



**ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН  
Национальный научный центр морской биологии  
им. А.В. Жирмунского ДВО РАН**

**МАТЕРИАЛЫ**

VII Всероссийской научной конференции с международным участием

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

16-20 сентября 2024 г., Владивосток, Россия



**Владивосток 2024**

УДК 582.26  
ББК 28.591.2  
П78

**Водоросли: проблемы таксономии и экологии, использование в мониторинге и биотехнологии. Материалы VII Всероссийской научной конференции с международным участием (г. Владивосток, Россия, 16—20 сентября 2024 г.). — Владивосток: 2024. — 129 с.**

В сборнике находятся 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, 2024

© Федеральный научный центр  
биоразнообразия наземной биоты  
Восточной Азии ДВО РАН, 2024

© Национальный научный центр  
морской биологии им. А.В.  
Жирмунского ДВО РАН, 2024

## Оглавление

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

Два новых вида рода *Stauroneis* Ehrenberg (Naviculales, Bacillariophyceae) с Дальнего Востока России ..... 12

**Абрамова К.И., Токинова Р.П.**

Использование алгоритмов компьютерной программы TILIA для анализа пространственного распределения структуры речного фитопланктона (на примере малых рек Татарстана) ..... 13

**Аверина С.Г., Андреева Н.А., Сенатская Е.В., Снарская Д.Д., Пиневиц А.В.**

Цианобактерии, использующие дальний красный свет: в поисках новых объектов для изучения генных детерминант фотоадаптации ..... 14

**Авраменко А.С., Черепанова М.В.**

Пресноводные центрические диатомеи рода *Alveolophora* Moisseeva et Nevretdinova из миоцен-плиоценовых отложений Южного Приморья ..... 15

**Авсиян А.Л.**

Влияние температурного режима на продукционные характеристики диатомовой микроводоросли *Phaeodactylum tricorutum* при культивировании в условиях естественного освещения ..... 16

**Адамович Б.В., Нуриева И.И.**

Скорость роста фитопланктона: KDD-подход ..... 17

**Андреева Н.А., Снарская Д.Д.**

Цианобактерии в эпилимне прибрежного мелководья акватории Севастополя ..... 18

**Анисимова О.В.**

Характерные виды десмидиевых водорослей (Charophyta, Zygnematomphyceae) для флор малых заболоченных карьеров Московской области ..... 19

**Багаутдинова З.З., Пивоварова Ж.Ф.**

Мозаичное распределение водорослей и цианопрокариот в таежных сообществах подзоны южной тайги ..... 20

**Балычева Д.С., Благинина А.А., Лишаев В.Н., Мирошниченко Е.С., Рябушко В.И.**

Биоаккумуляция лантана на створках диатомовых водорослей *Nanofrustulum shiloi* и *Amphora bigibba* ..... 21

**Бачура Ю.М., Новикова А.А.**

Оценка фитостимулирующих свойств *Vischeria*-содержащих альгоцианобактериальных и микроводорослевых комплексов ..... 22

**Башенхаева М.В., Захарова Ю.Р., Галачьянц Ю.П., Петрова Д.П., Сакирко М.В., Бессудова А.Ю., Ханаев И.В., Лихошвай Е.В.**

Подледные сообщества фитопланктона озера Байкал по данным микроскопии и метабаркодирования ..... 23

**Бегун А.А., Лепская Е.В., Орлова Т.Ю.**

«Цветение» диатомовой водоросли <i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow в Халактырском озере (Камчатка) в 2023 г.....	24
<b>Бессудова А.Ю.</b>	
Биоразнообразие и экология чешуйчатых хризифитовых (Chrysophyceae) северных водоемов.....	25
<b>Болдина О.Н.</b>	
Свободноживущие и симбиотические хламидомонады окрестностей Санкт-Петербурга...	26
<b>Васильева С.Г., Лобакова Е.С., Дробкова А.Ю., Горелова О.Г., Григорьев Т.Е., Антипова К.Г., Захаревич А.А., Чивкунова О.Б., Соловченко А.Е.</b>	
Накопление полиненасыщенных жирных кислот клетками микроводоросли <i>Lobosphaera</i> sp. IPPAS C-2047 (Chlorophyta, Trebouxiophyceae), иммобилизованных на биокompозитных материалах на основе хитозана и целлюлозы .....	27
<b>Величко Н.В., Рабочая Д.Е., Смирнова С.В., Макеева А.С.</b>	
Сравнительный метагеномный и культуромный анализ антарктических цианобактерий в водных и почвенных микробиомах оазиса Холмы Ларсеманн .....	28
<b>Воденеева Е.Л.</b>	
Альгологические исследования в заповедниках России .....	29
<b>Воякина Е.Ю.</b>	
Структурно-функциональные характеристики фитопланктона озер Валаамского архипелага .....	30
<b>Габриелян Д.А., Синетова М.А., Габель Б.В., Габриелян А.К., Савиных Г.А., Лось Д.А.</b>	
Биотехнология микроводорослей: отработка режимов массового культивирования .....	31
<b>Галачьянц Ю.П., Петрова Д.П., Марченков А.М., Налимова М.А.</b>	
Динамика сообществ фито- и бактериопланктона Южного Байкала и Иркутского водохранилища в период открытой воды в 2023 г. по данным метабаркодирования.....	32
<b>Геворгиз Р.Г., Железнова С.Н., Бобко Н.И.</b>	
Культивирование микроводорослей в промышленных масштабах. Современный опыт, проблемы и перспективы.....	33
<b>Глушченко А.М., Мальцев Е.И., Куликовский М.С., Лобус Н.В.</b>	
Филогенетическое положение <i>Actinella punctata</i> Lewis 1864 (Bacillariophyceae, Eunotiaceae) и комментарии к таксономии семейства Eunotiaceae .....	34
<b>Горин К.К., Ицык Т.В., Котова А.С.</b>	
Разнообразие цианопрокариот прибрежной зоны острова Гогланд (Финский залив, Балтийское море).....	35
<b>Гречушников М.Г., Комиссаров А.Б., Казанцев В.С.</b>	
Роль фитопланктона в снижении эмиссии метана с поверхности водоема.....	36
<b>Гусев Е.С., Подунай Ю.А., Мартыненко Н.А., Ву Мань</b>	
Разнообразие наземных водорослей и цианобактерий тропических лесов.....	37
<b>Давидович Н.А.</b>	
Концепция вида у диатомовых водорослей.....	38

<b>Давидович О.И., Давидович Н.А., Полякова С.Л., Екер-Девели Е.</b>	
Половое воспроизведение диатомовой водоросли <i>Nitzschia cf. navis-varingica</i> Lundholm and Moestrup.....	39
<b>Денисов Д.Б., Косова А.Л., Вокуева С.И.</b>	
Пресноводные альгоценозы Евро-Арктического Баренцева региона в оценке качества среды.....	40
<b>Десницкий А.Г.</b>	
Зеленая водоросль <i>Oophila</i> – факультативный симбионт зародышей амфибий.....	41
<b>Дорохова М.Ф.</b>	
Диатомовые водоросли в оценке состояния почв районов нефтепромыслов: вклад Кировской школы альгологов.....	42
<b>Егорова И.Н., Кулакова Н.В.</b>	
К разнообразию наземных сценедесмусовых водорослей (Scenedesmaceae, Chlorophyta) Байкальского региона .....	43
<b>Железнова С.Н., Геворгиз Р.Г.</b>	
Промышленная культура диатомовой водоросли <i>Nanofrustulum shiloi</i> (Lee, Reimer et Mcenery) Round, Hallsteinsen et Paasche 1999 в двухступенчатом хемостате.....	44
<b>Жигадлова Г.Г.</b>	
Макрофиты прибрежных вод острова Крашенинникова (Авачинский залив, юго-восточная Камчатка) .....	45
<b>Зайцев П.А., Шурыгин Б.М., Ладнов Э.О., Васильева С.Г., Родин В.А., Панова Т.В., Зверева М.Э., Соловченко А.Е.</b>	
Функционально-метагеномный анализ альго-бактериальных сообществ для очистки сточных вод.....	46
<b>Зайцева А.А., Зайцев П.А., Соловченко А.Е., Лобакова Е.С.</b>	
Метаболомный поиск потенциальных медиаторов альго-бактериальных взаимодействий в лабораторных культурах каротиногенной микроводоросли <i>Halochlorella rubescens</i> .....	47
<b>Игнатенко М.Е., Яценко-Степанова Т.Н.</b>	
Сосcolithophyceae в альгофлоре водоемов степной зоны Южного Урала.....	48
<b>Капустин Д.А., Куликовский М.С.</b>	
Чешуйчатые золотистые водоросли (Chrysophyceae) водоемов Московской области .....	49
<b>Капустин Д.А., Мартыненко Н.А., Стерлягова И.Н., Куликовский М.С.</b>	
Род <i>Chrysastrella</i> Chodat (Chrysophyceae): морфология, систематика, распространение .....	50
<b>Кезля Е.М., Миронова Э.А., Куликовский М.С.</b>	
Изучение генетического разнообразия микроводорослей как основа применения метабаркодинга для экологического мониторинга поверхностных вод г. Москвы .....	51
<b>Кириенко Е.С., Давидович Н.А.</b>	
Определение лимитирующей концентрации биогенных элементов в отношении накопления внеклеточного мареннин-подобного пигмента <i>Haslea karadagensis</i> (Bacillariophyta) в культуре .....	52

<b>Клементьев С.В., Буденкова Е.А., Куликова Ю.В., Сироткин А.С.</b>	
Культивирование микроводорослей на водной фазе гидротермального ожижения биомассы активного ила.....	53
<b>Клочкова Н.Г.</b>	
Порядок Laminariales: фено- и генотипическая систематика, фитогеография, история формирования.....	54
<b>Колесниченко Л.Г., Барсукова Н.Н., Баженова О.П., Колесниченко Ю.Я., Бызаакай А.А., Ермолаева Н.И., Покровский О.С.</b>	
Оценка взаимосвязи гидрохимических свойств вод средней Оби с таксономической структурой фитопланктона .....	55
<b>Кондратова О.В., Жабина Н.А., Колесниченко Л.Г.</b>	
Оценка изменения органического вещества вод под влиянием фитопланктона .....	56
<b>Коновалова Н.В., Мотылькова И.В.</b>	
Наиболее массовые токсичные виды фитопланктона прибрежной зоны юго-восточного Сахалина.....	57
<b>Косякова А.И., Самылина О.С.</b>	
Влияние сульфида на фиксацию азота негетероцистной галоалкалофильной цианобактерией <i>Sodalinema</i> sp. P-1104 .....	58
<b>Котова А.С., Горин К.К.</b>	
Сообщества бентосных цианопрокариот Муринаского ручья (г. Санкт-Петербург) .....	59
<b>Кочубей А.В., Мальцев Е.И., Яковийчук А.В., Строкань Н.В.</b>	
Биохимические особенности <i>Bracteacoccus minor</i> в условиях фосфорного голодания.....	60
<b>Кривина Е.С., Портнов А.М., Темралеева А.Д.</b>	
Описание нового вида <i>Brachionococcus ignota</i> sp. nov. и сравнение эффективности различных методов кибернетического подхода для разграничения видов в <i>Chlorella</i> -кладе ( <i>Trebouxiophyceae</i> , <i>Chlorophyta</i> ).....	61
<b>Кривова З.В., Мальцев Е.И., Куликовский М.С.</b>	
Особенности состава жирных кислот у водорослей рода <i>Vischeria</i> ( <i>Eustigmatophyceae</i> ) при разных концентрациях азота .....	62
<b>Кулизин П.В., Воденеева Е.Л., Охупкин А.Г.</b>	
Состав и динамика доминирующих комплексов фитопланктона рек юга таежной зоны (бассейн Средней Волги).....	63
<b>Кулизин П.В., Подунай Ю.А., Мартыненко Н.А., Шкурина Н.А., Фан Чонг Хуан, Гусев Е.С.</b>	
Оценка разнообразия диатомовых водорослей малых рек охраняемых территорий Вьетнама методом метабаркодинга.....	64
<b>Куликовский М.С., Кузнецова И.В.</b>	
Разнообразие и перспективы использования микроводорослей и цианобактерий .....	65
<b>Куликовский М.С., Глущенко А.М., Кузнецова И.В., Юрманов А.А.</b>	
Систематика, распространение и криптическое разнообразие <i>Gandhia</i> Kulikovskiy, Glushchenko, Iurmanov, M. Thacker, B. Karthick & Kociolek ( <i>Bacillariophyta</i> ).....	66

