1111/j.1472-4669.2007.00143.x.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЛАССИЧЕСКИХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ФИТОПЛАНКТОНА НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Тюрнёв И.Н.¹, Цыбекмитова Г.Ц.², Ташлыкова Н.А.², Титова Л.А.¹, Асламов И.А.¹

¹ Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия;

² Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия

e-mail: tyurnev@lin.irk.ru

Фитопланктон как первичный продуцирующий компонент экосистем озер чувствительно реагирует на изменение гидрологических и гидрохимических свойств среды, в связи с чем наблюдаются существенные отличия в межгодовой и сезонной динамике его количественных и таксономических показателей, определяющих динамику развития вышестоящих уровней пищевой цепи. Регулярный мониторинг позволяет выявить трансформации видового состава и биомассы фитопланктона под воздействием климатических и антропогенных факторов, а анализ многолетней динамики – отделить естественные циклические колебания от трендов, обусловленных глобальным изменением климата и антропогенным воздействием [1].

Традиционные методы количественной оценки фитопланктона (световая микроскопия в счетных камерах) трудоемки и применимы лишь в ограниченном масштабе [2]. Вместе с тем широкое распространение получают автоматизированные зонды, регистрирующие флуоресценцию пигментов. Они позволяют быстро проводить экспресс-анализ и получать более подробное представление об экологическом состоянии водоемов [3,4].

В данной работе представлены результаты сравнения осенних мониторинговых экспедиций 2024–2025 годов. Работы проводились на разрезе Маритуй–Солзан протяженностью 31 км, разбитом на 11 станций. Выбор данного полигона обусловлен его особым географическим положением, проходящим через центр циркуляционной ячейки западной части Южного Байкала. В ходе работы использовались как классические методы (подсчет под световым микроскопом), так и современные приборы для экспресс-анализа: зонд качества воды Rinko-AAQ (JFE Advantech, Япония) и многоканальный погружной спектрофлуориметр Phycoprobe (bbe Moldaenke GmbH, Германия). Проведено сопоставление результатов, полученных классическим лабораторным анализом, с инструментальными измерениями с использованием погружных зондов и оценкой статистической значимости полученных связей.

Полученные результаты демонстрируют высокий потенциал комплексного подхода к мониторингу. Он сочетает оперативность инструментальных измерений с точностью методов микроскопии, что повышает качество исследовательских работ.

Работа выполнена в рамках гостемы ЛИН СО РАН № FWSR-2026-0009 (1023032700323-4-1.5.12).

1. Поповская Г.И. и др. Весенний фитопланктон Байкала по данным кругобайкальских экспедиций 2007–2011 гг. // География и природ. ресурсы. 2015. №3. С. 74–84.

2. Евстафьев В.К., Бондаренко Н.А. К точности измерения биомассы фитопланктона озера Байкал // Известия ИГУ. Серия «Биология. Экология». 2008. Т. 1. №1. С. 75–78.

3. Makarov M.M. et al. Environmental monitoring of the littoral zone of Lake Baikal using a network of automatic hydro-meteorological stations: Development and trial run // Sensors. 2021. V. 21. P. 7659. DOI: 10.3390/s21227659.

4. Beutler M. et al. A fluorometric method for the differentiation of algal populations in vivo and in situ // Photosynthesis Research. 2002. V. 72. P. 39–53. DOI: 10.1023/A:1016026607048.

РАЗНООБРАЗИЕ СТОМАТОЦИСТ ХРИЗОФИТОВЫХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Фирсова А.Д.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

e-mail: adfir71@yandex.ru

Золотистые водоросли (хризифитовые) служат индикаторами состояния водоемов благодаря быстрой реакции на изменения условий среды. Стоматоцисты, которые хризифитовые формируют из кремния, резко отличаются от вегетативных клеток, но имеют видоспецифичную морфологию и орнаментацию, видимую только под электронным микроскопом. Так как установление видовой принадлежности затруднено, международная группа по исследованию статоспор (ISWG) разработала цифровое обозначение стоматоцист. За последние годы описано более 800 морфотипов, но видовой статус определен менее чем для 170. Так, например, из 172 видов *Mallomonas* идентифицированы стоматоцисты 32 видов. Определение видовой принадлежности остается важной задачей наших исследований.

Благодаря тому, что стоматоцисты хорошо сохраняются в осадках, их широко используют в палеолимнологии наряду с диатомовыми водорослями. Высокие концентрации цист обнаружены в диатомитах различных геологических периодов. Замечено, что количество стоматоцист уменьшается при усилении эвтрофикации, и было предложено использовать соотношение диатомовых водорослей к стоматоцистам (D/C) для оценки уровня эвтрофикации [1]. В дальнейшем оказалось, что этот коэффициент информативен и для оценки солености воды.

На территории России стоматоцисты изучены слабо, хотя в последние годы интерес к ним несколько возрос. Стоматоцисты хризифитовых описаны в водоемах бассейна Иртыша, Омского Прииртышья и Телецкого озера, из водоемов Ярославской и Мурманской областей, водоемов Оренбургской и Самарской областей и Южного Урала.

Нами изучены стоматоцисты в верхнемиоценовых отложениях Забайкалья, плейстоцен-голоценовых отложениях Чукотки, Витимского плато и озера Хубсугул. Также изучен современный состав стоматоцист в Богучанском водохранилище, в озерах Якутии Лабынкыр и Ворота. В современном планктоне и донных отложениях озера Байкал, а также других водотоках и водоемах Байкальского региона описано более 200 морфотипов стоматоцист. В озере Байкал видовая принадлежность установлена для 18 видов золотистых водорослей.

Изучение стоматоцист с помощью методов электронной микроскопии в современных водоемах с учетом гидрохимических параметров улучшило понимание их роли как индикаторов изменений окружающей среды. Их изучение имеет большое значение не только для оценки современного состояния водоемов, но и для палеореконструкций в Восточной Сибири, а также для палеолимнологии, палеогеографии и эволюционных исследований.

Работа проведена в рамках бюджетной темы ЛИН СО РАН № 1023032700153-7-1.6.17 (FWSR-2026-0001).

1. Smol J.P. The ratio of diatom frustules to chrysophycean statospores: a useful paleolimnological index // *Hydrobiologia*. 1985. V. 123. P. 199–204.

ИЗУЧЕНИЕ РОСТОСТИМУЛИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ ВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ БАЗИЛИКА (*OCIMUM BASILICUM* L.) НА ГИДРОПОННЫХ СИСТЕМАХ

Хилажетдинова Л.Б.¹, Яхин Э.Р.¹, Большакова Э.Р.¹, Ухаткина К.Б.¹, Муфазалова А.С.¹,
Сущенко Р.З.², Ренганатхан П.¹, Назаров Д.К.¹, Гайсина Л.А.¹

¹ Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия;

² Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия
e-mail: lilyburberry5@gmail.com

Гидропоника является одним из наиболее перспективных подходов к круглогодичному получению высококачественной растительной продукции в контролируемых условиях. Среди овощных культур, адаптированных к беспочвенному возделыванию, особое место занимает базилик (*Ocimum basilicum* L.), характеризующийся быстрым ростом, неприхотливостью и урожайностью. Целью настоящей работы явилась оценка ростостимулирующего потенциала различных штаммов микроводорослей и цианобактерий при выращивании базилика на гидропонике.

Эксперименты проводили с использованием 25 штаммов микроводорослей и цианобактерий из Коллекции водорослей и цианобактерий Башкортостана (BCAC). Культивирование штаммов осуществляли на жидкой среде Z8 [1] согласно ранее описанным методикам [2]. За 2 недели до начала экспериментов их пересеивали на среду Хогланда для адаптации к условиям гидропонных систем. Эксперимент состоял из двух серий: в первой серии семена базилика проращивали в чашках, в которые добавляли суспензии разных штаммов; во второй серии проростки выращивали в простых гидропонных системах с добавлением суспензий водорослей и цианобактерий с концентрацией клеток не менее 10⁶ кл./мл. В исследованиях оценивали влияние микроорганизмов на морфологические параметры проростков базилика и содержание хлорофилла. Повторность экспериментов составляла 10. Статистическую обработку результатов проводили с использованием критерия Манна – Уитни.

