



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА

ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ
ИМ. К.А. ТИМИРЯЗЕВА РАН

МАТЕРИАЛЫ

VI Всероссийской научной конференции с международным участием
и школы молодых ученых

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

12-17 сентября 2022 г., г. Москва, Россия

МОСКВА
2022

УДК 582.26
ББК 28.591.2
П78

Водоросли: проблемы таксономии и экологии, использование в мониторинге и биотехнологии. Материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием и школы молодых ученых (г. Москва, Россия, 12—17 сентября 2022 г.). — Москва: 2022. — 59 с.

В сборнике помещены материалы исследований по проблемам морфологии, систематики, эволюции и молекулярной филогении водорослей, их использовании в оценке качества окружающей среды, экологии, палеоэкологии, биостратиграфии. Освещены теоретические и прикладные аспекты альгологии.

Для специалистов в области альгологии, гидробиологии, экологии, палеоальгологии и биостратиграфии. Материалы конференции печатаются в авторской редакции.

Научное электронное издание

УДК 582.26
ББК
28.591.2

- © Коллектив авторов, 2022
- © Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2022
- © Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, 2022

Оглавление

Материалы конференции

Абдуллин Ш.Р., Никулин А.Ю., Никулин В.Ю., Аллагуватова Р.З., Багмет В.Б., Гончаров А.А. <i>Новый род и вид сарциноидной водоросли (Chlorophyta, Ulotrichales) с Дальнего Востока России</i>	7
Бачура Ю.М., Жигало М.В. <i>Применение комплексов микроводорослей и цианобактерий при выращивании некоторых сельскохозяйственных культур</i>	8
Белевич Т.А., Кравцова Т.Р., Милютина И.А. <i>Trebouxiophyceae (Chlorophyta) в пикофракции планктона Белого моря</i>	9
Бозиева А.М., Хасимов М.Х., Волошин Р.А., Синетова М.А., Куприянова Е.В., Жармухамедов С.К., Аллахвердиев С.И. <i>Гетероцистные цианобактерии — перспективные продуценты фотоводорода</i>	10
Болдина О.Н., Новаковская И.В., Мальцев Е.И., Симакова У.В., Урбанавичене И.Н. <i>Морфология и филогения кавказского штамма Tetracystis tetraspora</i>	11
Воденеева Е.Л., Кулизин П.В., Шарагина Е.М., Журова Д.А., Соснина А.С., Старцева Н.А., Охапкин А.Г. <i>Таксономическое и функциональное разнообразие фитопланктона уникальных озер Нижегородской области</i>	12
Габриелян Д.А., Габель Б.В., Синетова М.А., Габриелян А.К., Маркелова А.Г., Лось Д.А. <i>Зависимость продуктивности Chlorella sorokiniana IPPAS C-1 от уровней облученности и аэрации в плоскостных вертикальных фотобиореакторах</i>	13
Глуценко А.М., Кузнецова И.В., Куликовский М.С. <i>Новые и интересные виды рода Gomphonema Ehrenberg из озера Байкал</i>	13
Гололобова М.А. <i>Водоросли и паразитизм</i>	14
Гущина Е.Г., Давидович Н.А. <i>Тихопелагические диатомовые</i>	15
Давидович Н.А. <i>Генетические основы полового воспроизведения у пеннатных диатомовых</i>	16
Давидович О.И., Давидович Н.А., Подунай Ю.А. <i>Галотолерантность Nitzschia cf. thermaloides — обитателя грязевых вулканов Крымского полуострова</i>	17
Дмитриева О.А. <i>Вертикальное распределение фитопланктона в районе карбонового полигона в юго-восточной части Балтийского моря в 2021 г.</i>	17
Журова Д.А., Воденеева Е.Л., Кулизин П.В., Шарагина Е.М., Старцева Н.А., Охапкин А.Г. <i>Таксономический состав, структура и динамика развития фитопланктона карстового оз. Большое Святое (Нижегородская обл.)</i>	18
Заднепровская Е.В., Крапивина А.А., Синетова М.А., Аллахвердиев С.И. <i>Влияние условий роста на накопление липидов у зеленой микроводоросли Coelastrella sp. штамм IPPAS H-626</i>	19
Зорина А.А., Клычников О.И., Леусенко А.В., Синетова М.А. <i>Синтез полигидроксипутирата. Аспекты регуляции</i>	20
Игнатенко М.Е., Яценко-Степанова Т.Н. <i>К флоре золотистых водорослей государственного природного заповедника «Оренбургский»</i>	21
Исламова Р.Т., Лемешева В.С., Биркемайер К., Степченкова Е.И., Тараховская Е.Р. <i>Характеристика флоротаннинов представителей разных таксономических групп бурых водорослей: содержание, структура и биологическая активность</i>	22
Казакова Е.Ю., Дмитриева О.А. <i>Сезонная динамика фитопланктона Куршского залива в 2020 году</i>	22

Капустин Д.А., Куликовский М.С. <i>Стоматоцисты видов рода Synura (Chrysophyceae, Synurales)— идентичны или видоспецифичны?</i>	23	Лобус Н.В., Куликовский М.С. <i>Биогеохимическая роль фитопланктона в водных экосистемах: от фундаментальных исследований к биотехнологическому использованию микроводорослей</i>	31
Кезля Е.М., Гусева Е.Е., Мальцев Е.И., Куликовский М.С. <i>Метабаркодинг водорослей как инструмент для оценки и мониторинга качества природных вод: проблемы и перспективы использования</i>	24	Мальцев Е.И., Мальцева С.Ю., Куликовский М.С. <i>Разнообразие жирных кислот цианобактерий</i>	32
Косова А.Л., Денисов Д.Б. <i>Mastogloia lacustris (Grunow) Grunow в водоемах Мурманской области</i>	25	Мельник А.С., Дмитриева О.А., Ежова Е.Е., Шартон А.Ю. <i>Пространственное распределение численности и биомассы основных доминирующих видов фитопланктона в юго-восточной Балтике осенью 2021 г.</i>	33
Кочкарова С.А., Сапожников Ф.В. <i>Альгобактериальные структуры гипергалинных ручьев Большого Аральского моря</i>	26	Мессинева Е.М., Козлова А.Ю., Маркелова А.Г., Синетова М.А. <i>IPPAS ИФР РАН — коллекция штаммов микроводорослей и цианобактерий с уникальными физиолого-биохимическими свойствами и биотехнологическим потенциалом</i>	34
Кривина Е., Синетова М., Савченко Т., Дегтярёв Е., Тебина Е., Темралеева А. <i>Два новых вида рода Micractinium (Chlorellales, Trebouxiophyceae), обладающие высоким биотехнологическим потенциалом</i>	27	Мионов А.В., Чудаев Д.А., Юттнер И. <i>Цимбеллоидные диатомовые водоросли реки Адегой (Краснодарский край)</i>	35
Кулизин П.В., Воденеева Е.Л., Охапкин А.Г. <i>Виды-вселенцы в планктоне левобережных притоков Чебоксарского водохранилища</i>	27	Мионов К.С. <i>Влияние текучести клеточных мембран на экспрессию генов у цианобактерии Synechocystis sp. PCC 6803</i>	35
Куликовский М.С., Глущенко А.М., Мальцев Е.И., Кезля Е.М., Лобус Н.В., Кузнецова И.В. <i>Почему интерес к изучению диатомовых водорослей и их практическому использованию будет постоянно возрастать?</i>	28	Мионов К.С., Стариков А.Ю., Воронков А.С., Бобровникова Л.А., Заднепровская Е.В., Крапивина А.А., Синетова М.А. <i>Регуляция синтеза липидов и крахмала у зеленых микроводорослей</i>	36
Куприянова Е.В., Синетова М.А., Леусенко А.В., Воронков А.С., Лось Д.А. <i>Использование лидерного пептида белка EcaA из Crocosphaera subtropica ATCC 51142 для секреции рекомбинантных белков в E. coli</i>	29	Никулин В.Ю., Никулин А.Ю., Багмет В.Б., Абдуллин Ш.Р., Гончаров А.А. <i>Потенциально новый вид рода Oogamochlamys (Chlorophyta, Chlamydomonadales) из почв о. Итуруп (Сахалинская область, Россия)</i>	37
Леусенко А.В., Мионов К.С., Лось Д.А. <i>Роль PAS-домена сенсорной гистидинкиназы Hik33 в регуляции стрессовых ответов у Synechocystis sp. PCC 6803 GT-L</i>	30	Нурашов С.Б., Саметова Э.С., Жиенбеков А.К., Джумаханова Г.Б. <i>Водоросли реки Буйен Джунгарского Алатау</i>	38
Леусенко П.А., Лось Д.А., Мионов К.С. <i>Конструирование синтетических оперонов для исследования регуляции стрессовых ответов у цианобактерии Synechococcus elongatus PCC 7942</i>	30	Полякова С.Л., Давидович Н.А. <i>Темп деления как фактор оценивания биотехнологического потенциала диатомовой водоросли Nitzschia amabilis H. Suzuki</i>	39

Портная Е. А., Темралеева А. Д. <i>Разнообразие цианобактерий наземных фототрофных биоплёнок на искусственных субстратах г.о. Пущино</i>	40
Разумовский В. Л. <i>Анализ долговременных трансформаций в структуре диатомовых комплексов и фитопланктонных ассоциаций в Рыбинском и Ивановском водохранилищах</i>	41
Самылина О. С., Синетова М. А., Куприянова Е. В., Турова Т. П. <i>Связь таксономии, экологии и биогеографии цианобактерий на примере кластера «морские Geitlerineta»</i>	42
Сапожников Ф. В., Калинина О. Ю., Ильина О. В. <i>Структура сообществ трубчатых колоний диатомей Крайнего Севера и Крайнего Юга</i>	43
Селиванова Е. А., Игнатенко М. Е., Хлопко Ю. А., Краснова Е. Д., Воронов Д. А., Плотников А. О. <i>Структурно-функциональная организация планктонных альгоценозов в прибрежной лагуне “озеро Кисло-сладкое” (Белое море, Карельский берег)</i>	44
Стадничук И. Н., Балычевцева Ю. В. <i>Биотехнологическое использование полиэкстремофильных микроводорослей Cyanidiales</i>	45

Темралеева А. Д. <i>Таксономическая инфляция, филогенетические ловушки и другие новости современной систематики водорослей</i>	45
Царьков М. Д., Глущенко А. М., Лобус Н. В., Куликовский М. С. <i>К изучению диатомовых водорослей Камчатки</i>	46
Цеплик Н. Д., Чудаев Д. А. <i>Морфологическое разнообразие представителей комплекса <i>Cocconeis placentula</i> (Bacillariophyta) в водоемах Звенигородской биостанции</i>	47
Чудаев Д. А., Ершова Е. Г., Пименов В. Е. <i>Видовой состав диатомовых водорослей из раннеголоценовых отложений Звенигородской биологической станции</i>	48
Шадрина С. Н. <i>Разнообразие стоматоцист золотистых водорослей (Chrysophyceae) Ленинградской области</i>	48
Шарагина Е. М., Воденеева Е. Л., Кулизин П. В., Бондарев О. О., Охапкин А. Г. <i>Оценка качества воды реки Кудьма по фитопланктону с использованием различных биоиндикационных подходов</i>	49

Резюме статей

Андреев В. П., Плахотская Ж. В. <i>Тяжелые металлы и мышьяк в водорослях Белого, Баренцева и Карского морей</i>	51
Анисимова О. В., Ярутич И. А. <i>Морфогенез клетки у десмидиевых (<i>Zygnematorphyceae</i>, <i>Desmidiaceae</i>): таксономическая значимость их формы</i>	51
Барсукова Н. Н., Баженова О. П., Колесниченко Л. Г. <i>Фитопланктон и качество воды некоторых притоков реки Оби</i>	51
Валиева Э. А., Нигаматзянова Г. Р., Нигматуллин Н. М., Нургалиев Д. К., Фролова Л. А. <i>Детальные результаты диатомового анализа донных отложений озера Большое Миассово (Челябинская область, Россия)</i>	52

Величко Н. В., Рабочая Д. Е. <i>Таксономическое разнообразие цианобактерий в антарктических гиполитных почвенных горизонтах оазиса холмы Ларсеманн</i>	52
Вокуева С. И., Денисов Д. Б. <i>Пространственно-временная динамика диатомовых комплексов озера Имандра (Россия, Мурманская область)</i>	53
Воякина Е. Ю. <i>Динамика показателей обилия <i>Gonyostomum semen</i> (Ehr.) Diesing</i>	53
Гладенков А. Ю. <i>Изучение комплексов морских палеогеновых диатомовых водорослей Камчатского региона: результаты последнего десятилетия</i>	53

Денисов Д. Б.
*Фитопланктон озер города Мурманска
в оценке качества вод
урбанизированных территорий*..... **53**

Дорохова М. Ф.
*Почвенная альгология
в работах Н.Н. Большеева*..... **54**

Еремкина Т. В., Генкал С. И.
*Диатомовые водоросли
Белоярского, Нижнетагильского
и Черноисточинского водохранилищ
(Свердловская область, Средний Урал)*..... **55**

Намсараев З. Б., Мельникова А. А.
*Таксономическое разнообразие
доминирующих видов цианобактерий
во время «цветений» водоемов России*..... **55**

Неврова Е. Л.
*Диатомовые бентоса Чёрного моря:
редкие, инвазивные,
«воскресшие» виды и оценка
их таксономической исключительности*..... **56**

**Новаковская И. В., Патова Е. Н.,
Дубровский Ю. А., Новаковский А. Б.**
*Разнообразие водорослей и цианобактерий
на экологическом высотном профиле
от горного леса до тундры
(Северный Урал)*..... **56**

Патова Е. Н., Сивков М. Д.
*Азотфиксирующие цианобактерии
в горно-тундровых экосистемах северных
регионов Урала (разнообразие,
функциональные характеристики)*..... **56**

Подгорный К. А., Дмитриева О. А.
*Опыт использования методов теории
катастроф при описании динамики
фитопланктона в Вислинском заливе
Балтийского моря*..... **57**

Разумовский Л. В.
*Обзор результатов многолетних
исследований с применением авторского
метода графического анализа*..... **57**

**Родина О. А., Давыдов Д. А.,
Панова Е. Г., Власов Д. Ю.,
Хольцхейд А.**
*Цианобактерии
на каменных сооружениях
в городе Киль, Германия*..... **57**

Русанов А. Г., Станиславская Е. В.
*Пространственная изменчивость
видового и функционального состава
водорослей перифитона
в озерах Карельского перешейка*..... **58**

**Чубчикова И. Н., Дробецкая И. В.,
Данцюк Н. В., Челебиева Э. С.**
*Оптимизация метода фиксации
пресноводных микроводорослей
(Scenedesmataceae, Chlorophyta)
для первичной идентификации
с использованием сканирующей
электронной микроскопии*..... **58**

**Шабалина Ю. Н., Патова Е. Н.,
Новаковская И. В., Стерлягова И. Н.**
*Водоросли водных и наземных экосистем
южной тайги (национальный парк
«Койгородский», Республика Коми)*..... **59**

Юрчак М. И., Гогорев Р. М.
*Систематика ахнантоидных
диатомовых водорослей
(Bacillariophyta, Achnanthes)*..... **59**

Материалы конференции

НОВЫЙ РОД И ВИД САРЦИНОИДНОЙ ВОДОРΟΣЛИ (CHLOROPHYTA, ULOTRICHALES) С ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

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

ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

Многие сарциноидные наземные или пресноводные зеленые водоросли, которые ранее рассматривались как представители Chlorophyceae, после детальных исследований с применением филогенетического анализа были отнесены к классу Ulvophyceae (Darienko and Pröschold, 2017). В связи с этим подобная морфология, делающая виды очень похожими друг на друга, затрудняет определение их таксономического положения. Идентификация родов и видов может быть достигнута в данном случае только при установлении их точной филогенетической принадлежности.

При изучении разнообразия почвенных водорослей в зоне умеренного муссонного климата на территории г. Владивосток (Приморский край, Россия) был выделен и исследован с использованием интегративного подхода один штамм сарциноидной зеленой водоросли.

Филогенетический анализ последовательностей гена 18S рДНК представителей основных групп Ulvophyceae показал, что новый штамм является членом Ulotrichales. Он характеризовался относительно длинной ветвью и имел неразрешенное положение в кладе «*Planophila*» между образцом *Gayralia* sp. (ALC-2011) и кладой рода *Rhexinema*. В филогенетическом анализе объединенного набора данных (18S+ITS) новый штамм был определен как сестринская линия по отношению к родовой кладе *Rhexinema*. Анализ дистанций показал, что последовательность ITS нового штамма отличалась от таковых для других родов более чем на 16%. При этом разница между некоторыми таксономически признанными родами была меньше (например, *Monostroma* и *Collinsiella* — 14,75±1,58%; *Vischeriocladium* и *Tupiella* — 13,96±1,32%; *Hazenia* и *Ulothrix* — 10,91±1,23%; *Sarcinofilum* и *Ulothrix* — 6,85±1,04%).

Штамм характеризовался следующими морфологическими признаками. Молодые клетки одиночные, шаровидные, каплевидные, яйцевидные, длиной 6,2–9,0 мкм и шириной 5,7–8,8 мкм, иногда с вакуолями. Клеточная стенка тонкая. Хлоропласт пристеночный. Зрелые вегетативные клетки одиночные или в сарциноидных объемных пакетах, погруженные в общую слизь, шаровидные и полушаровидные, длиной 8,9–13,3 мкм и шириной 7,6–12,8 мкм, часто с вакуолями. Хлоропласт пристеночный. Пиреноид один, отчетливый, покрытый несколькими крахмальными зернами. Ядро одиночное, не различимое при световой микроскопии. Размножение происходит вегетативным делением, а также двужгутиковыми зооспорами шаровидной или яйцевидной формы длиной 5,5–11,0 мкм и шириной 4,0–8,8 мкм. Зооспоры имеют два равных передних жгутика, парietальный хлоропласт, латеральный глазок и вакуоли. Длина жгутиков примерно равна длине клетки. Каждая клетка образует одну зооспору. Перед остановкой зооспора движется вокруг своей оси и окончательно теряет жгутики. Полового размножения не наблюдалось.

Таким образом, на основании молекулярных данных, морфологических и морфометрических характеристик, а также особенностей жизненного цикла, можно говорить о том, что выявлен новый вид и род сарциноидной водоросли порядка Ulotrichales.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-14-00196, <https://rscf.ru/project/21-14-00196/>

Darienko T., Pröschold T. Toward a monograph of non-marine Ulvophyceae using an integrative approach (Molecular phylogeny and systematics of terrestrial Ulvophyceae II.) // Phytotaxa. 2017. V. 324, № 1. P. 1–41. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.324.1.1>.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НЕКОТОРЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Ю.М. Бачура, М.В. Жигало

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

Приведены краткие результаты лабораторных экспериментов по изучению влияния суспензий микроводорослей *Vischeria magna* (J. B. Petersen) Kryvenda, Rybalka, Wolf & Friedl (Ochromphyta), цианобактерий *Nostoc* sp. (Cyanobacteria) и их комплексов на рост и развитие проростков озимой ржи и ячменя в стандартных и стрессовых условиях. Оценку фитостимулирующих свойств микроводорослей, цианобактерий и комплексов на их основе проводили, анализируя энергию прорастания, всхожесть семян, морфометрические показатели растений в контрольных и опытных вариантах (ГОСТ, 2001).

В стандартных условиях в экспериментах с ячменем более выраженные положительные фитозффекты отмечены при использовании комплекса *Nostoc-Vischeria* 1N:2V на основе исходных суспензий; фитозффекты по длине проростков составили 19-20 %, по массе проростков — 16-53 %.

В экспериментах с озимой рожью максимальная эффективность выявлена при применении комплексов состава 1N:3V, 1N:2V на основе исходных суспензий (21-39 %) и 1N:1V на основе разбавленных суспензий *Nostoc* и *Vischeria* (28-39 %). При использовании комплексов на основе исходных суспензий в эксперименте с рожью отмечена тенденция зависимости фитозффектов по массе проростков от состава комплекса.

При содержании ионов меди (II) равном 3 мг/кг субстрата (соответствует предельно допустимой концентрации подвижных форм меди в почве) в экспериментах с ячменем наибольшее стимулирующее действие отмечено при использовании комплекса *Nostoc-Vischeria* 1N:2V на основе исходных или разбавленных суспензий микроорганизмов — фитозффекты по длине и по массе проростков ячменя составили 8-33 %. При использовании в качестве тестовой культуры озимой ржи наибольшая эффективность отмечена в вариантах опыта с исходной суспензией *Vischeria* и комплексом 3N:1V на основе разбавленных суспензий *Nostoc* и *Vischeria*; фитозффекты по длине проростков составили 64-91 %, по массе проростков — 37-50 %. При содержании ионов меди (II) равном 6 мг/кг субстрата (превышает предельно допустимую концентрацию подвижных форм меди в почве в два раза) в экспериментах с ячменем наибольшее стимулирующее действие установлено при использовании комплекса 1N:2V на основе суспензий с высокой плотностью клеток; фитозффекты по длине проростков ячменя составили 28-183 %. В экспериментах с озимой рожью максимальные фитозффекты также отмечены при использовании исходных суспензий микроорганизмов и комплексов на их основе — по длине проростков в варианте опыта с исходной суспензией *Vischeria* (55-165 %), по массе проростков в варианте опыта с комплексом *Nostoc-Vischeria* 1N:2V (39-79 %). По массе проростков ячменя и озимой ржи отмечена общая тенденция снижения фитозффектов в стрессовых условиях.

Для оптимизации использования альгоцианобактериальных комплексов *Nostoc-Vischeria* в качестве стимуляторов роста озимой ржи и ячменя на ранних этапах развития необходимо использовать суспензии с высокой плотностью клеток; максимальная эффективность отмечена для комплексов состава 1N:2V.

Исследования выполнены в рамках задания государственной программы научных исследований «Биотехнологии-2» (№ 20211709).

ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести: издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 декабря 1984 г. № 4710 : дата введения 1986-07-01. Москва: Изд-во станд., 2001. 30 с.

ТРЕБОУХИОРНУСЕАЕ (CHLOROPHYTA) В ПИКОФРАКЦИИ ПЛАНКТОНА БЕЛОГО МОРЯ

Т.А. Белевич^{1,2}, Т.Р. Кравцова¹, И.А. Милютина²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
биологический факультет, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
НИИ физико-химической биологии имени А.Н. Белозерского, Москва, Россия

Пикоэукариотные водоросли (ПЭ, размер клетки <3 μm) являются важнейшим компонентом первичных продуцентов в планктонных и ледовых сообществах морских экосистем. ПЭ представлены несколькими таксономическими группами, включая представителей класса Trebouxiophyceae. Водоросли этого класса относятся как к пресноводным, так и солоноватоводным и морским видам. Видовой состав пикофракции морских Trebouxiophyceae насчитывает менее 10 видов (Vaulot et al., 2008).

Традиционная идентификация с использованием световой микроскопии недостаточно эффективна для выявления реального разнообразия ПЭ. Представление об истинных масштабах видовой состава этой размерной фракции пикопланктона стало формироваться в последнее время благодаря использованию молекулярных методов.

Методом высокопроизводительного секвенирования области V4 гена 18S рРНК нами было исследовано генетическое разнообразие Trebouxiophyceae во льду (4 пробы), подледной воде (3 пробы), летнем (3 пробы) и осеннем (2 пробы) планктоне, а также зимней воде (1 проба) Белого моря. Выявлены последовательности, имеющие сходство 97% и выше с представителями родов: *Apatococcus*, *Choricystis*, *Myrmecia*, *Picochlorum*, *Chloroidium*, *Dictyochloropsis* и *Trebouxia*. По числу последовательностей доминировал *Picochlorum sp.*, представленный 13 вариантами последовательности ампликона (ASV), число ASV остальных родов не превышало трех.

Сообщества льда характеризовались самым большим таксономическим разнообразием (таблица). Наибольшее число биотопов населяли *Picochlorum sp.* и *Choricystis sp.* — последовательности этих родов были выявлены во льду и осеннем планктоне, а также открытой зимней и летней воде соответственно (таблица). В осеннем планктоне, ледовом и подледном сообществах также были выявлены Trebouxiophyceae, определенные до более высокого ранга — порядка или семейства.

Таблица. Число прочтений Trebouxiophyceae, выявленных в Белом море

Таксон	Лед	Подледная вода	Открытая вода, зима	Осень	Лето
<i>Apatococcus lobatus</i>	253		6		
<i>Chloroidium saccharophila</i>	727				
<i>Choricystis sp.</i>	218			31	51
<i>Dictyochloropsis sp.</i>			54		
<i>Myrmecia sp.</i>	138				
<i>Picochlorum sp.</i>	8459		3118	25656	
<i>Trebouxia sp.</i>		77			13
остальные Trebouxiophyceae	3860	4729		465	

Из зимнего планктона нами была выделена культура водоросли, последовательность гена 18S рРНК которой имеет более 99% сходства с эпилитом *Deuterostichococcus epilithicus* (MT078166) и почвенной водорослью *Stichococcus sp.* (KX094827). Размер клеток культивированной Trebouxiophyceae составляет 3–5 μm в длину и 2–3 μm в ширину, что соответствует пикоразмерам.

Vaulot D., Eikrem W., Viprey M., Moreau H. The diversity of small eukaryotic phytoplankton (3 μm) in marine ecosystems // FEMS Microb. Rev. 2008. V. 32. P. 795–820.

ГЕТЕРОЦИСТНЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ — ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОДУЦЕНТЫ ФОТОВОДОРОДА

А.М. Бозиева¹, М.Х. Хасимов², Р.А. Волошин¹, М.А. Синетова¹,
Е.В. Куприянова¹, С.К. Жармухамедов², С.И. Аллахвердиев^{1,2}

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

²Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
Пушино, Россия

Поиск новых источников энергии и энергоносителей является актуальной проблемой современности. В этом отношении особый интерес вызывает водород (H_2), который может быть использован в качестве энергоносителя для накопления, хранения и доставки энергии. К преимуществам водорода относятся отсутствие негативных выбросов в окружающую среду при его использовании и возможность получения различными путями.

В нашей работе рассмотрен биологический путь получения H_2 — светозависимое выделение водорода гетероцистными нитчатými цианобактериями за счет действия фермента нитрогеназы. Поскольку водородпродуцирующие ферменты высокочувствительны к содержанию кислорода (O_2), использование гетероцистных цианобактерий для получения H_2 является наиболее выгодным. Это обусловлено морфологическими особенностями данной группы микроорганизмов: нитрогеназа в этих цианобактериях расположена в гетероцистах, в которых отсутствует фотосистема 2. Таким образом, процессы выделения водорода и кислорода отделены друг от друга — O_2 образуется в вегетативных клетках, а H_2 — в гетероцистах (Цыганков, 2007; Kossalbayev et al., 2022).