<b>Кухарук М.Ю., Лазарчева П.В., Кезля Е.М., Мальцев Е.И., Глущенко А.М., Куликовский М.С.</b>	
Молекулярное разнообразие диатомовых водорослей (Bacillariophyta) водоемов Кабардино-Балкарской республики .....	67
<b>Ладьянова Г.С., Евдокимов А.С., Горин К.К., Котова А.С.</b>	
Водоросли в гербарной коллекции РГПУ им. А. И. Герцена (HERZ) .....	68
<b>Лепская Е.В., Медведева Л.А., Никулина Т.В., Орлова Т.Ю., Эльчапаров В.Г.</b>	
Элементы автотрофной микробиоты озера Большой Вилюй (Восточная Камчатка) .....	69
<b>Лихошвай Е.В.</b>	
Микромир водных экосистем: Новые методы – новые знания .....	70
<b>Лобакова Е.С., Шибзухова К.А., Бутаева Г.Б., Зайцева А.А., Горелова О.А.</b>	
Диазотрофные цианобактерии, ассоциированные с перистыми мхами .....	71
<b>Лобус Н.В., Габриелян Д.А., Синетова М.А., Куликовский М.С.</b>	
Эффективность ассимиляции CO <sub>2</sub> и накопление органического углерода в микроводорослях при различных режимах культивирования .....	72
<b>Лукьянов А.А., Федоренко Т.А., Дольникова Г.А., Скрипникова Е.В., Лобакова Е.С., Соловченко А.Е.</b>	
Способность микроводорослей и дрожжей к росту на средах с высокими концентрациям сахарной мелассы .....	73
<b>Лыков А.П., Геворгиз Р.Г., Железнова С.Н., Уваров И.П.</b>	
Микроводоросли и цианобактерии: биологические эффекты на соматические клетки животных, антимикробный потенциал .....	74
<b>Майорова К.А., Аксёнов А.С., Паршина А.Е., Поломарчук Д.А., Боголицын К.Г.</b>	
Биотехнологические аспекты утилизации полисахаридов отходов переработки ламинарий в Арктической зоне РФ .....	75
<b>Макарёнкова Н.Н.</b>	
Сезонная изменчивость фитопланктона крупного мелководного озера Воже (Вологодская область) в 2016–2023 гг. ....	76
<b>Мальцев Е.И., Куликовский М.С., Мальцева И.А.</b>	
Использование дефицита азота и фосфора для стимуляции накопления липидов у микроводорослей .....	77
<b>Мальцева И.А., Черкашина С.В., Мальцев Е.И.</b>	
Биохимическая и антиоксидантная характеристика <i>Chlorococcum oleofaciens</i> в условиях питательного стресса .....	78
<b>Мальцева С.Ю., Миннуллин Д.Д., Кезля Е.М., Кривова З.В., Куликовский М.С., Мальцев Е.И.</b>	
Особенности состава жирных кислот штаммов <i>Coccomyxa</i> (Trebouxiophyceae) .....	79
<b>Мартыненко Д.О., Климова А.В., Клочкова Т.А.</b>	
Воздействие нефтепродуктов на развитие бурой водоросли <i>Fucus distichus</i> (Phaeophyceae, Fucales) .....	80

<b>Мартыненко Н.А., Гусев Е.С., Подунай Ю.А., Кулизин П.В.</b>	
Разнообразие, биогеография и экология пресноводных криптомонад.....	81
<b>Медведева Л.А., Никулина Т.В.</b>	
Результаты изучения пресноводных водорослей в заповедниках южной части Дальнего Востока России.....	82
<b>Медведева Н.Г., Кузикова И.Л., Зайцева Т.Б., Тимофеева О.Г., Поволоцкая А.В., Панкин Д.В.</b>	
Аллелопатические взаимодействия цианобактерий и мицелиальных грибов как основа экоориентированных решений проблемы цианобактериальных «цветений» водоемов.....	83
<b>Мионов А.В., Глушенко А.М., Мальцев Е.И., Генкал С.И., Кузнецова И.В., Коциолек Дж.П., Куликовский М.С.</b>	
Анализ структуры порового аппарата диатомовых водорослей рода <i>Placoneis</i> и родственных таксонов с описанием двух новых родов.....	84
<b>Мионова Э.А., Кезля Е.М., Куликовский М.С.</b>	
Эпибионтные диатомовые водоросли морских черепах, обитающих у побережья г. Нячанг (Вьетнам).....	85
<b>Михайлов И.С., Букин Ю.С., Фирсова А.Д., Петрова Д.П., Галачьянц Ю.П., Лихошвай Е.В.</b>	
Структура весеннего фитопланктона озера Байкал по данным микроскопии и метабаркодинга.....	86
<b>Мотылькова И.В., Никулина Т.В.</b>	
Альгофлора некоторых водотоков юго-восточной части острова Сахалин.....	87
<b>Муравьева А.В., Кутузова И.А., Еланский С.Н.</b>	
Использование цианобактерий как биологических удобрений для сорго ( <i>Sorghum bicolor</i> ).....	88
<b>Никулин А.Ю., Никулин В.Ю., Багмет В.Б., Сущенко Р.З., Абдуллин Ш.Р., Гончаров А.А.</b>	
К списку новых находок почвенных и аэрофитных цианобактерий и водорослей на территории России и Дальнего Востока.....	89
<b>Никулин В.Ю., Сущенко Р.З., Никулин А.Ю., Абдуллин Ш.Р., Гончаров А.А.</b>	
Потенциально новый вид рода <i>Coelastrella</i> (Chlorophyta, Sphaeropleales).....	90
<b>Никулина Т.В.</b>	
Видовое богатство альгофлоры и оценка экологического состояния оз. Торфянка (г. Владивосток, Россия).....	91
<b>Новаковская И.В., Болдина О.Н., Патова Е.Н.</b>	
<i>Heterochlamydomonas uralensis</i> sp. nov. (Chlorophyta): новый вид, выделенный из почвы Приполярного Урала.....	92
<b>Оболкин В.А.</b>	
Динофлагелляты озера Байкал: особенности экологии, возможная роль в экосистеме.....	93
<b>Патова Е.Н., Новаковская И.В., Гусев Е.С., Мартыненко Н.А., Сивков М.Д.</b>	

Оценка разнообразия почвенных цианобактерий и водорослей в разных вариантах горных тундр Урала с применением метагеномных и морфологических подходов .....	94
<b>Петрова Д.П., Марченков А.М., Бедошвили Е.Д., Фирсова А.Д., Захарова Ю.Р.</b>	
Изменения в морфологии пеннатных диатомовых водорослей при длительном культивировании .....	95
<b>Подунай Ю.А., Мартыненко Н.А., Ву Мань, Гусев Е.С.</b>	
Трентеполиевоподобные водоросли тропических лесов Вьетнама.....	96
<b>Подунай Ю.А., Мартыненко Н.А., Гусев Е.С., Давидович О.И., Давидович Н.А.</b>	
Определение видовых границ представителей рода <i>Entomoneis</i> на основе репродуктивной биологии и молекулярных маркеров .....	97
<b>Позолотина Л.А., Климова А.В.</b>	
Оценка металлического загрязнения прибрежных морских экосистем Камчатки с помощью вида-монитора <i>Fucus distichus</i> (Fucales, Phaeophyceae).....	98
<b>Поломарчук Д.А., Майорова К.А., Аксёнов А.С., Паршина А.Е., Боголицын К.Г.</b>	
Ферментативная конверсия глюканов морских макроводорослей .....	99
<b>Полякова С.Л., Давидович Н.А., Давидович О.И.</b>	
Влияние некоторых абиотических факторов на вегетативный рост диатомовой водоросли <i>Navicula gregaria</i> на разных стадиях жизненного цикла.....	100
<b>Редькина В.В., Кривина Е.С., Соромотин А.В., Темралева А.Д.</b>	
Микроводоросли и цианобактерии песчаных дюн Крайнего Севера России: морфология и ДНК-баркодинг.....	101
<b>Репкина Н.С., Воронин В.П., Давидович О.И., Давидович Н.А., Мурзина С.А.</b>	
Анализ состава жирных кислот у двух видов диатомовых водорослей при разной солености.....	102
<b>Родина О.А., Сазанова К.В., Копейна Е.И., Давыдов Д.А.</b>	
Цианобактерии литобионтных сообществ в горных экосистемах на примере гор Айкуайвенчорр и Кукисвумчорр (Хибины, Мурманская область) .....	103
<b>Романов Р.Е., Вишняков В.С., Никулин В.Ю., Жакова Л.В., Никулин А.Ю., Беляков Е.А., Ефремов А.Н., Афанасьев Д.Ф., Гончаров А.А.</b>	
Харовые водоросли (Charophyceae, Characeae) юго-востока Восточно-Европейской равнины .....	104
<b>Савиных Г.А., Габриелян Д.А., Габель Б.В., Синетова М.А., Лось Д.А.</b>	
Конструирование фотобиореакторов для массового культивирования микроводорослей и цианобактерий .....	105
<b>Самылина О.С., Косякова А.И., Крылов А.А., Сорокин Д.Ю., Пименов Н.В.</b>	
Влияние климатических факторов на многолетнюю динамику фототрофных сообществ содового озера Танатар VI (Кулундинская степь) .....	106
<b>Селиванова Е.А., Тынников О.А.</b>	
Морфологические, физиологические и генетические особенности новых штаммов микроводорослей <i>Asteromonas gracilis</i> из гипергалинных водоемов России .....	107
<b>Селиванова Е.А., Тынников О.А., Насырова М.А., Плотников А.О.</b>	

Генетическое разнообразие галофильных микроводорослей рода <i>Dunaliella</i> , выделенных из различных географических источников.....	108
<b>Свириденко Б.Ф., Мурашко Ю.А., Ефремов А.Н., Токарь О.Е.</b>	
Применение количественных методов исследования экологии макроскопических водорослей для фитоиндикации качественного состояния водных объектов Западно-Сибирской равнины .....	109
<b>Синетова М.А., Самылина О.С., Косякова А.И., Батаева Ю.В., Стариков А.Ю., Куприянова Е.В.</b>	
Скрытое разнообразие цианобактерий с морфотипом ‘ <i>Leptolyngbya</i> ’, изолированных из соленых и содовых озер.....	110
<b>Соловченко А.Е., Селях И.О., Семенова Л.Р., Щербаков П.Н., Михайлова Е.С., Лукьянов А.А., Лобакова Е.С.</b>	
Биоремедиация карьерных сточных вод с использованием автохтонных и аллохтонных штаммов микроводорослей .....	111
<b>Стерлягова И.Н., Гусев Е.С., Мартыненко Н.А., Кулизин П.В., Воякина Е.Ю., Патова Е.Н.</b>	
Разнообразие рода <i>Synura</i> Европейской части России на основании морфологических и молекулярно-генетических данных.....	112
<b>Судакова Э.М., Бедошвили Е.Д.</b>	
Молекулярные и клеточные механизмы адаптации <i>Ulnaria acus</i> к условиям среды обитания .....	113
<b>Суханова Н.В., Хилажетдинова Л.Б., Муфазалова А.С., Хасанова Г.Ф., Гизатуллина А.И., Фазлутдинова А.И., Радыгина А.В., Гайсина Л.А.</b>	
Изучение ростостимулирующих свойств микроскопических зеленых водорослей в рамках проекта Евразийского НОЦ.....	114
<b>Сущенко Р.З., Никулин В.Ю., Никулин А.Ю.</b>	
Новые находки видов рода <i>Micractinium</i> из пирокластических отложений полуострова Камчатка.....	115
<b>Темралеева А.Д.</b>	
Подходы к делимитации видов водорослей: выбор ДНК-маркеров, установление молекулярных порогов и оценка эффективности математических алгоритмов.....	116
<b>Фирсова А.Д., Бессудова А.Ю., Титова Л.А., Бузевич В.В.</b>	
Влияние олиготрофных вод озера Байкал на пространственно-временную динамику фитопланктона Иркутского водохранилища .....	117
<b>Цеплик Н.Д., Мальцев Е.И., Глущенко А.М., Генкал С.И., Куликовский М.С.</b>	
К систематике рода <i>Planorhynchium</i> (Achnanthesiaceae, Bacillariophyceae) .....	118
<b>Цой И.Б., Прушковская И.А., Обрезкова М.С.</b>	
Особенности состава и распределения кремнистых микроводорослей в поверхностных осадках заливов Восточной Камчатки .....	119
<b>Чудаев Д.А., Кутузова И.А.</b>	
Диатомовые водоросли пресных водоемов оазиса Холмы Ларсеманн (Восточная Антарктида) .....	120

<b>Шарагина Е.М., Воденеева Е.Л., Кулизин П.В., Старцева Н.А., Охапкин А.Г., Журова Д.А., Гусев Е.С., Мартыненко Н.А.</b>	
Анализ таксономического состава уникальных карстовых озер Нижегородской области с применением различных подходов .....	121
<b>Яковийчук А.В., Мальцев Е.И., Кочубей А.В.</b>	
Антиоксидантный статус изолятов <i>Bracteacoccus minor</i> .....	122
<b>Banazadeh S., Zarei Darki B., Omid A.</b>	
The effect of <i>Spirulina platensis</i> microalgae enriched with iron sulfate on the tissues of the liver of Wistar rats .....	123
<b>Bigham S., Zarei Darki B., Yusefzadi M., Ranjbar M.</b>	
Evaluation of ecological factors on the antioxidant properties of the symbiotic algae <i>Symbiodinium</i> sp. collected from the coasts of the Persian Gulf and Gulf of Oman .....	124
<b>Gharemahmudli S., Sadeghi S.H.R., Zarei Darki B.</b>	
Effects of soil and water conservation-applied cyanobacteria and algae cultured in different media on chlorophylls .....	125
<b>Mahboubeh Mirzahosseini, Mohammad Jafari, Behrouz Zarei Darki</b>	
Investigation of different dosage of cyanobacteria in rangeland soil in Damavand .....	126
<b>Moghadamzadegan S., Zarei Darki B., Allameh A., Bigham S.</b>	
Studying the amount of chromium bioaccumulation in the cyanobacterium <i>Spirulina platensis</i> .....	127
<b>Moghimiyan N., Zarei Darki B. Kooch Y., Hosseini S.M.</b>	
Dynamics of biological soil crust under different land use/cover: cyanobacterial composition, abundance, and related soil properties .....	128
<b>Zarei Darki B., Tahmasebi H., Yaseri M., Abi B., Taghiyan M., Rajainejad M.</b>	
Use of Twin-layer photobioreactors in cultivation of microalgae: Challenges and opportunities .....	129

## Два новых вида рода *Stauroneis* Ehrenberg (Naviculales, Bacillariophyceae) с Дальнего Востока России

### Two new species in *Stauroneis* Ehrenberg genus (Naviculales, Bacillariophyceae) from the Russian Far East

*Абдуллин Ш.Р., Багмет В.Б., Никулин В.Ю., Никулин А.Ю., Горпенченко Т.Ю., Гончаров А.А.*  
ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

*Abdullin Sh.R., Bagmet V.B., Nikulin V.Yu., Nikulin A.Yu., Gorpenchenko T.Yu., Gontcharov A.A.*  
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia.