Результаты работы в целом подтвердили ростостимулирующую активность большинства исследованных штаммов водорослей и цианобактерий и позволяют рекомендовать их для более широкого использования в гидропонных системах в качестве экологически безопасных биостимуляторов.

Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 25-24-00481.

1. Carmichael W.W. Isolation, culture, and toxicity testing of toxic freshwater cyanobacteria (blue-green algae) // Fundamental research in homogenous catalysis 3 (Shilov V., Ed.). – New York: Gordon & Breach, 1986. – P. 1249–1262.

2. Vildanova G.I. et al. Application of *Chlorella vulgaris* Beijerinck as a biostimulant for growing cucumber seedlings in hydroponics // BioTech. 2023. V. 12. P. 42. DOI: 10.3390/biotech12020042.

МИКРОВОДОРОСЛИ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ АГЕНТЫ СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕРОДА: ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРИРОДНЫХ ШТАММОВ

Хлебова Д.Л., Галиева Г.Ш.

Институт экологии, биотехнологии и природопользования, Казань, Россия

e-mail: khlebova.darya@mail.ru

Изменение климата и необходимость снижения концентрации CO_2 в атмосфере обуславливают активный поиск биологических агентов секвестрации углерода. Одним из перспективных объектов в данном направлении являются микроводоросли. Изучение их потенциала особенно актуально для применения в условиях климата Средней полосы России.

Цель данного исследования – оценить эффективность исследуемых изолятов при сравнении устойчивости природных и лабораторных штаммов микроводорослей к воздействию различных абиотических факторов (варьирование питательной среды, уровня pH, присутствие тяжелых металлов, воздействие оксидов серы) с целью выявления наиболее перспективных штаммов для разработки биотехнологий ремедиации. Из различных природных источников в ходе работы было выделено 19 штаммов (№ 1–19). Для их очистки от бактерий и грибов применяли смесь антибиотиков (левомецетин, цефоксим) и фунгицида (нистатин). Также в исследовании использовались лабораторные штаммы из коллекции IPPAS ИФР РАН им. К.А. Тимирязева с регистрационными номерами: С-1, С-11, С-15, С-16, С-17, Р-500, Р-510, Р-511, Р-512. Культивирование осуществляли в колбах Эрленмейера в климатической камере (25 °С, освещенность 100 мкмоль/(м²·с), pH 6,5) на двух питательных средах: 50% среде Тамия в модификации Кузнецова и среде на основе комплексного минерального удобрения «Фертика-Универсал». Накопление биомассы оценивали по оптической плотности культур при 680 нм. Оценку эффективности и устойчивости штаммов проводили в следующих тестируемых условиях: изменение pH от 4 до 9; изменение температуры от 15 до 40 °С (с шагом 5 °С); воздействие тяжелых металлов Cr (0,13 и 1,3 мг/л), Pb (0,054 и 0,54 мг/л), Cd (0,015 и 0,15 мг/л); а также барботирование SO_x .

Результаты скрининга показали, что стимулирование роста всех исследованных штаммов происходило на среде комплексного минерального удобрения. Наиболее эффективными оказались природные изоляты 5, 13 и 10. Штамм 5, выделенный из почвы, продемонстрировал наибольшую устойчивость к изменениям pH. Изоляты 4 и 17 оказались наименее чувствительными ко всем трем тяжелым металлам. Толерантность к металлам также проявили изоляты 9, 11 и лабораторные штаммы С1–С17. При воздействии SO_x рост изолятов 3, 9, 12, 15, 19, С11–С17 был подавлен, тогда как рост изолятов 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 18, наоборот, стимулировался. Для штамма С1 наблюдались разнонаправленные эффекты в зависимости от объема барботирования SO_x . Суммарное количество изолятов со сместившимся оптимумом составило 9 (1 – появление второго пика при 35 °С; 2 – появление пика при 30 °С; 7 и 12, 13, 14 – высокий рост вплоть до 40 °С; 11 и 15 – сдвиг пика на 30 °С; 16 – сдвиг пика на 35 °С).

По итогам комплексного скрининга (балльная система: 2 – толерантность, 1 – промежуточная устойчивость, 0 – чувствительность) природные изоляты 4, 5, 11 и 17 показали наивысшую общую устойчивость к совокупности абиотических факторов (pH, тяжелые металлы, SO_x). Данные штаммы являются наиболее эффективными потенциальными агентами для использования в секвестрации углерода и очистке окружающей среды – экологической и биотехнологической ремедиации.

Работа выполнена в рамках госзадания КФУ, проект № FZSM-2024-0004.

КОНЦЕПЦИЯ РОДА *NODOSILINEA* (NODOSILINEALES, CYANOBACTERIOPHYTA): КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛЮЧ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДОВ

Хмельницкая М.А., Темралеева А.Д.

Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, ФИЦ ПНЦБИ
РАН, Пущино, Россия
e-mail: mkhmelnitskaya17@mail.ru

Род цианобактерий *Nodosilinea* Perkerson et Casamatta был выделен из полифилетичного рода *Leptolyngbya* Anagnostidis et Komárek и описан на основании морфологического и молекулярно-генетического анализа [1]. Его представители характеризуются широкой экологической пластичностью [2]. Морфологической особенностью данного рода цианобактерий является способность формировать узелкоподобные структуры из плотных скоплений клеток (nodules) при низкой освещенности [3]. По состоянию на март 2026 года *Nodosilinea* насчитывает 18 видов [4,5]. Тем не менее, их существующие описания разрознены и не сведены в единый диагностический ключ. Актуальность проведенного исследования обусловлена необходимостью разработки диагностического ключа для идентификации видов, который будет учитывать широкий диапазон морфологических и экологических особенностей представителей рода *Nodosilinea*, а также их вариабельность.

Задачами настоящей работы являются:

1. обобщить морфологические признаки, определяющие видовую принадлежность;
2. привести эколого-географическую характеристику описанных видов рода *Nodosilinea*;
3. систематизировать данные о филогенетических маркерах, используемых для разграничения видов рода;
4. составить диагностический ключ для эколого-морфологической идентификации видов рода *Nodosilinea*.

Результатом исследования является составление комплексной характеристики представителей рода *Nodosilinea* и создание диагностического ключа, что позволит предварительно идентифицировать виды на основе морфологических и экологических данных перед последующим молекулярно-генетическим анализом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (грант № 075-15-2025-485).

1. Perkerson III R.B. et al. A unique Pseudanabaenalean (Cyanobacteria) genus *Nodosilinea* gen. nov. based on morphological and molecular data // J. Phycol. 2011. V. 47. P. 1397–1412. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2011.01077.x.
2. Cai F. et al. *Nodosilinea hunanensis* sp. nov. (Prochlorotrichaceae, Synechococcales) from a freshwater pond in China based on polyphasic approach // Diversity. 2022. V. 14. P. 364. DOI: 10.3390/d14050364.
3. Темралеева А.Д. и др. Первая находка почвенной цианобактерии *Nodosilinea epilithica* (Synechococcales, Cyanobacteria) в России // Новости систематики низших растений. 2016. Т. 50. С. 125–141. DOI: 10.31111/nsnr/2016.50.125.
4. Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2023. – URL: <http://www.algaebase.org> (Дата обращения 06.02.2026).
5. Wei J. et al. *Nodosilinea jinyiensis* and *Nodosilinea qiaokuensis* – two novel species of *Nodosilinea* (Nodosilineaceae, Cyanobacteria) based on a polyphasic approach // J. Phycol. 2026. DOI: 10.1111/jpy.70133.