В ходе данной работы проведен сравнительный анализ количеств водорода, выделенных гетероцистным штаммом *Dolichospermum* sp. IPPAS B-1213 и контрольным штаммом одноклеточной цианобактерии *Synechocystis* sp. PCC 6803 GT-L, выделение H_2 у которой происходит за счет работы иных ферментов — гидрогеназ. В условиях искусственного освещения в первые 24 часа после создания анаэробных условий *Dolichospermum* sp. IPPAS B-1213 выделял $0,44 \pm 0,0007$ мкмоль H_2 (мг H_2 * ч)⁻¹, в то время как для контрольного штамма этот показатель был равен $0,07 \pm 0,009$ мкмоль H_2 (мг H_2 * ч)⁻¹. В последующие сутки количество водорода, выделенного штаммом *Dolichospermum* sp. IPPAS B-1213 росло и достигало своего максимума ($1,59 \pm 0,023$) на 3 сутки, далее наблюдалось снижение водород-продуцирующей активности. Максимальное количество, выделяемого водорода для *Synechocystis* sp. PCC 6803 GT-L было детектировано в первые сутки, в дальнейшем наблюдалась устойчивая тенденция к снижению интенсивности этого процесса. Добавление диурона (DCMU) — ингибитора первичных реакций фотосинтеза, приводило к росту показателей для обоих штаммов. Оптимальная концентрация DCMU, при которой количество выделенного контрольным штаммом водорода увеличилось в 2,2 раза, а штаммом *Dolichospermum* sp. IPPAS B-1213 — в 2,6 раз, составляла 20 мкМ.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости и перспективности дальнейших исследований в данном направлении. Так как, несмотря на большое количество исследований, вопрос получения водорода в промышленных масштабах по-прежнему остается актуальным. Одновременно, методы получения водорода нуждаются в повышении эффективности и стабильности процесса.

Результаты получены в рамках государственного задания Минобрнауки и высшего образования Российской Федерации (121033000136-14) и при поддержке Российского научного фонда (грант 19-14-00118).

Цыганков А.А. Получение водорода биологическим путем. Рос. Хим. Ж. 2006; L(6):26-33.

Kossalbayev B.D., Kakimova A.B., Bolatkhan K., Zayadan B.K., Sandybayeva S.K., Bozieva A.M., Sadvakasova A.K., Alwasel S., Allakhverdiev S. I. Biohydrogen production by novel cyanobacterial strains isolated from rice paddies in Kazakhstan. Int J Hydrog Energy 2022; 47:16440-16453.

МОРФОЛОГИЯ И ФИЛОГЕНИЯ КАВКАЗСКОГО ШТАММА *TETRACYSTIS TETRASPORA*

О.Н. Болдина¹, И.В. Новаковская², Е.И. Мальцев³, У.В. Симакова⁴, И.Н. Урбанавичене¹

¹Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

³Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

⁴Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

Изучены морфологические и молекулярно-генетические особенности штамма коккоидной водоросли, которая была обнаружена в ручье с оранжевым налетом в районе Нарзанных источников (Республика Кабардино-Балкария, Эльбрусский р-он; 43,246741° N, 42,562974° E). Штамм был выделен в 2018 году и депонирован в коллекции LABIK и SYKOA. При культивировании на твердых средах штамм отличается слабым ростом; на жидких средах (Kuhl и BG-11) быстро наращивает биомассу и в течение полугода сохраняет зеленую окраску. От других коллекционных штаммов он отличается гиперпродукцией зооспор.

Светооптическое наблюдение клеток LABIK 2712 (SYKOA 153-20) позволило выявить широкий спектр размеров и форм клеток. Клетки преимущественно одиночные, реже в парах или тетрадах. Зооспоры — узко-эллипсоидные или яйцевидные, слегка уплощенные; молодые клетки — яйцевидные, широко-эллипсоидные; зрелые клетки и цисты — сферические. Длина клеток варьирует от (4) 5 мкм до 20 (22) мкм. Молодые вегетативные клетки — 13-15 мкм. Цисты до 22 мкм со скульптурированной оболочкой. Хлоропласт массивный, чашевидный, лопастной. Пиреноид заметен только в вегетативных клетках. На электронограмме хлоропласт практически полностью заполнен тилакоидами. Они обычно длинные, плавно изогнутые, организованы в пачках, насчитывающих от 3-4 до 7-10 единиц. Пиреноид характеризуется более темной стромой и ограничен обкладкой из некрупных зерен крахмала, расположенных вокруг стромы без строгого порядка. Проникающие в пиреноид крупные пачки тилакоидов претерпевают редукцию до 2-х единиц. Они не погружаются глубоко в строму, а остаются периферическими, располагаясь вдоль обкладки пиреноида.

На электронограмме оболочка клеток — трехслойная, но слои выглядят неотчетливо и различаются в зависимости от возраста и типа клеток. Наружный слой фибриллярный, обнаруживается не во всех клетках. Под ним располагается характерный слой из четко очерченных 1-2 темных ламелл (реже они имеют вид регулярных субъединиц); иногда его структура разрушается, и наружные слои клеток приобретают вид «бахромы». Внутренний слой образован из очень плотно упакованных фибрилл. Он также четко ограничен от тела клетки. К нему местами прилегает плазмалемма, но чаще всего периплазматическое пространство неравномерно расширено. Строение других компонентов клетки характерно для группы коккоидных водорослей. Особенностью клеток в старой культуре является присутствие гетерогенных тел (вероятно, белковой природы), часто превышающих 2 мкм. Вблизи них обнаруживаются большие скопления рибосом.

Сравнение последовательностей 18S рРНК штамма LABIK 2712 (SYKOA 153-20) в GenBank показало близкое родство с аутентичным штаммом SAG 98.80 *Tetracystis tetraspora* (Arche et Bold) Brown et Bold. На построенном байесовском филогенетическом дереве гена 18S рРНК оба этих штамма образовали единую кладу с максимальной статистической поддержкой и расположились далеко от остальных видов *Tetracystis* (которые находятся в суперкладе *Moewusinia*) и относятся к другой суперкладе. Очевидно, что филогения *T. tetraspora* нуждается в дальнейшей разработке.

ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ФИТОПЛАНКТОНА УНИКАЛЬНЫХ ОЗЕР НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.Л. Воденеева^{1,2}, П.В. Кулизин¹, Е.М. Шарагина¹, Д.А. Журова^{1,2},
А.С. Соснина¹, Н.А. Старцева¹, А.Г. Охапкин¹

¹Университет Лобачевского, Институт биологии и биомедицины,
Нижний Новгород, Россия

²Нижегородский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии», Нижний Новгород, Россия

В работе приведены данные о таксономическом и функциональном разнообразии фитопланктона уникальных карстовых озер Нижегородского Поволжья — Ключик, Вадское и Светлояр. Озера Ключик и Вадское относятся к редкому типу гипсовых высокоминерализованных «голубых» озер; расположены в правобережье Волги, являются уникальными в плане источника питания, роль которого выполняют подземные реки с высоким расходом воды. Оз. Светлояр расположено в левобережье Волги, характеризуется большими глубинами и высокой прозрачностью, имеет историко-этнографическое значение. Все исследуемые водоемы относятся к особо охраняемым природным территориям, при этом испытывают заметную рекреационную нагрузку.

Фитопланктон оз. Светлояр изучали в несколько периодов с 2000-2002, 2010-2012 и 2020 гг. (одна станция в центральной части озера), в оз. Ключик — в 2017 и 2020 гг. (было установлено 5 станций с учетом гетерогенности условий), в оз. Вадское — в 2021 г. (13 станций). Определен видовой состав альгофлоры озер и проведена его таксономическая и экологическая характеристика. Ценоотическое разнообразие оценивали по составу функциональных групп фитопланктона.

Видовое богатство гипсовых озер представлено 133 (оз. Ключик) и 176 (оз. Вадское) таксонами рангом ниже рода, которые относились к 7 отделам. Соотношение ведущих отделов было схожим: преобладали Bacillariophyta (41-46% общего состава), вторую позицию занимали Chlorophyta (24-40%), доля других групп составляла от 2 до 11%. Родовой спектр определяли пениатные диатомеи (*Cymbella*, *Pinnularia*, *Navicula*, *Gomphonema*) и представители зеленых из родов *Scenedesmus* и *Desmodesmus*. Основу флористического списка составляли бентосные, литоральные и истиннопланктонные формы с преобладанием космополитов. По отношению к солености воды преобладали индифференты (до 83%), по отношению к pH — алкалофилы (до 70%). Распределение таксономического состава фитопланктона характеризовалось слабым флористическим сходством, что может свидетельствовать о биотопической неоднородности исследуемых акваторий. Согласно функциональной классификации фитопланктона в оз. Ключик выделено 13 функциональных групп (преобладали группы В, ТВ, L0, включающей представителей фитоплагеллят лимнического комплекса), в оз. Вадское — 12 функциональных групп при доминировании MP, P, D, L0.

Видовое богатство альгофлоры оз. Светлояр составляло 225 видовых и внутривидовых таксонов водорослей из 8 отделов с преобладанием зеленых (36% состава), диатомовых (18%) водорослей и цианобактерий (15%). Список таксономически значимых родов включал *Trachelomonas*, *Dinobryon*, *Kephyrion*, *Monoraphidium*. Отмечены заметные межгодовые изменения в видовом богатстве альгофлоры, при этом варьирование экологических характеристик фитопланктона было стабильным, особенно по типу местообитания и соотношению географических элементов флоры. В оз. Светлояр отмечено 23 функциональные группы, среди которых постоянными выступали J, F, C L0, L, W2.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-04-01005А.

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОДУКТИВНОСТИ *CHLORELLA SOROKINIANA* IPPAS C-1 ОТ УРОВНЕЙ ОБЛУЧЕННОСТИ И АЭРАЦИИ В ПЛОСКОСТНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ФОТОБИОРЕАКТОРАХ

Д.А. Габриелян, Б.В. Габель, М.А. Синетова, А.К. Габриелян, А.Г. Маркелова, Д.А. Лось
ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

Микроводоросли, клетки которых содержат ценные метаболиты и биологически активные вещества, все чаще используются в качестве агентов для захвата углекислого газа и преобразования его в продукты добавочной стоимости в промышленных масштабах [1-2]. Однако создание эффективного производства биомассы микроводорослей для широкого практического применения требует оптимизации по ряду параметров культивирования, ключевыми из которых являются уровни облученности и условия подачи газо-воздушной смеси (ГВС) [3-5]. В настоящей работе рассмотрено влияние на продуктивность *Chlorella sorokiniana* IPPAS C-1 различных комбинаций концентрации углекислого газа и коэффициента вентиляции ГВС при сохранении удельного расхода CO₂ на литр суспензии в плоскостных фотобиореакторах (ФБР) лабораторного (5 литров) и пилотного (18 литров) объемов. Получен оптимальный уровень объемного расхода CO₂ для рассматриваемых условий культивирования (1000 мкмоль/м²с и 35,5 ± 0,5 °С) - 3 мл CO₂/л.сusp. в минуту и соответствующей ему комбинация концентрации CO₂ в ГВС - 1,5 % и коэффициента вентиляции суспензии - 12 л.ГВС/л.сusp. в час для лабораторных ФБР. Показано, что удельный расход углекислого газа в пилотных ФБР, при котором достигается максимальная скорость роста, возрастает при увеличении облученности от 100 до 1000 мкмоль/м²с с 1,5 до 4,5 мл CO₂/л.сusp. в минуту. Показано, что полученные оптимальные удельные характеристики культивирования *C. sorokiniana* IPPAS C-1 в лабораторных ФБР позволяют достигать высоких значений удельной скорости роста при масштабировании процессов в пилотных ФБР. По результатам проведенных экспериментов представлены идеи повышения экономичности интенсивного культивирования *C. sorokiniana* IPPAS C-1 по затрачиваемым ресурсам. Результаты работ актуальны для разработки технологических регламентов промышленного производства *C. sorokiniana* IPPAS C-1 в плоскостных фотобиореакторах различного объема.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ, проект № 21-74-30003.

Gerotto C., Norici A., Giordano M. Toward enhanced fixation of CO₂ in aquatic biomass: focus on microalgae // Front Energy Res. 2020. Т. 8, С. 213.

Sinetova M.A., Sidorov R.A., Starikov A.Yu., Voronkov A.S., Medvedeva A.S., Krivova Z.V., Pakholkova M.S., Bachin D.V., Bedbenov V.S., Gabrielyan D.A., Zayadan B.K., Bolatkhan K., Los D.A. // Assessment of the biotechnological potential of cyanobacterial and microalgal strains from IPPAS culture collection. Appl Biochem Microbiol. 2020. Т. 56, С. 794-808.

Masojídek J., Ranglová K., Lakatos G.E., Silva Benavides A.M., Torzillo G. Variables governing photosynthesis and growth in microalgae mass cultures // Processes. 2021. Т. 9, С. 820.

Zhang L, Zhang B, Zhu X, Chang H, Ou S, Wang H. Role of bioreactors in microbial biomass and energy conversion // Liao, Q., Chang, J.S., Herrmann, C., Xia, A. (ред.). Bioreactors for microbial biomass and energy conversion - Singapore. Springer, 2018. - С.39-78.

Цоглин Л.Н., Пронина Н.А. Биотехнология микроводорослей. — М.: Научный мир, 2012 — 184 с.

НОВЫЕ И ИНТЕРЕСНЫЕ ВИДЫ РОДА *GOMPHONEMA* EHRENBURG ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ

А.М. Глущенко, И.В. Кузнецова, М.С. Куликовский

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

Род *Gomphonema* Ehrenberg является крупным родом, включающем в себя более 900 видов (Kociolek et al., 2022). Изучение видов рода из озера Байкал уже было начато нами ранее: были подвергнуты ревизии комплексы видов *Gomphonema acuminatum*, *G. truncatum-capitatum* и *G. ventricosum*, а также изучены отдельные виды рода, в том числе и молекулярно-генетическими методами (Кезля и др., 2019; Kociolek et al., 2018; Kulikovskiy et al., 2014, 2015).

Материалом для настоящего исследования послужили пробы перифитона и бентоса, отобранные в разных частях оз. Байкал в 2011 и 2021-2022 гг. Исследование проводили общепринятыми методами, включающими в себя предварительную подготовку проб (Шешукова, 1949; Балонов, 1975) и их последующее изучение методами световой и сканирующей электронной микроскопии.

Всего было обнаружено 17 видов из рода *Gomphonema*, из них 10 — известные ранее: *G. makarovae* Lange-Bertalot in Lange-Bertalot & Genkal, *G. distans* (Cleve-Euler) Lange-Bertalot & Reichardt in Lange-Bertalot & Genkal, *G. subarcticum* Lange-Bertalot & Reichardt in Lange-Bertalot & Genkal, *G. parvulus* (Lange-Bertalot & Reichardt) Lange-Bertalot & Reichardt in Lange-Bertalot & Metzeltin, *G. duplipunctatum* Lange-Bertalot & Reichardt in Lange-Bertalot, Kulbs, Lauser, Norpel-Schempp & Willmann, *G. sphenovortex* Lange-Bertalot & Reichardt in Lange-Bertalot & Metzeltin, *G. jergackianum* Reichardt, *G. popovae* Levadnaja emend. Vishnjakov & Romanov, *G. medioasiae* Metzeltin, Lange-Bertalot & Nergui и *G. demersum* Reichardt. Семь новых видов будут предложены как новые для науки. Обсуждается распространение выявленных видов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (21-74-00097) и в рамках государственного задания (тема № 122042700045-3).

Балонов И. М. Подготовка водорослей к электронной микроскопии // Мордухай-Болтовской Ф.Д. (ред.). Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. — М.: Наука, 1975. С. 87–90.

Кезля Е.М., Мальцев Е.И., Глущенко А.М., Куликовский М.С. Филогения и морфология некоторых видов рода *Gomphonema* Ehrenberg // Вопросы современной альгологии. 2019. №2 (20). С. 181–183. URL: <http://algology.ru/1525>

Шешукова В.С. Глава VI. Камеральная обработка // Криштофович А.Н. (ред). Диатомовый анализ. Том I. Общая часть. — М.: Госгеолгиздат, 1949. С. 87–103.

Kociolek J.P., Balasubramanian K., Blanco S., Coste M., Ector L., Liu Y., Kulikovskiy M. S., Lundholm N., Ludwig T., Potapova M., Rimet F., Sabbe K., Sala S., Sar E., Taylor J., Van de Vijver B., Wetzel C.E., Williams D.M., Witkowski A., Witkowski J. Diatom Base. URL: <https://www.diatombase.org>. (дата обращения: 30.04.2022).

Kociolek J.P., Kulikovskiy M.S., Kuznetsova I.V., Glushchenko A.M., Solak C.N. A putative species flock in the diatom genus *Gomphonema* Ehrenberg (Bacillariophyta: Gomphonemataceae) from Lake Baikal, Russia: description of six new species similar to *G. ventricosum* W. Gregory // Cryptogamie, Algologie. 2018. V.39. №3. P. 365–389. DOI: <https://doi.org/10.7872/crya/v39.iss3.2018.365>.

Kulikovskiy M.S. & Kociolek J. P. The diatom genus *Gomphonema* Ehrenberg in Lake Baikal. I. Morphology and taxonomic history of two endemic species // Nova Hedwigia, Beiheft. 2014. V. 144. P. 507–518. DOI: <https://dx.doi.org/10.1127/1438-9134/2014/027>

Kulikovskiy M.S., Kociolek J.P., Solak C.N. & Kuznetsova I. V. The diatom genus *Gomphonema* Ehrenberg in Lake Baikal. II. Revision of taxa from *Gomphonema acuminatum* and *Gomphonema truncatum-capitatum* complexes // Phytotaxa. 2015. V. 233. P. 251–272. DOI: <https://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.233.3.3>

ВОДОРΟΣЛИ И ПАРАЗИТИЗМ

М.А. Гололобова

Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

Предполагается, что появление автотрофов — организмов, способных синтезировать органические вещества из неорганических, могло быть связано с истощением органических веществ, которые были образованы на этапе химической эволюции Земли из неорганических. Большинство водорослей по типу питания является автотрофами, хотя среди них нередко встречаются миксотрофы — организмы, которые в зависимости от условий могут быть как авто-, так и гетеротрофами (т.е. использовать в качестве источника углерода готовые органические соединения). Большинство водорослей использует свет для получения энергии и биосинтеза, т.е. является фототрофами.

В целом, эволюция фотоавтотрофных эукариот стала возможной благодаря эндосимбиозам между эукариотическим хозяином и прокариотическим или эукариотическим эндосимбионтом. Считается, что потеря фотоавтотрофии не является существенной для выживания организмов, сохранивших предковые механизмы и способности к гетеротрофии (осмотрофии или фаготрофии), поэтому среди эукариотических фотоавтотрофов часто наблюдается потеря фотосинтеза. В то же время, утрата пластид в связи с их значимостью происходит довольно редко, так как в ходе эволюции происходили последовательные потери и перераспределения избыточных путей между симбионтом и хозяином. Однако многие фотоавтотрофы вернулись к гетеротрофии, получая органический углерод за счет осмотрофии (путем поглощения питательных веществ за счет осмоса), фаготрофии (путем заглатывания питательных веществ) или даже паразитизма (Oborník, 2019).

Паразитизм — это взаимоотношение между двумя видами, при котором один (паразит) живет на поверхности или внутри другого организма (хозяина), причиняя ему определенный вред, при этом паразит структурно приспособлен к такому образу жизни (Poulin, 2007). Таким образом, паразитизм отражает функциональную связь между хозяином и паразитом (Виноградова, 1995).

Среди водорослей есть виды, способные паразитировать на разных группах организмов: на других водорослях, высших растениях, беспозвоночных и позвоночных животных, включая человека. Паразитических водорослей сравнительно немного, тем не менее они известны среди разных таксономических групп, например, красных (Rhodophyta), зеленых (Chlorophyta), динофитовых (Dinophyta) и других групп водорослей, при этом, характер и способ паразитизма у разных видов значительно различаются.

Виноградова К. Л. Эпифитизм водорослей: уточнение терминологии // Ботанический журнал. 1989. Т. 74, № 9. С. 1291-1293.

Oborník M. Endosymbiotic evolution of algae, secondary heterotrophy and parasitism // Biomolecules. 2019. Vol. 9. P. 266.

Poulin R. Evolutionary ecology of parasites. 2nd Ed. — Princeton: Princeton University Press, 2007. — 360 p.

ТИХОПЕЛАГИЧЕСКИЕ ДИАТОМОВЫЕ

Е. Г. Гущина, Н. А. Давидович

Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского,
Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН,
пгт. Курортное, г. Феодосия, Республика Крым, Россия

Тихопелагические виды — виды, живущие на дне, но способные находиться в водной толще при благоприятствующих условиях. Такими условиями являются физические факторы, обеспечивающие взмучивание придонных слоев воды: внутренние и поверхностные волны, приливные течения, термоклинные изменения, взмучивание воды животными. Некоторые виды способны дольше других оставаться в толще воды, благодаря чему они заселяют плавающие в воде объекты и являются основной кормовой базой мидий и устриц в природной среде и на фермах.

Целью работы было исследование литературы, посвященной вопросу тихопелагических видов диатомовых водорослей, выделение основных видов, заселяющих суда, стекла обрастаний и зарегистрированных в желудках фильтраторов.

Анализ научных статей показал, что наиболее часто встречаемыми в обрастаниях на различных поверхностях были рода *Navicula*, *Nitzschia* и *Amphora*. Диатомовые водоросли были вторыми по времени заселения организмами, следующие сразу за бактериями. Наибольшее видовое разнообразие было отмечено на оргстекле и пластике (поливинил карбонат, пластиковые бутылки, кусочки пластика).

Navicula sp. и *Nitzschia* sp. были основными видами, найденными в желудках двухстворчатых моллюсков. Среди других видов отмечены: *Amphiprora lepidoptera f. lepidoptera*, *Amphora* sp., *Campylodiscus clypeus*, *Cocconeis placentula var. lineata*, *Cocconeis scutellum*, *Cocconeis scutellum var. adjuncta*, *Cylindrotheca* sp., *Entomoneis paludosa*, *Gyrosigma* sp., *Licmophora* sp., *Pleurosigma* sp., *Rhabdonema arcuatum var. ventricosum*, *Rhoicosphenia abbreviate*, *Stauroneis amphioxys var.*

amphioxys, *Surirella* sp., *Synedra* sp., *Tabularia fasciculata*.

По литературным данным оформлен список тихопелагических видов диатомовых водорослей Черноморского побережья Крыма с фокусом на Севастопольской бухте и акватории Карадагского заповедника. Вопрос тихопелагических диатомовых слабо изучен с точки зрения продолжительности их нахождения в водной толще и скорости оседания клеток в зависимости от стадии жизненного цикла. Поэтому, были рассмотрены методы подсчета скорости оседания микроводорослей в природных популяциях и лабораторных условиях с выделением плюсов и минусов для каждого метода. В итоге была подобрана комбинация методов для дальнейшего экспериментального изучения тихопелагической стадии диатомовых и ее важности в жизненном цикле бентосных диатомовых водорослей.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛОВОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ У ПЕННАТНЫХ ДИАТОМОВЫХ

Н.А. Давидович

Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского,
Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН,
пгт. Курортное, г. Феодосия, Республика Крым, Россия

Генетическая основа определения пола у пеннатных диатомей установлена сравнительно недавно. В отличие от эпигенетической регуляции у центрических диатомей, у пеннатных видов половые факторы (обозначенные как М и F) наследуются независимо, а комбинации MF и FF определяют потомство мужского (гетерогаметного) и женского (гомогаметного) полов соответственно (Давидович, 2002, 2005; Давидович и Давидович, 2010; Podunay et al., 2014). У ряда исследованных видов (*Nitzschia longissima* (Brébisson ex Kützing) Grunow, *N. rectilonga* Takano, *Tabularia fasciculata* (C. A. Agardh) Williams et Round, *T. tabulata* (C. A. Agardh) Snoeijs гаметы можно дифференцировать по их поведению и способу образования, что позволяет разделить клоны на «мужские» и «женские». Тип спаривания плюс (MT+) как гетерогаметный пол был подтвержден у изогамного *Seminavis robusta* D. B. Danielidis et D. G. Mann (Vanstechelman et al., 2013). Наиболее вероятной является схема детерминации пола, предполагающая у пеннатных участие двух генов, возможно в одном генетическом локусе, о чем свидетельствуют также данные, полученные на *Pseudo-nitzschia multistriata* (Takano) Takano (Russo et al., 2018).

Диморфные половые хромосомы у диатомей неизвестны. То же самое наблюдается и у сосудистых растений, половые хромосомы которых идентифицированы пока у очень немногих видов. Среди раздельнополых растений с цитогенетическими и/или молекулярными признаками наличия половых хромосом преобладает мужская гетерогамия (XY), тогда как женская гетерогамия (ZW) встречается очень редко. Сдвиги между различными системами половых хромосом (XY против ZW) также хорошо задокументированы и, по-видимому, являются обычным явлением. Половые системы могут различаться даже у представителей одного рода. У некоторых растений действует Y-специфический ген супрессора женской функции. Возможно, аналогичный тип регуляции пола действует и у раздельнополых преимущественно гетероталлических пеннатных диатомей, способных к редкому внутриклоновому воспроизведению.

Давидович Н.А. Половая гетерогенность клонов *Nitzschia longissima* (Bréb.) Ralfs (Bacillariophyta). Альгология. 2002. Т. 12, № 3. С.279–289.

Давидович Н.А. Наследование пола при внутриклоновом воспроизведении облигатно двудомного вида *Nitzschia longissima* (Bréb.) Ralfs (Bacillariophyta). Альгология. 2005. Т. 15, № 4. С. 385–398.

Давидович Н.А., Давидович О.И. Половое воспроизведение и система скрещивания *Tabularia tabulata* (C. Agardh) Snoeijs (Bacillariophyta). Альгология. 2010. Т. 20, № 4. С. 385–405.

Podunay Yu.A., Davidovich O.I., Davidovich N. A. Mating system and two types of gametogenesis in the fresh water diatom *Ulnaria ulna* (Bacillariophyta). Альгология. 2014. Т. 24, № 1. С. 3–19.

Russo M.T., Vitale L., Entrambasaguas L., Anestis K., Fattorini N., Romano F., Minucci C., De Luca P., Biffali E., Vyverman W., Sanges R., Montresor M., Ferrante M.I. MRP3 is a sex determining gene in the diatom *Pseudo-nitzschia multistriata*. Nature Communications. 2018. 9, 5050. <https://dx.doi.org/10.1038/s41467-018-07496-0>

ГАЛОТОЛЕРАНТНОСТЬ *NITZSCHIA CF. THERMALOIDES* — ОБИТАТЕЛЯ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

О.И. Давидович, Н.А. Давидович, Ю.А. Подунай

Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского,
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН,
пгт. Курортное, г. Феодосия, Республика Крым, Россия

Из проб, отобранных в 2020 году в районе Булганакского сопочного поля (входит в «Перечень особо охраняемых природных территорий регионального значения Республики Крым»), на котором расположены несколько грязевых вулканов, включая грязевые сопки Андрусова, Павлова, Тищенко и Центральное озеро, были выделены и введены в лабораторную культуру клоны диатомовой водоросли, идентифицированной как *Nitzschia cf. thermaloides*.