Род *Stauroneis* (Naviculales, Bacillariaceae) насчитывает 343 вида (Guiry, Guiry, 2024), большинство которых широко распространены в пресноводных местообитаниях. Многие из них описаны лишь на основе морфологии и морфометрии. Эти признаки изменяются в течение жизненного цикла и могут перекрываться между видами, что затрудняет определение их таксономического положения (Wadmare et al., 2022). Поэтому в данном случае виды могут быть идентифицированы только при использовании интегративного подхода, включающего изучение морфологических и морфометрических характеристик, анализ генетических данных, а также жизненного цикла.

При изучении разнообразия водорослей интродуцированных местообитаний в зоне умеренного муссонного климата на территории г. Владивосток и в Приморском крае (Россия) были выделены и исследованы с использованием интегративного подхода два штамма навикулоидных диатомовых водорослей.

Филогенетический анализ, основанный на данных хлоропластного гена *rbcL*, показал принадлежность новых штаммов к роду *Stauroneis*. Выделенные водоросли имеют морфологические признаки, типичные для *Stauroneis*, но отличаются от схожих видов минимальными значениями длины створок, формой концов створок и минимальным количеством штрихов в 10 мкм. Наши штаммы отличаются друг от друга максимальной длиной и шириной створок, частично формой створки, количеством ареол в 10 мкм и структурой эпицинггулюма. Тремя методами разграничения видов: ASAP, РТР и ГМУС подтверждено, что два близкородственных новых штамма представляют собой разные виды. Было выявлено, что оба они размножаются посредством изогамии.

Таким образом, на основании молекулярных данных и фенотипических признаков можно говорить о том, что выявлены два новых вида диатомовых водорослей *Stauroneis urbani* sp. nov. и *Stauroneis edaphica* sp. nov.

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

Guiry M.D., Guiry G.M. 2024. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 20.05.2024)

Wadmare N., Baghela A., Kociolek J.P., Karthick B. Description and phylogenetic position of three new species of *Stauroneis* Ehrenberg (Bacillariophyceae: Stauroneidaceae) from the Indian subcontinent // Eur. J. of Phycol. 2022. V. 57. P. 48-67.

## **Использование алгоритмов компьютерной программы TILIA для анализа пространственного распределения структуры речного фитопланктона (на примере малых рек Татарстана)**

### **TILIA software algorithm to analyze the spatial distribution of the structure of river phytoplankton (on the example of small rivers of Tatarstan)**

*Абрамова К.И., Токинова Р.П.*

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан,  
Казань, Россия*

*Abramova K.I., Tokinova R.P.*

*Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of  
Sciences, Kazan, Russia*

Пространственная неоднородность гидроэкосистем обусловлена сложившимися природно-антропогенными условиями. Выделение акваторий по территориальным зонам является важным этапом для оценки антропогенной нагрузки, управления и охраны водных объектов. В качестве критериев экологического районирования рек преимущественно используют физико-химические и гидробиологические показатели, среди которых значимое место занимает автотрофный компонент – фитопланктон. Научный интерес вызывает поиск новых методов анализа пространственного распределения структуры фитопланктона, способов графического изображения гетерогенности сообщества.

При районировании акваторий малых рек республики Татарстан на основе биоиндикационного метода авторами применена компьютерная программа TILIA (Grimm, 2004), позволившая выделить водные участки по количественным показателям современного фитопланктона. Известно, что первоначально программа, созданная Е.С. Grimm, была разработана для споро-пыльцевого анализа, но в дальнейшем стала применяться в диатомовом анализе и не исключает возможность работы с другими стратиграфическими данными. Апробация программы проведена на примере современного фитопланктона малых рек республики Татарстан – Казанки, Солонки и Мелекески. Материалом исследований послужили планктонные пробы, отобранные с поверхностного слоя воды на станциях вдоль реки от истока до устья за один вегетационный сезон. На основе кластерного анализа с использованием метода наименьших квадратов (Grimm, 1987) проведен анализ пространственного распределения фитопланктона по численности и биомассе таксономических отделов, доминирующих и субдоминирующих видов с последующим построением диаграмм, выделением речных участков. Для проверки достоверности результатов, полученных с использованием программы TILIA, анализ данных также проводили по общепринятой методике – методом попарных сравнений с помощью индекса Серенсена с кластеризацией данных методом Варда (Шитиков и др., 2003). Сходство результатов районирования, полученных с применением двух методов, свидетельствует о возможности использования TILIA в гидробиологической практике для исследования пространственного распределения структуры современного фитопланктона. Программа позволяет на основе построенных диаграмм и выделенных участков провести экологическое районирование водотока по структурным показателям фитопланктона.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.

Grimm E.C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares // Computers & Geosciences. 1987. V. 13. № 1. P. 13-35.

## Цианобактерии, использующие дальний красный свет: в поисках новых объектов для изучения генных детерминант фотоадаптации

### Cyanobacteria using far-red light: in search of new objects for the study of photoadaptation genetic determinants

Аверина С.Г.<sup>1</sup>, Андреева Н.А.<sup>2</sup>, Сенатская Е.В.<sup>1</sup>, Снарская Д.Д.<sup>1</sup>, Пиневи́ч А.В.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
<sup>2</sup>Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия

Averina S.G.<sup>1</sup>, Andreeva N.A.<sup>2</sup>, Senatskaya E.V.<sup>1</sup>, Snarskaya D.D.<sup>1</sup>, Pinevich A.V.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia  
<sup>2</sup>Institute of natural and technical systems, Sevastopol, Russia

Использование цианобактериями дальнего красного света (ДКС) связано с синтезом специальных форм хлорофиллов: хл *d* и хл *f*, имеющих красные максимумы поглощения длиной волны > 700 нм. По характеру присутствия этих пигментов в клетках выделяют две группы цианобактерий: первая представлена одноклеточными цианобактериями из рода *Acaryochloris*, синтезирующими хл *d* постоянно; вторая филогенетически гетерогенна и включает одноклеточные и трихомные формы, индуцибельно синтезирующие хл *f* и минорные количества хл *d* в условиях ДКС (Averina et al., 2018).

Ранее нами были охарактеризованы 16 штаммов цианобактерий, использующих ДКС, выделенных из пресных водоемов и почвы, один из которых был описан как новый вид нового рода – *Altericista variichlora* (Averina et al., 2021). Текущий этап работы посвящен поискам морских штаммов, использующих ДКС. С этой целью проанализированы накопительные культуры цианобактерий из образцов воды и обрастаний в прибрежной зоне Черного моря. Культуры выращивали в жидкой среде BG-11, с добавлением морской соли (17‰) при температуре 20–22°C и освещении белым и ДКС (LED максимумом эмиссии 730–750 нм) в течение 4–6 недель; для препаратов клеточных суспензий регистрировали спектры поглощения света в видимом и ДКС-диапазоне. Были отобраны варианты с максимумами > 700 нм, появляющимися при культивировании под ДКС. Выделение чистых культур проводили путем истощающего высева на плотную питательную среду. В результате были получены 17 штаммов, адаптированных к ДКС. Морфологический анализ позволил отнести 4 одноклеточных штамма к роду *Chroococidiopsis*. Другие 13 штаммов идентифицированы как *Leptolyngbya* spp. Их трихомы толщиной 2–4 мкм имеют тонкие чехлы, состоят из цилиндрических или изодиаметрических клеток, перехваты между которыми слабо выражены; концевые клетки не имеют калиптры, закруглены или конической формы. В настоящее время осуществляется генотипирование штаммов собранной коллекции с целью уточнения их таксономического статуса; методами спектроскопии и высокоэффективной жидкостной хроматографии анализируются пигменты фотосинтетического аппарата. В дальнейшем коллекция будет использована для выявления генных детерминант адаптации к ДКС.

*Исследование выполнено с использованием оборудования Ресурсных центров Научного парка СПбГУ “Развитие молекулярных и клеточных технологий” и “Культивирование микроорганизмов” при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 24-24-00052).*

Averina S., Polyakova E., Senatskaya E., Pinevich A. A new cyanobacterial genus *Altericista* and three species, *A. lacusladogae* sp. nov., *A. violacea* sp. nov., and *A. variichlora* sp. nov., described using a polyphasic approach // J. Phycol. 2021. V. 57. P. 1517–1529.

Averina S., Velichko N., Senatskaya E., Pinevich A. Far-red light photoadaptations in aquatic cyanobacteria // Hydrobiologia. 2018. V. 813. P. 1–17.

**Пресноводные центрические диатомей рода *Alveolophora* Moisseeva et Nevretdinova из миоцен-плиоценовых отложений Южного Приморья**  
**Freshwater centric diatoms of *Alveolophora* Moisseeva et Nevretdinova from Miocene-Pliocene deposits of South Primorye**

*Авраменко А.С., Черепанова М.В.*  
ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

*Avramenko A.S., Cherepanova M.V.*  
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia

Представители пресноводного вымершего рода *Alveolophora* Moisseeva et Nevretdinova, входящего в семейство Aulacoseiraceae Crawford, обитали в позднем эоцене - плиоцене в водоемах только Северного полушария, достигая своего расцвета в миоцене (Козыренко и др., 2008). Уникальной морфологической особенностью этого рода является наличие в периферической части створки камер-альвеол или псевдоальвеол (Моисеева, Невретдинова 1990). Небольшие размеры створок *Alveolophora*, расположение ареол на загибе створки в прямых вертикальных рядах делают их схожими с видами *Aulacoseira* при изучении в световом микроскопе.

В настоящий момент род *Alveolophora* включает 13 видов и одну разновидность (Козыренко и др., 2008; Авраменко, Черепанова, 2023). В Южном Приморье для миоцен-плиоценового времени ранее было установлено два вида: *A. khursevichiae* Usoltseva, Pushkar et Likhacheva (вторая половина среднего миоцена) и *A. tscheremissinovae* Khursevich (средний миоцен-плиоцен) (Авраменко, Черепанова, 2023). Нами, благодаря детальным исследованиям с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), были обнаружены еще два вида: овальная *Alveolophora hachiyaensis* (Tanaka) Houk, Klee et Tanaka (ранний миоцен) и новый вид *A. khankaica* Cherepanova et Avramenko (конец раннего миоцена–первая половина среднего миоцена (Пушкарь и др., 2024). Благодаря узкому стратиграфическому распространению данных видов они могут считаться индикаторными для биостратиграфических построений, в том числе служить реперными таксонами при обосновании границ подразделений зональной диатомовой шкалы Южного Приморья.

Детальные исследования с помощью СЭМ позволяют осуществлять объективную таксономическую диагностику створок диатомей, и тем самым дополнять знания о видовом богатстве ископаемых диатомовых водорослей.

Авраменко А.С., Черепанова М.В. Виды рода *Alveolophora* (Aulacoseiraceae) в неогеновой диатомовой флоре Южного Приморья // Биота и среда природных территорий. 2023. Т. 11, № 2. С. 5–19.

Козыренко Т. Ф., Стрельникова Н. И., Хурсевич Г. К., Цой И.Б., Жаковщикова Т. К., Мухина В. В., Ольштынская А. П., Семина Г. И. Диатомовые водоросли России и сопредельных стран. Ископаемые и современные. Том II, вып. 5. – Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2008. – 171 с.

Моисеева А. И., Невретдинова Т. Л. Новое семейство и род пресноводных диатомовых водорослей (Bacillariophyta) // Ботанический журнал. 1990. Т. 75, № 4. С. 539-544.

Пушкарь В.С., Авраменко А.С., Черепанова М.В., Лихачёва О.Ю. Усовершенствование зональной диатомовой шкалы неогена Приморья (Россия) // Тихоокеанская геология. 2024. Т. 43, № 5. С. 5-21.

# Влияние температурного режима на продукционные характеристики диатомовой микроводоросли *Phaeodactylum tricornutum* при культивировании в условиях естественного освещения

## Effect of the temperature mode on production characteristics of diatom microalga *Phaeodactylum tricornutum* cultivated under natural light conditions

Авсиян А.Л.

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

Avsiyan A.L.

Federal Research Center A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Sevastopol, Russia

*Phaeodactylum tricornutum* Bohlin 1898 – диатомовая водоросль, обладающая высокими продукционными характеристиками и составом, богатым полиненасыщенными жирными кислотами и пигментами (Celi et al., 2022). Культивирование микроводорослей при естественном освещении позволяет эффективно утилизировать солнечную энергию, однако, при этом непостоянство внешних факторов, в частности, температуры, оказывает большое влияние на продукционные характеристики.