ФИЛОГЕНИЯ И МОРФОЛОГИЯ НЕКОТОРЫХ МОНОШОВНЫХ ДИАТОМОВЫХ АЗИАТСКОГО РЕГИОНА

Цеплик Н.Д.¹, Глушченко А.М.¹, Миронов А.В.¹, Генкал С.И.²,
Мальцев Е.И.¹, Нергуи С.³, Куликовский М.С.¹

¹ Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;

² Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия;

³ Монгольский государственный университет, Улан-Батор, Монголия

e-mail: ntseplik@gmail.com

В работе рассмотрены новые для науки и интересные представители моношовных диатомовых водорослей из разнотипных водных объектов Камчатки и Монголии.

Из пресноводных экосистем полуострова Камчатка на основе подробного морфологического анализа предложены к описанию два новых крупноклеточных вида: *Planothidium krascheninnikovii* sp. nov. и *Skabitschewskia elenkinii* sp. nov. Интересной особенностью обоих видов является наличие выростов, расположенных вдоль края бесшовной створки: подобная структура известна лишь для нескольких ранее описанных моношовных таксонов из озера Байкал [1]. В нашей работе данная структура впервые подробно описана с использованием метода сканирующей электронной микроскопии.

Из горячих источников Монголии предложен к описанию вид *Gogorevia mongolothermalis* sp. nov. с использованием морфологического и молекулярно-генетического анализа. Данный таксон отличается от близких видов узкими прямоугольными створками с головчатыми концами и хорошо выраженным центральным полем на бесшовной створке. На филогенетическом дереве штаммы *G. mongolothermalis* sp. nov. с высокой статистической поддержкой образуют отдельную ветвь, которая является сестринской субкладе, включающей штаммы *G. ovalis* Kulikovskiy, Glushchenko, Maltsev & Kociolek и *G. uniseriata* (Y. Shi & B.-H. Kim) Kulikovskiy & Kociolek.

Несколько штаммов рода *Achnanthidium* Kützinger из различных водных объектов Монголии изучены также с использованием полифазного подхода [2]. Описано два новых вида из комплекса *A. minutissimum* (Kützinger) Czarnecki: *A. mongolicum* Tseplik, Nergui & Kulikovskiy и *A. khovsgolense* Tseplik, Nergui & Kulikovskiy. Также впервые изучен с помощью молекулярных методов штамм *Achnanthidium parallelum* J.R. Carter ex Jüttner, D.M. Williams, Ector & C.E. Wetzel, определено филогенетическое положение данного вида. На основе этих данных обсуждаются взаимоотношения между родами *Achnanthidium*, *Psammothidium* Bukhtiyarova & Round и *Rossithidium* Round & Bukhtiyarova.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 25-14-00286 (<https://rscf.ru/project/25-14-00286/>).

1. Kulikovskiy M.S. et al. Lake Baikal: hotspot of endemic diatoms II // *Iconographia Diatomologica*. 2015. V. 26. P. 1–657.

2. Tseplik N. et al. An investigation of *Achnanthidium* (Achnanthidiaceae, Bacillariophyceae) species from Mongolia with the molecular epitypification of *A. parallelum* // *Diatom Research*. 2026. DOI: 10.1080/0269249X.2025.2592665.

ОСОБЕННОСТИ РОСТА ПОЧВЕННОГО ШТАММА *CHLOROCOCCUM OLEOFACIENS* ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Черкашина С.В., Яковийчук А.В., Кочубей А.В.

Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия

e-mail: SvetlanaCherkashina23@yandex.ru

Микроводоросли – это многочисленная группа организмов, обитающих в различных водных и наземных биотопах. Интенсивные исследования последних лет показывают, что микроводоросли имеют ряд специфических качеств – высокую скорость роста, биосинтез и накопление разнообразных по структуре и биологической активности метаболитов (каротиноидов, витаминов, аминокислот, липидов и др.), что важно для биотехнологического производства [1]. При выборе видов для биотехнологических производств одним из ключевых параметров является их скорость роста и продуктивность биомассы. Условия культивирования микроводорослей имеют определяющее значение для достижения максимальных показателей продуктивности биомассы, поскольку напрямую влияют на физиологические процессы и метаболическую активность.

Целью работы было исследование особенностей роста почвенного штамма Ch4 *Chlorococcum oleofaciens* Trainor et H.C. Bold (Chlorophyceae, Chlorophyta) в разных условиях. Для оценки роста штамма его выращивали в колбах Эрленмейера объемом 250 мл с 150 мл среды BBM при температуре 23 ± 2 °C. Начальная концентрация составляла $2,89 \times 10^5$ кл./мл. Были сформированы четыре экспериментальные группы: А – на среде BBM при интенсивности света 70,0 мкмоль/(м²·с), режиме освещения 16:8 ч (свет/темнота); В – на среде BBM при интенсивности света 70,0 мкмоль/(м²·с), режиме освещения 16:8 ч (свет/темнота) с добавлением гидрокарбоната натрия 6,75 г/л; С – на среде BBM при полном затемнении; D – на среде BBM при полном затемнении с добавлением гидрокарбоната натрия 6,75 г/л. Группа А была контрольной.

В результате проведенных исследований установлено, что концентрация биомассы *Chlorococcum oleofaciens* Ch4 увеличилась во всех группах по сравнению с исходным значением после 96 часов культивирования. Наиболее выраженное увеличение биомассы наблюдалось в группе А (в 2,04 раза по сравнению с исходным значением) и в группе В (в 2,72 раза). В условиях затемнения (группа С) концентрация биомассы увеличилась в 1,48 раза по сравнению с исходным значением, а в комбинации с гидрокарбонатом натрия (группа D) – в 1,52 раза.

Таким образом, рост при освещении и добавлении гидрокарбоната натрия был наиболее оптимальным для штамма *Chlorococcum oleofaciens* Ch4.

1. Maltseva I. et al. Biochemical and Antioxidant Characteristics of *Chlorococcum oleofaciens* (Chlorophyceae, Chlorophyta) under Various Cultivation Conditions // Plants. 2024. V. 13. P. 2413. DOI: 10.3390/plants13172413.

СТРАТИФИКАЦИЯ СООБЩЕСТВА ПРЕСНОВОДНЫХ БЕНТОСНЫХ ДИАТОМОВЫХ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА

Чудаев Д.А., Благовещенская Е.Ю.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Биологический факультет, Москва, Россия
e-mail: chudaevda@my.msu.ru

Сообщество водорослей, развивающихся на поверхности и в верхнем слое донного осадка (эпипелоне), играет важную роль в функционировании водных экосистем, однако изучено гораздо слабее по сравнению с сообществами планктона и обрастаний. Данное исследование посвящено изучению стратификации сообщества диатомовых водорослей эпипелона при помощи оригинальной модификации методики Ф.Е. Раунда.

Для эксперимента использовали донный осадок из Стерляжьего пруда (Звенигородская биостанции МГУ), отобранный в июне и июле 2025 г. Сгущенный отстаиванием донный осадок помещали в чашки Петри, накрывали четырьмя слоями нетканого синтетического материала и инкубировали при естественном освещении в течение 24 и 48 часов. Затем верхние три слоя ткани по отдельности фиксировали, смывали клетки водорослей, и изготавливали постоянные препараты створок перекисным методом. В препаратах определяли видовой состав, а затем проводили подсчет относительного обилия видов, просчитывая по 500 створок. Отдельно подсчитывали также по 200 створок крупноклеточных представителей рода *Sellaphora* (группы видов *S. pupula* (Kützinger) Mereschkovsky, *S. laevis* (Kützinger) D.G. Mann, *S. bacillum* (Ehrenberg) D.G. Mann), чтобы выяснить, имеются ли различия в вертикальном распределении морфологически близких видов.