В лабораторных условиях было изучено влияние солености среды на темпы деления и половое воспроизведение водоросли, пределы галотолерантности клонов, установлен диапазон солености среды, в котором этот вид способен к половому воспроизведению, определена оптимальная солёность для вегетативного роста и для полового воспроизведения. Клоны выделяли микропипеточным способом и содержали в стеклянных колбах объемом 100 мл в модифицированной среде ESAW (Полякова и др., 2018), а также в среде Dm (Mann, 2004).

В работе были использованы пять клоновых культур. Клоны диатомовой водоросли *Nitzschia cf. thermaloides* продемонстрировали широкую толерантность в отношении солености, клетки водоросли были способны вегетативно размножаться в среде с соленостью от 0 до 220 ‰. Процесс полового воспроизведения происходил в более узком диапазоне от 6 до 54 ‰. Оптимальная соленость для полового воспроизведения и вегетативного роста оказалась одинаковой и составляла 30 ‰.

Полякова С. Л., Давидович О. И., Подунай Ю. А., Давидович Н. А. Модификация среды ESAW, используемой для культивирования морских диатомовых водорослей // Морской биологический журнал. 2018. Т. 3, № 2. С. 73-80. [Polyakova S. L., Davidovich O. I., Podunai Yu. A., Davidovich N. A. Modification of the ESAW culture medium used for cultivation of marine diatoms. Morskoy biologicheskij zhurnal, 2018, vol. 3, no. 2, pp. 73–78. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06>

Mann D. G. Chepurnov V. A. What have the Romans ever done for us? The past and future contribution of culture studies to diatom systematics. Nova Hedwigia. 2004. Vol. 79, №1-2. P. 237–291. DOI: 10.1127/0029-5035/2004/0079-0237

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В РАЙОНЕ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В 2021 Г.

О.А. Дмитриева^{1,2}

¹Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²Балтийский Федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

Прибрежная мелководная зона морской акватории Калининградской области подвержена различным видам антропогенного воздействия. В прибрежной зоне юго-восточной части Балтийского моря в районе метановой аномалии расположен «карбонный полигон» — район моря, находящийся под влиянием выноса вод со стороны Калининградского морского канала и трансформированных вод р. Висла. Цель работы: оценка видового состава, биомассы, особенностей вертикального распределения доминирующих видов фитопланктона на станции в районе карбонного в течение вегетационного сезона (апрель-ноябрь) 2021 г. На уровне крупных таксономических отделов сезонная сукцессия фитопланктона в 2021 г. характеризовалась доминированием в весенний период диатомовых и динофитовых водорослей, в летний — синезеленых, динофитовых и криптофитовых,

а в осенний — диатомовых водорослей. Вертикальное распределение биомассы фитопланктона Балтийского моря в районе карбонового полигона характеризовалось сезонной изменчивостью. Весной и в начале лета при наличии температурной стратификации максимальные показатели биомассы фитопланктона отмечались в слое 0–5 м и понижались к горизонту 25 м. В апреле были зарегистрированы максимальные значения биомассы 18–22 г/м³ за счет интенсивного «цветения» воды видом *Peridiniella catenata*. В июле-августе биомасса понижалась. В этот период на поверхностных горизонтах и во всем столбе воды ее значения не превышали 0,5 г/м³. Основными доминантами были цианобактерии *Aphanizonimemon* sp., *Nodularia spumigena*, криптозоаны *Plagioselmis prolonga* и *Teleaulax acuta*. К осени, при возникновении гомотермии, отмечалось увеличение биомассы как в поверхностном слое, так и на придонных горизонтах до 3,2 г/м³. В октябре-ноябре диатомеи определяли облик фитопланктона главным образом за счет таких видов как *Cerataulina pelagica*, *Coscinodiscus granii* и *Dactyliosolen fragilissimus*. Полученные результаты согласуются с общими закономерностями сезонной сукцессии основных систематических групп фитопланктона и сопоставимы с выявленными закономерностями, известными для Балтийского моря (Зернова, 1981; Зернова, Шевченко, 2001; Кудрявцева и др., 2018).

Зернова В.В. Сезонные изменения фитопланктона Балтийского моря / Осадкообразование в Балтийском море. М.: Наука. 1981. С. 64–72.

Зернова В.В., Шевченко В. П. Структура фитоценоза Балтийского моря в условиях продолжающейся эвтрофикации вод // Океанология. 2001. Т.41(2). С.231-239.

Кудрявцева Е.А., Александров С.В., Дмитриева О.А. Сезонная изменчивость первичной продукции и состава фитопланктона в береговой зоне российского сектора Гданьского бассейна Балтийского моря // Океанологические исследования. 2018. Т. 46(3). С. 99–115.

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, СТРУКТУРА И ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА КАРСТОВОГО ОЗ. БОЛЬШОЕ СВЯТОЕ (НИЖЕГОРОДСКАЯ ОБЛ.)

Д.А. Журова¹, Е.Л. Воденеева^{1,2}, П.В. Кулизин¹, Е.М. Шарагина¹,
Н.А. Старцева¹, А.Г. Охупкин¹

¹ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»,
Институт биологии и биомедицины, Нижний Новгород, Россия

²Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Нижний Новгород, Россия

На сегодняшний день озёра карстового происхождения остаются актуальными объектами гидробиологических исследований в связи со специфичностью гидрологического режима, уникальностью и малой изученностью их флористического и фаунистического состава.

Озеро Большое Святое — крупнейшее озеро карстового происхождения в Нижегородской области (Бакка, Киселёва, 2008). Комплексные исследования водоёма проводились в вегетационные периоды 2020 и 2021 гг. Воды оз. Большое Святое характеризуются слабой минерализацией (от 27,71 до 87 мг/л в разные годы исследования), низким содержанием биогенов, высокой прозрачностью (более 1 м) и преимущественно слабокислыми значениями рН (5,45–6,94). Таксономическое разнообразие альгофлоры оз. Большое Святое невысокое и насчитывает 64 видовых таксонов, включая таксоны, определённые до рода, которые относились к 8 отделам, 10 классам, 22 порядкам, 35 семействам и 50 родам. Наибольшее видовое богатство отмечено в отделах *Chlorophyta* (45% общего видового списка), *Bacillariophyta* (21,%) и *Cyanophyta* (12,50%). Родовой спектр формировали представители 9 таксонов (*Monoraphidium*, *Chroococcus*, *Oocystis*, *Nephrochlamys*, *Pinnularia*, *Scenedesmus*, *Staurastrum*, *Aphanocapsa*, *Trachelomonas*) с практически равным вкладом (2-3%) в общее видовое богатство. В эколого-географической структуре альгоценозов преобладали космополитные (62%), истинно планктонные (67%) и гетеротопные (планктонные обрастатели — 14%) виды, индифферентные к галобности и кислотности среды, предпочитающие олиго-β-мезосапробные и β-мезосапробные условия. (Корнева, 2016). Значения численности фитопланктона в озере изменялись от 0,58 до 2,05 и от 0,20 до 11,98 млн. кл./л в 2020 и 2021 гг. соответственно, при этом её основу

формировали мелкоклеточные колониальные цианобактерии. Величина биомассы изменялась от 0,04 до 0,71 и от 0,02 до 0,82 г/м³ в 2020 и 2021 гг. соответственно, определяясь развитием крупноразмерных диатомовых, динофитовых и десмидиевых.

Анализ сходства видового состава выявил чёткие сезонные изменения в таксономическом разнообразии альгоценозов и позволил выделить флористические комплексы фитопланктона, характерные для начала летней стратификации (июнь), выраженной летней стратификации (август) и осенней гомотермии (октябрь).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 20-04-01005А.

Бакка С.В. Киселева Н. Ю. Особо охраняемые природные территории Нижегородской области. Аннотированный перечень. — Н. Новгород, 2008. 560 с. Генкал С.И., Охупкин А. Г. Материалы к флоре диатомовых водорослей (Centrophyceae) карстового озера Святое Дедовское (Нижегородская область) // Поволжский экологический журнал. 2014. № 3. С. 311 — 319.

Информационно–аналитическая система «Особо охраняемые природные территории России». Озеро Большое Святое. URL: <http://oort.aari.ru> (Дата обращения: 02.10.2021).

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РОСТА НА НАКОПЛЕНИЕ ЛИПИДОВ У ЗЕЛЕННОЙ МИКРОВОДОРОСЛИ *COELASTRELLA* SP. ШТАММ IPPAS H-626

**Е.В. Заднепровская¹, А.А. Крапивина¹, М.А. Синетова¹,
С.И. Аллахвердиев^{1,2}**

¹Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН

²Институт фундаментальных проблем биологии РАН

Сокращение выбросов техногенного характера и переход на возобновляемые источники энергии — это задачи сегодняшнего дня, которые стоят перед человечеством. Культивирование микроводорослей, отвечающих запросам современности — перспективное направление работы. Особенно интересны зеленые микроводоросли в силу высокой скорости накопления биомассы и синтеза ценных биологических соединений.

Липиды, накапливаемые клетками зеленых микроводорослей, используются в качестве сырья для производства биотоплива третьего поколения, в пищевой промышленности, медицинских, косметических целях и т.д. (Spolaore, 2006).

В клетках запасные липиды обычно наблюдаются в виде липидных глобул, содержащих триацилглицериды (ТАГ), которые являются вторичными источниками энергии и могут накапливаться в больших количествах в условиях недостатка различных макроэлементов или при стрессовых воздействиях. Таким образом, накопление ТАГ — важный способ сохранения гомеостаза клетки при меняющихся условиях среды.

Объектом исследования являлась зеленая микроводоросль *Coelastrella* sp. штамм IPPAS H-626 (коллекция IPPAS ИФР РАН им. К.А. Тимирязева, Москва). Целью исследования было изучение влияния азотного и магниевого голодания на накопление липидов клетками *Coelastrella* sp. IPPAS H-626.

Культивирование микроводоросли проводилось в течение трех суток на модифицированной среде Тамия 1/2, Тамия-N, Тамия-Mg (Владимирова, 1991) в сосудах при следующих условиях: температура — 30°C, освещенность — 110 мкмоль фотонов м⁻²с⁻¹, аэрация стерильной газовой смесью, обогащенной CO₂ (1,5-2%). Забор проб осуществлялся в начале культивирования, а также через 24, 48 и 72 часа. Визуально определяли наличие липидов с помощью флуоресцентной микроскопии (флуоресцентный краситель Bodipy 505/515 (Thermo Fisher Scientific, USA) с конечной концентрацией 5 мкг/мл) (Rumin, 2015).

При азотном голодании культура бледнеет (признаки хлороза), замедляется в росте: прирост сухой массы практически в два раза ниже контрольной культуры. Клетки приобретают округлую форму за счет активного накопления ТАГ, оболочки утолщаются. При голодании по магнию культура приобретает коричнево-бурый цвет; показатели динамики сухой массы и оптической плотности практически не отличаются от контроля.

Результаты получены в рамках государственного задания Минобрнауки и высшего образования Российской Федерации (121033000136-14) и при поддержке Российского научного фонда (грант № 22-44-08001, №20-14-00280).

Владимирова М.Г., Барцевич Е.Д., Жолдаков И.А., Епифанова О.О., Маркелова А.Г., Маслова И.П., Купцова Е.С. IPPAS - коллекция культур микроводорослей Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева АН СССР // В кн. Каталог культур коллекций СССР. — М., 1991. — 612.

Rumin J., Bonnefond H., Saint-Jean B., et al. The use of fluorescent Nile red and BODIPY for lipid measurement in microalgae // *Biotechnol. Biofuels*. 2015. 8, p. 42.

Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A. Commercial applications of microalgae // *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2006. 101, 2, p. 87-96.

СИНТЕЗ ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА. АСПЕКТЫ РЕГУЛЯЦИИ

А.А. Зорина¹, О.И. Клычников², А.В. Леусенко¹, М.А. Синетова¹

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

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

Использование живых организмов в качестве биологических фабрик по синтезу хозяйственно-полезных веществ — давнее намерение человека. В этом направлении совершаются многочисленные шаги, включающие как теоретическое исследование вопроса, так и разработку, и усовершенствование технологического процесса. Ограничения, возникающие при этом, связаны с пластичностью метаболизма и разнообразием ответов организма-производителя на его модификацию.

В этой связи тщательное изучение путей регуляции биосинтеза хозяйственно значимых метаболитов относится к важным задачам, имеющим как фундаментальное, так и прикладное значение.

Наша работа направлена на изучение одной из 11 протеинкиназ цианобактерии *Synechocystis* - SpkH, у мутанта по которой мы обнаружили отличия в ультраструктуре клеток по сравнению с диким типом. Визуализированные нами включения характерны для биополимера группы полигидроксиалканоатов — полигидроксибутирата (ПГБ).

Эта группа алифатических полиэфиров, обладающих широким спектром физико-механических свойств, что позволяет производить из них практически все типы полимерных изделий. Они являются хорошей альтернативой традиционным синтетическим полимерам, так как легко разлагаются в окружающей среде (Koller M. & Mukherjee A., 2022).

На данный момент известен ряд регуляторных элементов, воздействующих на перестройку метаболизма цианобактерии *Synechocystis*, приводящую в свою очередь к накоплению ПГБ в клетках. К ним относятся, например, сигма-фактор второй группы SigE, регулятор ответа Rre37, транскрипционный фактор NtcA и некоторые другие (Osanaï *et al.*, 2013, 2014; Herrero *et al.*, 2001).

Учитывая, что процесс передачи сигналов на клеточном уровне — многогранный процесс, в который вовлечен целый оркестр ферментов, то установление их взаимодействия, точек пересечения и перенаправления «информации» является сложной, но очень важной задачей!

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121033000137-1).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 20-04-00757.

Martin Koller and Anindya Mukherjee. A New Wave of Industrialization of PHA Biopolyesters // *Bioengineering*. 2022. V. 9. № 2. P. 74.

Osanaï T., Numata K., Oikawa A., Kuwahara A., Iijima H., Doi Y., Tanaka K., Saito K., Hirai M. Y. Increased bioplastic production with an RNA polymerase sigma factor SigE during nitrogen starvation in *Synechocystis* sp. PCC 6803 // *DNA Res.* 2013. V. 20. P. 525–535.

Osanaï T., Oikawa A., Numata K., Kuwahara A., Iijima H., Doi Y., Saito K., Hirai M. Y. Pathway-level acceleration of glycogen catabolism by a response regulator in the cyanobacterium *Synechocystis* species PCC 6803 // *Plant Physiol.* 2014. V. 164. P. 1831–184.

Herrero A., Muro-Pastor A.M., Flores E. Nitrogen control in cyanobacteria // *J. Bacteriol.* 2001. V. 183. P. 411–425.

К ФЛОРЕ ЗЛОТИСТЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «ОРЕНБУРГСКИЙ»

М.Е. Игнатенко, Т.Н. Яценко-Степанова

Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН (Оренбург, Россия)

Государственный природный заповедник «Оренбургский» функционирует с 1989 г., однако до 2020 г. альгофлористические работы на территории заповедника не проводились. Заповедник состоит из пяти участков, включая Таловскую, Айтуарскую, Предуральскую, Буртинскую и Ащисайскую степи. Целью данного исследования явилось изучение разнообразия золотистых водорослей водоемов самого восточного участка заповедника — Ащисайской степи.

Материалом для данной работы послужили интегрированные пробы воды (пробы планктона, бентоса и перифитона), собранные в весенний период в 2020 г. и 2022 г. и осенью 2021 г. из четырех водных объектов, находящихся на территории Ащисайской степи и отличающихся морфометрией, гидрохимией и степенью оводненности: оз. Незаметное, оз. Журманколь, Прикордонный пруд и Ащисайский пруд. Участок «Ащисайская степь» (72 км²) расположен в бассейне широкой и сильно разветвленной балки Ащисай и является заповедным эталоном полого-волнистой типчаково-ковыльной полынной степи на солонцеватых темно-каштановых почвах. Гидрографическая сеть Ащисайской степи представлена плоскодонными лощинами с озеровидными расширениями. Эти водоемы отличаются малыми размерами и маловодностью. Их наполнение осуществляется в весенний период за счет снеготаяния, питание дождевое, подпитки родниковыми водами нет (Чибилев, 2014).

Водоросли изучали с использованием сканирующей электронной микроскопии на микроскопе Tescan Mira3 в Центре выявления и поддержки одаренных детей «Гагарин» (Оренбург). Для этого каплю нефиксированного образца наносили на алюминиевый столик, высушивали при комнатной температуре и напыляли золотом с использованием ионно-плазменной напылительной установки Quorum Q150R S plus.

В результате в исследуемых водоемах был выявлен 31 таксон (рангом ниже рода) золотистых водорослей. Отмечены виды следующих родов: *Chrysococcus* Klebs (1 вид), *Chrysosphaerella* Lauterborn (1 вид), *Clathromonas* Scoble et Cavalier-Smith (1 вид), *Dinobryon* Ehrenberg (3 вида), *Kephyrion* Pascher (6 видов), *Mallomonas* Perty (12 видов), *Paraphysomonas* De Saedeleer (2 вида), *Pseudokephyrion* Pascher (1 вид), *Spiniferomonas* Takahashi (1 вид), *Synura* Ehrenberg (3 вида). Видовое разнообразие хризифит исследуемых водоемов значительно различалось, несмотря на их близкое расположение относительно друг друга и сходные природно-климатические условия. Лишь два вида (*Paraphysomonas vestita* (A. Stokes) De Saedeleer и *Synura petersenii* Korshikov sensu lato) были зарегистрированы в каждом из четырех водоемов и два (*Chrysococcus triporus* B. Mack и *Synura curtispina* (J. B. Petersen et J. B. Hansen) Asmund) — в трех из них. Наибольшее количество видов (22) отмечено в пруду Прикордонный, наименьшее (3 вида) — в Ащисайском пруду, что может быть связано с колебанием уровня солености (от 1,59 г/л в апреле до 8,09 г/л сентябре) последнего. Также в каждом из водоемов были выявлены покоящиеся формы хризифит — стоматоцисты.

Чибилёв А.А. Заповедник «Оренбургский»: история создания и природное разнообразие. — Екатеринбург: Институт степи УрО РАН, Оренбургское отделение Русского географического общества, ООО «УИПЦ», 2014. — 139 с.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФЛОРОТАННИНОВ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ГРУПП БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ: СОДЕРЖАНИЕ, СТРУКТУРА И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Р.Т. Исламова¹, В.С. Лемешева¹, К. Биркемайер², Ю.И. Степченкова^{1,3}, Е.Р. Тараховская^{1,3}

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

²Университет Лейпцига, факультет химии и минералогии, Лейпциг, Германия;

³Санкт-Петербургский филиал Института общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Санкт-Петербург, Россия

Флоротаннины представляют собой водорастворимые олигомерные и полимерные соединения фенольной природы, мономером которых является флороглюцин (1,3,5-триоксибензол). Эти вещества являются специфическими вторичными метаболитами бурых водорослей. Несмотря на то, что флоротаннины играют важную роль во многих аспектах жизнедеятельности морских макрофитов и проявляют биологическую активность (как антиоксиданты, антибиотики, фунгициды и т.д.), эти вещества остаются пока одной из наименее изученных групп метаболитов водорослей. В данной работе исследовано общее содержание флоротаннинов в талломах ряда бурых водорослей, молекулярный состав этих соединений, а также их токсичность в отношении ряда одноклеточных организмов.

Флоротаннины были выделены из талломов 10 видов бурых водорослей: *Desmarestia aculeata* (Desmarestiales), *Pylaiella littoralis*, *Dictyosiphon foeniculaceus*, *Ectocarpus siliculosus*, *Chordaria flagelliformis* (Ectocarpales), *Chorda filum* (Laminariales), *Fucus vesiculosus*, *F. serratus*, *Pelvetia canaliculata*, (Fucales) и *Chaetopteris plumosa* (Sphacelariales). Содержание полифенолов определяли по взаимодействию с реактивом Фолина-Чокальтеу. Молекулярный состав флоротаннинов исследовали с использованием жидкостной хроматографии — масс-спектрометрии. Тестирование антибиотической активности флоротаннинов проводили на *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae* и *Chlamydomonas reinhardtii*.

Содержание флоротаннинов в талломах изученных водорослей составило от 3 (*Ch. filum*) до 17 (*F. vesiculosus*) % сух. массы. Больше всего полифенолов содержали представители пор. Fucales и Ectocarpales. Для всех исследованных фукусовых водорослей были показаны специфичные профили распределения флоротаннинов вдоль таллома, с максимальным содержанием в центральной зоне и/или вегетативных апексах и минимальным — в зрелых рецептакулах. Масс-спектрометрический анализ полученных экстрактов позволил выявить и охарактеризовать 30 структурных классов молекул флоротаннинов, включая модифицированные соединения (наиболее типичные модификации: ацетилирование, гидроксילирование и окисление). Показано, что молекулярный состав флоротаннинов видоспецифичен, более того — полифенолы разных структурных классов и степени полимеризации дифференциально накапливаются в разных зонах таллома водорослей. Флоротаннины *D. aculeata*, *E. siliculosus* и представителей пор. Fucales проявили значительную антибиотическую активность в отношении всех исследованных тест-объектов: минимальные ингибирующие концентрации составили от 4–5 мкг/мл для бактерий и дрожжей до 30–40 мкг/мл для хламидомонады. По-видимому, степень токсичности флоротаннинов бурых водорослей определяется особенностями их молекулярного состава.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 22-24-20039) и СПбНФ (Соглашение № 35/2022).

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА КУРШСКОГО ЗАЛИВА В 2020 ГОДУ

Е.Ю. Казакова¹, О.А. Дмитриева^{1,2}

¹Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), Калининград

²Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва

Куршский залив, расположенный в юго-восточной части Балтийского моря — высокопродуктивный трансграничный эстуарий лагунного типа, имеющий высокую рекреационную и рыбохозяйственную ценность. С середины XX века в заливе наблюдается

усиление «цветения» воды цианобактериями. В основу работы положены обработка и анализ 32 проб фитопланктона, отобранных на двух станциях прибрежной части Куршского залива с января по декабрь 2020 г. В исследуемый период в заливе обнаружено 327 видовых и внутривидовых таксонов микроводорослей из 8 систематических отделов. В течение всего года по доле в суммарной биомассе в фитопланктоне преобладали цианопрокариоты, диатомовые и зеленые водоросли. В летне-осенний период на одной из станций залива наряду с цианобактериями и диатомовыми высокую долю в суммарной биомассе имели динофитовые водоросли. В течение года в составе сообществ доминировали 14 таксонов, при этом ключевым видом, формировавшим основные изменения суммарной биомассы фитопланктона, был *Actinocyclus normanii*. Сезонная динамика биомассы фитопланктона Куршского залива в 2020 г. характеризовалась одновершинным максимумом развития в июле. Среднее за вегетационный сезон значение биомассы составило 13,32 г/м³, что в сравнении с данными предыдущих исследований является одним из самых низких показателей за период мониторинговых наблюдений с 2002 по 2021 гг. В 2020 г. всего было выявлено 11 потенциально-токсичных таксонов цианобактерий, которые суммарно составляли 54% от биомассы цианопрокариот. Наибольшую долю в суммарной биомассе потенциально-токсичных таксонов имел *Planktothrix agardhii*. В 2020 г. Куршский залив по показателям фитопланктона определен, как высокоэвтрофный водоем (Трифонова, 1990) с интенсивной степенью «цветения» воды (Протасов, Матвеев, 2001) и «удовлетворительным» классом качества воды (Mishke et al., 2002). По численности клеток потенциально-токсичных водорослей вода в водоеме не соответствовала рекомендациям ВОЗ для рекреационного использования преимущественно в летние месяцы, превышая норматив в 3 раза (Chorus, Bartram, 1999).

Протасов В.Ф., Матвеев А.С. Экология: Термины и понятия // Стандарты, сертификация. Нормативы и показатели: учеб. и справ. пособие. М.: Финансы и статистика. Т. 205, 2001. С. 104.

Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 184 с. Chorus I., Bartram J. Toxic Cyanobacteria in Water: a Guide to Public Health Significance, Monitoring and Management. Published on behalf of WHO by E & FN Spon // Chapman & Hall, London, 1999. 416 pp.

Mishke U., Nixdorf B., Hoehn E. Möglichkeiten zur Bewertung von Seen anhand des Phytoplanktons. Aktueller Stand in Deutschland. Brandenburgische Technische Universität Cottbus. Aktueller Reihe 5.02., 2002. P. 25-37.

СТОМАТОЦИСТЫ ВИДОВ РОДА *SYNURA* (CHRYSORHYZEAE, SYNURALES) — ИДЕНТИЧНЫ ИЛИ ВИДОСПЕЦИФИЧНЫ?

Д.А. Капустин, М.С. Куликовский

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

К роду *Synura* Ehrenb. относятся колониальные золотистые водоросли, клетки которых покрыты кремнеземными чешуйками. В настоящее время род насчитывает около 50 видов.

Все золотистые водоросли способны образовывать эндогенные кремнеземные покоящиеся стадии (стоматоцисты), и виды рода *Synura* не исключение. Считается, что морфология стоматоцист видоспецифична, а в некоторых случаях морфологические признаки стоматоцист даже используются для видовой идентификации (напр., у видов рода *Uroglena* Ehrenb.) Возникает вопрос: справедливо ли это утверждение для видов рода *Synura*? Ответить на этот вопрос довольно сложно, т.к. ультраструктура стоматоцист описана лишь для восьми видов. Нам удалось обнаружить стоматоцисты в природных популяциях и клональных культурах ещё у четырёх видов *Synura*: *S. echinulata* Korshikov, *S. spinosa* Korshikov, *S. macracantha* (J. B. Petersen et J. B. Hansen) Asmund и *S. punctulosa* Balonov, что позволяет провести сравнение и сделать предварительные выводы.

Стоматоцисты видов рода *Synura* морфологически очень просты и лишены орнаментации. Напр., у *S. echinulata* и *S. macracantha* цисты сферические и без воротничка. У других видов, напр., *S. spinosa*, *S. petersenii* Korshikov, *S. asmundiae* (Cronberg et Kristiansen) Škaloud, Kristiansen et Škaloudová и др., пара стоматоцисты окружена низким цилиндрическим или коническим

воротничком. Стоматоцисты *S. splendida* Korshikov и *S. morusimila* W. Pang et Q. Wang сходны по своей яйцевидной форме, но поверхность цисты *S. splendida* орнаментирована 5–6 овальными плато, придающими ей очень характерный вид. У *S. punctulosa* циста имеет хорошо развитый воротничок и обратноконическую пору.