Исследовано влияние температурного режима на продукционные характеристики микроводоросли *P. tricornutum* для оптимизации её культивирования при естественном освещении. Культивирование осуществляли в бассейнах, расположенных в тепличном альгобиотехнологическом модуле. Весной дневная температура культуры близка к оптимуму вида (от 20 до 25 °С) (Fawley, 1984), однако в утренние часы температура ниже оптимума (от 14 до 20 °С), что может замедлять процессы фотобиосинтеза. В связи с этим был апробирован технологический прием повышения температуры до 20 °С в утреннее время.

Максимальная биомасса составила 0.48 г·л<sup>-1</sup> в контроле и 0.4 г·л<sup>-1</sup> при коррекции температуры. Показано, что при повышении температуры до оптимального уровня в утренние часы максимальная среднесуточная продуктивность на линейной стадии роста культуры (4.5 г·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>) не отличалась достоверно от контрольного варианта (4.2 г·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>). При этом дневная продукция (только за светлое время суток) составляла от 2.8 до 8.8 г·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup> в контроле и от 1.7 до 7.3 г·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup> в опытном варианте в зависимости от погодных условий. Ночная потеря биомассы составляла в среднем 30 % от дневной продукции в контроле и 25 % при коррекции температуры.

Суммарная поверхностная освещенность за день варьировала от 1.8 до 4.8 МДж·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>, однако, отсутствовала её корреляция с дневной продукцией, продуктивность была лимитирована другим фактором. Продуктивность в утренние часы была выше, чем в послеполуденные часы в обоих вариантах опыта, что вероятно обусловлено тем, что в послеполуденные часы температура культуры превышала оптимальную. При коррекции температуры превышение оптимума по температуре было более выражено, что и приводило к снижению среднесуточной продуктивности, несмотря на более высокую продуктивность утром.

По результатам можно заключить, что для оптимизации температурного режима культивирования *P. tricornutum* в весеннее время требуется не только повышение температуры утром, но и разработка методов её снижения для поддержания в оптимальном диапазоне.

Celi C., Fino D., Savorani F. *Phaeodactylum tricornutum* as a source of value-added products: A review on recent developments in cultivation and extraction technologies // Bioresource Technology Reports. 2022. Vol. 19. P. 101122.

Fawley M.W. Effects of light intensity and temperature interactions on growth characteristics of *Phaeodactylum tricornutum* (Bacillariophyceae) // Journal of Phycology. 1984. Vol. 20, No. 1. P. 67-72.

## Скорость роста фитопланктона: KDD-подход

### Phytoplankton growth rate: KDD approach

*Адамович Б.В.<sup>1,2</sup>, Нуриева И.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пушchino, Россия*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.*

*Adamovich B.V.<sup>1,2</sup>, Nurieva N.I.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Institute of theoretical and experimental biophysics RAS, Pushchino, Russia*

<sup>2</sup>*Belarusian State University, Minsk, Belarus*

Первичные планктонные продуценты (фитопланктон) играют определяющую роль в усвоении питательных веществ, попадающих в толщу воды. Особый интерес представляет продукционные возможности фитопланктона, которые могут выражаться как в виде удельной продукции (отношении продукции к биомассе), так и в виде скорости роста фитопланктона. При этом если данные по удельной продукции для различных водоемов относительно доступны, то данные по скорости роста фитопланктона относятся в основном к культурам микроводорослей и получены в лабораторных условиях.

На основании многолетних мониторинговых наблюдений, проведенных на трех Нарочанских озерах (Беларусь), мы оценили изменение валовой первичной продукции в условиях разной фосфорной нагрузки на экосистему озер, а также продукционную способность биомассы фитопланктона, как по результатам наблюдений за продукцией и биомассой непосредственно в водоемах (P/V коэффициенты), так и при использовании предложенного нами (Medvinsky et al., 2023) KDD-подхода, который заключается в непосредственном включении данных полевых наблюдений в математическую модель. Мы предложили функцию скорости роста фитопланктона G (Medvinsky et al., 2023), которая на основании данных по биомассе фитопланктона дает характеристику схожую с P/V. Функция G хорошо коррелирует с P/V как для данных по всем озерам ( $r=0.70$ ,  $p<0.001$ ), так и для данных по каждому озеру в отдельности ( $r=0.63-0.70$ ). Значение полученные с помощью нашей модели в абсолютных величинах были близки к показателям P/V, полученным с использованием измерения продукции *in situ*. Мы выделили периоды высокой (1978-1986) и низкой (2006-2018) фосфорной нагрузки, которые статистически значимо отличаются по концентрации фосфора. В промежуточный период с 1987 по 2005 годы произошло вселение и массовое развитие в озерах инвазивного моллюска-фильтратора *Dreissena polymorpha*. В озерах отмечено снижение фосфорной нагрузки и валовой первичной продукции фитопланктона (GPP) за 40 летний период наблюдений. Тенденция многолетних изменений P/V и G отличается как от концентрации общего фосфора, так и GPP. Продукция, нормированная на биомассу, которую можно рассматривать как фотосинтетическую способность биомассы фитопланктона, причем рассчитанная как *in situ* (P/V коэффициенты), так и с помощью модели (G), не зависит напрямую от изменения фосфорной нагрузки в отдельном озере. Разница величин P/V коэффициентов и G между озерами, свидетельствует о том, что в каждом озере на определенном историческом этапе формируется сообщество фитопланктона со свойственной ему фотосинтетической способностью.

*Работа поддержана грантом РФФ № 23-24-00408.*

Medvinsky, A.B., Nurieva, N.I., Adamovich, B.V., Radchikova N.P., Rusakov A.V. Direct input of monitoring data into a mechanistic ecological model as a way to identify the phytoplankton growth-rate response to temperature variations. // Sci Rep. 2023. 13. 10124.

## Цианобактерии в эпилите прибрежного мелководья акватории Севастополя

### Cyanobacteria in the epilithon of the coastal shallow waters of Sevastopol

Андреева Н.А.<sup>1</sup>, Снарская Д.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт природно-технических систем, Севастополь, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Andreeva N.A.<sup>1</sup>, Snarskaya D.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russia

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

Цианобактерии (Cyanoprokaryota) являются неотъемлемым компонентом альгоценозов морских обрастаний как искусственных (металл, бетон, стекло и др.), так и естественных субстратов (например, камней).

Целью настоящей работы являлось изучение состава эпилитных цианобактерий на поверхности камней в зоне прибрежного мелководья акватории Севастополя.

Исследования состава естественного обрастания на камнях проводились в 2017–2023 гг. Оброст представлял собой плотный зеленый или бурый налет на поверхности субстрата, который для микроскопирования и посева на питательную среду приходилось снимать при помощи стерильного скальпеля. Пробы отбирались ежемесячно и параллельно анализировались три камня, взятых на расстоянии примерно 10 метров друг от друга. Для изучения морфологии цианобактерий эпилитона в прижизненных препаратах использовали световой микроскоп Levenhuk 740T при увеличении  $\times 400$ . Фотографирование культур проводилось при помощи цифровой насадки с использованием соответствующей компьютерной программы Levenhuk TourView и дальнейшей обработкой изображений в программе Adobe Photoshop CS3 Extended. Таксономическую принадлежность цианобактерий устанавливали при помощи соответствующих определителей (Komárek, Anagnostidis, 1998, 2005). Выделение новых штаммов осуществлялось из накопительных культур, полученных при инкубации нативного материала в жидкой модифицированной среде Громова № 6.

В течение семи лет было исследовано 177 образцов эпилитона, в которых обнаружено 14 таксонов цианобактерий представленных одноклеточными, колониальными и нитчатыми формами и принадлежащих к шести порядкам: **Synechococcales** (*Aphanocapsa* Nägeli, *Leptolyngbya* Anagnostidis, Komárek, *Merismopedia* Meyen, *Pseudoanabaena* Lauterborn, *Chamaesiphon* A.Braun), **Chroococcales** (*Chroococcus* Nägeli, *Microcystis* Kützing), **Pleurocapsales** (*Pleurocapsa* Thuret **Oscillatoriales** (*Spirulina* (*Arthrospira*) Sitenberger ex Gomont и др.); **Nostocales** (*Rivularia* C. Agardh, *Calothrix* Bornet, Flahault, *Nostoc* Vaucher ex Bornet and Flahault), **Stigonematales**, кроме того выявлено несколько неидентифицированных форм.

Наиболее часто в обросте камней обнаруживались представители рода *Pleurocapsa* и порядка Oscillatoriales (в том числе *Spirulina*), а также рода *Microcystis*. По годам количество таксонов колебалось в пределах от 6 до 8 единиц, при этом максимального развития цианобактерии достигали в тёплый период.

При культивировании нативного материала на питательной среде через 30–60 суток в образцах наблюдалось активное развитие нитчатых цианобактерий, а доминирующая в обросте *Pleurocapsa* в культуре отсутствовала.

В результате за весь период исследования из эпилитона было выделено 10 штаммов нитчатых форм Cyanoprokaryota.

Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Chroococcales. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1 / Ettl H., Gärtner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds). Gustav Fischer, Jena-StuttgartLübeck-Ulm., 1998. 548 p.

Komárek J., Anagnostidis K. 2. Oscillatoriales. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2 / Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. (eds). Elsevier/Spektrum, Heidelberg, 2005. 759 p.

## Характерные виды десмидиевых водорослей (Charophyta, Zygnematomphyceae) для флор малых заболоченных карьеров Московской области

### Typical species of desmids (Charophyta, Zygnematomphyceae) for the floras of small swampy quarries in the Moscow region

Анисимова О.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Anissimova O.V.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

На территории Московской обл. располагается большое количество малых карьеров, оставшихся после разработки торфа и песка. Размеры таких водоемов сравнительно не велики и достигают десятка метров в длину при глубине не более 2 м. Побережья таких карьеров, в большинстве своем, заболочены и имеют сфагновую сплавину с характерной растительностью. Воды этих заболоченных водоемов преимущественно слабокислые (рН 4.5-6.5) и слабо минерализованные (электропроводность 20-70 мкСим\См). Изучение видового разнообразия конъюгат заболоченных озер и карьеров Московской обл. проводится уже более 100 лет. За этот период имеются сведения о почти 450 видах десмидиевых водорослей (с учетом представителей Mesotaeniaceae).

Были проанализированы видовые составы десмидиевых водорослей восьми заболоченных карьеров: из Одинцовского р-на (3 водоема), Мытищинского р-на (3 водоема) и по одному водоему из Солнечногорского и Химкинского р-нов. В результате анализа видовых составов этих заболоченных карьеров мы постарались выяснить наиболее характерные черты флор. В каждом из водоемов выявлено около 100 видов, в общей сложности обнаружен 251 вид. Общими для всех оказались *Netrium digitus* (Ehrenb. ex Ralfs) Itzigs. et Rothe, *Closterium navicula* (Bréb.) Lütkem., *C. striolatum* Ehrenb. ex Ralfs, *Bambusina borrieri* (Ralfs) Cleve, *Desmidium grevillei* (Kütz.) de Bary, *D. swartzii* (C.Agardh) C.Agardh ex Ralfs, *Euastrum binale* (Turpin) Ehrenb. ex Ralfs, *Hyalotheca dissiliens* Bréb. ex Ralfs, *Micrasterias truncata* (Corda) Bréb. ex Ralfs. Если рассмотреть встречаемость этих видов в других заболоченных водоемах (по материалам литературы), можно проследить некоторые особенности. Так, в крупном болотном массиве в Павлово-Посадском р-не Московской обл. обнаружены только 7 видов, а в Шатурском р-не десмидиевых водорослей в целом очень мало. Данный комплекс видов не встречается в болотах северных широт: нет ни одного водоема, где бы встретились одновременно 9 этих видов, хотя все представленные виды встречаются в том или ином водоеме. Таким образом, мы можем предположить, что этот комплекс видов представляет собой "характерную" черту флоры малых заболоченных карьеров Московской области.

Крупные болота, особенно, лишенные озер, имеют бедный видовой состав десмидиевых водорослей, что обусловлено резкими колебаниями обводненности и температуры, низкими значениями рН и электропроводности вод. Большинство видов этой группы предпочитают мезотрофные воды, не смотря на широко распространенное мнение о том, что десмидиевые водоросли приурочены к болотным местообитаниям. Как показывает наше исследование, не многие виды десмидиевых приурочены к водам с рН менее 4.5 и электропроводностью менее 20 мкСим/см. Они, несомненно, способны выдерживать критические значения, но предпочитают менее суровые условия.

## Мозаичное распределение водорослей и цианобактерий в таежных сообществах подзоны южной тайги

### Mosaic distribution of soil algae and cyanobacteria in taiga communities of the Southern taiga subzone

*Багаутдинова З.З.<sup>1</sup>, Пивоварова Ж.Ф.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт Цитологии и Генетики СО РАН, Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия*

*Bagautdinova Z.Z.<sup>1</sup>, Pivovarova Jh.F.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Russia, Novosibirsk*

<sup>2</sup>*Novosibirsk State Pedagogical University, Russia, Novosibirsk*

Работа проведена в подзоне южной тайги Западной Сибири в сосняке бруснично-мохово-лишайниковом. Древесный ярус образован *Pinus sylvestris* L., травяно-кустарничковый ярус представлен *Vaccinium vitis-ideae* L., *Chimaphila umbellata* (L.) W. Barton, *Antenaria dioica* L., *Calamagrostis arundinacea* L. Roth, *Orthilia secunda* (L.). В горизонтальной структуре сосняка чётко выделяются три синузии: брусничная, моховая и лишайниковая. Почвенные образцы собраны по общепринятой альгологической методике (Голлербах, Штина, 1969).