В изученных пробах эпипелона Стерляжьего пруда суммарно выявлено 175 видов диатомовых водорослей из 54 родов. Видовое богатство в отдельном образце ткани составляло от 46 до 75 видов (на 500 створок обсчета). Относительного обилия в 1% и более (хотя бы в одном из образцов) достигал лишь 51 вид. Значения индекса разнообразия Шеннона составляли от 2,4 до 3,8, при этом более низкие значения индекса разнообразия характерны для верхних слоев, которые, напротив, характеризуются более высокими значениями индекса доминирования Симпсона.

Время инкубации (24 или 48 часов) и месяц постановки опыта (июнь или июль) не оказали заметного влияния на структуру выявляемых комплексов видов.

Наибольшим числом видов представлены роды *Sellaphora* (29 видов), *Nitzschia* (18 видов) и *Navicula* (16 видов). Эти же роды характеризуются и наибольшей относительной численностью. Доля створок *Navicula* значимо выше в верхних слоях ткани, то же самое справедливо для конкретных видов – *N. radiosa* Kützinger и *N. cryptocephala* Kützinger.

Для рода *Sellaphora* мы наблюдаем преобладание в нижнем и среднем слоях в целом, в то время как ситуации по конкретным видам отличаются. Например, относительное обилие *S. bisexualis* D.G. Mann & K.M. Evans, достигает максимальных значений в нижнем слое, а доля створок *S. laevis* становится выше в верхних слоях.

Была проведена грубая оценка размеров клеток, на основании которой показано, что в верхних слоях относительное обилие крупноклеточных видов выше, что вероятнее всего вызвано высокой относительной численностью крупных клеток *Navicula radiosa* в верхнем слое.

Таким образом, наши данные свидетельствуют в пользу существования выраженной стратификации сообщества диатомовых водорослей эпипелона в микромасштабе.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ НЕКОТОРЫХ РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМОВ БАССЕЙНА СРЕДНЕЙ ВОЛГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА

Шарагина Е.М.¹, Воденеева Е.Л.¹, Кулизин П.В.¹, Журова Д.А.^{1,2},
Старцева Н.А.¹, Охалкин А.Г.¹

¹ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия;

² Институт водных проблем РАН, Москва, Россия
e-mail: ajugareptans@mail.ru

Оценка качества воды на основании функциональных групп фитопланктона с установлением индекса сообщества Q является достаточно современным методом биоиндикации, позволяющим дать комплексную оценку экологического состояния водоема.

В рамках данной работы дана оценка качества воды четырех разнотипных озер бассейна Средней Волги: Ключик, Светлояр, Великое и Лунское. В большинстве озер исследования проводились в период открытой воды, в озерах Великое и Лунское – также в период ледостава в подледных горизонтах. По своему происхождению озера Ключик и Великое являются карстовыми, Светлояр – термокарстовым, Лунское – пойменным. В озере Ключик четко выделяются две части – холодная глубоководная и прогреваемая мелководная.

В озере Ключик наиболее широко были представлены водоросли из кодонов В, ТВ, D (западная холодноводная часть – пеннатные и центрические диатомеи) и L0 (восточная часть – динофлагелляты). Индекс Q в холодной части варьировал от 3,85 до 4,49 (класс качества вод «хороший» и «высокий»), в прогреваемой наблюдалась тенденция к снижению – от «высокого» класса (4,76) до «хорошего» (3,13). В озере Светлояр состав функциональных групп был более разнообразным и был представлен следующими кодами: W2, X3, X2, F, M, L0, LM, G, J, B, E, U, H1. В более ранние годы исследования (2000–2001, 2011) значения индекса Q находились в пределах 2,15–3,00 (класс качества «удовлетворительный»), в аномально жарком 2010 году значения снижались до 1,02 («низкий»). В 2020 году максимальные значения индекса достигали 3,14, в целом во все сезоны исследования соответствуя классу качества вод «удовлетворительный». В летний период значения индекса снижались за счет доминирования в составе альгоценозов гетероцистных цианопрокариот.

В озере Великом в зимний период были отмечены представители кодонов Y, W1, W2, L0, S1; значения индекса Q соответствовали классу качества «удовлетворительный» в подледной воде. В озере Лунском в зимний период было выявлено значительное преобладание представителей кодона Y (разнообразные криптомонады) при сопутствии W2, J, L0, X2, X3, MP. Класс качества вод оценивался как «удовлетворительный» (подледная вода). В летний и осенний сезоны класс качества вод в данных водоемах оставался неизменным – в пределах «удовлетворительного».

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 25-24-00573.

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА НА ФИТОПЛАНКТОН ЧЁРНОГО МОРЯ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

Шоман Н.Ю., Соломонова Е.С., Акимов А.И.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

e-mail: n-zaichencko@yandex.ru

Широкое применение наночастиц оксида цинка (ZnO НЧ) в хозяйственной деятельности человека делает актуальным вопрос оценки их влияния на окружающую среду. Стандартные краткосрочные экотоксикологические тесты фиксируют лишь острую токсичность и не позволяют оценить отсроченные эффекты воздействия поллютантов. В представленной работе исследовалось влияние ZnO НЧ (10, 20, 30 и 60 мкг/л) на черноморский фитопланктон при длительном культивировании (17 суток) в условиях экспериментальных микрокосмов. Пробы морской воды отбирали в октябре 2025 года вблизи Севастополя между бухтами Карантинная и Севастопольская. В исходной пробе отмечено значительное видовое разнообразие фитопланктона с преобладанием диатомовых (69%), динофитовых водорослей (20%) и кокколитофориды *Emiliania huxleyi* (Lohmann) W.W. Hay & H. Mohler (9%). Абиотические условия роста в экспериментах имитировали значения в природных условиях на момент отбора проб: $t = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $I = 31\text{ Э}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$, светотемновой режим 11:13 ч. Добавки питательной среды не вносились.

Установлен дозозависимый эффект воздействия наночастиц на рост и функциональное состояние микроводорослей. Внесение ZnO НЧ приводило к ингибированию роста, фотосинтетической активности и снижению видового разнообразия фитопланктона. При 10 и 20 мкг/л ZnO НЧ численность сообщества сохраняла положительную динамику. Однако отмечено подавление скорости роста и снижение конечной численности водорослей, которая к 17-м суткам составляла 60 и 21% от контрольных значений. При этом наблюдалось снижение численности массовых планктонных видов, увеличение вклада бенто-планктонных форм, изменение размерной структуры альгоценоза в сторону преобладания мелкоклеточных видов.

При высоких концентрациях ZnO НЧ 30 и 60 мкг/л до 10-х суток эксперимента отмечалось развитие острого токсического стресса, критическое угнетение фотосинтетической активности и деления клеток, снижение численности сообщества. Однако дальнейшее культивирование микрокосмов в этих условиях приводило к восстановлению роста сообщества за счет роста толерантных видов, способных выдерживать высокий уровень токсической нагрузки. К 14-м суткам фотосинтетическая активность фитопланктона восстанавливалась. Видовой состав при этом был представлен всего несколькими видами. Абсолютное доминирование в микрокосмах принадлежало бенто-планктонным формам диатомовых водорослей родов *Licmophora*, *Navicula* и *Nitzschia*. В небольшом количестве регистрировались планктонные виды *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden и кокколитофориды *E. huxleyi*.

Полученные результаты демонстрируют сложный характер ответа фитопланктонного сообщества на загрязнение ZnO НЧ. Основным адаптационным откликом является перестройка видовой структуры сообщества с последующим доминированием более толерантных видов, способных выдерживать высокий уровень токсической нагрузки.