Таким образом, цисты большинства видов рода *Synura* сходны между собой и из-за морфологической простоты они могут быть практически идентичны стоматоцистам других золотистых водорослей (напр., *Dermatochrysis* sp.). Тем не менее, некоторые из них выглядят достаточно характерно (напр., *S. splendida*, *S. punctulosa*), что позволяет определить вид по стоматоцисте. Оснований для отвержения постулата о видоспецифичности стоматоцист золотистых водорослей пока нет, но по мере накопления материала по строению стоматоцист отдельных видов, он может быть пересмотрен.

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 22-24-00662).

МЕТАБАРКОДИНГ ВОДОРΟΣЛЕЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОЦЕНКИ И МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Е.М. Кезля, Е.Е. Гусева, Е.И. Мальцев, М.С. Куликовский

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

Водоросли образуют начальное звено трофической цепи и очень чувствительны к условиям окружающей среды: быстро растут, быстро реагируют на изменения и, поэтому, используются в качестве биоиндикаторов для оценки качества воды и общего состояния водных экосистем. Метабаркодинг — это новый метод оценки биоразнообразия, объединяющий традиционную полевую экологию с глубокими молекулярными методами и передовыми вычислительными инструментами. В основе метода лежит применение так называемого баркода (штрихкода) — фрагмента ДНК, который используют как универсальный маркер для видовой идентификации организмов. В результате статистической обработки данных для каждого природного образца получают список операциональных таксономических единиц (OTU) с указанием относительной численности. Это позволяет оценить общее разнообразие, определить относительное обилие видов, оценить структуру сообщества. Метод продемонстрировал высокую чувствительность, т.к. обнаруживает виды даже при очень низкой численности и выявляет скрытые таксоны, которые не обнаруживаются традиционными методами. Более того, этот метод позволяет одновременно анализировать множество видов из нескольких природных образцов. Потенциально использование метабаркодинга позволит быстро и надежно проводить оценку экологического состояния водоемов. Однако, его широкое применение ограничено по ряду причин. 1) Универсальные генетические маркеры для водорослей еще не разработаны. Например, для зеленых водорослей высокая разрешающая способность на уровне видов показана для генетических маркеров 18S V9, ITS1 рДНК и вторичной структуры ITS2, молекулярная систематика диатомовых водорослей строится на использовании других регионов, 18S V4 и *rbcl*, криптофитовые водоросли разделяют на основании структуры LSU rDNA и вторичной структуры ITS2 и т.д. 2) Проблемы при обработке данных метабаркодинга. Большое разнообразие методов биоинформатики (например, кластеризация OTU, обнаружение химер, таксономическое назначение) и параметры (например, порог процентного сходства, используемый для определения OTU) затрудняют сравнение исследований и требуют стандартизации. 3) Пробелы, неполнота или плохое качество справочных данных в имеющихся штрихкодовых базах данных. Современные базы данных последовательностей содержат множество записей таксономическое назначение, которых проведено только до рода, часто отсутствуют метаданные, штаммы могут быть ошибочно идентифицированы или нести устаревший видовой эпитет, много последовательностей имеют ссылки на так и неопубликованные работы и т.д. и т.п. Метабаркодинг имеет огромную перспективу использования в разных прикладных и фундаментальных областях изучения биоразнообразия (мониторинг, биоиндикация, изучение биогеографии протистов и бактерий, эволюции водных сообществ, межорганизменных взаимоотношений, определении инвазивных видов и т.п.). Однако, для того чтобы полностью реализовать потенциал этого

метода, необходимо дальнейшее развитие и пополнение баз данных, с визуализированными контрольными образцами таксонов и данными о параметрах окружающей среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 22-24-00965).

MASTOGLOIA LACUSTRIS (GRUNOW) GRUNOW В ВОДОЕМАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Л. Косова, Д.Б. Денисов

Институт проблем промышленной экологии Севера,
обособленное подразделение ФИЦ «Кольский научный центр РАН», Апатиты, Россия

Данные о составе диатомовых водорослей в донных отложениях используются для восстановления условий развития озер. Для реконструкции условий формирования донных отложений важно понимать экологические связи между структурой сообществ диатомовых водорослей и параметрами среды. Наибольший интерес представляют таксоны, которые являются доминирующими членами диатомовых сообществ. Но есть виды, которые не достигают массового развития, и при этом могут быть индикаторами разных условий развития водоемов.

Представители рода *Mastogloia* Thwaites in Smith — это прежде всего морские диатомеи. Несколько видов встречаются во внутренних водах, как правило, в бентосных средах обитания, отдельные виды можно встретить в солоноватых водах. Вид *Mastogloia lacustris* (Grunow) Grunow в одних источниках описывается как пресноводный алкалифил (Диатомовый..., 1949; An Atlas..., 1996; Lange-Bertalot, 2017). В других источниках - как алькалифил и эвригалинный мезогалоб, характерный для водоемов, отделившихся от моря (Каган, 2012) или подпитываемых минерализованными трещинными (грунтовыми) водами (Шелехова, 1993). В работе (Gaiser et al. 2010) вид описан как доминирующий на мелководье в перифитонных матах известковых, пресноводных и солоноватых водно-болотных угодий Флориды и Карибского побережья с сезонным высыханием, способный быстро возрождаться при повторном затоплении высохших матов. В числе массовых видов *Mastogloia lacustris* отмечен в прибрежной зоне Малого Аральского моря при минерализации 9,12-9,16 ‰ (Сапожников, 2017). По-видимому, *Mastogloia lacustris* является видом с широким экологическим оптимумом, который может обитать в среде с низким и высоким содержанием солей.

Этот вид был обнаружен нами в сообществах перифитона олиготрофных озер на северо-западе Мурманской области и в колонках донных отложений двух малых озер Имандровской депрессии (Косова и др., 2020). Данные о современных условиях обитания вида позволят уточнить особенности эволюции исследуемых озер.

Диатомовый анализ. Л.: Госгеолиздат, 1949. Кн. 1. 240 с. Каган Л. Я. Диатомовые водоросли евро-арктического региона Аннотированная коллекция (древние и современные морские и пресноводные) — Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2012. — 209 с. Косова А.Л., Денисов Д.Б., Николаева С.Б. Таксономическое разнообразие диатомовых комплексов голоценовых донных отложений малых водоемов депрессии озера Имандра // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2020. №1(12). С. 41 - 50.

Сапожников Ф.В., Калинина О.Ю., Курбаниязов А.К., Юсупов Б., Мухитдинова С. Абдимуталип Н.А. О состоянии микрофитобентоса водоемов системы Аральского моря по исследованиям комплексной международной экспедиции. Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия биологическая и медицинская. 2017. №3. С.171-176.

Шелехова Т.С. Этапы развития малых озер северо-западной Карелии в голоцене по данным диатомового анализа (на примере озер горы Нуорунен). Вопросы геологии докембрия Карелии. - Петрозаводск: КНЦ РАН. 1993. С.160-181.

An Atlas of British Diatoms. Ed. PA Sims. Bristol; 1996.

Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M., Cantonati M. Freshwater Benthic Diatoms of Central Europe: Over 800 Common Species Used in Ecological Assessment // M. Cantonati, M. G. Kelly, H. Lange-Bertalot (Eds.). Koeltz Botanical Books, 2017. 942 p.

Gaiser, E.E., J. La Hee, F. Tobias, A. Wachnicka. 2010. *Mastogloia smithii* var *lacustris* Grun.: A Structural Engineer of Calcareous Mats in Karstic Subtropical Wetlands. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia 160(1): P. 99-112.

АЛЬГОБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ ГИПЕРГАЛИННЫХ РУЧЬЕВ БОЛЬШОГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ

С.А. Кочкарова¹, Ф.В. Сапожников²

¹ Каракалпакский государственный Университет им. Бердаха,
Нукус, Узбекистан

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Москва, Россия

Западный бассейн Большого Аральского моря ежегодно отступает, обнажая всё новые террасы обсыхающего дна. На верхней кромке террасы остаются сочащиеся источники грунтовых вод, текущих к морю. Как правило, такие источники проявляются на берегу весной, в пору начала интенсивного испарения с поверхности моря и его раннего отступления. К середине осени от них уже тянутся к воде протяжённые ручьевые потоки, текущие по соляной корке. Минерализация в потоках существенно ниже, чем в море. Здесь, в гипергалинных условиях, развиваются альго-бактериальные ценозы, выстраиваемые видами микрофитов, уже покинувшими Большой Арал на фоне продолжающейся ультрагалинизации его вод, а также видами, ранее не отмеченными в море. Эти ручьи служат резервациями для первых — и зонами преадаптации для вторых.

Ценозы строятся в форме обширных биоплёнок, покрывающих кристаллическое дно на площадях в десятки кв. м. В октябре 2021 года нами были изучены биоплёнки в ручьях, пролежавших от источников на верхней кромке отступления моря в тёплый сезон, и объединявшихся на нижнем уровне новейшей террасы обнажения в широкий «плащевой» сток. Минерализация в потоках составляла 50‰ в ручьевом течении, и 53‰ — в «плащевом». Потоки сливались в нижней части с мелководными лагунами, протянувшимися вдоль моря за береговым баром и имевшими заплесковую подпитку морской водой с минерализацией 160‰.

Вблизи источников, в зоне ало-малиновых плёнок, основными компонентами ценозов были бактериальные маты на основе галобактерий (*Haladaptatus paucihalophilus*, *Halobacterium salinarum*), обильно колонизированные *Nitzschia sigmaformis*, *Chroococcus turgidus* и *Cyanothece aeruginosa*. Ниже по течению, в зоне ало-рыжих плёнок, структурообразующая роль переходила к ассоциации *Synechocystis cf. salina*+*Chroococcus turgidus*+*N. sigmaformis*+*Chloroflexus aurantiacus*+*Halamphora borealis*, при минорном сопутствии *Proschkinia bulnheimii*, *Halamphora holsaticoides*, *C. aeruginosa*, *Dunaliella salina*, *Stauroneis cf. borgei* и *Cylindrotheca closterium*. Ранее *H. borealis* и *S. cf. borgei* не были встречены в ультрагалинном Арале или береговых источниках. Далее, при переходе к «плащевому» стоку, в зоне рыже-зеленоватых волокнисто-паутинчатых плёнок, ценозы строились на основе распростёртых макроколоний *Proschkinia bulnheimii*, в присутствии *Ch. turgidus*, *H. holsaticoides*, *H. borealis*, *Oscillatoria princeps*, *O. cf. sancta*, *Symploca hydroides*, *Phormidium cf. inundatum* и *Leptolyngbya cf. valderiana*. В верхней и средней зонах «плащевое» стока, в зависимости от толщины водного слоя (от 1,5 до 3 см), интенсивности течения и обилия столбиков соли, плавно переходили друг в друга три типа ценозов. Первый: *P. bulnheimii* (аспект), *H. borealis*, *Entomoneis paludosa*, *Halamphora hybrid*, *Cyanothece halobia*, *Halamphora subholsatica*, *H. salinicola*, *N. sigmaformis*, *Ph. cf. inundatum*, *L. cf. valderiana* и *Ch. turgidus*. Второй: *Cylindrotheca closterium* (аспект), *Navicula cincta*, *D. salina* и *C. aeruginosa*. Третий: *Cyanothece aeruginosa* (аспект), *S. cf. salina*, *Ph. cf. inundatum*, *Planktothrix agardhii*, *N. cinctum*. В нижней части «плащевое» стока плёнки строились на основе *C. aeruginosa*+*C. closterium*, в присутствии фоновых *Spirulina subsalsa*, *H. borealis*, *P. bulnheimii*, *S. cf. salina* и *Synechococcus sp.*, и редких *E. paludosa*, *N. cincta*, *Ch. turgidus*, *Ph. cf. inundatum* и *L. cf. valderiana*. Единично была отмечена *Nitzschia communis*. В лагунах доминировала *N. communis*, в присутствии *N. sigmaformis*, *H. holsaticoides*, *S. cf. salina* и *Synechococcus sp.*

ДВА НОВЫХ ВИДА РОДА *MICRACTINIUM* (*CHLORELLALES*, *TREBOUXIOPHYCEAE*), ОБЛАДАЮЩИЕ ВЫСОКИМ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ

Е. Кривина¹, М. Синетова², Т. Савченко¹, Е. Дегтярёв¹,
Е. Тебина¹, А. Темралеева¹

¹ ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований РАН»,
Пушино, Россия

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

Проблема изучения видового разнообразия представителей рода *Micractinium* (*Chlorophyta*) до сих пор актуальна, поскольку относительно простая морфология и высокая фенотипическая пластичность чрезвычайно затрудняют их точную идентификацию. В то же время такие исследования имеют важное практическое значение, поскольку некоторые из них характеризуются высоким биотехнологическим потенциалом, т.к. способны накапливать ценные метаболиты, в т.ч. полиненасыщенные жирные кислоты, и используются в пищевой промышленности, медицине, в сельском хозяйстве, а также в качестве сырья для биотоплива и очистки сточных вод (Adar et al., 2016; Chae et al., 2021).

Исследуемые штаммы ACSSI 343, ACSSI 344 и ACSSI 345 были выделены из высокоэвтрофных водоемов системы Васильевских озер (г. Тольятти, Самарская область), штамм ACSSI 332 (=IPPAS C-16= LARG-3) — из горячего источника на полуострове Чукотка. Все они имеют *Chlorella*-подобную морфологию: одиночные клетки шаровидной формы, без щетинок, хлоропласт пристенный с одним пиреноидом. Размножение осуществляется автоспорами равного размера, которые высвобождаются при разрыве клеточной стенки материнского спорангия. Однако анализ фрагмента 18S-ITS1-5.8S-ITS2 показал, что исследуемые штаммы принадлежат роду *Micractinium*. Сравнение морфологических характеристик при стандартных температурах (20–24°C), среды обитания и образа жизни, анализ топологии дерева, генетических дистанций и вторичных структур спейсеров ITS1 и ITS2, результаты изучения воздействия повышенных температур (до 41°C) и влияния высокого содержания питательных веществ на морфологию и размножение штаммов, а также анализ профиля жирных кислот позволили установить, что исследуемые штаммы являются представителями 2 новых видов с высоким биотехнологическим потенциалом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 19-34-60002 (культивирование, световая микроскопия, молекулярно-генетический анализ), а также в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования России (тема № 121041200194-7) (поддержание культуры ACSSI 332, криоконсервация, эксперименты по определению термотолерантности). GC-MS-анализ проводили с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Пушкинского научного центра биологических исследований Российской академии наук».

Adar O., Kaplan-Levy R.N., Banet G. High temperature *Chlorellaceae* (*Chlorophyta*) strains from the Syrian-African Rift Valley: the effect of salinity and temperature on growth, morphology and sporulation mode // Eur. J. Phycol. 2016. V. 51, № 4. P. 387–400.

Chae H., Seo J.B., Kim S., Youn E. J. Antarctic Freshwater Microalga, *Micractinium simplicissimum*, Suppresses Inflammation // J. Nanosci. Nanotechnol. 2021. V. 21, № 7. P. 4098–4103(6).

ВИДЫ-ВСЕЛЕНЦЫ В ПЛАНКТОНЕ ЛЕВОБЕРЕЖНЫХ ПРИТОКОВ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

П.В. Кулизин, Е.Л. Воденева, А.Г. Охапкин

Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского

На протяжении уже более 50 лет учеными отмечается проникновение видов живых организмов в новые для них регионы и экосистемы. С конца 70-х годов XX в. в водотоках бассейна Волги отмечена интенсификация инвазионных процессов, чему способствуют потепление климата, антропогенные нарушения естественных экосистем и глобальная трансформация основных элементов формирования стока на водосборе р. Волги (Корнева, 2014).

Из более чем 15 видов-вселенцев водорослей бассейна р. Волги, 6 обнаружены в Левобережных притоках Чебоксарского водохранилища.

Цель работы — на основании многолетних исследований состава и структуры фитопланктона проследить основные этапы проникновения (вселения) и развития инвазивных видов водорослей. Материалом для работы послужили как архивные материалы (пробы фитопланктона, собранные в период 60-х — 90-х гг., постоянные препараты диатомей), так и современные сборы авторов (2000 — 2019 гг.) с двух крупных Левобережных притоков Чебоксарского водохранилища (рр. Ветлуга и Керженец). С использованием разных подходов (световая и электронная микроскопия, молекулярно-генетические исследования single-cells sequencing) в составе фитопланктона изученных рек (рр. Керженец и Ветлуга) выявлены инвазивные виды водорослей из 3-х отделов, большая часть которых относится к Bacillariophyta (*Thalassiosira incerta* Makar., *T. faurii* (Gasse) Hasle, *Skeletonema subsalsum* (A. Cl.) Bethge, *Plagiotropis lepidoptera* (Greg.) Kuntze). Так же обнаружены виды из группы Dinophyta (*Unruhdinium kevei* (Grigorszky & F.Vasas) Gottschling) и Ochrophyta (*Goniostomum semen* (Ehrenberg) Diesing). Данные о появлении *Goniostomum semen* в р. Керженец датируются серединой 1980-х гг., где отмечено массовое развитие данного вида (до 6.0 г/м³). В современный период данный вид постоянно регистрируется в составе летних ценозов, но значимых показателей развития не выявлено. Постепенное проникновение и развитие *Skeletonema subsalsum* в водохранилища р. Волги зафиксировано с конца 1950-х гг. В р. Ветлуге данный вид был обнаружен в летний сезон 2016 г., значения биомассы которого достигали 8 % от общей (0.05 г/м³). В результате диатомового анализа в р. Керженец было обнаружено присутствие *Thalassiosira incerta*, *Th. faurii*, однако значимых показателей развития данных видов не выявлено. Сведения о появлении *Unruhdinium kevei* в р. Керженец датируются 2006 г., где отмечены единичные клетки в составе летнего планктона. В последние годы (2014-2019 гг.) в р. Керженец отмечено возрастание участия в формировании альгоценозов динофитовых водорослей (до 1.86 г/м³ — 69% от общей биомассы), среди которых *U. kevei*, биомасса которого достигала 0.67 г/м³. Временной диапазон встречаемости *U. kevei* охватывает период с ранней весны до начала осени. В исследуемых водотоках зарегистрировано появление и вегетация представителя бентосных сообществ — *Plagiotropis lepidoptera*, где он встречался на протяжении всего вегетационного периода. В р. Ветлуге данный вид входил в состав доминирующих комплексов реки, наряду с другими диатомовыми водорослями во второй половине летнего сезона. Максимальная численность и биомасса составили 20 тыс. кл/л (4.7%) и 0.43 г/м³ (34.3%). В р. Керженец отмечены лишь единичные находки *P. lepidoptera*.

Работа подготовлена при поддержке РФФИ, проект № 20-34-90144.

Корнева Л. Г. Инвазии чужеродных планктонных водорослей в пресных водах Голарктики (обзор)
// Российский журнал биологических инвазий. 2014. № 1. С. 9-37.

ПОЧЕМУ ИНТЕРЕС К ИЗУЧЕНИЮ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ИХ ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БУДЕТ ПОСТОЯННО ВОЗРАСТАТЬ?

**М.С. Куликовский, А.М. Глущенко, Е.И. Мальцев,
Е.М. Кезля, Н.В. Лобус, И.В. Кузнецова**

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

Диатомовые водоросли являются уникальными организмами, с точки зрения своего устройства, а именно наличия кремнеземного панциря и длительной эволюции с переносом генов от других групп. Все это позволяет быть этой группе очень конкурентной и широко представленной, как минимум с мела и до настоящего времени. В докладе будут рассмотрены основные особенности диатомовых водорослей, а также возможность использования этой группы для решения многих проблем, которые в настоящее время наиболее актуальны. К таким проблемам можно отнести вопросы декарбонизации, использования биологического кремнезема, проблемы ремедиации водоемов, использования диатомовых в поиске веществ, которые могут использоваться человеком для питания, получения лекарств решение проблемы скрытого голода и т.д.

Работа поддержана грантом РФФИ 19-14-00320-П.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИДЕРНОГО ПЕПТИДА БЕЛКА ЕСАА ИЗ *CROCOSPHERA SUBTROPICA* ATCC 51142 ДЛЯ СЕКРЕЦИИ РЕКОМБИНАНТНЫХ БЕЛКОВ В *E. COLI*

Е.В. Куприянова, М.А. Синетова, А.В. Леусенко, А.С. Воронков, Д.А. Лось

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

Лидерные пептиды (ЛП) представляют собой короткие последовательности на *N*-концах белков, обеспечивающие их посттрансляционный транспорт в специфические компартменты клетки (von Heijne, 1990). Интерес к ЛП, обеспечивающим эффективную секрецию белков из цитоплазмы *Escherichia coli* в периплазматическое пространство или в среду культивирования, обусловлен их биотехнологической значимостью, поскольку такой шаг значительно облегчает очистку рекомбинантных белков и снижает стоимость конечного продукта (Freudl, 2018). Мы экспрессировали в клетках *E. coli* несколько форм белка ЕсаА, соответствующих наружной карбоангидразе (КА) α -класса из цианобактерии *Crocospheera subtropica* ATCC 51142 (Kupriyanova et al., 2022). Белки без ЛП (ЕсаА или же ЕсаА в составе фьюжн-белка, слитый с тиоредоксином (Тrx) или глутатион *S*-трансферазой (GST) со стороны своего *N*-конца) находились внутри клеток в полноразмерной форме. Эти клетки не проявляли наружной КА-активности. При экспрессии ЕсаА с собственным ЛП (ЛП-ЕсаА), а также ЛП-ЕсаА, слитого с Тrx или GST со стороны *N*-конца, фракция растворимых клеточных белков *E. coli* (включающая белки периплазматического пространства) содержала процессированную (зрелую) форму белка, не имеющую ЛП — ЕсаА. Отдельно в этой фракции содержался полипептид, включающий участок ЛП. Тогда как тельца включения этих клеток содержали непроцессированные полноразмерные белки. Появление зрелого ЕсаА во внешних слоях клеток *E. coli*, экспрессирующих белки, обладающие ЛП, напрямую подтверждалось данными иммунофлуоресцентной микроскопии наряду с наличием у этих клеток высокой наружной КА-активности. Одновременно, зрелый ЕсаА присутствовал в среде культивирования. Эти данные свидетельствуют о том, что ЛП белка ЕсаА распознается секреторным аппаратом и лидерной пептидазой *E. coli* даже как внутренняя часть фьюжн-белка, что является удивительным фактом с точки зрения современных представлений о механизмах транслокации белков через цитоплазматическую мембрану у прокариот. Нами была предложена вероятная схема соответствующего механизма. Эффективность ЛП белка ЕсаА была сопоставима с эффективностью ЛП белков РелВ и ТогА, обычно используемых для биотехнологического получения внеклеточных рекомбинантных белков в *E. coli*. В том числе, цианобактериальный ЛП был способен обеспечивать перенос иных, помимо ЕсаА, белков во внешние слои клеток *E. coli*.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (темы № 121041200194-7 и 121033000137-1), а также при поддержке грантов РФФИ (№ 19-04-00457) и РНФ (№ 21-74-30003).

von Heijne G. The signal peptide // J. Membr. Biol. 1990. V. 115. P. 195-201. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01868635>

Freudl R. Signal peptides for recombinant protein secretion in bacterial expression systems // Microb. Cell Fact. 2018. V. 17. P. 52. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0901-3>

Kupriyanova E.V., Sinetova M.A., Leusenko A.V., Voronkov A.S., Los D.A. A leader peptide of the extracellular cyanobacterial carbonic anhydrase ensures the efficient secretion of recombinant proteins in *Escherichia coli* // J. Biotechnol. 2022. V. 344. P. 11-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.12.006>

РОЛЬ PAS-ДОМЕНА СЕНСОРНОЙ ГИСТИДИНКИНАЗЫ HIK33 В РЕГУЛЯЦИИ СТРЕССОВЫХ ОТВЕТОВ У *SYNECHOCYSTIS* SP. PCC 6803 GT-L

А.В. Леусенко, К.С. Миронов, Д.А. Лось

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

PAS (Per-ARNT-Sim) домен — это широко распространенная функциональная часть структуры белков, встречающихся у представителей всех трех царств жизни — архей, прокариот и эукариот. Биологические функции белков, в которых идентифицирован PAS домен, весьма разнообразны. К этой группе принадлежат гистидин- и серин/треонининовые протеинкиназы, хемо- и фоторецепторы, белки циркадных ритмов, белки ионных каналов, фосфодиэстеразы, а также различные регуляторы клеточных ответов (Taylor, Zhulin, 1999). Непосредственно сам PAS-домен отвечает за сенсорную и сигнальную функции этих белков; и, одновременно, принимает участие в формировании их третичной структуры (Stuffle et al., 2021). Hik33 — это сенсорная гистидинкиназа, регуляторный белок, который, вместе с соответствующим регулятором ответа (Rre), составляет двухкомпонентную сигнальную систему. Hik33 принимает участие в регуляции экспрессии большого количества генов в ответ на холодовой, солевой и гиперосмотический стрессы (Los et al., 2010). Структура Hik33 включает два трансмембранных (TM1 и TM2), а также HAMP-, PAS- и киназный домены. Ранее в экспериментах было показано, что при одновременном воздействии холодового и темнового стрессов на клетки *Synechocystis* критически уменьшается экспрессия Hik33-зависимых генов *hliB*, *ndhD2* и *desB*, что указывает на явный светозависимый характер передачи сигнала (Mironov et al., 2012). При дальнейших исследованиях было выявлено, что Hik33 оказывает наибольшее влияние на уровень экспрессии *hliB*, *ndhD2* и *desB* при воздействии света определенного спектра, а именно красного (700 нм) (Mironov et al., 2014). В настоящей работе для изучения функциональной роли отдельных доменов Hik33 в передаче сигнала были получены независимые мутанты *Synechocystis*, несущие эту гистидинкиназу с наполовину ($\Delta 0,5(TM1-TM2)$) и целиком ($\Delta(TM1-TM2)$) удаленными трансмембранными доменами, а также мутант с делецией по PAS-домену (ΔPAS). Полученные нами результаты обсуждаются в докладе.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121033000137-1), а также грантом РФФИ № 21-74-30003).