Всего флора почвенных цианобактерий и водорослей данной ассоциации включает 127 видов и внутривидовых таксонов. Более половины всей флоры составляют Chlorophyta (67 видов), второе место явно занимают Xanthophyta – 42 вида, что соответствует таёжному характеру сложения флоры (Штина, 1998). В каждой синузии формируется свой цианобактериально-водорослевый ценоз (ЦВЦ). Наиболее богат видами ЦВЦ брусничной синузии (103 вида), в моховой синузии – 89 видов, в лишайниковой – 45 видов. Мозаичность организации ЦВЦ проявляется в доминировании и вертикальном распределении видов в спектре жизненных форм и экологических групп. Во всех трех синузиях в различных сочетаниях доминируют виды рода *Chlamydomonas* (*Ch. oblonga* Anach., *Ch. atactogama* Korsch., *Ch. gloeogama* f. *humicola* Hollerb.). Специфика заключается в том, что в брусничной синузии в доминантный комплекс входит *Coccomyxa confluens* (Kützing) Fott, в моховой *Cylindrocystis brebissonii* Menegh., *Choricystis chodatii* (Jaag) Fott, в лишайниковой *Muriella terrestris* Boye-Pet. var. *terrestris*, *Chlorosarcinopsis gelatinosa* Chant. et Bold. Именно они определяют специфику той или иной синузии, так как каждый из этих видов указывает на специфические экологические условия, например, относительно сухости или наоборот достаточного увлажнения. Вертикальная структура отмечена сокращением числа видов водорослей в глубь профиля, которое наиболее резко проявляется в брусничной (A086; A0-5 60) и в моховой (A074; A0-5 53) синузиях и менее в лишайниковой (A035; A0-5 32). В спектре жизненных форм и экологических групп (гидрофильные и амфибиальные) первые три места занимают Ch-, C- и X-формы, которые характерны для лесных зональных экосистем. Для лишайниковой синузии идет снижение доли гидрофильных и амфибиальных видов, да и сокращение числа видов в целом.

Таким образом, мозаичное распределение водорослей в подзоне южной тайги отражает как специфику экологических условий среды, так и приуроченность цианобактериально-водорослевых ценозов к определённым синузиям высших растений напочвенного яруса.

Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 142с.

Штина Э. А., Зенова Г. М., Манучарова Н. А. Альгологический мониторинг почв //Почвоведение. 1998. №. 12. С. 1449-1461.

## Биоаккумуляция лантана на створках диатомовых водорослей *Nanofrustulum shiloi* и *Amphora bigibba*

### Bioaccumulation of lanthanum on the diatoms *Nanofrustulum shiloi* and *Amphora bigibba* frustules

*Балычева Д.С.*<sup>1</sup>, *Благинина А.А.*<sup>1</sup>, *Лишаев В.Н.*<sup>2</sup>, *Мирошниченко Е.С.*<sup>1</sup>, *Рябушко В.И.*<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ФИЦ Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия  
<sup>2</sup>Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

*Balycheva D.S.*<sup>1</sup>, *Blaginina A.A.*<sup>1</sup>, *Lishaev V.N.*<sup>2</sup>, *Miroshnichenko E.S.*<sup>1</sup>, *Ryabushko V.I.*<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Sevastopol, Russia  
<sup>2</sup>Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Диатомовые водоросли (ДВ) – одна из наиболее эволюционно развитых групп микроводорослей. Они обладают множеством адаптационных механизмов, например, биоминерализацией (Baeuerlein, 2001), первым этапом которой является накопление химических элементов – биоаккумуляция. В настоящее время существует много литературных данных о способности ДВ к накоплению железа, тяжелых металлов, золота, титана и др. Однако данные о накоплении редкоземельных элементов отсутствуют. Поэтому цель нашей работы – выявление способности ДВ к биоаккумуляции лантана (La) на примере бентопланктонного вида *Nanofrustulum shiloi* (J.J.Lee, Reimer et McEney) Round, Hallsteinsen et Paasche 1999 и бентосного *Amphora bigibba* Grunow 1875. La является одним из наиболее распространенных редкоземельных металлов в морской среде и, в частности, в крымском побережье Черного моря (Ryabushko et al., 2022). Проведены эксперименты по культивированию 2 видов диатомей в питательных средах F/2 с добавлением La (нитрат лантана, растворенный с ЭДТА) при низкой (10 мг/л) и высокой (50 мг/л) концентрации La. Культуры выращивали в климатостате КС-200 при температуре 18 °С и цикле 10 ч – свет, 14 ч – темнота. Пробы культур отбирали после 1, 3, 6 часов, затем – через 1, 3, 6, 9 и 12 сут при низкой концентрации La и через 20 сут – при высокой. С помощью электронного сканирующего микроскопа Hitachi SU3500 проводили микрофотографирование отмытых дистиллированной водой клеток ДВ и EDX анализ элементного состава поверхностей их створок. В средах с низкой концентрацией La уже после первого часа экспозиции его содержание составляло 0–0,4 % для *N. shiloi* и 0,2–0,3 % для *A. bigibba*. Максимальных значений содержание La достигло на третьи сутки: среднее – 1,16 %, наибольшее – 4,4 % для *N. shiloi*; среднее – 5,15 %, наибольшее – 10,2 % для *A. bigibba*, и далее снижалось. В средах с высокой концентрацией La его содержание в течение первых 6 ч в основном было нулевым, после 3 сут не превышало 0,2 % для двух видов. Далее содержание La возрастало с максимумом на 9 сут: среднее – 1,5 %, наибольшее – 3,5 % для *N. shiloi*; среднее – 0,07 %, наибольшее – 0,2 % для *A. bigibba*, после чего для *N. shiloi* оно снижалось, а культура *A. bigibba* погибла.

Выявлена способность видов ДВ к биоаккумуляции La на поверхности панцирей и ее различия. Наибольшее содержание La наблюдали в средах с низкой его концентрацией, а с высокой, его содержание было низким в течение всего срока экспозиции. Этот перспективный для биотехнологии процесс требует в дальнейшем более детального изучения.

*Работа выполнена по гранту РНФ № 23-24-00494 «Исследование редкоземельных элементов в гидробионтах экосистемы Чёрного моря».*

Baeuerlein E. (Ed.) Biomineralization: From Biology to Biotechnology and Medical Application. – Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2001. – 337p.  
Ryabushko V. I., Gureeva E. V., Kapranov S. V., Bobko N. I., Prazukin A. V., Nekhoroshev M. V. Rare earth elements in brown algae of the genus *Cystoseira* (Phaeophyceae) (Black Sea) // European J. of Phyc. 2022. Vol. 57, iss. 4. P. 433-445. <https://doi.org/10.1080/09670262.2021.2016985>.

**Оценка фитостимулирующих свойств *Vischeria*-содержащих альгоцианобактериальных и микроводорослевых комплексов**  
**Evaluation of phytostimulating properties of *Vischeria*-containing algyocyanobacterial and microalgae complexes**

*Бачура Ю.М., Новикова А.А.*

*Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, Гомель, Беларусь*

*Bachura Yu.M., Novikava A.A.*

*Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus*

Представлены краткие результаты лабораторных экспериментов по изучению влияния *Vischeria*-содержащих альгоцианобактериальных и микроводорослевых комплексов на рост и развитие проростков огурцов. Для экспериментов использовали суспензии микроводорослей *Vischeria magna* (J.B.Petersen) Kryvenda, Rybalka, Wolf & Friedl (Ochrophyta), *Chlorella vulgaris* Beijerinck (Chlorophyta) и цианобактерии *Nostoc* sp. (Cyanobacteria). Оценку фитостимулирующих свойств суспензий водорослей, цианобактерий и *Vischeria*-содержащих комплексов проводили, анализируя энергию прорастания, всхожесть семян, морфометрические показатели растений в контрольных и опытных вариантах (ГОСТ, 2001). В качестве тестовой культуры использовали ранний гибрид огурцов белорусской селекции (*Cucumis sativus* L.) сорта Малыш; статистическую обработку данных проводили с помощью программных продуктов Statistica и Microsoft Excel.

В эксперименте с комплексами *Vischeria-Nostoc* фитозффекты по длине проростков огурцов составили 11 – 67 %, по массе – 4 – 94 %. Наиболее выраженное стимулирующее действие по длине проростков продемонстрировали комплексы состава 1V:3N и 1V:1N на основе исходных суспензий водорослей и цианей (фитозффекты составили 67 % и 60 % относительно контроля с водой и 30 % и 24 % относительно контроля с питательной средой) и комплексы состава 2V:1N на основе разбавленных суспензий микроорганизмов (49 % относительно контроля с водой и 66 % относительно контроля со средой). Максимальные фитозффекты по массе проростков огурцов выявлены в вариантах с комплексами 1V:1N на основе исходных суспензий (52 % относительно контроля с водой и 23 % относительно контроля со средой) и состава 2V:1N на основе разбавленных суспензий микроорганизмов (55 % относительно контроля с водой и 94 % относительно контроля со средой).

В эксперименте с комплексами *Vischeria-Chlorella* при использовании разбавленных суспензий водорослей фитозффекты были положительными, а при применении исходных суспензий – положительными по отношению к контролю с водой и отрицательными по отношению к контролю с питательной средой. Наиболее выраженное стимулирующее действие на длину проростков огурцов выявлено при применении комплексов *Vischeria-Chlorella* на основе разбавленных суспензий микроводорослей состава 1V:2Ch и 2V:1Ch (46 % и 43 % относительно контроля с водой, 43 % и 40 % относительно контроля со средой). По массе проростков оптимальные результаты получены при использовании разбавленных суспензий *Vischeria* и комплексов 2V:1Ch на ее основе (59 % и 52 % относительно контроля с водой и 31 % и 25 % относительно контроля с питательной средой).

Таким образом, наибольшее фитостимулирующее действие на проростки огурцов оказали альгоцианобактериальные комплексы *Vischeria-Nostoc* с невысокой плотностью клеток; максимальная эффективность отмечена для комплексов состава 2V:1N.

*Исследования выполнены в рамках задания государственной программы научных исследований «Биотехнологии-2» (№ 20240440).*

## Подледные сообщества фитопланктона озера Байкал по данным микроскопии и метабаркодирования

### Under-ice communities of Lake Baikal according to microscopy and metabarcoding data

*Башенхаева М.В., Захарова Ю.Р., Галачьянц Ю.П., Петрова Д.П., Сакирко М.В., Бессудова А.Ю., Ханаев И.В., Лихошвай Е.В.*  
*Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия*

*Bashenkhaeva M.V., Zakharova Yu.R., Galachyants Yu.P., Petrova D.P., Sakirko M.V., Bessudova A.Yu., Khanaev I.V., Likhoshway Ye.V.*  
*Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia.*

Подо льдом создается особая среда обитания, условия которой отличаются от периода открытой воды более низкой температурой, ограниченной освещенностью и концентрациями биогенных элементов. Микроводоросли в ледовый период могут развиваться на границе раздела фаз «лед-вода», прикрепляться ко льду и обитать в толще воды. В данной работе представлены многолетние данные об изучении сообществ нижней поверхности льда и подледной воды (0–25 м) озера Байкал.

Пробы были отобраны в ледовый период в 2010, 2011, 2012 (Bashenkhaeva et al., 2015), 2013 (Башенхаева и др., 2017) и 2015 гг. (Bashenkhaeva et al., 2020) на 3 станциях в южной котловине озера, в 2016 г. на трех станциях в проливе Малое Море и в 2022 г. на 14 станциях в пелагиали озера Байкал и на 1 станции в проливе Малое Море. Образцы подледных сообществ (SI), расположенных на границе раздела фаз «лед-вода», были отобраны водолазами с помощью шприцов. Пробы сообществ подледной воды (UW) отобраны с глубин 0, 5, 10 и 25 м с помощью батометра Нискина и объединены в один интегральный образец. Для подсчета численности и биомассы фитопланктона пробы были фиксированы с помощью раствора Люголя. Биоразнообразие и структуру сообществ оценивали с помощью световой, электронной микроскопии, и методом метабаркодирования V8–V9 фрагментов гена 18S рРНК. Гидрофизические и гидрохимические показатели воды были измерены для разных экотопов, и проведен анализ взаимосвязи факторов среды со структурой сообществ фитопланктона.

По результатам многолетнего изучения подледного фитопланктона было показано, что структура SI сообществ изменялась, как в течение одного сезона, так и по годам. Доминирующими таксонами в составе сообществ в разные годы были динофлагелляты (*Gymnodinium baicalense* и *Peridinium euryceps*), диатомеи (*Aulacoseira islandica*, *A. baicalensis*, *Ulnaria acus/Fragilaria radians*), зеленые водоросли *Chlorella* sp., “*Spumella*- и *Chlamydomonas*-подобные” нанофлагелляты. По данным микроскопии и метабаркодинга выявлены различия между SI и UW сообществами, как по количественным показателям, так и по таксономическому составу. Полученные данные расширяют представления о разнообразии и обилии организмов в ледовый период в крупнейшем пресноводном озере мира.