Работа выполнена в рамках гос. задания ФИЦ ИнБЮМ № 124030400057-4.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО И ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Шинкаренко А.Т., Поспелова Н.В.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

e-mail: mirzoevatonya21@gmail.com

Прибрежные полузакрытые акватории подвержены антропогенному воздействию и изменениям гидрологического режима, что обуславливает высокую динамичность фитопланктона, играющего ключевую роль в функционировании экосистемы. Балаклавская бухта характеризуется ограниченным водообменом и испытывает повышенную техногенную нагрузку, связанную со строительством яхтенной марины, туризмом и сточными водами. Цель работы – оценка межгодовой и пространственной изменчивости сообществ планктонных микроводорослей Балаклавской бухты в холодный и теплый сезоны 2023–2025 гг.

Пробы отобраны на четырех станциях от кутовой части до выхода из бухты в открытое море в поверхностном и придонном горизонтах. Идентификацию и учет клеток проводили с применением световой микроскопии в соответствии с методикой [1].

Выявлена межгодовая перестройка таксономической структуры и количественных характеристик фитопланктона. Индексы Чекановского–Сёренсена между сезонами составили: 29% в 2024, 47% в 2025, 54% в 2023 г., что подтверждает высокую изменчивость сообщества. Зимой 2023 г. отмечены высокие количественные показатели фитопланктона (биомасса до 244 мкг/л) при доминировании крупноклеточной диатомовой водоросли *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström; тогда как зимой 2024 и 2025 гг. биомасса снизилась на порядок, а доминирующий комплекс сменился на мелкоклеточные диатомовые (*Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschowsky) и динофлагелляты (*Prorocentrum* spp.). Летом 2023 г. основу биомассы формировала диатомовая *P. alata* в 2024–2025 гг. в поверхностном слое преобладали диатомовые (*Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) B.G. Sundström, *Leptocylindrus danicus* Cleve), в придонном горизонте – кокколитофорида *Emiliania huxleyi*, формирующая до 92–93% общей численности и 41–78% биомассы фитопланктона. Пространственное распределение микроводорослей отражало градиент условий в бухте. В летний период в кутовой части фиксировали развитие мелких жгутиковых, что может служить индикатором обогащения вод органическим веществом. У выхода из бухты структура фитопланктона характерна для открытых мезотрофных вод (преобладали диатомовые *Coscinodiscus* и динофитовые *Triplos*). Увеличение доли бентосных диатомовых (*Licmophora* spp., *Achnanthes* spp.) в придонном слое кутовой части бухты в 2024–2025 гг., по-видимому, обусловлено взмучиванием донных осадков. «Цветения» воды по численности или биомассе фитопланктона в исследуемый период не выявлено.

Таким образом, смена комплексов фитопланктона указывает на высокую динамичность пелагической экосистемы Балаклавской бухты. Придонный слой, особенно в кутовой части, формирует специфическое сообщество, структурные перестройки которого наряду с увеличением доли бентосных форм в планктоне, могут служить индикатором изменения экологической обстановки и уровня техногенного воздействия в акватории.

1. Moncheva S. et al. Manual for phytoplankton sampling and analysis in the Black sea // Phytoplankton Manual. – UP-GRADE Black Sea Scene Project, FP7, 2010. – 67 p.

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ ЭПИФИТОНА *ELLISOLANDIA ELONGATA* (RHODOPHYTA) В ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ МЫСА МАРТЬЯН (П-ОВ КРЫМ, ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Широян А.Г., Бондаренко А.В.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

e-mail: arminka_shir@mail.ru

Природный заповедник «Мыс Мартьян», расположенный в зоне сухих субтропиков Южного берега Крыма, является субсредиземноморским природным комплексом, включающим наземную территорию и прилегающую акваторию Чёрного моря. Наземная и морская флора заповедника характеризуется наличием многочисленных редких и эндемичных видов [1], что обуславливает необходимость регулярных наблюдений за состоянием растительных сообществ. Диатомовые водоросли (ДВ) до сих пор изучены здесь слабо, преимущественно их исследования проводились в 70-е годы XX в. [2]. Расширение сведений о видовом составе ДВ необходимо для решения задачи изучения и сохранения биоразнообразия на заповедных территориях.

Материалом для исследования послужили пробы ДВ эпифитона одной из наиболее распространенных у берегов мыса красной макроводоросли – *Ellisolandia elongata* (J.Ellis et Solander) K.R.Hind et G.W.Saunders, собранные во все сезоны 2025 г. на глубине 0,1–0,25 м при температуре воды от 9 до 25,4 °С и солёности 10,8–15,1‰. Качественную и количественную обработку материала проводили по общепринятым методикам [3]. Идентификацию видов осуществляли с помощью светового микроскопа Axioskop 40 (Carl Zeiss, Германия) и сканирующего электронного микроскопа Hitachi SU3500 (Япония).

За период исследования обнаружено 35 видов и внутривидовых таксонов Bacillariophyta, из которых наиболее разнообразным был род *Navicula* (4 вида). В сообществах эпифитона круглогодично присутствовали 5 видов ДВ: *Berkeleya rutilans* (Trent. Ex Roth) Grun., *Grammatophora marina* (Lyngb.) Kütz., *Hyalosira delicatula* Kütz., *Navicula ramosissima* (Ag.) Cleve, *Tabularia fasciculata* (Ag.) Williams et Round. Экологический анализ показал, что морские виды составляют 47%, солоноватоводно-морские – 40%, солоноватоводные – 6%. Среди ДВ на долю космополитных видов приходится 51%. Отмечено 22 вида-индикатора сапробности органического загрязнения вод с преобладанием группы бета-мезосапробионтов (умеренное загрязнение). Численность ДВ эпифитона в период исследования варьировала от 2 до 43 тыс. кл./см², а биомасса – от 0,006 до 0,5 мг/см². Видовой состав ДВ и их количественные показатели в прибрежной акватории заповедника в целом соответствуют таковым для микрофитобентоса крымского побережья Чёрного моря [3].

Работа выполнена в рамках темы госзадания ФИЦ ИнБЮМ, № 124022400152-1.

1. Царенко П.М. и др. Микроводоросли природного заповедника «мыс Мартьян» и сопредельных территорий // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». 2012. № 3. С. 136–165.
2. Гусляков Н.Е., Маслов И.И. Диатомовые водоросли бентоса акватории заповедника «Мыс Мартьян» (Чёрное море) // Бюллетень Никитского ботанического сада. 1987. № 64. С. 5–9.
3. Рябушко Л.И. Микрофитобентос Чёрного моря. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. – 416 с.

АЭРОФИТНАЯ ВОДОРОСЛЬ *TRETEPOHLIA UMBRINA* В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ: *TERRA INCOGNITA*

Шишлянникова А.Б.¹, Змитрович И.В.²

¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,
Санкт-Петербург, Россия;

² Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: ArBorShi@mail.ru

Аэрофильная водоросль *Trentepohlia umbrina* (Kütz.) Bornet (Trentepohliales, Ulvophyceae) выделяется среди других видов рода очень широкими и легко распадающимися, распростертыми по субстрату нитями без зооспорангиев и субспорангиальных клеток (гаметангии интеркалярные, не отличающиеся от вегетативных клеток), а также ярко-красной окраской клеточного содержимого, обусловленной высоким содержанием β-каротина. Это широко распространенный и легко определяемый даже в полевых условиях вид, не образующий дернинок и существующий в виде порошащего корковидного налета характерной окраски. Он имеет высокий биоиндикационный потенциал, для раскрытия которого сегодня существует ряд ограничений.

В первом приближении экологический портрет этого вида был сформирован достаточно давно (воздушная водоросль, приуроченная преимущественно к коре лиственных деревьев, распространенная на всех континентах, кроме Африки и Антарктиды, с ценооптимумом в умеренной зоне Северного полушария). Однако разработка его деталей (субстратные и ценоотические преферендумы, фенология, выраженность «водно-воздушной тенденции» в различных эколого-географических ситуациях) сталкивается с дефицитом количественных данных.