Los D.A., Zorina A., Sinetova M., Kryazhov X., Mironov K., Zinchenko V. V. Stress Sensors and Signal Transducers in Cyanobacteria // *Sensors*. 2010. V. 10 P. 2386-2415. DOI: 10.3390/s100302386

Mironov K.S., Sidorov R.A., Trofimova M.S., Bedbenov V.S., Tsydendambaev V.D., Allakhverdiev S.I., Los D.A. Light-dependent cold-induced fatty acid unsaturation, changes in membrane fluidity, and alterations in gene expression in *Synechocystis* // *Biochimica et Biophysica Acta*. 2012. V. 1817. P. 1352-1359. DOI: 10.1016/j.bbabi.2011.12.011

Mironov K.S., Sidorov R.A., Kreslavski V.D., Bedbenov B.S., Tsydendambaev V.D., Los D.A. Cold-induced gene expression and x3 fatty acid unsaturation is controlled by red light in *Synechocystis* // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2014. V. 137. P. 84-88. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2014.03.001

Stuffle E.S., Johnson M.S., Watts K.J. PAS domains in bacterial signal transduction // *Current Opinion in Microbiol.* 2021. V. 61. P. 8-15. DOI: 10.1016/j.mib.2021.01.004

Taylor B.L., Zhulin I. PAS Domains: Internal Sensors of Oxygen, Redox Potential, and Light // *Microbiol. And Mol. Biol. Rev.* 1999. V. 63. P. 479-506. DOI: 10.1128/mmbr.63.2.479-506.1999

КОНСТРУИРОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ОПЕРОНОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГУЛЯЦИИ СТРЕССОВЫХ ОТВЕТОВ У ЦИАНОБАКТЕРИИ *SYNECHOCOCCUS* *ELONGATUS* PCC 7942

П.А. Леусенко, Д.А. Лось, К.С. Миронов

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

Десатуразы жирных кислот (ЖК) - ферменты, катализирующие превращение одинарной связи между атомами углерода в ацильных цепях в двойные связи в конкретном положении,

тем самым увеличивая ненасыщенность ЖК (Los, Murata, 1998). От степени ненасыщенности ЖК зависит такой важный показатель устойчивости к стрессовым факторам, как текучесть мембраны. Интерес к исследованиям в этой области обусловлен их биотехнологической и сельскохозяйственной значимостью, поскольку полученные знания могут быть использованы для создания новых штаммов цианобактерий и растений более устойчивых к неблагоприятным внешним условиям (Maali-Amiri et al., 2010). Для оптимизации изучения влияния ЖК-профиля на устойчивость к внешним стрессовым факторам мы создали интеграционный вектор pLPA7 с возможностью легкой замены участков интеграции в хромосому и внесенной системой Bio-Bricks для упрощенной сборки цепочки разнообразных генов под единым промотором. Для создания синтетических оперонов использовались гены десатураз *desA*, *desB* и *desD* из цианобактерии *Synechocystis* sp. PCC 6803 в следующих комбинациях: *desA-desB*, *desA-desD*, *desA-desD-desB* и *desA* отдельно. Впоследствии, полученные вектора использовались для интеграции синтетических оперонов в хромосому цианобактерии *Synechococcus elongatus* PCC 7942 (в котором изначально присутствовала только десатураза *desC*). У всех мутантов наличие мРНК соответствующих генов десатураз было подтверждено с помощью ОТ-ПЦР, соответствующие профили жирных кислот были показаны методом газовой хроматографии.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121033000137-1), а также при поддержке грантов РФФИ (№№ 19-74-10100 и 21-74-30003).

Los D.A., Murata N. Structure and expression of fatty acid desaturases // *Biochim Biophys Acta*. 1998. V. 1394. P. 3-15. DOI: 10.1016/s0005-2760(98)00091-5

Maali-Amiri R., Yur'eva N.O., Shimshilashvili K.R., Goldenkova-Pavlova I.V., Pchelkin V.P., Kuznetsova E.V., Tsydendambaev V.D., Trunova T.I., Los D.A., Salehi Jouzani G.R., Nosov A. M. Expression of acyl-lipid Δ 12-desaturase gene in prokaryotic and eukaryotic cells and its effect on cold stress tolerance // *J. Integr. Plant Biol.* 2010. V. 52. P. 289-297. DOI: 10.1111/j.1744-7909.2010.00890.x

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ РОЛЬ ФИТОПЛАНКТОНА В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ: ОТ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ К БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Н.В. Лобус, М.С. Куликовский

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

Фитопланктон представляет собой парафилетическую группу фотоавтотрофов со сложной историей эволюции, насчитывающей ~2.5-2.6 миллиарда лет. Им, безусловно, предшествовали различные формы анаэробных фотосинтетических бактерий. Несмотря на эту парафилию, фитопланктон распадается на эволюционно обособленные функциональные группы, включающие одну основную группу прокариот (цианобактерии, ранее называвшиеся сине-зелеными водорослями) и ряд групп эукариот (диатомовые, зеленые, криптофитовые, золотистые, желто-зеленые водоросли динофлагелляты и др.).

Являясь неотъемлемым компонентом водных экосистем, микроводоросли и цианобактерии играют ключевую роль в биогеохимическом цикле макро- и микроэлементов. Они контролируют обилие и распределение химических элементов в водоемах, обеспечивают их эффективную аккумуляцию и трофический перенос вдоль пищевой цепи, а также оказывают глубокое влияние на скорость седиментации элементов в составе детритной компоненты осадочного вещества. В процессе своей жизнедеятельности микроводоросли формирует несколько альтернативных путей миграции макро- и микроэлементов, ассоциированных с их клетками, каждый из которых имеет свои уникальные биологические, геохимические и геологические последствия.

В настоящее время, одним из ключевых направлений технологического развития в мире является разработка «зеленых» биотехнологий, которые позволяют обеспечить необходимый уровень экономического роста без создания дополнительных экологических рисков для окружающей среды. Среди широкого спектра живых организмов, используемых в создании и развитии инновационных, экологически чистых биотехнологий, микроводоросли являются наиболее популярным объектом исследований, поскольку они находят широкое применение

в разных сферах хозяйственной деятельности человека. Обладая способностью аккумулировать и иммобилизовать ионы тяжелых металлов из окружающей среды, микроводоросли обеспечивают основу для разработки новых технологий в очистке и биоремедиации вод.

Одним из таких инновационных подходов с высоким потенциалом биотехнологического развития и внедрения считается биосорбция с использованием биомассы водорослей. К ее основным преимуществам относят устойчивость процесса, низкую себестоимость исходного сырья и возможность применения к сточным водам, содержащим технологически невысокие концентрации тяжелых металлов и других химических элементов. Важным фактором, определяющим высокий потенциал использования культур водорослей в биоремедиации сточных вод, является обратная зависимость эффективности биосорбции от начальной концентрации ионов металлов в фазе раствора. При низких концентрациях, удаление металлов происходит более эффективно, чем при более высоких. Это дает конкурентные экономические преимущества использования биосорбции на основе культур водорослей в биоремедиации промышленных стоков, содержащих технологически невысокие концентрации металлов по сравнению с традиционными, эффективными, но очень дорогими ионообменными и мембранными технологиями очистки вод.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Проект № 22-24-00945).

РАЗНООБРАЗИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

Е. И. Мальцев, С. Ю. Мальцева, М. С. Куликовский

Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН

Весьма ценной с точки зрения удовлетворения растущего спроса на продукты питания и сырье для производства биотоплива является способность цианобактерий накапливать липиды. Большое разнообразие липидов с учетом видового богатства самих цианобактерий представляет уникальный по составу жирных кислот природный ресурс (Maltsev, Maltseva 2021). В биомассе цианобактерий отмечены относительно редкие жирные кислоты с нечетным количеством атомов углерода, разветвленные, гидроксильированные, метилированные др. (Bergé, Barnathan 2005). У ряда штаммов *Nostoc Vaucher* ex Bornet et Flahault отмечены антеизо-14:0 и антеизо-16:0 жирные кислоты в количестве 2,2–2,6% (Gugger et al. 2002). Примечательно, что особенности профиля жирных кислот могут использоваться в качестве хемотаксономического маркера для цианобактерий (Maltsev, Maltseva 2021). Основу жирнокислотного профиля цианобактерий, как правило, составляет группа в пределах длины цепочки 16 и 18 атомов углерода, при этом самыми часто встречающимися являются 16:0, 16:1, а также полиненасыщенные жирные кислоты: 18:2n-6, 18:3n-3, 18:3n-6, 18:4n-3 (Gugger et al. 2002; Lang et al. 2011). При этом для таксонов различного ранга может прослеживаться определенная зависимость на уровне преобладания в профиле тех или иных групп жирных кислот (Bergé, Barnathan 2005).

Всего в процессе исследования установлен состав жирных кислот для 20 штаммов почвенных и пресноводных цианобактерий из рода *Nostoc* и близкородственных таксонов во время стационарной фазы роста. Анализ профиля жирных кислот показал, что одной из доминантных является насыщенная пальмитиновая 16:0 жирная кислота, содержание которой составляло от 17,0 до 39,5% в общем спектре. Ее ненасыщенная производная, пальмитолеиновая 16:1n-7 кислота, отмечалась в диапазоне 0,1–30,0% и обнаружена у 18 штаммов. Среди преобладающих жирных кислот можно выделить стеариновую 18:0 (5,3–77,2% от общего количества жирных кислот), линолевую 18:2n-6 (0,7–35,2%) и альфа-линоленовую 18:3n-3 (2,1–51,1%) кислоты. Реже отмечалась или содержались в меньших количествах миристиновая 14:0 (1,1–4,7%), арахидовая 20:0 (0,3–0,9%), олеиновая 18:1n-9 (0,4–9,3%), вакценовая 18:1n-7 (0,9–9,5%) и гексадекадиеновая 16:2n-4 (2,6–5,2%) кислоты. Общей чертой всех изученных профилей жирных кислот является доминирование насыщенных жирных кислот у почвенных штаммов в диапазоне от 66,6% до 99,9%. При этом у пресноводных штаммов преобладали ненасыщенные жирные кислоты — их суммарное содержание было 60,5–83,1%. У исследованных штаммов содержание омега-3 жирных кислот было в пределах 1,3–51,1%. В целом, учитывая полученные профили, можно сделать вывод, что среди изученных штаммов

Nostoc присутствуют перспективные продуценты жирных кислот для фармакологической и биотехнологической промышленности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-74-10076).

Bergé J.P., Barnathan G. Fatty acids from lipids of marine organisms: molecular biodiversity, roles as biomarkers, biologically active compounds, and economical aspects // *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. 2005. V. 96. P. 49–125.

Gugger M., Lyra C., Suominen I., Tsitko I., Humbert J.F., Salkinoja-Salonen M.S., Sivonen K. Cellular fatty acids as chemotaxonomic markers of the genera *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Nostoc* and *Planktothrix* (cyanobacteria). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2002. V. 52. P. 1007–1015.

Lang I., Hodac L., Friedl T., Feussner I. Fatty acid profiles and their distribution patterns in microalgae: a comprehensive analysis of more than 2000 strains from the SAG culture collection // *BMC Plant Biology*. 2011. V. 11. 124.

Maltsev Y., Maltseva K. Fatty acids of microalgae: diversity and applications // *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2021. V. 20. P. 515–547.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ ОСНОВНЫХ ДОМИНИРУЮЩИХ ВИДОВ ФИТОПЛАНКТОНА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ ОСЕНЬЮ 2021 Г.

А.С. Мельник¹, О.А. Дмитриева^{1,2}, Е.Е. Ежова¹, А.Ю. Шартон¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

²Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), Калининград²

В конце октября–начале ноября 2021 г. фитопланктон Российской исключительной экономической зоны (ИЭЗ) и сопредельных вод ИЭЗ Польши и Литвы был представлен 92 таксонами из 9 систематических групп. 85% от общего числа таксонов составляли динофитовые, цианобактерии, диатомовые и зеленые водоросли. В исследуемый период суммарная численность фитопланктона изменялась от 141 тыс. кл/л до 4,4 млн. кл/л, суммарная биомасса — от 0,2 до 5,8 мг/л. Основной вклад в биомассу на всех станциях вносили диатомовые водоросли (до 99% ее суммарных значений), главным образом за счет доминирования нетипичной для акватории Российской ИЭЗ диатомеи *Cerataulina pelagica*. Анализ пространственного распределения показал, что на границе Российской ИЭЗ и сопредельных вод ИЭЗ Польши в исследуемый период численность *C. pelagica* в фотическом слое варьировала от 26 тыс. кл/л до 1,2 млн кл/л, в поверхностном горизонте (0–0,5 м) — от 79 до 450 тыс. кл/л. Биомасса в фотическом слое изменялась от 0,1 до 5,6 мг/л, в поверхностном горизонте — от 0,3 до 1,84 мг/л. Совместно с *C. pelagica* в составе сообществ был обнаружен другой нетипичный вид диатомей — *Dactyliosolen fragilissimus*, биомасса которого в фотическом слое и поверхностном горизонте не превышала 0,1 мг/л. Количественные показатели *C. pelagica* для прибрежной зоны северной части Самбийского п-ва и Российской части Куршской косы (м. Таран — п. Морское) были ниже по сравнению с открытой частью моря: численность варьировала от 850 кл/л до 112 тыс. кл/л, биомасса — от 0,04 до 0,6 мг/л. Численность *D. fragilissimus* в этом районе изменялась от 4 до 32 тыс. кл/л, биомасса — от 0,002 до 0,03 мг/л. Максимальная биомасса этого вида в поверхностном горизонте зарегистрирована на 10 м изобате в районе п. Рыбачий — 0,6 мг/л. На станциях, расположенных в сопредельных водах ИЭЗ Литвы, обнаружена тенденция снижения показателей численности и биомассы диатомей от прибрежной зоны Российской части Куршской косы вдоль границы с Литвой к Южному склону Готландской впадины. На станции в районе южного склона Готландской впадины биомасса *C. pelagica* снизилась до 0,01 мг/л в поверхностном горизонте и 0,001 мг/л в фотическом слое. Обнаруженные в акватории Российской ИЭЗ и сопредельных вод ИЭЗ Польши и Литвы центрические диатомеи *C. pelagica* и *D. fragilissimus*, были зарегистрированы ранее в ЮВБ только в 2009 и 2020 гг. В 2021 г. в фитопланктоне доминировала *C. pelagica*, биомасса которой на отдельных участках достигала 5,6 мг/л. Биомасса *D. fragilissimus* не превышала 0,09 мг/л.

Работа выполнена в рамках госзадания № FMWE-2021-0012 (до 2022 г. № 0128-2021-0012).

Łotocka, M. The first observed bloom of the diatom *Dactyliosolen fragilissimus* (Bergon) Hasle 1996 in the Gulf of Gdańsk // *Oceanologia*. 2006. Vol. 48(3). P. 447-452.

Olenina I., Kownacka J. An unusual phytoplankton event five years later: the fate of the atypical range expansion of marine species into the south-eastern Baltic // *HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheet* 2010.

IPPAS ИФР РАН - КОЛЛЕКЦИЯ ШТАММОВ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ С УНИКАЛЬНЫМИ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ

Е.М. Мессинева, А.Ю. Козлова, А.Г. Маркелова, М.А. Синетова

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

Коллекция микроводорослей и цианобактерий IPPAS функционирует в составе лаборатории экофизиологии микроводорослей Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН и имеет международный статус (шифр IPPAS) Она была создана в 1958 году М. Г. Владимировой под руководством В. Е. Семеновко с целью использования микроводорослей для фундаментальных и прикладных исследований. В настоящее время коллекция IPPAS входит в Европейскую ассоциацию коллекций культур ECCO, зарегистрирована во Всемирном центре данных о микроорганизмах (World Data Centre for Microorganisms, WDCM) под номером 596.

Коллекция IPPAS обеспечивает формирование, пополнение и сохранение фонда непатогенных природных и генетически модифицированных штаммов цианобактерий и микроводорослей, которые могут стать производителями биотехнологически ценных метаболитов или модельными объектами фундаментальных исследований. Необходимыми компонентами деятельности коллекции также являются идентификация коллекционных штаммов, поиск оптимальных условий для хранения и роста имеющихся штаммов, разработка методов очистки поступивших штаммов от контаминантов, характеристика потенциальных штаммов-продуцентов ценных соединений.

На 2022 г. фонд коллекции IPPAS включает в себя более 450 штаммов, в том числе около 300 штаммов эукариотических микроводорослей и около 150 штаммов цианобактерий. Среди эукариотических водорослей имеются представители отделов зеленых, красных, эвгленовых, диатомовых, эустигматофитовых и желто-зеленых водорослей. Цианобактерии представлены как различными дикими формами, так и мутантами. В коллекции поддерживаются различные экстремофильные штаммы: термофилы из горячих источников, психрофилы — симбионты байкальских и беломорских губок, обитатели снежников, галофилы из соленых озер, ацидофилы из кальдер вулканов, алкалофилы из содовых озер.

В числе штаммов коллекции IPPAS присутствуют популярные модельные объекты, используемые в различных научных направлениях. Среди них есть организмы, которые используются для изучения механизмов внутриклеточной регуляции, CO₂-концентрирующего механизма и др. Были получены последовательности draft-геномов для ряда штаммов цианобактерий из фонда коллекции, среди которых есть продуценты уникальных метаболитов. Некоторые штаммы, содержащиеся в коллекции IPPAS, используются также для разработки методов промышленного культивирования.

Коллекция микроводорослей IPPAS ИФР РАН по совокупности параметров является уникальной установкой для разработки биотехнологий получения биопрепаратов из микроводорослей и цианобактерий для нужд пищевой, фармацевтической, косметической промышленности. Коллекция может предоставлять объекты исследования с заданными свойствами, гарантировать сохранение новых штаммов микроводорослей, полученных в результате работ по проекту в других организациях и имеющих биотехнологический потенциал.

Расширение фонда коллекции IPPAS проводится в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122042700045-3).

ЦИМБЕЛЛОИДНЫЕ ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ РЕКИ АДЕГОЙ (КРАСНОДАРСКИЙ КРАЙ)

А.В. Мионов¹, Д.А. Чудаев¹, И. Ютнер²

¹Кафедра микологии и альгологии,
Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Отдел естественных наук, Национальный музей Уэльса,
Кардифф, Великобритания

Река Адегой — небольшая горная река, расположенная в северо-западной части Кавказа. Этот водоем характеризуется большим таксономическим разнообразием диатомовых водорослей. Для проведения исследования была выбрана группа цимбеллоидных диатомей, представители которой отличаются асимметрией относительно апикальной оси створки (кроме некоторых видов из родов *Cymbopleura* и *Encyonopsis*). Изначально цимбеллоидные диатомовые водоросли были представлены только родом *Cymbella*, но после 1997 года было описано множество новых родов — *Encyonopsis*, *Cymbellopsis*, *Oricymba*, *Celebesia*, *Alveocymba* и др. В настоящее время таксономические представления об этой группе изменяются, в связи с чем ее изучение представляет интерес для диатомологов.

Материал был собран в мае 2016 г., во время полевой практики Биологического факультета МГУ из реки Адегой и её притоков. Были отобраны пробы донных осадков

и обрастаний мхов и водорослей. Полученные постоянные препараты были изучены с помощью световой и электронной сканирующей микроскопии.

В процессе исследования было отмечено 24 вида из 6 родов, включая новый для науки вид *Delicatophycus porosus*. Другие обнаруженные цимбеллоидные диатомовые водоросли относятся к родам *Cymbella*, *Cymbopleura*, *Encyonema*, *Encyonopsis* и *Reimeria*. Новый вид *Delicatophycus porosus* был описан на основе световых и электронных фотографий и сопоставлен с 9 похожими видами из этого рода. Новый таксон характеризуется дорсивентральной симметрией, радиальными или параллельными штрихами, широко закругленными концами створок, отсутствием стигм и наличием апикальных поровых полей. Последний признак не характерен для рода *Delicatophycus* и ранее был отмечен лишь у 3 представителей данного таксона.

Наша работа продолжает серию исследований по изучению таксономического разнообразия диатомовых водорослей в бассейне реки Адегой и расширяет представления о флоре диатомей Северного Кавказа.

ВЛИЯНИЕ ТЕКУЧЕСТИ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН НА ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ У ЦИАНОБАКТЕРИИ *SYNECHOCYSTIS* SP. PCC 6803

К.С. Мионов

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

Цианобактерии это прокариотические фотоавтотрофные микроорганизмы, которые находят широкое применение в фундаментальных исследованиях механизмов стрессовой адаптации, фотосинтеза и генетики, а также широко используются в биотехнологических производствах. В настоящее время известны примеры использования модифицированных генетически штаммов цианобактерий с целью выработки ими биоспиртов. Между тем эффекты первичных алифатических спиртов на клетки цианобактерий изучены достаточно слабо.

Нами было проведено изучения воздействия таких спиртов: от метанола до нонан-1-ола — на клеточные мембраны, а также на экспрессию генов десатураз жирных кислот модельной цианобактерии *Synechocystis* sp. PCC 6803. Мы выяснили, что наиболее «представительным» соединением данной группы веществ по действию на клеточные мембраны, а также на экспрессию генов, является гексан-1-ол. В ходе наших экспериментов мы показали, что клеточная гибель, вызванная данным спиртом связана с его сильнейшим эффектом мембранного флюидайзера, а также со способностью репрессировать гены десатураз жирных кислот по механизму обратной связи, что приводило к сильному изменению состава жирных кислот липидов клеточных мембран цианобактерий [1].

Некоторые из этих спиртов были нами использованы для изучения транскриптомного ответа на действие спиртов у *Synechocystis*. Мы провели сравнение полученных данных для пентан-1-ола, гексан-1-ола и гептан-1-ола с действием ароматических бензилового (классического флюидаизера), фенилэтанола, а также тепла. Оказалось, что все спирты индуцировали примерно одну и ту же группу генов «общего стрессового ответа», повышение экспрессии которых в клетках цианобактерий сопровождается формированием ответа на действие различных стрессовых факторов. Особенности экспрессии некоторых из них были детально изучены. Исследование транскриптомики ответа клеток на действие спирта также выявило ряд взаимодействующих по принципу антисмысловых пар РНК-РНК, роль которых до сих пор не ясна [2].

Работа проводилась при финансовой поддержке РФФ № 20-14-00280 и № 21-74-30003.

Mironov K. S. et al. Membrane physical state and stress regulation in *Synechocystis*: fluidizing alcohols repress fatty acid desaturation // *The Plant Journal*. — 2018. — Т. 96. — №. 5. — С. 1007-1017.

Mironov K. S. et al. Alcohol stress on cyanobacterial membranes: New insights revealed by transcriptomics // *Gene*. — 2021. — Т. 764. — С. 145055.

РЕГУЛЯЦИЯ СИНТЕЗА ЛИПИДОВ И КРАХМАЛА У ЗЕЛЕННЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

**К.С. Миронов, А.Ю. Стариков, А.С. Воронков, Л.А. Бобровникова,
Е.В. Заднепровская, А.А. Крапивина, М.А. Синетова**

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН

Как и высшие растения, зеленые микроводоросли накапливают синтезированную в процессе фотосинтеза глюкозу в крахмальных зернах, локализованных в хлоропласте. Запасенный крахмал используется в качестве источника углерода и энергии в темноте и в энергоемких процессах деления клетки (Ball et al., 1990). Таким образом, крахмал — это динамичный пул, на свету одновременно происходит как его синтез, так и разложение в разном соотношении в зависимости от условий окружающей среды и стадии клеточного цикла (Vitova et al., 2015). Липиды также имеют тенденцию накапливаться на свету и разлагаться в темноте (Juppner et al., 2017; Kong et al., 2017).

Основные классы липидов микроводорослей представлены мембранными липидами (гликозилглицеридами, фосфоглицеридами и бетаиновыми липидами) и запасными липидами в форме триацилглицеринов (ТАГ). В качестве запасного вещества ТАГ отличаются от крахмала по двум основным параметрам: по локализации (в отличие от крахмала, липидные капли локализованы в цитоплазме) и по энергоемкости (Li-Beisson et al., 2019).

При стрессовых воздействиях, например при азотном голодании, в клетках зеленых микроводорослей накапливаются большие количества крахмала и нейтральных липидов, в основном ТАГ. Соотношение этих пулов запасного углерода существенно отличается у разных зеленых микроводорослей на уровне рода, вида и даже штамма. Есть штаммы, которые накапливают в основном крахмал, другие штаммы накапливают преимущественно ТАГ с некоторым количеством крахмала. Существуют также штаммы, которые сначала накапливают значительное количество крахмала, а потом переходят к интенсивному накоплению ТАГ. Соотношение запасных продуктов также может изменяться в зависимости от типа стрессового воздействия. Причины этих различий к настоящему времени практически не изучены (Li-Beisson et al., 2019).

Основной современный путь исследования процессов распределения углерода по запасным пулам — сравнительный анализ транскриптомов (Schmollinger et al., 2014; He et al., 2019; Liu et al., 2019). Анализ данных, полученных на зеленых микроводорослях, имеющих разную динамику накопления крахмала и липидов и относящихся к разным систематическим группам, позволяет выявить общие закономерности в регуляции этих процессов, а также те особенности, которые определяют основной тип запасного продукта.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 20-14-00280.

- Ball S. et al. Physiology of starch storage in the monocellular alga *Chlamydomonas reinhardtii* // Plant Sci. 1990. V. 66. P. 1–9.
- He, M. et al. Comparative transcriptome analysis of wild type and an oleaginous mutant strain of *Desmodesmus* sp. reveals a unique reprogramming of lipid metabolism under high light. // J. Appl. Phycol. 2019. 31:2895.
- Juppner J. et al. Dynamics of lipids and metabolites during the cell cycle of *Chlamydomonas reinhardtii*. // Plant J. 2017. V. 92. P. 331–343.
- Kong F. et al. *Chlamydomonas* carries out fatty acid beta-oxidation in ancestral peroxisomes using a *bona fide* acyl-CoA oxidase. Plant J. 2017. V. 90. P. 358–371.
- Li-Beisson Y. et al. The lipid biochemistry of eukaryotic algae. // Prog. Lipid Res. 2019. V. 74. P. 31-68.
- Liu, J. et al. Multi-omics analysis reveals distinct mechanism of oleaginousness in the emerging model alga *Chromochloris zofingiensis*. // Plant J. 2019. V. 98. P. 1060–1077.
- Schmollinger S. et al. Nitrogen-sparing mechanisms in *Chlamydomonas* affect the transcriptome, the proteome, and photosynthetic metabolism. // Plant Cell. 2014. V. 26 (4). P. 1410–1435
- Vitova M. et al. Accumulation of energy reserves in algae: From cell cycles to biotechnological applications. // Biotechnol. Adv. 2015. V. 33. P. 1204-1218.

**ПОТЕНЦИАЛЬНО НОВЫЙ ВИД РОДА OOGAMOCHLAMYS
(CHLOROPHYTA, CHLAMYDOMONADALES) ИЗ ПОЧВ О. ИТУРУП
(САХАЛИНСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)**

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

ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

Монадные зеленые водоросли — частые обитатели наземных и водных сред. Большинство данных по биоразнообразию, экологии и биогеографии микроводорослей получено с помощью классических морфологических методов. Однако, из-за отсутствия значимого количества морфологических признаков, наличия криптических видов, достоверная идентификация этих микроорганизмов в некоторых группах зачастую возможна только на таксонах высоких рангов. Решить проблему идентификации конкретных видов возможно с помощью комплексного подхода, включающего наряду с традиционными молекулярно-генетические методы исследования (Darienko и др., 2015).