*Работа выполнена при поддержке проекта Минобрнауки РФ № 121032300224-8, проекта № 121032300186-9. Микроскопию проводили на базе ЦКП «Электронная микроскопия» (<http://www.lin.irk.ru/copp>).*

Bashenkhaeva M.V. et al. Sub-ice microalgal and bacterial communities in freshwater Lake Baikal, Russia // *Microbial Ecology*. 2015. Т. 70. Р. 751-765.

Башенхаева М.В. и др. Сообщества бактерий в период массового подледного развития динофлагеллят в озере Байкал // *Микробиология*. 2017. Т. 86. № 4. С. 510-519.

**«Цветение» диатомовой водоросли *Stephanodiscus hanzschii* Grunow в Халактырском озере (Камчатка) в 2023 г.**

**«Bloom» of the diatom *Stephanodiscus hanzschii* Grunow in Lake Khalaktyrskoye (Kamchatka) in 2023**

*Бегун А.А.<sup>1</sup>, Лепская Е.В.<sup>2</sup>, Орлова Т.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup>Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия

*Begun A.A.<sup>1</sup>, Lepskaya E.V.<sup>2</sup>, Orlova T.Yu.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology FEB RAS, Vladivostok, Russia

<sup>2</sup>Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Озеро Халактырское расположено на территории Петропавловск-Камчатской городской агломерации и с 1970-х годов подвергается мощному хроническому антропогенному воздействию. Наряду с этим водоем используется в рекреационных целях и имеет рыбхозхозяйственное значение. Первые сведения о диатомовых водорослях оз. Халактырское приведены в работе А.А. Еленкина (1914). Им были найдены 12 видов микроводорослей в пробах, отобранных в разнотипных биотопах водоема в августе и сентябре 1908 г. В пробах планктона, отобранных в 1973, 1974 гг. и обработанных Т.Х. Сорокиной, указано 23 вида диатомовых водорослей (Куренков, 2005). Однако ни в одной из опубликованных работ не указаны представители рода *Stephanodiscus* Ehrenberg.

26 апреля 2023 г. с поверхности прибрежной части оз. Халактырского была отобрана батометрическая проба воды и зафиксирована р-ром Утермёля. Ее микроскопирование показало наличие массового развития микроводорослей из класса Bacillariophyceae (23 вида), достигающего силы «цветения» (общая численность 5,34 млн кл/л) с доминированием *Stephanodiscus hanzschii* (4,95 млн кл/л или 92,6 % от общей численности). Около 50 % популяции *S. hanzschii* представлены одиночными клетками, вторая половина – клетками, соединенными окремненными тяжами в колонии длиной до 10-12 клеток.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) позволила установить, что популяция *S. hanzschii* состояла из двух морфотипов, неразличимых в световой микроскоп: морфотипа *hanzschii* (около 40 % от общего числа клеток) и *tenuis* (около 60 %). Для морфотипа *hanzschii* было характерно: диаметр створки 9-12 мкм, 25-27 ареол в 10 мкм, штрихи из 2-х рядных ареол, ареолы закрыты куполообразной мембраной; для морфотипа *tenuis*: диаметр створки 8-10 мкм, 34-36 ареол в 10 мкм, штрихи из многорядных ареол (3-4 ряда), в центре створки розетка из ареол, окруженная гиалиновы кольцом. Для некоторых панцирей морфотипа *hanzschii*, помимо 2-х рядных, были отмечены и однорядные штрихи, что связано с внутрипопуляционной изменчивостью вида и, возможно, с тератологией.

*S. hanzschii* – пресноводный вид, обитающий также в слегка солоноватых водах, очень широко распространенный, обычный для эвтрофных вод, алкалофил, α-мезосапроб-полисапроб. Считается одним из наиболее многочисленных видов рек, озер и водохранилищ умеренного пояса. Таким образом, впервые для оз. Халактырского описана находка диатомовой водоросли рода *Stephanodiscus* – *S. hanzschii*, обнаруженного в период «цветения» и представленного двумя хорошо различающимися в СЭМ морфотипами.

Еленкин А.А. Камчатская экспедиция Федора Павловича Рябушинского; Ботанический отдел. Выпуск 2. Споровые растения Камчатки: 1) Водоросли, 2) Грибы. 1914. – 612 с.

Куренков И. И. Зоопланктон озер Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. – 2005. – 178 с.

## **Биоразнообразие и экология чешуйчатых хризофитовых (Chrysophyceae) северных водоемов**

### **Biodiversity and ecology of silica-scaled chrysophytes (Chrysophyceae) of northern reservoirs**

*Бессудова А.Ю.*

*Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия*

*Bessudova A.Y.*

*Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia*

Чешуйчатые хризофитовые относятся к гетероконтным протистам в составе класса Chrysophyceae, отрядов Paraphysomonadales, Synurales и Chromulinales. Их клетки покрыты панцирем из кремнистых чешуек видоспецифического строения. Видовая концепция этой группы, основанная на морфологии, в целом, согласуется с молекулярно-филогенетическими данными. В докладе приводятся данные последних лет, полученные с помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, о гипотезах расселения, об очагах биоразнообразия, о роли в составе фитопланктона водных экосистем умеренной, субарктической и арктической широт, об экологии и о новых видах чешуйчатых хризофитовых. Их расселение в северные водоемы могло происходить в конце плейстоцена – начале голоцена по циркумполярной пресноводной сети ледниково-подпрудных озер. Вытесненные из покрытых ледниками водоемов они смешивались в подпрудных озерах и могли заселять голоценовые водоемы, при этом их видовая структура определялась параметрами каждого отдельного водоема и региона, в котором водоем расположен. Эта гипотеза подкреплена исследованиями в современных континентальных водотоках. Наблюдающиеся тенденции потепления климата в арктическом регионе способствуют продвижению и закреплению бореальных видов, пополняя современное биоразнообразие северных водоемов. Очаги высокого разнообразия чешуйчатых хризофитовых выявлены, в трех арктических реках – 82 вида, в Байкальском регионе – 79 видов, в реке Обь – 67 видов. В некоторых водоемах в определенные сезоны чешуйчатые хризофитовые могут формировать существенную численность, преобладая над другими группами фитопланктона. Их конкурентными преимуществами являются: (1) разнообразие типов питания (условные авто-, миксо и гетеротрофы), что позволяет им успешно развиваться в условиях пониженной освещенности, например, под заснеженным льдом и (2) способность образовывать стоматоцисты при неблагоприятных условиях и в конце вегетации, которые могут сохраняться и/или перемещаться вниз по течению и, попав в подходящие условия, давать новый рост, способствуя расселению вида. При исследовании фитопланктона Нижней Оби наибольшее разнообразие чешуйчатых хризофитовых выявлено в изолированных от основного русла мелководных участках с отсутствием течения. В различающихся по условиям и факторам среды водоемах Южный Байкал–Иркутское водохранилище, показано изменение структуры видового состава чешуйчатых хризофитовых, при этом наибольшее количество видов обнаружено в мелководном заливе водохранилища, вопреки существующему ранее мнению о приуроченности хризофитовых к более холодным водам. Таким образом, введение в практику альгологических работ методов электронной микроскопии в комплексе с данными о водной среде, а также расширение географии исследований показывают важную роль чешуйчатых хризофитовых в водных экосистемах.

*Микроскопические исследования выполнены в Центре электронной микроскопии ЦКП «Ультрамикроанализ» Лимнологического института СО РАН, <https://www.lin.irk.ru/copp/>. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14-00028, <https://rscf.ru/project/23-14-00028/>.*

# Свободноживущие и симбиотические хламидомонады окрестностей Санкт-Петербурга

## Free-living and symbiotic chlamydomonadalean algae from suburbs of Saint-Petersburg

Болдина О.Н.

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

Boldina O.N.

Komarov Botanical institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

Группа двужгутиковых зеленых монадных водорослей из пор. Chlamydomonadales с ведущим родом *Chlamydomonas* s.l. широко распространена по всему земному шару. При этом точное число родов и видов этого порядка в настоящий момент определить невозможно, т.к. за последние два десятилетия в отношении этой группы развернулась интенсивная таксономическая переработка (Nakada et al., 2008; Demchenko et al., 2012; Tesson, Pröschold, 2022 и многие др.).

Изучение массово развивающихся хламидомонадовых водорослей из пригородов Санкт-Петербурга дало возможность выявить более 30 морфотипов на уровне светового микроскопа и оценить изменчивость клеток при культивировании штаммов на разных питательных средах.

Исследование ультраструктуры клеток для 1-3 клональных культур каждого из образцов и учёт морфотипов позволили предварительно охарактеризовать более 20 таксонов зеленых монад. В результате анализа последовательностей участков нуклеотидов 18S рРНК и ITS-2, проведенного А.А. Гончаровым и У.В. Симаковой, были идентифицированы до вида штаммы— *Chlamydomonas asymmetrica* Korshikov (LABIK 2105, 2107), *Edaphochlamys debaryana* Pröschold&Darienko (LABIK 2102-2104), *Chloromonas typhlos* (Gerloff) Matsuzaki, Y.Hara&Nozaki (LABIK 2412), *Chloromonas gracillima* (H.Ettl) Barcyte&Hodac (LABIK 2502). Данные А.Д. Темралеевой, У.В. Симаковой, В.Ф. и Е.Ф. Мальшевых указывают на родство других штаммов с ранее описанными таксонами. Так, обнаружено близкое родство (95%) у штамма LABIK2521 с видом из клады морских арктических *Chlamydomonas*; LABIK 2518 и 2519 – с *Vitriochlamys nekrassovii* (Korshikov) A.Nakazawa (89.15% по ITS2), LABIK 2520, другого клона этого же образца, – с *C. isabeliensis* J.M.King (97.29% по 18S); у LABIK 2404 – с *Chlorococcum* cf. *hynnosporum*.

Различия по видовому составу у свободноживущих и симбиотических монад оказались довольно значительными. Общими являются три таксона. Два из них (*C. asymmetrica*, *E. debaryana*) обнаружены в икре *Rana* sp. и один (cf. *C. rosae*) – на коже *Rana* sp. При этом, с кожи амфибий изолировано 5, а из икры 15 штаммов при отсутствии общих морфотипов.

Водоросли, выделенные из водоёмов с крайне интенсивным «цветением» (штаммы LABIK 2715 и LABIK2815), оказались, по данным ТЭМ, разными видами *Chloromonas*.

В целом, результаты, полученные на данном этапе, позволяют ожидать обнаружения в окрестностях Санкт-Петербурга многих новых для науки таксонов зеленых монад.

Работа выполнена в рамках госзадания 121021600184-6.

Demchenko E., Mikhailyuk T., Coleman A. W., Pröschold T. Generic and species concepts in *Microglena* (previously the *Chlamydomonas monadina* group) revised using an integrative approach. // Eur. J. Phycol. 2012. V.47, N 3. P. 264-290.

Nakada, T., Misawa, K., Nozaki, H. Molecular systematics of Volvocales (Chlorophyceae, Chlorophyta) based on exhaustive 18S rRNA phylogenetic analyses. // Mol. Phylogenet. Evol. 2008. V. 48, N 1. P. 281-291.

Tesson, S.V.M.; Pröschold, T. Description of *Limnomonas* gen. nov., *L. gaiensis* sp. nov. and *L. spitsbergensis* sp. nov. (Chlamydomonadales, Chlorophyta). // Diversity. 2022. V. 14, N. 481.

**Накопление полиненасыщенных жирных кислот клетками микроводоросли *Lobosphaera* sp. IPPAS C-2047 (Chlorophyta, Trebouxiophyceae), иммобилизованных на биокompозитных материалах на основе хитозана и целлюлозы**

**Accumulation of polyunsaturated fatty acids by the cells of the microalgae *Lobosphaera* sp. IPPAS C-2047 (Chlorophyta, Trebouxiophyceae), immobilized on biocomposites based on chitosan and cellulose**

*Васильева С.Г.<sup>1</sup>, Лобакова Е.С.<sup>1</sup>, Дробкова А.Ю.<sup>1</sup>, Горелова О.Г.<sup>1</sup>, Григорьев Т.Е.<sup>2</sup>, Антипова К.Г.<sup>2</sup>, Захаревич А.А.<sup>2</sup>, Чивкунова О.Б.<sup>1</sup>, Соловченко А.Е.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, Биологический факультет, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия*

*Vasilieva S.G.<sup>1</sup>, Lobakova E.S.<sup>1</sup>, Drobkova A.J.<sup>1</sup>, Gorelova O.A.<sup>1</sup>, Grigoriev T.E.<sup>2</sup>, Antipova K.G.<sup>2</sup>, Zaharevich A.J.<sup>2</sup>, Chivkunova O.B.,<sup>1</sup> Solovchenko A.E.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia*

Известно, что существование клеток микроорганизмов в иммобилизованном состоянии, например, в составе биопленок, является широко распространенной в природе стратегией, обеспечивающей выживание клеток. В настоящее время, искусственно иммобилизованные клетки микроводорослей применяются в различных областях биотехнологии, таких как, получение биомассы и ценных метаболитов, очистка водных акваторий и сточных вод от тяжелых металлов, избытка биогенных элементов и органических загрязнителей. Иммобилизация микроводорослей облегчает процесс сбора биомассы, может способствовать большей устойчивости культур к стрессовым условиям, а также увеличению их продуктивности в сравнении с суспензионными культурами.