Прежде всего, до сих пор не ясно, является ли *T. umbrina* одним полиморфным видом или видовым комплексом. Очевидно, этот вопрос будет решен только с привлечением методов молекулярной филогенетики. Однако продвинуться в решении других поставленных выше вопросов возможно с привлечением нового инструментария количественного учета. Для выявления проективного покрытия водоросли на коре нами используется десятисантиметровая прямоугольная сетка (замеры на высотах 0, 1,3 и 3 м по четырем сторонам света). С помощью камеры Горяева проведена градуировка шкал цветов для полевого определения плотности укладки филаментов. Первые хорошо интерпретируемые результаты анализа получаемых массивов данных дает ранговый дисперсионный анализ по критерию Краскела–Уоллиса.

ВЫДЕЛЕНИЕ НОВЫХ ИЗОЛЯТОВ ХИЩНЫХ ПРОТИСТОВ И ПОЕДАНИЕ ИМИ ТОКСИЧНЫХ И НЕТОКСИЧНЫХ ШТАММОВ *MICROCYSTIS AERUGINOSA*, АССОЦИИРОВАННЫХ С ВРЕДНОСНЫМ ЦВЕТЕНИЕМ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Щукина М.О.¹, Загумённый Д.Г.¹, Беляев А.О.¹, Яльцев Г.С.^{1,2},
Загумённая О.Н.¹, Цзян М.^{3,4}, Гун И.^{3,4}, Тихоненков Д.В.¹

¹ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия;

² Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина, Рязань, Россия;

³ Институт гидробиологии Китайской академии наук, Ухань, Китай;

⁴ Колледж перспективных сельскохозяйственных наук Университета
Китайской академии наук, Пекин, Китай

e-mail: moshchukina@yandex.ru

Вредоносное цветение водорослей (ВЦВ), связанное с быстрым размножением цианобактерий, особенно *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing в пресноводных экосистемах, приводит к их деградации и ухудшению качества воды. Зачастую такие цветения сопровождаются выделением цианотоксинов, опасных для здоровья и жизнедеятельности живых организмов. Методы биологического контроля являются одними из наиболее перспективных подходов к борьбе с ВЦВ, однако их использование требует пристального изучения организмов, способных не только подавлять развитие цианобактерий, но и снижать их токсичность. Нами были выделены новые изоляты фаготрофных простейших: жгутиконосцы *Paraphysomonas solis* subsp. *solis* J.M.Scoble & T.Cavalier-Smith и *Diphyllaea rotans* Massart, а также инфузории *Tetmemena pustulata* Eigner, 1999 и *Vorticella* sp. Дана морфологическая и филогенетическая характеристика этих микроэукариот с использованием фазово- и дифференциально-интерференционной контрастной световой микроскопии, трансмиссионной электронной микроскопии, а также молекулярных маркеров 18S рРНК и ITS. Экспериментальные исследования показали, что как жгутиконосцы, так и инфузории способны потреблять токсичные и нетоксичные штаммы *M. aeruginosa*. Однако динамика численности хищника и жертвы в ходе экспериментов по выеданию различалась. *P. solis solis* продемонстрировал самую высокую способность к потреблению клеток *M. aeruginosa* среди исследованных простейших. При этом клетки токсичных штаммов потреблялись быстрее, чем клетки нетоксичных штаммов. *D. rotans* показала устойчивое увеличение численности в присутствии различных штаммов цианобактерий, однако не смогла эффективно сократить их количество. Динамика численности инфузорий в эксперименте была неоднозначной, с неожиданными пиками, тогда как численность цианобактерий колебалась. В присутствии *Tetmemena* наблюдалось образование колоний *M. aeruginosa*, что может быть защитным механизмом цианобактерий от выедания. Наше исследование продемонстрировало высокий потенциал использования *P. solis solis* в качестве агента биоконтроля вредоносного цветения водорослей.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-44-00093, <https://rscf.ru/project/24-44-00093/>.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИТОПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ РЕКИ ВОЛГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ МЕТАБАРКОДИНГА

Щукина М.О.¹, Кирюхин Б.А.², Загумённый Д.Г.^{1,2}, Беляев А.О.^{1,2},
Цветков А.И.¹, Тихоненков Д.В.^{1,2}

¹ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия;

² Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

e-mail: moshchukina@yandex.ru

Фитопланктон – ключевой компонент водных экосистем, чутко реагирующий на изменения различных факторов среды. Крупные речные экосистемы, такие как река Волга, являются трудными для изучения, однако представляют собой хорошие модельные объекты для экологических исследований. Распределение и структура фитопланктонных сообществ в высокоурбанизированных районах с высоким уровнем антропогенной нагрузки на сегодняшний день остаются слабоизученными. Река Волга, самая длинная река в Европе, ранее исследовалась преимущественно с помощью классических методов микроскопии, что существенно ограничивает возможности для оценки фитопланктонных сообществ. Мы впервые описали продольное распределение фитопланктона в р. Волга на основе данных метабаркодинга по гену V4 18S рРНК и вариантов ампликонных последовательностей (ASV), полученных с помощью пакета DADA2 и таксономической классификацией по базе данных PR2. Распределение альфа-разнообразия оценивалось с помощью индекса Шеннона и наблюдаемого богатства с использованием моделей на основе обобщенных наименьших квадратов (GLS). Анализ бета-разнообразия проводился с применением расстояния Брея–Кёртиса и визуализировался с помощью dbRDA. Значимость влияния параметров среды на бета-разнообразие проверялась с помощью пермутационного многомерного дисперсионного анализа (PERMANOVA). Полученные результаты показали снижение уровня альфа-разнообразия фитопланктона от верхнего течения к нижнему. При этом распределение значений метрик альфа-разнообразия в пределах каждой из гидролого-гидрохимических зон реки (верхней, средней и нижней Волги) носило волнообразный или пилообразный характер. На уровень альфа-разнообразия наиболее сильно влияли уровень минерализации, солености и тип проточности биотопа (речные или плесовые участки). Динамика альфа-разнообразия фитопланктона реки Волги соответствует концепции «синтеза речных экосистем» (Riverine Ecosystem Synthesis, RES). Резкие понижения или повышения значений индексов альфа-разнообразия совпадали с зонами боковых притоков реки, а также могли быть обусловлены влиянием антропогенных факторов. Анализ бета-разнообразия показал четкое различие участков реки при помощи методов ординации. Выделенные группы практически полностью соответствовали последовательности биотопов вдоль русла реки. Проанализированные абиотические параметры показали низкий уровень влияния на распределение сообществ. Таким образом, большая часть вариабельности фитопланктонных ценозов осталась не объясненной. Полученные результаты подтверждают известные тенденции распределения метрик альфа- и бета-разнообразия фитопланктона вдоль течения реки Волги, а также выявляют скрытое видовое богатство и тонкие аспекты распределения и структуры сообществ, что подчеркивает важность использования молекулярных методов для изучения биоразнообразия водных экосистем.