В ходе изучения биоразнообразия почвенных водорослей на островных территориях в зоне умеренного муссонного климата России (о. Итуруп) был выделен штамм монадных зеленых водорослей. Изолят был изучен с использованием комплексного подхода.

Сравнение последовательностей 18S рДНК выявило принадлежность нового штамма к парафилетическому роду *Oogamochlamys* Pröschold, B. Marin, U. W. Schlösser & Melkonian. В кладе с неразрешенным ветвлением помещались представители родов *Oogamochlamys*, *Chlamydomonas* Ehrenberg, *Rhysamphichloris* Nakada и *Gymnomonas* S. Watanabe & T. Nakada. Сестринской для нового штамма являлась группа из четырех представителей рода *Chlamydomonas* (не определенные до вида). Чтобы проанализировать взаимосвязь между предполагаемым новым видом и родственными ему таксонами на филогенетическом древе, мы реконструировали вторичные структуры спейсера ITS2 (Zuker, 2003). Сравнение полученных структур для нового штамма и двух ближайших таксонов, у которых имелась последовательность ITS2 (*Chlamydomonas* sp. CCAP 11/161, *Chlamydomonas* sp. CCAP 11/169), позволило обнаружить несколько замен (среди которых имеются СВС) и инделей.

Штаммы характеризовались морфологическими признаками, типичными для рода *Oogamochlamys*. Клетки длиной 6,1–17,1 мкм, шириной 4,5–9,5 мкм, овальные или цилиндрические, с двумя жгутиками, равными или меньше длины клетки; клеточная стенка тонкая с небольшим округлым сосочком. Хлоропласт чашевидный, париетальный; пиреноид один; глазок бледно-красный, эллиптический, латеральный, в передней части клетки. Бесполое размножение двумя — четырьмя зооспорами длиной 5,7–12,4 мкм, шириной 4,0–8,4 мкм.

Половое размножение путем оогамии, гомоталличное, протерандрическое; гаметангий содержит 32–128 сперматозоидов длиной 4,0–4,5 мкм, шириной 3,4–4,0 мкм. Зиготы не орнаментированы, от зеленого до коричневатого-красного цвета, диаметром 13,7–22,4 мкм.

Таким образом, на основании молекулярных данных и фенотипических особенностей, мы считаем, что обнаружен новый вид рода *Oogamochlamys*.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-14-00196, <https://rscf.ru/project/21-14-00196/>

Darienko T., Gustavs L., Eggert A., Wolf W., Pröschold T. Evaluating the species boundaries of green microalgae (Coccomyxa, Trebouxiophyceae, Chlorophyta) using integrative taxonomy and DNA barcoding with further implications for the species identification in environmental samples // PLoS ONE. 2015. T. 10. № 6. e0127838. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127838>

Zuker M. Mfold web server for nucleic acid folding and hybridization prediction // Nucleic Acids Res. 2003. T. 31. № 13. С. 3406–3415. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkg595>

ВОДОРΟΣЛИ РЕКИ БУЙЕН ДЖУНГАРСКОГО АЛАТАУ

С.Б. Нурашов, Э.С. Саметова., А.К. Джиенбеков, Г.Б. Джумаханова

Институт ботаники и фитоинтродукции КЛХЖМ МЭГПР РК,
г. Алматы, Казахстан

Альгологические исследования в реке Буйен Аксуского района Алматинской области проводилась нами впервые. Материал был собран в июле 2020 года в среднем течении реки Буйен, возле поселка Суыксай. Сбор материала проводился по общепринятой методике, планктонной сеткой № 76, фиксировали пробы 4 % -м формалином, отмечали место и характер сбора (планктон, бентос, обрастания), прозрачность воды, pH, температуру, скорость течения, глубину водоема и др.

Отбор проб, их камеральную обработку и определение вида использовали определители пресноводных водорослей (Голлербах, Полянский, 1951; Lothar Kalbe, 1980; Масюк и др., 1989; Царенко, 1990; Round et al., 1990; Генкал и др., 2013). В результате составлен список обнаруженных видов. Река Буйен и его притоки берут начало в ледниках северной части хребта Джунгарский Алатау, далее текут на северо-запад в сторону Балхаш-Алакольской котловины, но самого оз. Балхаш не достигают, теряясь в песках Жалкум. Питание ледниковое, снеговое, дождевое и подземное. По выходе из гор река принимает равнинный характер, разбивается на рукава, воды которых разбираются на орошение. Ледостав наблюдается с декабря по март. Половодье с марта по июль, к началу осени река сильно мелеет, в нижней трети полностью пересыхает. Длина реки 120 км, ширина в верхнем течении 5-8 м, на равнинах 15-20 м. Глубина 1-1,5 м. Площадь водосбора 1200 км². Дно каменистое, ниже песчанно- илистое. В реке Буйен выявлено 120 видов и разновидностей водорослей, относящихся к 3 отделам: *Cyanoprokaryota* — 12 видов, *Chlorophyta* — 14 и *Bacillariophyta* — 94 видов. Они относятся к 10 классам, 18 порядкам, 28 семействам и 38 родам. Основу видового разнообразия составляют диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*) - 78,3%. Ведущие семейства диатомовых: *Fragilariaceae* (18 видов), *Naviculaceae* (16), *Cymbellaceae* (11), *Gomphonemataceae* (11), *Bacillariaceae* (6) — 36,7%. Также шесть преобладающих родов — *Navicula* (16 видов), *Cymbella* и *Gomphonema* (по 11 видов), *Fragilaria* (6), *Synedra* и *Pinnularia* (по 5 видов) — содержали 45,0 % от обнаруженных видов. Доминирующими видами являются: *Cocconeis placentula* Ehr., *Fragilaria intermedia* Grun., *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr. Также часто встречались виды: *Cymbella ventricosa* Kutz., *Navicula cryptocephala* Kutz., *Amphora ovalis* Kutz. В пузырчатых коричневатых обрастаниях на валунах содержится *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M. Schmidt.

По количеству видов второе место занимают представители зеленых водорослей (*Chlorophyta*) составляющие 11,7% отобобщенного количества обнаруженных видов. Наибольшим видовым разнообразием выделяются роды: *Scenedesmus*, *Cosmarium*, *Spirogyra*. В обрастаниях и в планктонных пробах часто попадают обрывки зеленых нитчатых водорослей, таких как: *Zygnema cruciatum*, *Spirogyra communis*, *Ulothrix zonata*. К синезеленым водорослям (*Cyanoprokaryota*) принадлежат 12 видов. Среди них отличаются количеством обнаруженных

видов рода *Oscillatoria*, *Merismopedia*. На поверхности почв и на сухих лугах часто можно встретить сухие остатки желеобразной массы вида *Nostoc commune*. Таким образом, установлен видовой состав реки Буйен, 120 видов и разновидностей водорослей из трех отделов. Как и все горные водотоки и в исследуемой реке по-прежнему сохраняют свое ведущее положение, особенно в бентосе и обрастаниях представители диатомовых водорослей. Из обнаруженных синезеленых водорослей наиболее многочисленным является род *Oscillatoria* из класса *Hormogoneae*. Из зеленых водорослей преобладают виды из хлорококковых водорослей.

- Генкал С. И., Куликовский М. С., Михеева Т. В., Кузнецова И. В., Лукьянова Е. В. Диатомовые водоросли планктона реки Свислочь и ее водохранилищ.—Москва: Издательство Научный мир, 2013.— 236 с.
- Голлербах М. М., Красавина Л. К. Определитель пресноводных водорослей СССР. Харовые водоросли — Charophyta. — Ленинград: Издательство Наука. 1983. Вып. 14.— 190 с.
- Голлербах М. М., Полянский В. И. Пресноводные водоросли и их изучение. Определитель пресноводных водорослей СССР. Общая часть. — Москв.: Издательство Наука, 1951. — 199 с.
- Масюк Н. П., Кондратьева Н. В., Вассер С. П. Водоросли. — Киев: Издательство Наукова думка. 1989. — 608 с.
- Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. —Киев: Издательство: Наукова думка. 1990. —198 с.
- Lothar Kalbe Kieselalgen in Binnengewässern. Diatomeen. —Wittenberg Lutherstadt, 1980. — 206 p.
- Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. The Diatoms. Biology and morphology of the genera. — Cambridge Univ. Press.

ТЕМП ДЕЛЕНИЯ КАК ФАКТОР ОЦЕНИВАНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ДИАТОМОВОЙ ВОДОРΟΣЛИ *NITZSCHIA AMABILIS* H. SUZUKI

С.Л. Полякова, Н.А. Давидович

Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского,
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН,
пгт. Курортное, г. Феодосия, Республика Крым, Россия

Морские диатомовые водоросли являются ценным природным источником биологически активных веществ: фукоксантина, полиненасыщенных жирных кислот, макро- и микроэлементов, незаменимых аминокислот и других соединений (Рябушко, Рябушко, 2014 и др.). Темп увеличения биомассы микроводорослей является важным фактором для потенциального их использования в биотехнологических производствах. Известно, что некоторые виды диатомовых способны накапливать до 50% полиненасыщенных жирных кислот от общего количества жирных кислот в сухой биомассе (Patil et al., 2007). Цель данной работы — определение оптимальных условий освещения и солености для роста водоросли и получения максимального объема биомассы.

Клоновые культуры *Nitzschia amabilis*, выделены из проб, отобранных в Атлантическом океане у побережья острова Гран Канария (Gran Canaria, архипелаг Канарских островов). В лаборатории микропипеточным способом выделены одиночные клетки и введены в клоновые культуры с последующим еженедельным пересевом в свежую среду ESAW (Полякова и др., 2018). Эксперименты по изучению влияния солености и интенсивности света на темп деления проводили в фазе экспоненциального роста *Nitzschia amabilis*. Посевы осуществляли в чашки Петри диаметром 5 см, которые помещали в условия разной освещенности (4750, 2950, 2000, 1500, 1050, 655 люкс) при заданном четырнадцатичасовом фотопериоде, совпадавшем по продолжительности с естественным фотопериодом в это время года (апрель).

В результате экспериментов была установлена способность *N. amabilis* расти в диапазоне соленостей 4 — 68‰, что свидетельствует о ее относительно широкой эвригалинности. При заданных условиях освещенности и фотопериода наиболее интенсивное деление клеток происходило при солености 36‰. Наибольший темп делений (три деления в сутки) отмечен при освещенности 2950 люкс, в целом около трех делений в сутки наблюдалось в промежутке от 2000 до 4750 люкс.

Исследуемый вид ввиду его достаточно высокого темпа деления может представлять интерес для предприятий, занимающихся выращиванием микроводорослей с целью получения полезных биопродуктов.

Полякова С.Л., Давидович О.И., Подунай Ю.А., Давидович Н.А. Модификация среды ESAW, используемой для культивирования морских диатомовых водорослей // Морской биологический журнал. 2018. Т.3. С. 73. <https://doi.org/10.21072/mbj.2018.03.2.06>

Рябушко В.И., Рябушко Л.И. Использование и воспроизводство ресурсов Черного моря для получения биологически активных веществ // Актуальные вопросы рыбного хозяйства и аквакультуры бассейнов южных морей России: Материалы Международной научной конференции. Ростов-на-Дону, 1–3 октября 2014 г.—Ростов-на-Дону, 2014.—С. 80-83.

Patil V., Kallqvist T., Olsen E., Vogt G., Gislerød H. R. Fatty acid composition of 12 microalgae for possible use in aquaculture feed // Aquaculture International. 2007. V.15. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9060-3>.

РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ НАЗЕМНЫХ ФОТОТРОФНЫХ БИОПЛЁНОК НА ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТАХ Г.О. ПУЩИНО

Е.А. Портная, А.Д. Темралеева

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Россия

Цианобактерии — древняя и чрезвычайно разнообразная группа фотосинтезирующих прокариотических микроорганизмов, возникших примерно 3,5 млрд лет назад и распространенных во всех типах экосистем мира. По сравнению с пресноводными, морскими и почвенными местообитаниями аэрофильные цианобактерии менее изучены, но весьма интересны, т.к. подвергаются более суровым условиям окружающей среды, таким как дефицит и (или) неравномерная обеспеченность влагой, высокая инсоляция (в том числе и ультрафиолетовое излучение), высокие и низкие температуры, повышенные концентрации азота и фосфора в дождевых осадках (Wright, 2001), резкие суточные и сезонные колебания абиотических факторов среды. В ответ на эти условия у них сформировались соответствующие приспособления, некоторые из которых могут являться полезными для биотехнологии. Кроме того, аэрофильные цианобактерии являются агентами повреждения строительных сооружений городской среды и участвуют в коррозии архитектурных строений (Donlan, 2002, Karsten, 2007). Некоторые из них обладают цитотоксичностью, что может представлять опасность для здоровья человека и животных (Livesay, 2020). В связи с этим целью исследования являлось изучение разнообразия цианобактерий наземных фототрофных биоплёнок на различных типах искусственных субстратов г.о. Пущино на основе морфологического и молекулярно-генетического анализов.

В результате световой микроскопии было установлено, что из 14 штаммов цианобактерий, изолированных из биопленок, наиболее часто встречающимися были представители нитчатых родов *Nodosilinea* и *Phormidium*. Молекулярно-генетический анализ гена 16S рPHK и спейсера 16S-23S ITS, проведенный для 6 наиболее интересных с таксономической точки зрения штаммов, показал, что 5 штаммов принадлежат родам *Leptolyngbya* (ACSSI 380 и ACSSI 381), *Phormidesmis* (ACSSI 385), *Cymatolege* (ACSSI 383) и *Phormidium* (ACSSI 384), а один является кандидатом в новый *Leptolyngbya* — подобный род (штамм ACSSI 382). По данным скрининга штаммов на наличие генов, отвечающих за продуцирование цианотоксинов, было установлено, что ген, отвечающий за синтез сакситоксина G, был выявлен в штаммах ACSSI 380 и ACSSI 381, сакситоксина H - в штаммах ACSSI 383 и ACSSI 384, цилиндроспермопсина B в четырёх штаммах: ACSSI 380, ACSSI 381, ACSSI 382, ACSSI 384, ген, отвечающий за синтез микроцистина E, ни в одном штамме обнаружен не был. Таким образом, 5 штаммов из 6 исследованных потенциально способны к продукции цианотоксинов, которые могут контролировать как численность сопутствующих микроорганизмов в биопленке, так и численность собственной популяции в изменяющихся условиях окружающей среды.

Donlan R. M. Biofilms: microbial life on surfaces // Emerging Infectious Diseases. 2002. V. 8, № 9. P. 881–890. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid0809.020063>

Karsten U., Schumann R., Mostaert A. Aeroterrestrial algae growing on man-made surfaces - what are the secrets of their ecological success? // Ed. by J.Seckbach. Cellular Origins, Life in Extreme Habitats and Astrobiology. — Berlin: Springer, 2007. — P. 585–597.

Livesay H.N., Vance P.H., Trevino E., Weissfeld A. S. Algae-Associated Illnesses in Humans and Dogs and Presence of Algae on Buildings and Other Structures // Clinical Microbiology Newsletter. 2021. V. 43, № 2. P. 9-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clinmicnews.2020.12.006>

Wright R.F., Alewell C., Cullen J.M., Evans C.D., Marchetto A., Moldan F., Prechtel A., Rogora M. Trends in nitrogen deposition and leaching in acid-sensitive streams in Europe // Hydrology and Earth System Sciences. 2001. V. 5, № 3. P. 299–310. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-5-299-2001>.

АНАЛИЗ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ В СТРУКТУРЕ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ И ФИТОПЛАНКТОННЫХ АССОЦИАЦИЙ В РЫБИНСКОМ И ИВАНЬКОВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

В.Л. Разумовский

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

В результате комплексного мониторинга, для экосистем Иваньковского и Рыбинского водохранилищ был сформулирован новый методологический подход. Он подразумевал совмещение двух традиционных методов: анализа диатомовых комплексов из колонок донных отложений (ДО), который применяется в палеолимнологии, и анализа диатомовых из фитопланктонных комплексов, который применяется при биомониторинге (Разумовский, Шелехова, 2021; Разумовский, Чермных, 2021; Разумовский и др., 2021).

Кроме традиционных форм гидробиологических и биоиндикационных исследований, был применен метод графического анализа (МГА) (Разумовский, Моисеенко, 2009).

Анализ таксономической структуры диатомовых водорослей из фитопланктонных комплексов позволил сделать вывод, что на акватории Иваньковского водохранилища происходит чередование двух сценариев: образование генерации результирующих линий с единым центром локализации и генераций из параллельно расположенных результирующих линий. Образование генераций последнего типа связано с регулярным понижением уровня воды в водохранилище, при запланированных водорасходах.

Анализ таксономической структуры диатомовых комплексов из колонок донных отложений (ДО) не выявил, по очертаниям построенных гистограмм, признаков переотложения. Это позволило в дальнейшем проводить достоверные неореконструкции.

Для акватории Рыбинского водохранилища установлены все три основных сценария трансформации таксономических пропорций в фитопланктонных ассоциациях из водной толщи и в диатомовых комплексах из ДО. Это свидетельствует о значительной вариативности его экосистемы. Диатомовые комплексы были так же изучены из 2 колонок ДО, отобранных в районе Коприно.

Анализ в линейной системе координат позволил сделать вывод, что все полученные гистограммы имеют пропорциональные очертания, преимущественно экспоненциального характера распределения. Ни в одном из интервалов колонки ДО выраженных процессов переотложения выявлено не было.

Разработанный алгоритм комплексного мониторинга с применением инновационных методов биоиндикации позволяет наиболее объективно оценить экологическую ситуацию на акватории водохранилищ и процессы долговременных трансформаций их экосистем.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИВП РАН тема № 0147-2019-0004.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данном сообщении.

Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа // Доклады академии наук. Общая биология. 2009. Т. 429. №3. С 274-277.

Разумовский В.Л., Шелехова Т.С. Сравнительный анализ темпов и характера изменения трофического статуса в Иваньковском и Клязьменском водохранилищах // Сб. трудов XVII

международной научной конференции диатомологов. Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия (Минск 23-28 августа 2021 г), Минск: «Колоград», 2021. С. 102-105.

Разумовский Л.В., Чермных Л.П. Комплексный мониторинг Ивановского водохранилища по диатомеям из фитопланктона и донных отложений // Сб. трудов XVII международной научной конференции диатомологов (Минск 23-28 августа 2021 г), Минск: «Колоград», 2021. С. 117-120.

Разумовский Л.В., Корнева Л.Г., Анисимова А.В., Кушнарёва Т.Н. Оценка долговременных трансформаций экосистемы Рыбинского водохранилища по фитопланктонным комплексам // Сб. трудов XVII международной научной конференции диатомологов (Минск 23-28 августа 2021 г), Минск: «Колоград», 2021. С. 113-116.

СВЯЗЬ ТАКСОНОМИИ, ЭКОЛОГИИ И БИОГЕОГРАФИИ ЦИАНОБАКТЕРИЙ НА ПРИМЕРЕ КЛАСТЕРА «МОРСКИЕ *GEITLERINEMA*»

О.С. Самылина¹, М.А. Синетова², Е.В. Куприянова², Т.П. Турова¹

¹ Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

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

В содовых и содово-солёных озерах юга Сибири в широком диапазоне общей солёности (25-200 г/л) распространены нитчатые негетероцистные цианобактерии, морфологически соответствующие виду *Phormidium* (ранее *Oscillatoria*) *tambii* (Самылина и др., 2010). По анализу последовательности гена 16S рПНК этот морфотип был идентифицирован как *Geitlerinema* sp. из филогенетического кластера «морские *Geitlerinema*» (Самылина и др., 2015; Намсараев и др., 2018). Представители этого кластера известны в международной литературе под разнообразными названиями: *Phormidium*, *Microcoleus*, *Geitlerinema*, *Oscillatoria*, просто «Phormidiaceae cyanobacterium» или «Oscillatoriales cyanobacterium». В 2018 г. был описан новый род и вид *Sodalinema komarekii*, относительно близкий к BBD-штаммам «морских *Geitlerinema*» (93% сходства по 16S рПНК), но его принадлежность к этому кластеру обозначена не была (Cellamare et al., 2018).

Для таксономической ревизии кластера «морские *Geitlerinema*» были использованы генетические (16S рПНК, 16S-23S ITS, *rpoB*, *gyrB*, *nifH*), биохимические (состав жирных кислот) и фенотипические (морфология, ультраструктура клеток) критерии. Филогения была соотнесена с экологическим и географическим распространением. В результате был описан новый род и вид *Baaleninema simplex*, показана принадлежность рода *Sodalinema* к кластеру «морские *Geitlerinema*», скорректирован диагноз рода и описано три новых вида: *S. gerasimenkoae*, *S. orleanskyi* и *S. stali* (Samylyna et al., 2021).

Краткая характеристика таксонов, валидно описанных в кластере «морские *Geitlerinema*»:

Род *Baaleninema*: морской (океанический) род, включает свободноживущие и патогенные для кораллов штаммы; типовой вид *B. simplex*.

Вид *B. simplex*: морской свободноживущий вид; атлантическое побережье США (Северная Америка); типовой штамм PCC7105 (идентификатор в NCBI: AB039010).

Род *Sodalinema*: гало(алкало)фильный род, встречается в морских и внутриконтинентальных содовых, солёных щелочных (содово-солёных) и солёных (хлоридных) водоёмах с условиями от миксосалинных до гиперсолёных; типовой вид *S. komarekii*.

Вид *S. komarekii*: галоалкалофильный вид; солёное щелочное кратерное озеро (вблизи Африканского континента); типовой штамм PMC 869.14 (MG772676).

Вид *S. orleanskyi*: галоалкалофильный вид; солёное щелочное озеро, Танзания (Африка); типовой штамм Eу-1201 (MT08157).

Вид *S. gerasimenkoae*: галоалкалофильный вид; содовые и солёные щелочные озёра, юго-восточная Сибирь (Азия); типовой штамм IPPAS B-353 (KU375124).

Вид *S. stali*: морской вид; морские приливные отмели, Северное море (Европа); типовой штамм CCY9619 (MT067567).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

- Намсараев З.Б., Колганова Т.В., Патутина Е.О., Цыренова Д.Д., Самылина О.С. Разнообразие цианобактерий в щелочном озере Хилганта в засушливый и влажный период // Микробиология. 2018. Т. 87, №4. С. 448-457.
- Самылина О.С., Герасименко Л.М., Шадрин Н.В. Сравнительная характеристика фототрофных сообществ в минеральных озёрах Крыма (Украина) и Алтайского края (Россия) // Альгология. 2010. Т. 20, № 2. С. 192-209.
- Самылина О.С., Сапожников Ф.В., Гайнанова О.Ю., Рябова А.В., Никитин М.А., Сорокин Д. Ю. Альго-бактериальные сообщества содовых озёр Кулундинской степи (Алтайский край, Россия) // Микробиология. 2015. Т. 84, № 1. С. 107–119.
- Cellamare M., Duval C., Drelin Y., Djediat C., Touibi N., Agogué H., Leboulanger C., Ader M., Bernard C. Characterization of phototrophic microorganisms and description of new cyanobacteria isolated from the saline-alkaline crater-lake Dziani Dzaha (Mayotte, Indian Ocean) // FEMS Microbiology Ecology. 2018. V. 94, № 8. fiy108.
- Samylyna O.S., Sinetova M.A., Kupriyanova E.V., Starikov A.Yu., Sukhacheva M.V., Dziuba M.V., Tourova T. P. Ecology and biogeography of the 'marine *Geitlerinema*' cluster and a description of *Sodalinema orleanskyi* sp. nov., *Sodalinema gerasimenkoae* sp. nov., *Sodalinema stali* sp. nov. and *Baaleninema simplex* gen. et sp. nov. (Oscillatoriales, Cyanobacteria) // FEMS Microbiology Ecology. 2021. V. 97, № 8. fiab104.

СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ТРУБЧАТЫХ КОЛОНИЙ ДИАТОМЕЙ КРАЙНЕГО СЕВЕРА И КРАЙНЕГО ЮГА

Ф.В. Сапожников¹, О.Ю. Калинина¹, О.В. Ильина²

¹Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Изучали макроэпибитон, организованный трубчатыми колониями диатомей на каменистой литорали северного побережья о-ва Кинг-Джордж (Южные Шетландские о-ва, Антарктика) и южного побережья о-ва Октябрьской Революции (арх. Северная Земля). Оба биотопа расположены в зоне полярных пустынь, на их верхней литорали практически отсутствуют заросли макрофитов, нишу которых здесь занимают макроколонии диатомей, формирующие сплошные лоснящиеся покрытия площадью до десятков кв.м. В таких местообитаниях эти сообщества — главные производители первичного органического вещества. Ценозы обоих районов были исследованы в период конца лета, при максимальном разнообразии. В литоральных ваннах и на скалах побережья пролива Дрейка было отмечено развитие 4 видов диатомей, строящих трубчатые колонии: *Berkeleya rutilans*, *Parlibellus crucicula*, *P. delognei* и *Navicula* cf. *australocanica*. На орошаемой поверхности скал преобладали крупные, обильно ветвящиеся колонии *B. rutilans*, обильно оплетённые существенно более тонкими трубками однорядных колоний *P. crucicula*. Внешняя поверхность матрикса трубок *B. rutilans* служила базифитной основой для многовидового макроэпибитона. Его нижний ярус формировали густые колониальные поселения *Pteroncola carlinii*, здесь часто встречались мелкие подвижные *Navicula perminuta* и *N. glaciei*; средний ярус (радиальные колонии игловидных клеток) был образован разноплотными поселениями *Synedra kerguelensis*, среди которых изредка встречались *Pseudogomphonema kamtchaticum* и *Licmophora gracilis*. В свою очередь, на трубках *P. crucicula* густо разрастались цепочковидные поселения *Halamphora exigua*. В ваннах, наоборот, процветали *P. delognei* и *N. cf. australocanica*, а два других вида были представлены в миноре. Здесь наибольшее разнообразие макроэпибитона было отмечено на поверхности трубок обоих видов *Parlibellus*: *H. exigua* (аспектирующий), *P. carlinii*, *N. perminuta*, *N. glaciei*, *Cocconeis matsii*, *P. kamtchaticum*, *Rhoicosphenia abbreviata* — нижний ярус; *Synedropsis recta* (аспектирующий), *L. gracilis* — средний ярус; *Licmophora antarctica*, *L. belgicae*, *Rhabdonema arcuatum*, а также эпифитные тонкотрихомные цианобактерии *Heteroleibleinia* sp. — верхний ярус. Среди трубок часто встречались короткие цепочки *Melosira adeliae* и *M. jeanbertrandiana*. Колонизация молодых ветвей начиналась с поселений *H. exigua* и густой сети поднимающихся трихомов *Heteroleibleinia* sp. Трубки *N. cf. australocanica* не обрастали. При этом оброст на трубках

B. rutilans в ваннах отличался бедностью и был представлен, в основном, пятнами поселений *P. carlinii* (аспектирующей), *S. recta* и *L. gracilis*, а *H. exigua* и *Heteroleibleinia* sp. встречались здесь редко. В свою очередь, лоснящееся бурое покрытие на скалах побережья о-ва Октябрьской Революции формировали колонии *Berkeleya sparsa*. На поверхности их трубок микроэпифитон был представлен тремя прикрепленными видами (аспектирующей *Hyalosynedra laevigata*, а также редкими *Catacombas gaillonii* и *Tabularia tabulata*) и двумя свободноживущими, встречавшимися редко (*Synedropsis lata* и *Navicula lusoria*).