Культура зеленой микроводоросли *Lobosphaera* sp. IPPAS C-2047 является перспективным объектом фотобиотехнологии, так как способна в стрессовых условиях к накоплению высоких количеств полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), таких как арахидоновая, линолевая и  $\alpha$ -линоленовая кислоты. В качестве носителей для иммобилизации клеток микроводоросли использовали высокопористые, биосовместимые и биodeградируемые полимеры на основе природного поликатионита хитозана и целлюлозосодержащих растительных остатков.

Иммобилизация клеток *Lobosphaera* sp. способствовала повышению толерантности культуры к отсутствию азота или фосфора в среде культивирования, а также увеличению объемной продуктивности по накоплению жирных кислот в сравнении с суспензионной культурой (Vasilieva et al., 2023). Иммобилизация на разных типах носителей оказывала различное влияние на процессы роста и деления клеток микроводоросли, структуру популяции, ультраструктуру клеток и состав микробного сообщества, ассоциированного с клетками *Lobosphaera* sp.

Таким образом, полимеры на основе хитозана и целлюлозы перспективны в качестве носителей для культивирования клеток микроводорослей и получения обогащенной ПНЖК биомассы.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ (грант №23-44-00006).*

Vasilieva S., Shibzukhova K., Solovchenko A., Chivkunova O., Antipova C., Morozov A., Lobakova E. Immobilization on polyethylenimine and chitosan sorbents modulates the production of valuable fatty acids by the chlorophyte *Lobosphaera* sp. IPPAS C-2047 //Journal of Marine Science and Engineering. 2023. V. 11. №. 4. P. 865.

# Сравнительный метагеномный и культуромный анализ антарктических цианобактерий в водных и почвенных микробиомах оазиса Холмы Ларсеманн

## Comparative metagenomic and culturomic analysis of Antarctic cyanobacteria in the aquatic and soil microbiomes of the Larsemann Hills oasis

*Величко Н.В.<sup>1</sup>, Рабочая Д.Е.<sup>1</sup>, Смирнова С.В.<sup>2</sup>, Makeeva A.C.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

*Velichko N.V.<sup>1</sup>, Rabochaya D.E.<sup>1</sup>, Smirnova S.V.<sup>2</sup>, Makeeva A.S.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia*

Микроорганизмы составляют основу экосистем антарктических оазисов (свободных от льда прибрежных территорий) - источников биологического разнообразия на континенте. В экстремальных климатических условиях они выживают благодаря способности формировать микробные сообщества в виде матов и биопленок. В водоемах оазисов они распространены в виде бентосных матов и прибрежных биопленок, в наземных экотопах встречаются в поверхностных обрастаниях (биокорках), а также формируют микробиомы гиполитных горизонтов почв (Ellis-Evans et al., 1998; Taton et al., 2008; Velichko et al., 2021). Кислородные фототрофные бактерии (цианобактерии), входят в состав большинства исследованных нами антарктических сообществ, где часто выступают как формирующий их фототрофный компонент и основной продуцент органического вещества (Velichko et al., 2023). При этом сравнительной оценки их биоразнообразия в почвенных и водных микробиомах до сих пор не проводилось. В представленной работе впервые осуществлено комплексное исследование литоральных матов и почвенных биопленок оазиса Холмы Ларсеманн с помощью метагеномного анализа 23 природных образцов (10 почвенных и 13 водных экотопов) с целью таксономической характеристики состава микробиомов в целом, а также культурального подхода, использованного для изучения 77 штаммов цианобактерий. В работе использовались методы высокопроизводительного секвенирования переменных участков гена 16S рРНК, амплифицированных с метагеномной ДНК образцов (Sinclair et al., 2015), биоинформатический анализ данных (Bolyen et al., 2019), а также полифазный подход идентификации цианобактерий (Komarek, 2016), включающий их морфологическое описание и молекулярно-филогенетическую характеристику. Особое внимание в исследовании было посвящено вопросам эндемизма и культивируемости отдельных групп цианобактерий.

*Работа выполнена при технической поддержке РЦ СПбГУ «Биобанк», «Развитие молекулярных и клеточных технологий», «Культивирование микроорганизмов».*

- Bolyen E., Rideout J.R., Dillon M.R. et al. 2019. Reproducible, interactive, scalable, and extensible microbiome data science using QIIME 2. — *Nature Biotechnology* 37: 852–857
- Ellis-Evans J.C., Laybourn-Parry J., Bayliss P.R., Perriss S.J. 1998. Physical, chemical and microbial community characteristics of lakes of the Larsemann Hills, Continental Antarctica. *Archiv für Hydrobiologie* 141(2): 209–230.
- Komarek J. 2016. A polyphasic approach for the taxonomy of cyanobacteria: principles and applications. *European Journal of Phycology* 51: 346–353.
- Sinclair L., Osman O.A., Bertilsson S., Eiler A. 2015. Microbial community composition and diversity via 16S rRNA gene amplicons: evaluating the Illumina Platform. *PLOS ONE* 10(2): e0116955.
- Velichko N.V., Smirnova S.V., Averina S., Pinevich A.V. 2021. A survey of Antarctic microbiota, with the emphasis on diversity, environment adaptations, and ecotypes in cyanobacteria. *Hydrobiologia*, 848(11): 2627–2652.

## Альгологические исследования в заповедниках России

### Algological research in Russian Nature Reserves

*Воденеева Е.Л.*

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

*Vodeneeva E.L.*

*Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia.*

В настоящий момент на территории России действуют более 100 государственных природных заповедников общей площадью 33364 км<sup>2</sup> во всех природных зонах (от полярных пустынь до субтропиков) в 70 субъектах Российской Федерации. Основными задачами заповедников является изучение и сохранение ландшафтного и биологического разнообразия (включая флору и фауну) их территорий. Флористические исследования в большинстве ООПТ затрагивали сосудистых растений, и в меньшей степени – талломных, в том числе и водорослей, что в значительной степени искажает сведения о растительном генофонде исследуемых территорий. Специальные альгологические исследования с последующей публикацией аннотированных списков видов проводилось в относительно небольшом числе заповедников (Волкова и др., 1996; Воденеева, Кулизин, 2019 и другие), некоторые из таких исследований стали темой диссертационных работ на соискание степени биологических наук (Снитыко, 2004 и другие).

В целом по стране альгологическими исследованиями затронуто около 40 % заповедников. Основное направление таких работ – флористико-систематическое, проводимое в рамках инвентаризации либо всей альгофлоры, либо отдельных систематических групп водорослей. Основное внимание альгологов было обращено на изучение водорослей водоемов (фитопланктона, фитобентоса) и в меньшей мере – почвенной альгофлоры. Наиболее полно в альгологическом плане обследованы заповедники Дальнего Востока, в чем можно отметить большую заслугу специалистов академических учреждений региона. Среди заповедников Приморского края наибольшей репрезентативностью альгофлоры по отношению к флоре водорослей его материковых водоемов (1347 видов) (Кухаренко, 1989) характеризуется Сихотэ-Алинский заповедник – 51%, для других («Кедровая падь», Уссурийский, Ханкайский, Лазовский) она составляет 10-46 %. Для большинства ООПТ показано, что своеобразие и самобытность альгофлоры, наличие редких, эндемичных и реликтовых видов, во многом определялось уникальностью природно-климатических условий. Некоторые альгологические исследования позволили выявить новые для науки виды (Корнева, Генкал, 1996), а также инвазийные компоненты в альгофлоре (Воденеева и др., 2016).

Менее изученным оказались вопросы охраны генофонда водорослей, а также структурные характеристики альгоценозов, их динамика и индикаторные возможности, что имеет важное значение при оценке изменений в условиях антропогенно нарушенного ландшафта. Все это предполагает проведение специальных альгологических исследований: изучение популяций водорослей, их географического распространения, биологии и экологии.

Волкова Л.А., Кузьмина Е.О., Боч М.С., Лукницкая А.Ф., Чаплыгина О.Я., Белякова Р.Н., Голубкова Н.С., Титов А.Н.. Мхи, водоросли, лишайники Нижнесвирского заповедника. // Флора и фауна заповедников. – М.: Боровичская укрупнённая типография, 1996. Вып. 62. – 34 с.

Воденеева Е.Л., Кулизин П.В. Водоросли Мордовского заповедника (аннотированный список видов). – М.: Объединенная дирекция МГПЗ им. П.Г.Смидовича и национального парка «Смольный», 2019. – 62 с. [Флора и фауна заповедников. Вып. 134].

## Структурно-функциональные характеристики фитопланктона озер Валаамского архипелага

### Structural and functional characteristics of phytoplankton in the lake of the Valaam archipelago

Воякина Е.Ю.

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

Voyakina E.Yu.

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg Federal Research Center RAS, Saint-Petersburg,  
Russia

Исследования фитопланктона водной системы Валаамского архипелага проводятся на протяжении последних 27 лет. За это время получена информация о структурно-функциональных характеристиках фитопланктона, изучены продукционные особенности озер, выявлены факторы среды, определяющие эти процессы.

Валаамский архипелаг расположен в северной ультрапрофундальной зоне Ладожского озера, наименее подверженной влиянию вод притоков. Водная система архипелага состоит из трех зон, различающихся по гидрологическим и гидрохимическим параметрам. В нее входят: разнотипные малые лесные озера, оз. Сисяярви - самый крупный проточный водоем и побережье архипелага, расположенного в глубоководной части Ладожского озера.

Для малых лесных озер был выявлен широкий диапазон ряда лимнологических параметров, таких как прозрачность (0,3 – 2,2 м), активная реакция среды (4,0 – 8,6), цветность воды (55 - 296° по Cr - Co шкале), содержание общего органического вещества (13,3 – 63,8 мгО/л) и минерального фосфора (0,001 – 0,646 мг/л) (Воякина, 2017; Воякина, 2021).

В целом для водной системы численность изменялась от 0,1 до 676,6 млн. кл/л, биомасса от 0,1 до 82,3 мг/л. Внутри разных зон водной системы диапазон структурных показателей различался. По показателям обилия в большинстве малых озер доминировали цианобактерии (по численности) и рафидофитовые (по биомассе) водоросли. В кислых полигумусных озерах было отмечено упрощение структуры фитопланктона. В них в течение всего сезона активно вегетировали представители отдела зеленых водорослей.

В большинстве озер доминировали виды: *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs ex Born. Et Flah., *Limnithrix planctonica* (Woiosz.) Meffert., *Planktolyngbya limnetica* (Lemmerm.) Komark.-Legn. & Cronberg, *Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing. В кислых озерах активно вегетировали виды рода *Cryptomonas* Ehr., а также *Elakatothrix genevensis* (Reverd.) Hind., *Oocystis lacustris* Chod.

За период исследования концентрация хлорофилла-*a* варьировала в озерах в широком диапазоне (от 0,87 до 109,2 мкг/л), среднемноголетнее значение было 25,0 мкг/л. Минимальные значения хлорофилла-*a* были отмечены в поликислом оз. Германовское, максимальное – в оз. Витальевское.

При анализе факторов среды, влияющих на пространственную неоднородность фитопланктона в разные годы, было показано, что наибольшее влияние в малых озерах были площадь удельного водосбора, глубина водоема, прозрачность воды, цветность, электропроводность и содержание биогенных элементов. Интенсивность влияния водосбора на озерные процессы менялась год от года и зависела, в том числе и от количества осадков.

## **Биотехнология микроводорослей: отработка режимов массового культивирования**

### **Microalgae biotechnology: testing mass cultivation modes**

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

*Gabrielyan D.A., Sinetova M.A., Gabel B.V., Gabrielian A.K., Savinykh G.A., Los D.A.  
K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia*

В лаборатории биотехнологии микроводорослей ИФР РАН создан стенд для отработки режимов массового культивирования потенциально ценных штаммов микроводорослей и цианобактерий из коллекции IPPAS ИФР РАН (УНУ КМЦ IPPAS ИФР РАН).

Основным звеном экспериментального стенда является фотобиореакторная система, состоящая из как минимум трех плоскостных фотобиореакторов рабочим объемом 5-6 литров каждый. Наличие трех реакторов обеспечивает возможность накопления статистически значимых результатов (Gabrielyan et al 2022). На экспериментальном стенде проводятся исследования по масштабированию процессов культивирования.

Сохранение удельных характеристик культивирования, оптимальных на малых объемах (интенсивность облучения, расход CO<sub>2</sub>, количество питательной среды и др.) ставит вопрос об энерго-экономической обоснованности масштабирования, а сам переход культуры в значительно большие объемы может приводить снижению её продуктивности. Причиной может быть изменение гидростатического напряжения, изменение условий перемешивания и распределения температурных полей, а также снижение удельных показателей энергопотребления и вещественных потоков (Цоглин Л.Н., Пронина Н.А., 2012). Масштабирование процессов культивирования на прямую связано с эффективностью работы основного узла – фотобиореактора. Для целей массового культивирования необходима наличие линейки фотобиореакторов различного объема: малых реакторов до 10 литров; реакторов среднего объема до 25 литров и реакторов большого объема 100 литров и выше. В докладе представлены результаты такого масштабирования на примере культивирования микроводорослей *Chlorella sorokiniana* IPPAS C-1 и *Neochlorella semenenkoi* IPPAS C-1210. Показана схема производственной линии для отработки технологических процессов получения сырьевой биомассы и проведена оценка энерго-экономических показателей.