DIATOM DIVERSITY AND COMMUNITY STRUCTURE OF LAKE UGII, MONGOLIA

Bukhchuluun Ts.¹, Barkhas L.², Erdenesukh E.²

¹ *Natural plant genbank, Botanic Garden and Research Institute of Mongolian
Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia;*

² *Water recovery LLC, Ulaanbaatar, Mongolia
e-mail: btsegmid@gmail.com*

A crucial freshwater ecosystem in northern Mongolia, Lake Ugii, is experiencing significant environmental deterioration as a result of climate change and increased human pressures including mining, industrialization, livestock grazing, and the overexploitation of forests. Diatoms are recognized as biological indicators of water quality due to their exceptional sensitivity to environmental changes. In this study, the species composition and relative abundance of the diatom species were used to evaluate the status of the aquatic ecosystem. In total, 86 diatom species were identified in 26 samples, and 78% of the species composition has altered. According to comparative analysis with previous data since the 2000s, the overall biodiversity of the studied reservoirs declined. Species lists of 2009 and 2024 overlap in 30 taxa. The richest species composition was observed in the genera *Gomphonema* and *Navicula*. The northern and northeastern shores of the lake showed elevated phosphorus concentrations, which were associated with organic contamination from grazing. Significant bottom instability and a decline in species richness were noted along the Hooloy River, Hoid mergen shanaa, and Saidiin hoshuu. Our findings indicate that human activity is the primary driver of the ecosystem change in Lake Ugii. In order to support the lake's self-purification processes and restore natural equilibrium, specific conservation management measures must be put into place together with a brief decrease in human activity.

ALGAL ASSEMBLAGES AND RADIOCARBON DATING–BASED RECONSTRUCTION OF PALEOLIMNOLOGICAL CONDITIONS IN THE YAMUNA RIVER, DELHI

Chopra V.¹, Sharma J.G.², Sahoo D.³

¹ *Department of Botany, Hindu College, University of Delhi, Delhi-110007, India;*

² *Department of Biotechnology, Delhi Technological University, Delhi-110042, India;*

³ *Department of Botany, University of Delhi, Delhi-110007, India*

e-mail: choprav12@yahoo.com

The Yamuna River originates from the Yamunotri Glacier at 6,387 meters above sea level and flows 1,376 kilometers before merging with the Ganga. It serves as a vital freshwater source for millions of people. In Delhi, its 48-km urban stretch suffers severe ecological degradation due to untreated sewage and industrial discharge. Although this segment constitutes only 2% of the river's length, it contributes roughly 76% of its pollution load [1]. Despite its cultural and historical significance, the Yamuna is now among the most polluted rivers in India.

This study presents the first detailed paleolimnological investigation of the Yamuna, focusing on the reconstruction of prehistoric ecological conditions through sediment core analysis. Samples were taken from two contrasting sites – Site A (Palla village, less urbanized) and Site B (Okhla barrage, heavily polluted). Diatoms, siliceous microalgae sensitive to environmental changes, were used as bioindicators. A total of 31 diatom species were identified from 18 sediment samples, providing ecological insights.

Radiocarbon (¹⁴C) dating, analyzed using CALIB REV 7.1.0, revealed ages ranging from 17,020 BC to 85 BC. Most samples belonged to the Holocene and Pleistocene epochs, with older samples from Site A and younger ones from Site B. Geochemical analyses (SEM-EDAX, CHNS, XRD, XRF) identified elemental and mineral compositions, including heavy metals and oxides. Statistical correlations highlighted relationships between geochemical variables and diatom distributions.

This multiproxy approach – integrating diatom assemblages, radiocarbon dating, and geochemical profiles – offers a comprehensive reconstruction of the Yamuna's ecological history and informs sustainable river management strategies.

1. Said S., Hussain A. Pollution mapping of Yamuna River segment passing through Delhi using high-resolution GeoEye-2 imagery // *Applied Water Science*. 2019. V. 9. P. 1-8. DOI: 10.1007/s13201-019-0923-y.

BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF CYANOBACTERIA FROM TECHNOGENIC DEPOSITS OF THE MURMANSK REGION

Davydov D.¹, Vilnet A.¹, Nevzorova Ju.²

¹ Polar-Alpine Botanic Garden-Institute – Separate Subdivision of Federal Research Centre

“Kola Science Centre”, Apatity, Russia;

² Institute of North Industrial Ecology Problems – Separate Subdivision of Federal Research Centre

“Kola Science Centre”, Apatity, Russia

e-mail: d.davydov@ksc.ru

The Murmansk Region, a highly industrialized area in the Russian Arctic, faces severe environmental degradation from mining and smelting activities. A critical challenge is the reclamation of technogenic substrates, such as ore processing tailings (e.g., apatite-nepheline slime) and thermal power plant ash dumps, as well as sites contaminated with heavy metal (HM) pollution. These materials are typically toxic, low in organic matter, and prone to wind and water erosion, spreading pollutants into surrounding ecosystems.

Cyanobacteria offer a promising alternative to traditional remediation processes because of their ability to colonize bare surfaces, fix nitrogen, and form biocrusts that stabilize the substrate. Their frequent occurrence in metal-contaminated environments suggests evolved tolerance mechanisms, making them ideal candidates for bioremediation strategies. This study aimed to isolate and characterize cyanobacteria from technogenic deposits in the Murmansk Region and assess their potential for use in the remediation of contaminated northern territories.

Surveys were conducted at anthropogenic sites, including apatite-nepheline processing tailings, ash dumps, and industrial barrens. A total of 215 samples were collected, and 67 strains of cyanobacteria and green microalgae were isolated using standard liquid and solid media. Strains were identified by morphological analysis and molecular genetic typing.

For HM tolerance testing, 85 strains were screened in liquid and solid media with copper concentrations ranging from 0.5 to 3 mg/L. Copper removal efficiency was assessed for selected strains using atomic absorption spectrometry. The ability of the *Nostoc* sp. strain to colonize technogenic substrates was tested in a microcosm experiment using copper-spiked (0–10 mg/kg) nepheline slime, with biocrust coverage quantified by digital image analysis after one month.

Molecular genetic analysis of the 67 isolated strains revealed significant diversity, including new species for Russia from ash dumps. Additionally, several strains were identified as presumably new taxa.

The copper tolerance test revealed that 36% of the tested strains could grow at copper concentrations up to 2 mg/L, exceeding the maximum allowed concentration. Among these, *Nostoc* sp. LK-20-1 showed exceptional resilience, surviving at 2 mg/L Cu²⁺, and was selected for further testing. In sorption experiments, the nonviable biomass of this strain removed 67.9% of copper from a 2 mg/L solution, outperforming actively growing cultures (28.4–40% removal). In a one-month microcosm experiment on copper-contaminated nepheline slime, *Nostoc* sp. LK-20-1 successfully colonized the nutrient-poor substrate. It formed extensive biocrusts, covering up to 42% of the surface even under copper contamination (10 mg/kg). This demonstrates the strain's dual capacity for HM tolerance and substrate stabilization.

The successful isolation of diverse and novel cyanobacterial taxa from the extreme technogenic deposits of the Murmansk Region underscores their adaptive capacity and highlights these anthropogenically transformed ecosystems as valuable reservoirs of unique microbial genetic resources.

Work was supported by the Russian Science Foundation according to the project No. 25-14-20011, <https://rscf.ru/project/25-14-20011/>.

COMPATIBLE SOLUTES IN CYANOBACTERIA: BIOTECHNOLOGICAL APPLICATION AND METABOLIC REGULATORY BASIS

Luo Q., Lu X.

Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology, Chinese Academy of Sciences,
Qingdao, PR China

e-mail: lvxf@qibebt.ac.cn, luoquan@qibebt.ac.cn

Upon exposure to high salinity, many cyanobacteria rapidly synthesize and accumulate small-molecule compatible solutes, including glucosylglycerol (GG), sucrose, and trehalose, to maintain cellular osmotic balance. Based on this physiological characteristic, cyanobacteria have been exploited as photosynthetic platforms for the biosynthesis of simple sugars and/or sugar alcohols, representing a promising novel strategy for the sustainable production of sugar feedstocks and functional sugar derivatives.

With regard to GG, a high-value molecule with excellent moisturizing effect and biocompatibility, our group has established a technology for the large-scale production of GG using *Spirulina* as a cell factory [1]. This approach provides an innovative alternative to the enzymatic way of GG production and offers new insights for the further development of the *Spirulina* industry.