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПЛАНКТОННЫХ АЛЬГОЦЕНОЗОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЛАГУНЕ “ОЗЕРО КИСЛО-СЛАДКОЕ” (БЕЛОЕ МОРЕ, КАРЕЛЬСКИЙ БЕРЕГ)

Е.А. Селиванова¹, М.Е. Игнатенко¹, Ю.А. Хлопко¹, Е.Д. Краснова²,
Д.А. Воронов³, А.О. Плотников¹

¹Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Оренбург, Россия

²Беломорская биологическая станция им. Н. А. Перцова
Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия

“Озеро Кисло-Сладкое” — это прибрежная стратифицированная лагуна, отделившаяся от Белого моря в результате подъема берега. Цель исследования - охарактеризовать таксономический состав и вертикальную структуру планктонных альгоценозов в озере Кисло-сладкое с использованием методов световой, сканирующей микроскопии и ДНК метабаркодинга.

Материалом послужили планктонные пробы, собранные в разных слоях водоема, где одновременно измерялись абиотические параметры (июль 2018 г.). Образцы фильтровали через мембранные фильтры (2.4–4.5 и 0.45 мкм), тотальную ДНК выделяли комбинированным методом, включавшим механическую гомогенизацию и метод ферментативного лизиса. ДНК-библиотеки готовили в соответствии с протоколом Illumina с праймерами к вариабельному участку V4 гена 18S рРНК и секвенировали на платформе MiSeq («Illumina», США) в Центре коллективного пользования научным оборудованием “Персистенция микроорганизмов” Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН. Биоинформатическую обработку проводили с помощью USEARCH v9.0.1623_win32. Для изучения морфологии микроводорослей использовали микроскоп Axio Scope A1 (Carl Zeiss, Germany), сканирующий электронный микроскоп Tescan Mira3 (Tescan, Чехия) в Центре выявления и поддержки одаренных детей «Гагарин» (Оренбург).

Сочетание микроскопического метода и высокопроизводительного секвенирования позволило дать более полную характеристику планктонных альгоценозов. Выявлено 140 операционных таксономических единиц, из которых на долю 33 доминирующих таксонов приходилось 97.88% ридов, относящихся к макротаксонам Chlorophyta, Cryptophyta, Dinoflagellata, Haptophyta, Ochrophyta и Cercozoa. При микроскопии выявлено 33 таксона, 21 из которых относятся к диатомовым водорослям. Наибольшим разнообразием характеризовался альгоценоз поверхностного слоя воды, где развивались пикопланктонные виды отдела Chlorophyta, а также различные фототрофные представители таксонов Dinoflagellata, Haptophyta, Cryptophyta, Bacillariophyta, Chrysophyceae, Dictyochophyceae, Bolidophyceae. В области хемоклина развивались в массе криптофитовые водоросли *Rhodomonas* sp., динофитовые *Gymnodinium* sp. и *Heterocapsa rotundata*, а также диатомовые *Chaetoceros* sp. В более глубокой сероводородной зоне обнаруживались живые клетки некоторых диатомовых и динофитовых водорослей, а также сохранялась створки разнообразных диатомей и ДНК отмерших протистов, останки которых осели в придонные слои. В целом, микроводоросли были представлены как эвригаллиными, пресноводными, так и морскими видами. Многие из них ранее обнаруживались ранее в Белом море, меромиктическом озере Могильное и других водоемах, однако диатомея *Amphora micrometra* была впервые обнаружена не только в Кисло-Сладком озере, но и в России.

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИЭКСТРЕМОФИЛЬНЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ CYANIDIALES

И.Н. Стадничук, Ю.В.Балычевцева

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

The red microalgae Cyanidiales were named “enigmatic algae” due to their polyextremophilic features, which were thought to be impossible for eukaryotes (Stadnichuk, Tropin, 2022). Cyanidiales inhabiting hot sulfur springs in volcanic areas with pH 0-4, temperatures up to 56 °C, and high concentrations of dissolved heavy metals, integrate eukaryotic cell organization with characteristics unsurpassed by any other algal group and typical only for extremophilic species of living prokaryotes (Bhattacharya et al.2018). Owing to their exceptional properties and minimal genome size, Cyanidiales have become one of the most perspective objects of research in plant cell physiology, biochemistry, molecular biology, phylogenomics, algology and evolutionary biology. They play an important role in the study of many features of oxygenic photosynthesis and chloroplast origin (Stadnichuk, Kuznetsov, 2021). The unique properties were acquired by Cyanidiales from archaea and bacteria through multiple acts of horizontal gene transfer. Thanks to this, the possibility of gene transfer between the superkingdoms of archaea, bacteria, and eukaryotes was discovered, being a milestone in the understanding of the origin of cell domains of life and the endosymbiotic origin of chloroplasts. At present, the study of these organisms with fully sequenced genomes of some their representatives is an interdisciplinary field of biology with excellent biotechnological perspectives and delineation the limits of adaptive changes compatible with the origin of life(Miyagashima, Tanaka, 2021).

Biotechnological use of various microalgae depends on profitability of the production, cost of photobioreactors, transition from successful laboratory experiments to industrial implementation of patents, and realization of the open cultivation methods (Lang, 2020). Biotechnological applications of Cyanidiales involve: (i) production of valuable algal metabolites ; (ii) genetic engineering; (iii) bioremediation; (iv) extraction of rare earth and other expensive metals from industrial and household waste; and (v) biodiesel production.

Stadnichuk I.N., Tropin I.V. Cyanidiales as polyextreme eukaryotes. *Biochemistry (Moscow)*. 2022. V. 87, is. 5. P. 472-487. DOI: 10.1134/S000629792205008X

Bhattacharya D., Qiu H., Lee J.M., Yoon H.S., Weber A.P.N. et al. When less is more: red algae as models for studying gene loss and genome evolution in eukaryotes. *Crit. Rev. Plant Sci.* 2018. V. 37. P. 81-99. <https://doi.org/10.1080/07352689.2018.1482364>

Stadnichuk, I.N., Kuznetsov V.V. Endosymbiotic origin of chloroplasts in plant cells evolution. *Rus. J. Plant Physiology*. 2021. V. 68, is. 1. P. 3-19. DOI: 10.31857/S0015330321010176

Miyagashima S., Tanaka, K. The unicellular red alga *Cyanidioschyzon merolae* – the simplest model of a photosynthetic eukaryote. *Plant Cell Physiol.* 2021. 62, 926-941. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Langl., Bashir S., Lorenz M., Rader S. Weber G. Exploiting the potential of Cyanidiales as a valuable resource for biotechnological applications, *Appl. Phycol.* 2020. doi: 10.1080/26388081.2020.1765702.

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ ИНФЛЯЦИЯ, ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЛОВУШКИ И ДРУГИЕ НОВОСТИ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМАТИКИ ВОДОРОСЛЕЙ

А.Д. Темралева

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ФИЦ ПНЦБИ РАН, группа «Альгологическая коллекция ACSS!»

С развитием методов секвенирования ДНК был получен огромный массив данных о нуклеотидных последовательностях разных групп организмов, включая цианобактерии и водоросли, который позволил проверить их таксономические гипотезы, основанные преимущественно на морфологических признаках.

В результате чего произошла так называемая «таксономическая инфляция» (Isaac et al., 2004), которая привела к чрезмерному дроблению и обесцениванию рангов таксонов.

Возникновение ее было вызвано переописанием уже известных таксонов или инфляцией ранга до более высоких категорий в систематике, т.е. таксономическое возвышение (taxonomic elevation). Термин «инфляция», безусловно, имеет негативный оттенок, и некоторые исследователи предпочитают ему «таксономический прогресс», который подчеркивает расширяющуюся доступность новых данных для пересмотра классификаций видов (Sangster, 2009).

Такие проблемы как некультивируемость штаммов, скудность и изменчивость в природе и лаборатории фенотипических признаков, неполнота и противоречивость морфологических диагнозов, отсутствие типового материала и(или) референсных нуклеотидных последовательностей все еще остаются актуальными. Тем не менее, ключевой проблемой является определение межвидовых границ, которые в современной систематике прокариот были установлены на уровне 98.65% сходства последовательности гена 16S рPHK (Kim et al., 2014), 95% сходства аминокислотных последовательностей и 70% сходства геномов (Thompson et al., 2013).

У цианобактерий регион 16S-23S ITS стал дополнительным инструментом для разграничения таксонов на уровне видов и родов. При этом исследователи используют не только генетическое сходство спейсеров разных штаммов, но и особенности вторичной структуры шпилек, а также наличие мутаций и специфических мотивов. Несмотря на ускоренные темпы описания новых таксонов и кажущегося приближения к таксономическому насыщению: 5248 описанных видов цианобактерий (Guiry, Guiry, 2022) из 6280 предполагаемых (Nabout et al., 2013), по-видимому, мы все-таки далеки от него. Об этом свидетельствует факт, что многие описанные роды являются монотипными, а многие семейства включают 1-2 рода. Так, в пределах порядка Nostocales из 171 таксономически признанного рода (Guiry, Guiry, 2022) монотипными являются 68.

Если новый род состоит из группы видов, то, как правило, это случается при ревизии полифилетических родов и номенклатурных комбинаций (например, перенос части видов *Anabaena* в род *Dolichospermum*; *Anabaena*, *Nostoc* и *Nodularia* в род *Trichormus*; *Scytonema* в *Petalonema*; *Anabaena* в род *Sphaerospermopsis* и т.д.). Достаточно редкая ситуация, когда в первоначальное описание нового рода включается сразу несколько видов или они позднее обнаруживаются, например как при описании родов *Brasilonema* (15 видов), *Desmonostoc* (7), *Nunduva* (6), *Roholtiella* (5) и *Komarekiella* (5). При этом огромное количество видов известных родов секвенировано, но не описано. С другой стороны из описанных и таксономически признанных 1550 видов, принадлежащих порядку Nostocales, только для 381 имеются нуклеотидные последовательности в GenBank, а геномных данных на порядок меньше.

Еще одним доказательством являются собственные исследования разнообразия цианобактерий в пахотных почвах России, в результате которых все выделенные штаммы порядка Nostocales относились к новым неописанным таксонам или к описанным недавно.

И хотя проведенный таксономический анализ ограничивался цианобактериями, принадлежащими порядку Nostocales, сходные случаи и проблемы наблюдаются в других таксономических группах цианобактерий и водорослей и отражают современные тенденции развития систематики микроорганизмов в целом.

К ИЗУЧЕНИЮ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ КАМЧАТКИ

М. Д. Царьков, А. М. Глуценко, Н. В. Лобус, М. С. Куликовский

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

В работе будут рассмотрены первые данные по изучению диатомовых водорослей разнотипных экосистем Камчатки из проб, которые были собраны в 2021 году. Было проведено изучение как природных проб, так и культур, которые были выделены. Получены данные по молекулярному разнообразию, составу, редким видам и пониманию особенностей диатомовых водорослей Камчатки.

Работа поддержана грантом РФФ 19-14-00320-П.

МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСА *COCCONEIS PLACENTULA* (BACILLARIOPHYTA) В ВОДОЕМАХ ЗВЕНИГОРОДСКОЙ БИОСТАНЦИИ

Н.Д. Цеплик, Д.А. Чудаев

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

Cocconeis placentula Ehrenberg s.l. — один из самых часто встречающихся видов пресноводных диатомовых водорослей (Jahn et al., 2020). Дифференциация таксонов из этого комплекса по морфологическим признакам вызывает трудности (Jahn et al., 2009), поскольку значения признаков пересекаются у разных таксонов, и действительно отличающие признаки либо видны только в электронном микроскопе, либо вовсе отсутствуют.

В ходе нашего исследования водоемов ЗБС нами были встречены представители комплекса *C. placentula*. Мы идентифицировали 4 таксона, которые, по-видимому, представляют собой отдельные виды: *C. placentula* s.str., *Cocconeis* cf. *lineata* Ehrenberg, *Cocconeis pseudolineata* (Geitler) Lange-Bertalot и еще не определенный вид *Cocconeis* sp.

Для более точной идентификации встреченных таксонов мы постарались сопоставить найденные нами экземпляры с описаниями, приведенными в литературе. *C. placentula* s.str. и *C. lineata* были относительно недавно эпитипифицированы (Jahn et al., 2009; Romero, Jahn, 2013). Авторы указывают форму створки, строение штрихов и ареол на бесшовных створках, а также строение вальвокопулы как наиболее важные отличительные признаки для этих видов. Наши экземпляры *C. placentula* s.str. соответствуют приведенному в статье описанию. Экземпляры, определенные нами как *C. cf. lineata*, более-менее соответствуют литературным данным по количественным признакам, однако отличаются по строению вальвокопулы и числу апикальных штрихов.

Типовой материал *C. pseudolineata* к настоящему моменту не был переизучен, поэтому при определении мы пользовались данными Lange-Bertalot et al. (2017). Наши образцы соответствуют приведенному в данной работе описанию.

Четвертый отмеченный нами таксон (*Cocconeis* sp.) остался неопределенным, поскольку его морфологические признаки не соответствуют ни одному из типифицированных и переисследованных на современном уровне видов рода *Cocconeis*.

По совокупности морфологических признаков можно с достаточной степенью уверенности провести границы между встреченными нами таксонами, несмотря на то, что значения количественных признаков пересекаются. Морфология шовных створок достаточно схожа у всех видов и основные отличительные признаки относятся к бесшовным створкам: строение штрихов и ареол и их частота, а также форма осевого поля.

Для дифференциации таксонов из комплекса *C. placentula* s.l. требуется тщательное изучение морфологических признаков с использованием световой и электронной микроскопии. Несмотря на то, что значения отдельных признаков не всегда расходятся у разных видов, совокупность всех значимых признаков может дать возможность разделить таксоны. Комплекс *C. placentula* s.l. требует дальнейшего изучения как в плане исследования вновь обнаруженных его представителей, так и переизучения типового материала описанных видов.

Jahn R., Abarca N., Kusber W.-H., Skibbe O., Zimmermann J., Mora D. 2020. Integrative taxonomic description of two new species of the *Cocconeis placentula* group (Bacillariophyceae) from Korea based on unialgal strains // *Algae*. 2020. V. 35. P. 303-324.

Jahn R., Kusber W.-H., Romero O. E. 2009. *Cocconeis pediculus* Ehrenberg and *C. placentula* Ehrenberg var. *placentula* (Bacillariophyta): typification and taxonomy // *Fottea*. 2009. V. 9, №2. P. 275-288.

ВИДОВОЙ СОСТАВ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ИЗ РАННЕГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗВЕНИГОРОДСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Д. А. Чудаев¹, Е. Г. Ершова², В. Е. Пименов²

¹Кафедра микологии и альгологии, Биологический факультет,
МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

²Кафедра экологии и географии растений, Биологический факультет,
МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

При проведении спорово-пыльцевого анализа отложений лесного болота (N 55.67786° E 36.74081°) на территории Звенигородской биологической станции МГУ под слоем мезотрофного торфа на глубине 150-113 см от поверхности почвы были обнаружены озерные отложения (сапропель), по-видимому, раннеголоценового возраста. Слой сапропеля располагается поверх мощного горизонта голубой глины, скорее всего образовавшегося в позднем плейстоцене. Нами был изучен видовой состав диатомовых водорослей данного сапропеля. Было выявлено 75 видов диатомей из 17 родов. Большая часть родов принадлежит к шовным диатомовым, бесшовные представлены только родами *Fragilariforma* и *Tabellaria*, центрические — родом *Aulacoseira* (*A. italica*). Наиболее богатыми видами оказались роды *Pinnularia* (21 вид), *Eunotia* (13 видов) и *Gomphonema* (12 видов). Видовой состав обнаруженных диатомовых указывает на то, что изученный палеоводоем имел незначительную глубину и был олиготрофным или слабо мезотрофным.

РАЗНООБРАЗИЕ СТОМАТОЦИСТ ЗОЛОТИСТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ (CHRYSPHYCEAE) ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

С. Н. Шадрина

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

Стоматоцисты — это покоящиеся стадии золотистых водорослей (Chrysophyceae), являющихся монофилетичной линией гетероконтных флагеллят, насчитывающих около 1200 видов.

Стоматоцисты классифицируются независимо от свободноживущих форм. Это возможно благодаря их видоспецифичности и развитию визуально отличных морфотипов в ответ на определенные факторы окружающей среды. Стоматоцисты Chrysophyceae используют в качестве биологических индикаторов в экологических и палеолимнологических исследованиях, поэтому их морфологическое разнообразие изучается по всему миру, и на данный момент насчитывается более 2000 морфотипов. Разнообразие стоматоцист на территории России изучено к данному моменту еще довольно слабо и фрагментарно, описано лишь около 400 морфотипов.

В Ленинградской области первые стоматоцисты отмечены Ворониным в 1933 г. Несмотря на то, что он наблюдал их на световом микроскопе, стоматоцисты двух видов можно легко узнать на приводимых рисунках. Дальнейшие исследования стоматоцист области продолжены в 2000-х годах Л. Н. Волошко, которая описывает 24 морфотипа стоматоцист. Дополнительно к ним 4 морфотипа приводятся в статьях Сафроновой (2014, 2015 годы). Учитывая стоматоцисты, приводимые Сафроновой и в ее кандидатской диссертации, всего до данной работы для Ленинградской области было известно 39 морфотипов.

В данной работе анализировались пробы, отобранные в различных водоемах Санкт-Петербурга и Ленинградской области, а также пробы из почвенных отложений, при этом было выявлено 35 морфотипов стоматоцист. Десять морфотипов впервые указываются для водоемов России, шесть — впервые обнаружены в Европе. Шесть морфотипов описаны как новые для науки, приводятся их описания. Суммируя собственные и литературные данные на данный момент для Ленинградской области известно 64 типа цист: из них в Финском заливе — 17, в реках — 2, в прудах — 26, озерах — 24, болотах — 7, почвенных отложениях — 6.

Полученные результаты показывают, что стоматоцисты Ленинградской области продолжают оставаться еще мало изученными.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-24-00662.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ КУДЬМА ПО ФИТОПЛАНКТОНУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ БИОИНДИКАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ

Е. М. Шарагина, Е. Л. Воденеева, П. В. Кулизин, О. О. Бондарев, А. Г. Охапкин

Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Россия

Река Кудьма представляет собой правобережный приток р. Волги (бассейн Чебоксарского водохранилища). По водному режиму Кудьма относится к восточно — европейскому типу. Длина её составляет 144 км, площадь бассейна — 3200 км². Питание преимущественно снеговое (Природа..., 1974). Для данной реки характерны неравномерный водный режим, высокая минерализация. Воды реки подвергаются достаточно сильному антропогенному воздействию (Варенов и др., 2015).

Оценка качества воды правобережного волжского притока р. Кудьмы осуществлялась с применением следующих подходов: сапробиологического анализа, а также метода функциональной классификации водорослей и связанного с ней индекса сообществ Q (Slàdecsek V., 1963; Padišák J. et al., 2009).

Материалом для работы послужили данные, полученные в ходе анализа проб фитопланктона, которые еженедельно отбирались на стационарной станции в устье реки в 2019 г. с мая по октябрь. Сбор и обработка материала производился общепринятыми в гидробиологии методами (Методика..., 1975). Ревизия списка видов с учетом последних данных их систематического положения осуществлялась с помощью базы данных Algaebase (Guiry, Guiry, 2022).

Величины индекса сапробности фитопланктона по численности в устьевом участке р. Кудьма в вегетационный период 2019 г. варьировали от 1,06 до 2,00, по биомассе — от 1,59 до 2,29, что позволяло характеризовать воды III классом качества — «умеренно (слабо) загрязненные», степень органического загрязнения оценивалась как β-мезосапробная. В сравнении с предыдущими годами исследования, отмечалась постепенная тенденция к снижению уровня органического загрязнения. Так, в 2011 году величины индекса сапробности регистрировались в пределах от 1.73 до 3.00 (по численности) и от 1.82 до 2.49 (по биомассе), что соответствовало IV классу качества вод - грязным (Шарагина, Воденеева, 2014). По архивным данным 1992 года исследования в устьевом участке реки Кудьма также выявлялись достаточно высокие значения сапробности, варьировавшие в пределах от 2,13-2,55 и 2.30-2.64 по численности и биомассе соответственно (классы качества III-IV — «умеренно-загрязненные»-«загрязненные»).

По данным химического анализа ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС», качество воды р. Кудьма в 2019 г. соответствовало 4 классу разряда «а» - грязных вод (Ежегодник..., 2019), с крайне высоким уровнем загрязненности аммонийным и нитритным азотами (среднегодовые значения концентрации составляли 3-5 ПДК).

Согласно существующим классификациям из обнаруженных в 2019 году в р. Кудьме водорослей выявлено 23 функциональные группы (кодона): MP, J, F, X₁, X₂, X₃, A, B, C, P, D, T_B, K, M, S₁, H₁, G, L₀, N, T, Y, E, W₂. Доминирующими кодонами на протяжении всего вегетационного периода выступали: C (*Cyclotella Meneghiniana* Kützing), A (*Cyclotella* sp.), D (*Stephanodiscus hantzschii* Grunow, *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal), P (*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen), B (*Aulacosira italica* (Ehrenberg) Simonsen, *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve & Möller, *Aulacoseira islandica* (O.Müller) Simonsen), T_B (*Melosira varians* C.Agardh), MP (*Cocconeis placentula* Ehrenberg), J (*Coelastrum astroideum* De Notaris), K (*Aphanocapsa incerta* (Lemmermann) G. Cronberg & Komárek). Довольно часто отмечалось присутствие среди доминантов кодона D (индикаторы эвтрофирования), а также B (обитатели мезотрофных вод). Значение индекса сообществ Q в пробах растительного планктона по данным 2019 года варьировал от 2,61 до 4,04 (среднее значение показателя составляло 3,39±0,13), что позволяло характеризовать качество вод р. Кудьма как «хорошее». Показатель экологического качества EQR варьировал от 0,52 до 0,81, находясь в рамках от уровня качества «низкое» до «высокое».

Средневегетационное значение индекса EQR составляло $0,68 \pm 0,3$, что соответствовало уровню качества вод «умеренное».

В предыдущие годы исследования (2011 г.) в низовьях р. Кудьмы отмечалось 20 функциональных групп (кодонов) водорослей. Значения индекса Q варьировали в достаточно широких пределах - от 0,7 до 3,2 (классы качества вод меняются от «плохое» до «умеренное», и до «хорошее»). В целом качество вод по сравнению с 2019 г. характеризуется как более низкое. Показатель экологического качества EQR варьировал от 0,13 до 0,64 (классы качества «плохое» и «умеренное» соответственно) (Воденева и др., 2019).

Таким образом, в сравнении с предыдущими годами исследования, в устьевом участке р. Кудьма в 2019 году отмечались более низкие значения индекса сапробности и более высокие значения индекса Q. Величины индекса сапробности фитопланктона, рассчитанного по численности, варьировали от 1,06 до 2,00, по биомассе—от 1,59 до 2,29, что соответствовало III классу качества вод— «умеренно (слабо) загрязненные». Средневегетационное значение показателя Q составляло $3,39 \pm 0,13$ (соответствует классу качества вод - «хорошее»), средневегетационное значение индекса EQR составляло $0,68 \pm 0,3$ (соответствует классу качества вод - «умеренное»). В 2011 году были выявлены значения, соответствующие более низкому классу качества вод. Полученные результаты могут быть связаны как с межгодовыми изменениями, либо демонстрируют тенденцию к улучшению экологического состояния данного водотока.

Варенов, А. Л. Русловые процессы на малых реках староосвоенной территории (на примере рек бассейна р. Кудьма (Проволжская возвышенность) / А. Л. Варенов, Д.В. Ботавин, А.С. Завадский, А. М. Тарбеева, Р. С. Чалов // Эрозионные и русловые процессы.— Вып. 6.— М.: Географ. ф-т МГУ.— С. 131–160.

Воденева Е.Л., Коломина К.Е., Шарагина Е.М., Кулизин П.В., Охалкин А. Г. Оценка качества воды некоторых правобережных притоков р. Волги (бассейн Чебоксарского водохранилища) с использованием функциональной классификации фитопланктона. // Гидробиол. журн., 2019. Т. 55. № 6. С. 56-70

Ежегодник 2019. Качество поверхностных вод РФ. Ростов-на-Дону, 2019. Росгидромет. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. 578 с. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов.— М.: Наука, 1975.— 239 с. Природа Горьковской области. - Горький, Волго-Вятское кн. изд-во, 1974

Шарагина Е.М., Воденева Е. Л. Сравнительный сапробиологический анализ р. Кудьма по фитопланктону по данным разных лет исследования // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича.. Саранск: Издательство Мордовского университета, Вып. 12, 452 с.. 2014. С. 445-447.

Guiry M.D, Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>. (дата обращения: 05.06.2022)

Padisàk J., Crosetti L., Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates // Ibid.—2009.—Vol. 621.—P. 1-19.

Slàdeček V. A guide to limnosabrobical organisms // Sb. Vysoke školy chem.—technol. v. Praze. Technologie vody.— 1963.—Bd. 7, № 2.—P. 543-612.

Резюме статей

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И МЫШЬЯК В ВОДОРΟΣЛЯХ БЕЛОГО, БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ

В. П. Андреев, Ж. В. Плахотская

Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова,
Санкт-Петербург, Россия

Осуществлен анализ содержания тяжелых металлов (Cd, Cu, Mn, Pb, Zn) и металлоида As в наиболее распространенных водорослях Белого моря, а также в водорослях, обнаруженных в полосе штормовых выбросов в различных пунктах побережья о. Северный архипелага Новая Земля. Построены ряды убывания концентраций изученных элементов в талломах фикобионтов. Установлено, что в водорослях Белого моря доминирующим элементом является Zn. В условиях Баренцева моря преобладает Mn. В группе устойчивых последовательностей позиция As весьма непостоянна, что может объясняться различным происхождением образцов водорослей, разным экологическим состоянием мест их исходного обитания, а также тем, что металлоид As в составе водорослей представлен в анионной форме.

МОРФОГЕНЕЗ КЛЕТКИ У ДЕСМИДИЕВЫХ (ZYGNEMATOPHYCEAE, DESMIDIACEAE): ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ИХ ФОРМЫ

О. В. Анисимова, И. А. Ярутич

Московский Государственный Университет имени М. В. Ломоносова,
Москва, Россия

В статье рассмотрены проблемы таксономии десмидиевых водорослей (Desmidiaceae). Проведен анализ литературы, посвященной исследованиям морфогенеза клетки и роли клеточных структур в формировании дочерних полуклеток. Показано, что признаки клеток десмидиевых водорослей, такие как длина и число отростков, степень выраженности лопастей и других морфологических структур на уровне видов достаточно изменчивы и зависят от многих факторов. Тем не менее, на родовом уровне, форма клеток в целом стабильна.

ФИТОПЛАНКТОН И КАЧЕСТВО ВОДЫ НЕКОТОРЫХ ПРИТОКОВ РЕКИ ОБИ

Н. Н. Барсукова¹, О. П. Баженова¹, Л. Г. Колесниченко²

¹Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина,
Омск, Россия

²Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, Россия

По материалам исследований фитопланктона притоков Оби (Томь, Кеть, Васюган) летом 2019 г. установлены видовой состав, таксономическая структура, численность и биомасса фитопланктона, определен класс качества вод и трофический статус. Основу видового богатства фитопланктона в указанных притоках создают зеленые водоросли (Chlorophyta), параметры альфа-разнообразия указывают на среднюю сложность структуры фитопланктоценозов. По показателям биомассы фитопланктона трофический статус рек варьировал от мезотрофной до эвтрофной категории, качество воды соответствовало 3 классу «удовлетворительной чистоты».

Исследования проводились в рамках грантов РНФ 18-17-00237- П (ЛК), РФФИ 18-00-01493, 18-05-60264.

ДЕТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БОЛЬШОЕ МИАССОВО (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

Э.А. Валиева, Г.Р. Нигаматзянова, Н.М. Нигматуллин,
Д.К. Нурғалиев, Л.А. Фролова

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань, Россия

В работе представлены результаты диатомового анализа колонки донных отложений озера Большое Миассово (Южный Урал). Нами был изучен 51 образец и идентифицировано 124 таксона диатомовых водорослей, принадлежащих 47 родам. Преобладали космополитные представители бентоса, предпочитающие олиготрофный-мезотрофный статус трофности и щелочные условия водной среды. Колонка донных отложений была разделена на две диатомовых зоны, в зависимости от изменения численности диатомовых водорослей и состава таксонов. Первый период отражал стадию олиготрофно-мезотрофного озера с низким уровнем воды. Второй период характеризовался увеличением количества планктонных видов и разнообразием сообщества диатомовых водорослей, формированием глубоководного водоема в условиях теплого климата.

Мы благодарны всем участникам экспедиции за помощь в организации и проведении полевых работ. Лабораторный анализ был проведен при поддержке гранта Российского научного фонда (№ 22-47-08001) и Программы Стратегического академического лидерства Казанского федерального университета. Статистический анализ проведен за счет средств субсидии, выделенных Казанскому федеральному университету по государственному заданию № 671-2020-0049 в сфере научной деятельности.

ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В АНТАРКТИЧЕСКИХ ГИПОЛИТНЫХ ПОЧВЕННЫХ ГОРИЗОНТАХ ОАЗИСА ХОЛМЫ ЛАРСЕМАНН

Н.В. Величко, Д.Е. Рабочая

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

Работа посвящена изучению таксономического разнообразия антарктических почвенных цианобактерий в гиполитных горизонтах *in situ*, а также лабораторно-культивируемых штаммов, выделенных из образцов почв. Согласно полученным данным, в почвах оазиса Холмы Ларсеманн доминируют нитчатые цианобактерии пор. *Oscillatoriales* и пор. *Nostocales*, а также встречаются одноклеточные цианобактерии пор. *Chroococcales*. Нами впервые создана рабочая коллекция почвенных антарктических цианобактерий, охарактеризованная на основе полифазной таксономии, включающей комплексное описание морфологических и молекулярно-генетических признаков.

В рабочую коллекцию вошли 22 штамма — представители доминирующих в почве р. *Nostoc*, *Leptolyngbya*, *Coleodesmium*, *Plectolyngbya*, *Phormidesmis*, а также новые, потенциально эндемичные виды. Результаты молекулярно-филогенетического анализа первичной последовательности гена 16S рРНК, а также особенности вторичной структуры внутренних транскрибируемых спейсеров рибосомального оперона, позволяет рассматривать некоторых из них как впервые описанные таксоны. Высокий уровень сходства последовательностей гена 16S рРНК большинства почвенных штаммов цианобактерий с таковыми из бентосных матов водоемов оазиса Холмы Ларсеманн, подтверждает их способность широко распространяться за пределы отдельных экологических ниш и пластично адаптироваться к контрастным условиям.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №22-24-00590 «Биологическое разнообразие цианопрокариот в антарктических альго-бактериальных консорциумах».

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ОЗЕРА ИМАНДРА (РОССИЯ, МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

С. И. Вокуева, Д. Б. Денисов

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН,
Апатиты, Россия

Проведено исследование диатомовых комплексов донных отложений крупного арктического водоёма — озера Имандра. Изучены пространственные и многолетние вариации таксономического состава диатомей и структуры сообществ. Выявлены различия современного состояния экосистемы в отдельных участках акватории вследствие как естественных причин, так и антропогенных. Определены временные рамки и причины изменений состояния экосистемы озера, сделан вывод о будущих тенденциях.

Работа выполнена в рамках тем НИР №1021111018324-1 и №1021051803677-1 (полевые работы, диатомовый анализ), а также при поддержке грантов от Министерства образования и науки Мурманской области №199 (обобщение результатов) и РНФ №19-77-10007 (химический анализ).

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБИЛИЯ *GONYOSTOMUM SEMEN* (EHR.) DIESING В ОЗЕРАХ О. ВАЛААМ

Е. Ю. Воякина

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН,
Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН,
Санкт-Петербург, Россия

В работе представлен многолетний материал по сезонной динамике вида *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing в озерах Валаамского архипелага. Работа проводилась на 10 малых озерах о. Валаам, сохраняющих естественный режим функционирования. Озера различались по форме котловины, глубине и особенностям гидрохимического режима. По показателям обилия в большинстве малых озёр по биомассе доминировали рафидофитовые водоросли. Биомасса *G. semen* варьировала значительно (1,1 – 82,3 мг/дм³). В сезонной динамике фитопланктона отмечались один или два пика, приходившиеся в различные годы на разные месяцы, чаще всего на июнь или сентябрь.

Работа выполнена в рамках бюджетной темы НИЦЭБ РАН – СПб ФИЦ РАН FFZF-2022-0012.

ИЗУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ МОРСКИХ ПАЛЕОГЕНОВЫХ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА: РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛЕДНЕГО ДЕСЯТИЛЕТИЯ

А. Ю. Гладенков

Геологический институт РАН, Москва, Россия

Приводится обзор данных, полученных в последнее десятилетие при изучении ископаемых диатомовых водорослей из разрезов морского палеогена Камчатского региона. Подчеркивается, что впервые для Камчатки получены данные по прямой корреляции эоценовых диатомовых ассоциаций с комплексами карбонатного микропланктона (стратиграфический разрез п-ова Ильпинский, Северо-Восточная Камчатка) и сопоставлению олигоценых ассоциаций с магнитостратиграфической шкалой (разрез бухты Квачина, Западная Камчатка).

Работа выполнена по теме государственного задания Геологического института РАН.

ФИТОПЛАНКТОН ОЗЕР ГОРОДА МУРМАНСКА В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОД УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Д. Б. Денисов

Институт проблем промышленной экологии Севера,
Кольский научный центр РАН, Апатиты, Россия

Проведены первые комплексные исследования сообществ фитопланктона озёр города Мурманска. Выявлены значительные отличия видового состава и структуры

водорослей и цианопрокариот от типичных, характерных для удаленных от источников прямого загрязнения водоемов региона. В некоторых озерах наблюдалась ежегодная смена доминирующих по численности таксонов, что отражает высокую степень дестабилизации условий водных экосистем. Основной причиной наблюдаемых изменений следует считать резкую смену гидрохимических условий, в первую очередь – динамику концентрации биогенных элементов, как следствие антропогенного загрязнения вод. Значимым фактором также является токсическое воздействие целого ряда микроэлементов, включая тяжелые металлы, концентрация которых в воде исследованных водоемов может многократно превышать фоновые. В составе фитопланктона оз. Семеновское доминируют цианопрокариоты, включая виды, способные вызывать цветение воды и являющиеся потенциально токсичными для водных организмов и человека. Отмечен высокий биоиндикационный потенциал сообществ фитопланктона урбанизированных территорий арктической зоны, что необходимо учитывать при решении задач оценки качества вод и нормирования антропогенной нагрузки на водные ресурсы.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (полевые работы), при частичной поддержке гранта № 19-77-10007 РФФИ (химический анализ).

ПОЧВЕННАЯ АЛЬГОЛОГИЯ В РАБОТАХ Н. Н. БОЛЫШЕВА

М. Ф. Дорохова

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

Н. Н. Большев — известный почвовед, доктор биологических наук, вся профессиональная деятельность которого связана с Московским университетом, где в разные годы он работал на геолого-почвенном (позже почвенном) и географическом факультетах.

Из более 50 написанных им научных работ 22 посвящены почвенным водорослям. Среди его соавторов — такие известные почвенные альгологи, как Э.А. Штина и Л. Н. Новичкова-Иванова (Почвенные..., 1983).

Интерес к обитающим в почвах водорослям и цианобактериям как агентам формирования почв возник у Н. Н. Большева уже в начале его научной деятельности, в военный период, когда университет был эвакуирован в Ашхабад. Там продолжились начатые в Москве коллективом ученых исследования почв с целью создания аэродромов и аварийных водоемов (<http://letopis.msu.ru/peoples/7921>). Изучая почвы Туркмении, Н. Н. Большев обратил внимание на биологические корочки, которые часто обнаруживались на их поверхности, как правило, в отсутствие высших растений. В начале 1940-х годов данных о видовом составе водорослей и цианобактерий, образующих корочки, и влиянии этих корочек на свойства почв не было. Изучение этих сюжетов имело большое практическое значение для развития сельского хозяйства в пустынной и полупустынной зонах.

Привлечение Н. Н. Большевым к этим исследованиям профессионального альголога — доцента МГУ Е.А. Манучаровой, ученицы профессора К.И. Мейера — стало важным событием для развития почвенной альгологии в СССР. В 1946-1947 гг. Н. Н. Большевым и Е.А. Манучаровой были опубликованы две работы, где впервые были приведены списки водорослей и цианобактерий такыров и сероземов (Большев, Манучарова, 1946; 1947). Успешный опыт почвенных альгологических исследований Е.А. Манучаровой во многом повлиял на направление работы Э.А. Штиной — ее друга и так же ученицы К.И. Мейера. Вот как Э.А. Штина пишет об этом: «После бесед и переговоров с Константином Игнатьевичем Мейером, Екатериной Алексеевной Манучаровой, Николаем Никаноровичем Большевым я решила заниматься почвенными водорослями. Они были ближе к тематике сельскохозяйственного вуза...» (Почетные..., 2009). Результатом сотрудничества Н. Н. Большева и Э.А. Штиной стала серия статей о сообществах водорослей основных зональных почв СССР, развитие представлений о связи сообществ водорослей с направлениями процесса почвообразования (Штина, 1959) и об участии водорослей в образовании почв (Большев, 1968).

Большев Н. Н. Водоросли и их роль в образовании почв. — М.: Изд-во МГУ, 1968. — 83 с.

Большев Н. Н., Манучарова Е. А. О растительности такыров //Вестн. Моск. ун-та. 1946. №. 3-4. С. 101-109.

Большев Н. Н., Манучарова Е. А. Распределение водорослей в профиле некоторых почв пустынной зоны //Вестн. Моск. ун-та. 1947. № 8. С.115-130.

Почвенные водоросли: указатель литературы. 1907-1980. Часть 1. Составители Т.В. Делинская, З. Н. Бороздина. Под ред. д-ра биол. наук Э.А. Штиной. — Киров, 1983. — 80 с. Почетные граждане города Кирова: кн. 4. Э.А. Штина. Ученый с мировым именем. Педагог. Общественный деятель. — Киров: НКО «Золотой фонд Вятки», 2009—448 с. Штина Э.А. Сообщества водорослей основных типов почв СССР и их диагностическое значение // Ботан. журн. 1959. Т. 44, №8. С. 1062-1073.

Летопись МГУ: <http://letopis.msu.ru/peoples/7921>

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ БЕЛОЯРСКОГО, НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО И ЧЕРНОИСТОЧИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, СРЕДНИЙ УРАЛ)

Т. В. Еремкина¹, С. И. Генкал²

¹Уральский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии,
Екатеринбург, Россия

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

В данной работе обобщены литературные, фондовые и собственные данные о разнообразии и количественных показателях развития диатомовых водорослей в Белоярском, Черноисточинском и Нижнетагильском водохранилищах Свердловской области. Изучение диатомовых водорослей с помощью электронной микроскопии позволило существенно дополнить данные по видовому составу Bacillariophyta водоемов Свердловской области. Общий таксономический список диатомовых водорослей исследуемых водохранилищ включает 352 таксона видового и внутривидового ранга из 85 родов. Наиболее разнообразны Bacillariophyta Нижнетагильского водохранилища (247 видов).

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам №121051100099-5 и №721916Ф.99.1.БЛ16ФФ00000.

ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ДОМИНИРУЮЩИХ ВИДОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ВО ВРЕМЯ «ЦВЕТЕНИЙ» ВОДОЕМОВ РОССИИ

З.Б. Намсараев, А.А. Мельникова

Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”,
Москва, Россия

Был проведен анализ данных о доминирующих таксонах цианобактерий во время массового развития в крупнейших водоемах России в летний период. В результате было показано, что в континентальных водоемах среди доминирующих представлены 32 вида цианобактерий, относящихся к 17 родам. Из них наиболее часто встречающимися во время цветений таксонами являются *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Dolichospermum flos-aquae* и *Dolichospermum lemmermannii*. В морских системах отмечаются представители 12 видов, относящихся к 9 родам. Среди них наиболее часто встречаются *Aphanizomenon flos-aquae*, *Trichormus variabilis*, *Dolichospermum flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* и *Nodularia spumigena*. Отмечается, что *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* и *Dolichospermum flos-aquae* обладают наиболее широким распространением по территории России и встречаются в водоемах как Арктической зоны РФ, так и юга страны, а также в распресненных частях прибрежных морей, тогда как *Dolichospermum lemmermannii* более характерны для водоемов, расположенных в регионах с субарктическим или бореальным климатом, и не отмечается как доминант в регионах умеренного климата.

ДИАТОМОВЫЕ БЕНТОСА ЧЁРНОГО МОРЯ: РЕДКИЕ, ИНВАЗИВНЫЕ, «ВОСКРЕСШИЕ» ВИДЫ И ОЦЕНКА ИХ ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ ИСКЛЮЧИТЕЛЬНОСТИ

Е.Л. Неврова

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

Оценка разнообразия бентосных диатомовых необходима для сохранения генетического фонда, особенно для редких и исчезающих видов. Флора Bacillariophyta Чёрного моря насчитывает 1100 видов и ввт, среди которых виды-реликты, аборигены, пресноводные, интродуценты и вселенцы, акклиматизирующиеся к иным условиям. Выявлено 8 новых для флоры родов, свыше 280 новых находок, ряд видов, не регистрируемых в Мировом океане в XX в. Выделены значимые для сохранения группы из 33 и 11 видов с соответствующим рангом высокой и наивысшей таксономической исключительности. Вид, образующий моновидовую ветвь на иерархическом древе, приоритетен для сохранения по сравнению с видами, формирующими поливидовую ветвь. Исчезновение видов с высоким рангом приводит к значительным изменениям в структуре флоры, поэтому поддержание неизменности условий обитания является первоочередной мерой для сохранения разнообразия Bacillariophyta.

Работа выполнена в рамках финансирования Госзадания ФИЦ ИНБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН по теме № 0828-2019-0002 (госрегистрация № АААА-А18-118020890074-2).

РАЗНООБРАЗИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ВЫСОТНОМ ПРОФИЛЕ ОТ ГОРНОГО ЛЕСА ДО ТУНДРЫ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)

И.В. Новаковская, Е.Н. Патова, Ю.А. Дубровский, А.Б. Новаковский

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
Сыктывкар, Россия

Изучено видовое богатство цианобактерий и водорослей биологических почвенных корок (БК) на оголенных субстратах в различных типах горной растительности на Северном Урале. Разнообразие и структура водорослевых сообществ БК отражают изменения экологических факторов на высотном градиенте (высоту над уровнем моря, pH и влажность почвы, освещенность). Доминирующий комплекс видов цианобактерий и водорослей в БК был специфичен для каждого типа растительного сообщества. Видовое разнообразие и морфологическая организация талломов водорослей БК могут быть использованы в качестве показателей для оценки возможной трансформации структуры растительных сообществ при климатических изменениях в горных районах.

Исследования выполнены при частичной поддержке гранта РФФИ № 22-24-00673.

АЗОТФИКСИРУЮЩИЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ В ГОРНО-ТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ УРАЛА (РАЗНООБРАЗИЕ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ)

Е.Н. Патова, М.Д. Сивков

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

В биологических почвенных корочках (БК) горных тундр трех северных регионов Урала выявлен 131 вид цианобактерий из 46 родов. Азотфиксаторы составляют около 40% от общего разнообразия. Комплекс доминантов формируют представители родов *Nostoc*, *Stigonema*, *Scytonema*. На основе изучения азотфиксирующей активности биологических корок с доминированием цианобактерий выделено две группы: с высокими и с низкими скоростями азотфиксации. Высокие скорости азотфиксации в среднем $3.17 \text{ мг C}_2\text{H}_4 \text{ м}^{-2}\text{ч}^{-1}$ характерны для БК с доминированием *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet & Flahault или *Stigonema ocellatum* Thuret ex Bornet & Flahault, низкие – в среднем $1.01 \text{ мг C}_2\text{H}_4 \text{ м}^{-2}\text{ч}^{-1}$ для БК с доминированием *Stigonema minutum* Hassall ex Bornet et Flahault. Показано, что азотфиксация исследованных БК в большей степени зависит от состава доминирующих видов цианобактерий в почвенных корочках, чем от географической зоны, в которой были собраны образцы.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ ПРИ ОПИСАНИИ ДИНАМИКИ ФИТОПЛАНКТОНА В ВИСЛИНСКОМ ЗАЛИВЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

К.А. Подгорный¹, О.А. Дмитриева^{1,2}

¹Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»)

²Институт Океанологии им П.П. Ширшова РАН, Атлантическое отделение

Для анализа «режимных сдвигов» в экосистемах достаточно широко применяют идеи и методы теории катастроф. В данной работе анализ состояния фитопланктона российской части Вислинского залива Балтийского моря выполнен на основе использования наиболее простой из возможных моделей теории катастроф – катастрофы сборки. В качестве переменной состояния рассмотрена суммарная биомасса фитопланктона. Расчет значений управляющих параметров выполнен с использованием факторных нагрузок главных компонент для данных, которые характеризуют гидрологический режим и уровень биогенной нагрузки на водную экосистему залива. Было установлено, что в зависимости от конкретной ситуации один и тот же фактор или разные комбинации факторов могут играть как стабилизирующую роль, так и быть причиной потери устойчивости.

Авторы считают своим приятным долгом выразить слова благодарности и глубокой признательности всем анонимным рецензентам, которые взяли на себя нелегкий труд прочтения и критического анализа статьи. Высказанные ими замечания и предложения были важны для нас и по возможности учтены.

ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОРСКОГО МЕТОДА ГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Л.В. Разумовский

Институт водных проблем РАН (Москва, Россия)

Работа посвящена анализу многолетних исследований методом графического анализа. Исходно метод был разработан при изучении диатомовых комплексов из современных озерных осадков Европейской части России. Установлены три исходных типа таксономических пропорций в диатомовых комплексах и три сценария их трансформации. Позднее, метод был успешно применен при изучении диатомовых комплексов из отложений позднего голоцена. Были сформулированы основные понятия и решаемые информационные задачи. В дальнейшем, это позволило успешно проводить анализ долговременных трансформаций в речных фитопланктонных сообществах (биомониторинг). Установлены сходная модель флуктуаций численности микроорганизмов в воде. Информативность метода была продемонстрирована при анализе трансформаций в сложных системах, не относящихся к категории живых: в реках и водохранилищах.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИВП РАН тема № 0147-2019-0004.

ЦИАНОБАКТЕРИИ НА КАМЕННЫХ СООРУЖЕНИЯХ В ГОРОДЕ КИЛЬ, ГЕРМАНИЯ

О.А. Родина^{1,2}, Д.А. Давыдов¹, Е.Г. Панова²,
Д.Ю. Власов², А. Хольцхейд³

¹Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³Кильский университет имени К. Альбрехта, Киль, Германия

Каменное убранство г. Киль является всемирным наследием. В архитектурных строениях использован гранит, песчаник и известняк. В результате изучения цианобактерий в биопленках на поверхности каменных сооружений и памятников в городе Киль (Германия) было выявлено 28 таксонов рангом ниже рода из 18 родов. Самым встречаемым был отмечен *Phormidesmis* sp.

Наибольшее число таксонов рангом ниже рода было обнаружено на известняке (17). Планируется дальнейшее изучение цианобактерий с использованием молекулярных методов.

Работа выполнена в рамках проекта G-RISK A-2021b-2_r (Environmental influences on building stones in urban condition: a case study based on stone cultural heritage of Saint Petersburg, Russia, and Kiel, Germany) и при поддержке гранта Российского научного фонда № 21-14-00029.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВИДОВОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА ВОДОРΟΣЛЕЙ ПЕРИФИТОНА В ОЗЕРАХ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА

А. Г. Русанов, Е. В. Станиславская

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН,
Институт озераведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

Изменчивость видовой и функциональной структуры водорослей перифитона в зависимости от гидрохимических, физических, климатических и пространственных факторов исследована в 55 озерах Карельского перешейка. Для оценки факторов, влияющих на функциональную структуру, были выделены восемь функциональных групп, различающихся морфологией клетки/колонии и характером прикрепления к субстрату. Анализ компонент дисперсии показал, что факторы среды (гидрохимические и климатические) преобладали над пространственными переменными в объяснении изменчивости видовой структуры. Напротив, функциональная структура больше зависела от пространственных переменных, чем от факторов среды (гидрохимических и физических). Это говорит о том, что процессы расселения, зависящие от особенностей ландшафта региона и гидрологической связности отдельных речных сетей, играют более заметную роль в пространственной изменчивости функционального состава перифитона.

Работа выполнена в рамках темы Института озераведения РАН № 0154-2019-0001.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДА ФИКСАЦИИ ПРЕСНОВОДНЫХ МИКРОВОДОРΟΣЛЕЙ (SCENEDESMACEAE, CHLOROPHYTA) ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

И. Н. Чубчикова, И. В. Дробецкая, Н. В. Данцюк, Э. С. Челебиева

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

На примере зеленых микроводорослей семейства Scenedesmaceae (*Coelastrella rubescens*, *Coelastrella* sp., *Coelastrella aeroterrestica*, *Pseudospongiococcum protococcoides* и *Desmodesmus* sp.) опробованы различные методы фиксации для сканирующей электронной микроскопии с целью получения изображений, отражающих таксономически значимые морфологические особенности клеточной оболочки (ребра, полюса, шипы, бородавки и т.д.). В зависимости от физиологического состояния клеток (молодые, активно делящиеся или в стадии вторичного каротиногенеза) для фиксации использовали 0,5-2,5% глутаровый альдегид в 0,15 М PBS, а также в 5,0 и 6,67 мМ фосфатном буфере, при значениях pH в диапазоне 6,8-7,4. Дегидратацию проводили в градуированном этаноле (20-100 %). Показана высокая информативность метода СЭМ для идентификации Scenedesmaceae со структурированной клеточной оболочкой.

Работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательской работы ФИЦ «ИнБЮМ им. А. О. Ковалевского» в рамках темы № 121030300149-0 «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса»».

ВОДОРΟΣЛИ ВОДНЫХ И НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОЙ ТАЙГИ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «КОЙГОРОДСКИЙ», РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Ю.Н. Шабалина^{1,2}, Е.Н. Патова¹, И.В. Новаковская¹, И.Н. Стерлягова¹

¹ Институт биологии ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения РАН,
Отдел флоры и растительности Севера, Сыктывкар, Россия

² Сыктывкарский государственный университет им. П. Сорокина,
Институт естественных наук, кафедра экологии и геологии, Сыктывкар, Россия

Первые данные о водорослях некоторых водных и наземных экосистем южной тайги на территории национального парка «Койгородский» (Республика Коми, Россия) показали достаточно разнообразный состав этих организмов: в водных экосистемах парка выявлено 194 таксона с внутривидовыми разновидностями и формами из шести отделов со значительным преобладанием представителей Bacillariophyta (68 %); в лесных фитоценозах встречено 27 таксонов рангом ниже рода почвенных водорослей из четырех отделов и семи классов, преимущественно из отдела Chlorophyta (63%). Обнаружено три новых вида почвенных водорослей для европейского северо-востока: *Phormidium coutinhoi* J.Sampaio, *Chlamydomonas* cf. *inepta* Ettl, cf. *Kentrosphaera* sp.

Исследования выполнены за счет средств федерального бюджета в рамках темы НИР «Оценка эколого-ценотического, видового и популяционного разнообразия растительного мира ключевых особо охраняемых природных территорий Республики Коми» № 122040600026-9. Авторы благодарны Д.И. Кудрявцевой за сбор ряда проб в водотоках национального парка.

СИСТЕМАТИКА АХНАНТОИДНЫХ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ (BACILLARIOPHYTA, ACHNANTHALES)

М.И. Юрчак, Р. М. Гогорев

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

Рассмотрено современное состояние систематики моношовных диатомовых водорослей. Кратко охарактеризованы роды в широком понимании по морфологическим признакам. Предложено их разделение на 3 группы, независимо от систематического положения, на основании двух ключевых признаков – направление дистальных и проксимальных концов шва, рядность штрихов.

Работа выполнена в рамках плановой темы БИН РАН (№ 121021600184-6) и проекта Президиума РАН «Гербарные фонды БИН РАН (история, сохранение, изучение и пополнение)» (№ 122011900032-7).