In the context of cyanobacterial sucrose biosynthesis, although genetic engineering has greatly improved sucrose productivity, several fundamental questions remain unclear. Using *Synechococcus elongatus* PCC 7942 as a model strain, our group has systematically investigated the signal perception, signal transduction, regulatory mechanisms, and metabolic interactions underlying this physiological process [2,3]. By comparing the effects of ionic and osmotic compounds on cellular physiology, we revealed that the ionic effect of high-salt stress plays the primary role in salt-induced sucrose synthesis. This ionic effect regulates cyanobacterial sucrose metabolism at three levels: transcription, translation, and post-translation. Notably, this process does not rely on signal transduction pathways. Instead, elevated salt concentrations directly target the key metabolic enzymes via a mechanism of ion concentration-mediated synergistic regulation. Such direct modulation of enzyme activity allows rapid regulation of intracellular sucrose levels, enabling fast adaptation of cells to salinity fluctuations. Furthermore, analysis of intracellular glycogen demonstrated that glycogen synthesis is not competitive with sucrose synthesis. Instead, glycogen more likely functions as a carbon pool to support sucrose biosynthesis. These findings revise the conventional understanding of the metabolic relationship between glycogen and sucrose metabolism in cyanobacteria.

1. Luo Q. et al. Biological sources, metabolism, and production of glucosylglycerols, a group of natural glucosides of biotechnological interest // *Biotechnol. Adv.* 2022. V. 59. P. 107964. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2022.107964.

2. Liang Y. et al. Freshwater cyanobacterium *Synechococcus elongatus* PCC 7942 adapts to an environment with salt stress via ion-induced enzymatic balance of compatible solutes // *Appl. Environ. Microbiol.* 2020. V. 86. P. e02904-19. DOI: 10.1128/AEM.02904-19.

3. Qiao C. et al. Effects of reduced and enhanced glycogen pools on salt-induced sucrose production in a sucrose-secreting strain of *Synechococcus elongatus* PCC 7942 // *Appl. Environ. Microbiol.* 2018. V. 84. P. e02023-17. DOI: 10.1128/AEM.02023-17.

DURATION-DEPENDENT EFFECTS OF MACROALGAL BIOSTIMULANT SEED PRIMING ON GERMINATION KINETICS AND SEEDLING VIGOR IN TOMATO (*SOLANUM LYCOPERSICUM*)

Renganathan P., Gaysina L.A.

Department of Bioecology and Biological Education, M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, Ufa, Russia

e-mail: prabhaharan06@gmail.com

Seed priming with marine macroalgal biostimulants (*Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis) represents an eco-friendly strategy to enhance early crop development, which is critical for sustainable and climate-resilient agriculture. However, the duration-dependent effects of macroalgal biostimulants on seed imbibition remain poorly understood, particularly in high-value crops such as tomato (*Solanum lycopersicum* L.). The optimization of priming duration is essential for regulating water uptake, metabolic activation, and germination efficiency. This study evaluated the effects of different imbibition durations on the efficacy of a commercial macroalgal biostimulant for seed priming.

Tomato seeds were treated with macroalgal extract (2 mL/L) and primed for 0 h (control), 6 h, 12 h, and 24 h. Following priming, seeds were incubated under controlled conditions, and germination and early growth parameters were quantified, including germination percentage, mean germination time (MGT), germination index (GI), and seedling vigor indices based on root and shoot elongation and biomass accumulation. The results showed significant duration-dependent effects of primed seeds. The germination was significantly higher than that of the non-primed controls, with the 12 h treatment producing the maximum germination percentage, reduced MGT, and increased GI. These results indicate that 12 h of priming enhanced germination kinetics, resulting in rapid and uniform seed emergence. Seedling vigor was also significantly higher in the 12 h treatment, with increased root length, shoot length, and vigor index values, indicating improved early seedling establishment. This enhancement is attributed to efficient metabolic activation, increased enzymatic activity, mobilization of stored reserves, and activation of phytohormonal signalling pathways induced by bioactive compounds in the macroalgal extract. In contrast, 24 h of imbibition reduced germination efficiency and seedling vigor, likely due to overhydration stress, metabolic imbalance, solute leakage, and hypoxic conditions resulting from limited oxygen diffusion during prolonged soaking.

These results highlight the importance of regulating the priming duration to prevent adverse physiological effects. In conclusion, optimizing the duration of imbibition is essential for maximizing the biostimulatory potential of marine macroalgal extracts. These findings provide mechanistic insights into seed priming responses and support the refinement of agronomic practices to improve crop performance. The integration of marine-derived biostimulants into seed treatment protocols supports sustainable low-input agriculture by improving seedling establishment and crop productivity.

DISTINCTIVE AND NOVEL GENOMIC FEATURES OF CYANOPHAGES INFECTING FRESHWATER FILAMENTOUS CYANOBACTERIA

Zhu T.¹, Shi Y.¹, Ziemann M.², Hess W.R.², Lu X.¹

¹ *Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology (QIBEBT), Chinese Academy of Sciences, Qingdao, China;*

² *Faculty of Biology, Institute of Biology III, University of Freiburg, Freiburg, Germany*
e-mail: zhutao@qibebt.ac.cn

Freshwater cyanophages infecting filamentous, heterocyst-forming cyanobacteria remain largely understudied, and their distinctive genomic features are poorly characterized. Here, we isolated three novel *Caudoviricetes* cyanophages from freshwater habitats in Northeastern China, all of which specifically infect the model nitrogen-fixing cyanobacterium *Anabaena* sp. PCC 7120 with narrow host specificity. Transmission electron microscopy revealed that all isolates share characteristic icosahedral capsids, contractile tails, and conspicuous neck fibers, consistent with the morphology of the reference phage. Using Airyscan super-resolution confocal microscopy and cryo-scanning electron microscopy, we resolved the spatiotemporal dynamics of infection. Three-dimensional Z-stack reconstructions captured progressive degradation of host phycobilisome autofluorescence and dynamic redistribution of DAPI-stained nucleic acids, indicating rapid photosynthetic apparatus dismantling and sequential host DNA disruption. Cryo-SEM further provided direct visualization of intracellular virion assembly, confirming an efficient lytic replication cycle. Whole-genome sequencing and comparative genomic analysis placed the three isolates within a distinct clade of *Anabaena*-infecting *Caudoviricetes* phages. Notably, despite their morphological similarities, the novel isolates exhibit marked genomic differences from the reference phage, including the presence of a large invertible region flanked by inverted repeats that shows alternative orientations among closely related phages, as well as distinct distributions of multiple accessory genes across different isolates. Collectively, our findings reveal distinctive morphological, infection, and genomic features of these novel freshwater cyanophages, highlighting previously unrecognized genomic diversity within this group.

Научное издание

Под редакцией

Лихошвай Елены Валентиновны,
Сорокиковой Екатерины Георгиевны,
Щербаковой Татьяны Александровны

ВОДОРОСЛИ: ПРОБЛЕМЫ ТАКСОНОМИИ И ЭКОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МОНИТОРИНГЕ И БИОТЕХНОЛОГИИ

VIII Всероссийская научная конференция с международным участием
(г. Иркутск, п. Листвянка, Россия, 7–11 сентября 2026 г.)

Тезисы докладов

Оформление © ООО «Типография «Аспринт»

Дата подписания к использованию: 29.05.2026

Объем издания 7,75 Мб.

Комплектация: 1 электрон. опт. диск (CD-R)

Тираж 100 экз. Заказ № 26043



ООО «Типография «Аспринт»

664011 г. Иркутск, ул. Пролетарская, строение 7/1

Тел: +79148994427

e-mail: 400002@mail.ru

ISBN 978-5-908115-58-2



9 785908 115582 >