К примеру, суммарные потери по биомассе после всех этапов производства составляют порядка 20% от сухой биомассы, содержащейся в суспензии. Они обусловлены следующими факторами: интенсивное испарение суспензии в фотобиореакторах; выход клеток микроорганизмов в зону пенообразования и потеря их продуктивности; оседание и адгезия клеток на стенки фотобиореактора; потеря части суспензии во время слива, перелива, центрифугирования и отделения клеток от жидкости; потери при хранении пасты перед проведением этапа сушки и др. Эти результаты актуальны для разработки технологических режимов промышленного производства фотосинтезирующих микроорганизмов и отработки наиболее оптимальных условий культивирования и последующих процессов обработки сырьевой биомассы.

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

Gabrielyan D.A., Gabel B.V., Sinetova M.A., Gabrielian A.K., Markelova A.G., Shcherbakova N.V., Los D.A. (2022) Optimization of CO<sub>2</sub> Supply for the Intensive Cultivation of *Chlorella sorokiniana* IPPAS C-1 in the Laboratory and Pilot-Scale Flat-Panel Photobioreactors. *Life*. 2022, 12, 1469.

Цоглин Л.Н., Пронина Н.А. Биотехнологии микроводорослей. – М.: Научный мир, 2012 – 184 с.

**Динамика сообществ фито- и бактериопланктона Южного Байкала и Иркутского водохранилища в период открытой воды в 2023 г. по данным метабаркодирования**

**Dynamics of phyto- and bacterioplankton in South Baikal and Irkutsk Reservoir during the open water period of 2023 according to metabarcoding data**

*Галачьянц Ю.П., Петрова Д.П., Марченков А.М., Налимова М.А.  
Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия*

*Galachyants Y.P., Petrova D.P., Marchenkov A.M., Nalimova M.A.  
Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia*

Фитопланктон — важная компонента водных экосистем, которая обеспечивает их первичную продукцию. Иркутское водохранилище (ИВ) является верхним и наиболее старым искусственным водным резервуаром Ангарского каскада водохранилищ и непосредственно соединено с находящимся выше по течению озером Байкал. По сравнению с другими водоемами Ангарского каскада, оно наиболее холодное и наименее трофное. Исследования фитопланктона проводились в реке Ангара до постройки Иркутской ГЭС и после образования ИВ. Эти исследования показали, что состав фитопланктона ИВ зависит от фитопланктона Южного Байкала (ЮБ). Недавние исследования с применением методов оптической и электронной микроскопии показали, что с момента создания водохранилища произошло небольшое увеличение видового богатства фитопланктона. Кроме того, с помощью сравнительного анализа состава сообществ летнего фитопланктона 2023 г. было установлено, что структура сообществ микроэукариот ЮБ и ИВ различаются (Firsova et al., 2023a,b). Очевидно, что определяющие факторы, приводящие к смене состава сообществ фитопланктона ИВ по сравнению с Байкалом, обусловлены различиями физико-химических параметров этих экотопов. В данной работе мы исследовали структуру сообществ фито- и бактериопланктона ЮБ и ИВ в период открытой воды (в июне, августе и октябре 2023 г.) методом метабаркодирования и провели сравнительный анализ этих сообществ. Было показано, что на фоне сезонных изменений сообществ фитопланктона ЮБ наблюдается тесная взаимосвязь между фитопланктоном ЮБ и ИВ. Обнаружено, что различие сообществ ЮБ и ИВ наиболее выражено в начале лета и постепенно уменьшается к осени. Августовские сообщества ЮБ и ИВ имеют несколько меньше различий по сравнению с июнем. Градуальной смены в структуре июньских и августовских сообществ от истока Ангары вниз по течению не наблюдается. В октябре сообщества центральных станций ИВ практически не отличаются от сообществ ЮБ. Вместе с тем, обнаруживается дифференциация октябрьских сообществ в заливах и центрально-осевой части ИВ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14-00028, <https://rscf.ru/project/23-14-00028/>.*

- Firsova A.D., Galachyants Y., Bessudova A.Y., Titova L.A., Sakirko M.V., Marchenkov A.M., Hilkanova D.V., Nalimova M.A., Buzevich V.V., Mikhailov I.S., Likhoshway Y.V. // Environmental factors affecting distribution and diversity of phytoplankton in the Irkutsk Reservoir ecosystem in June 2023 // Diversity. 2023a. 15(10): 1-20. DOI: 10.3390/d15101070
- Firsova A., Galachyants Yu., Bessudova A., Mikhailov I., Titova L., Marchenkov A., Hilkanova D., Nalimova M., Buzevich V., Likhoshway Ye. Summer phytoplankton species composition and abundance in the southern basin of Lake Baikal and Irkutsk Reservoir // Limnology and Freshwater Biology. 2023b. 6: 204-228. DOI: 10.31951/2658-3518-2023-A-6-204

**Культивирование микроводорослей в промышленных масштабах.  
Современный опыт, проблемы и перспективы**  
**Cultivation of microalgae on an industrial scale.  
Modern experience, problems and prospects**

*Геворгиз Р.Г., Железнова С.Н., Бобко Н.И.*

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

*Gevorgiz R.G., Zheleznova S.N., Bobko N.I.*

*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Sevastopol, Russia*

Микроводоросли и цианобактерии с давних пор привлекают внимание ученых различных специальностей. В различных лабораториях ведутся активные исследования видового разнообразия, способности адаптации клеток к агрессивным условиям окружающей среды, гибкости метаболизма, путей фотобиосинтеза и т.д. Особое место микроводоросли и цианобактерии занимают в современной биотехнологии. Обусловлено это тем, что микроводоросли и цианобактерии способны синтезировать целый ряд уникальных биологически активных соединений, которые активно используются в медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве и т.д. (Lykov et al., 2023) В разных странах мира разработано множество технологий, позволяющих получать как биомассу микроводорослей и цианобактерий, так и ценные биологически активные соединения. Однако несмотря на то, что современной науке известно более 100 тысяч видов микроводорослей и цианобактерий в промышленных масштабах используются не более двух десятков. Таким образом, на современном этапе биотехнологический потенциал фотосинтезирующих микроорганизмов далеко еще не исчерпан. В разработке новых технологий и реализации их в промышленных масштабах основным сдерживающим фактором является отсутствие универсальных высокопродуктивных промышленных систем культивирования с эффективным перемешиванием суспензии при малых затратах энергии, позволяющих выращивать как планктонные виды, так и бентосные, включая микроорганизмы ведущие прикрепленный образ жизни. Для современного фотобиосинтеза особый интерес представляют бентосные и бентопланктонные виды микроводорослей и цианобактерий, поскольку удельная плотность клеток у этих организмов больше единицы, и они естественным образом оседают на дно. Новые биотехнологии на основе бентосных микроводорослей и цианобактерий обладают рядом преимуществ, например, естественная способность бентосных организмов оседать на дно позволяет без затрат энергии собирать урожай, что многократно снижает его себестоимость; бентосные организмы более эффективно используют световую энергию, что важно при использовании искусственных источников излучения; бентосные организмы активно развиваются при пониженных температурах и пр. Однако, при масштабировании технологии оседающие на дно клетки снижают эффективность процесса культивирования или делает его невозможным. Для решение этой проблемы предлагается в промышленных масштабах использовать вихревые технологии (Naumov et al., 2023)

Lykov A., Salmin A., Gevorgiz R.G., Zheleznova S., Rachkovskaya L., Surovtseva M., Poveshchenko O. Study of the Antimicrobial Potential of the *Arthrospira platensis*, *Planktothrix agardhii*, *Leptolyngbya cf. ectocarpi*, *Roholtiella mixta* nov., *Tetraselmis viridis*, and *Nanofrustulum shiloi* against Gram-Positive, Gram-Negative Bacteria, and Mycobacteria // Mar. Drugs. 2023. V. 21(9), no. 492. P. 1-16 <https://doi.org/10.3390/md21090492>

Naumov I.V., Gevorgiz R.G., Skripkin S.G., Tintulova M.V., Tsoi M.A., Sharifullin B.R. Experimental study of the topological flow transformations in an aerial vortex bioreactor with a floating washer // Biotechnol. J. 2023. P. 2200644. <https://doi.org/10.1002/biot.202200644>

**Филогенетическое положение *Actinella punctata* Lewis 1864  
(Bacillariophyceae, Eunotiaceae) и комментарии к таксономии семейства  
Eunotiaceae**

**Phylogenetic position of the *Actinella punctata* Lewis 1864 (Bacillariophyceae,  
Eunotiaceae) and comments on the taxonomy of the family Eunotiaceae**

*Глущенко А.М., Мальцев Е.И., Куликовский М.С., Лобус Н.В.*  
*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*Glushchenko A.M., Maltsev Ye.I., Kulikovskiy M.S., Lobus N.V.*  
*K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia*

В планктоне озера Кукушкино, расположенного на полуострове Камчатка (Россия), был идентифицирован вид *Actinella punctata* Lewis 1864, являющийся типом рода *Actinella* Lewis 1864. Планктон концентрировали при помощи планктонной сети Апштейна с размером ячеек 19 мкм. Выделение вида в культуру, приготовление постоянных препаратов, световую и сканирующую электронную микроскопию, экстракцию ДНК, амплификацию и построение филогенетических деревьев проводили общепринятыми методами (Glushchenko et al., 2022).

Морфологический анализ показал, что вид в культуре наиболее отличается от природного материала формой головных концов створок и волнистостью краёв створок. Также, незначительные отличия были обнаружены в расположении римопортула на концах створок. Все остальные количественные и качественные характеристики вида находятся в пределах литературных данных. В докладе будет рассмотрена таксономическая история рода *Actinella*, сведения о распространении отдельных интересных видов рода в экосистемах земного шара, отдельно будет обсуждена проблема гетерополярности у *Actinella* как родового признака.

Впервые был проведён молекулярный анализ вида рода *Actinella*. Молекулярные данные, основанные на нуклеотидных последовательностях генов *rbcL* и 18S показывают, что *A. punctata* более тесно связана с некоторыми видами *Eunotia* Ehrenberg 1837, что указывает на то, что род *Eunotia* не является монофилетичным, что ранее предполагалось только на основании кладистического анализа. При этом, введение в анализ других видов *Actinella* из Тасмании позволяет утверждать о полифилетичности самого рода *Actinella*.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что чёткое филогенетическое положение *Actinella* в настоящее время требует дальнейшего обсуждения, а большая, морфологически сложная и широко распространенная группа представителей семейства Eunotiaceae Kützing 1844 нуждается в пересмотре.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 24-14-00165 и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (122042700045-3).*

Glushchenko A., Kezlya E., Maltsev Y., Genkal S., Kociolek J.P., Kulikovskiy M. Description of the Soil Diatom *Sellaphora terrestris* sp. nov. (Bacillariophyceae, Sellaphoraceae) from Vietnam, with Remarks on the Phylogeny and Taxonomy of *Sellaphora* and Systematic Position of *Microcostatus* // Plants. 2022. V. 11. P. 2148.

## Разнообразие цианопрокариот прибрежной зоны острова Гогланд (Финский залив, Балтийское море)

### Diversity of cyanoprokaryotes of the coastal zone of Gogland Island (Gulf of Finland, Baltic Sea)

*Горин К.К.<sup>1,2</sup>, Ицык Т.В.<sup>1,2</sup>, Котова А.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

*Gorin K.K.<sup>1,2</sup>, Itsyk T.V.<sup>1,2</sup>, Kotova A.S.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

Остров Гогланд является наиболее отдалённым и труднодоступным районом российских вод Финского залива Балтийского моря. Несмотря на своеобразие природы, сведения о видовом составе цианопрокариот прибрежной зоны острова ранее были ограничены всего 5 видами: *Heteroleibleinia kuetzingii* (Schmidle) Compère, *Calothrix scopulorum* C. Ag. ex Born. et Flah., *Hydrocoryne spongiosa* Schwabe ex Born. et Flah., *Dichothrix gypsophila* Born. et Flah. и *Rivularia biasoletiana* Meneghini ex Born. et Flah. (Häygen, 1940).

Материалы для настоящей работы отбирали в прибрежной зоне острова на глубинах от 0 до 1,5 м в июне 2020 г. на 9 станциях и в октябре 2023 г. в бухте Сууркюлян-Лахти. Работа основана на анализе 64 фиксированных 4% раствором формальдегида проб, и 6 образцах живых бентосных обрастаний.

Выявлено 65 видов из 10 порядков, 18 семейств и 37 родов. В таксономической структуре флоры преобладали виды из порядков Nostocales Borzi. и Chroococcales Schaffn. (16 видов из 10 родов и 13 из 9 соответственно). Порядок Oscillatoriales Schaffn. содержал 12 видов из 6 родов, Leptolyngbyales Strunecky et Mares — 8 из 4, Synechococcales Hoffm., Komárek et Kaštovský — 5 из 2, Pseudanabaenales Hoffm., Komárek et Kaštovský — 4 из 1, Gomontiellales Strunecky et Mares — 3 из 2, Spirulinales Komárek, Kaštovský, Mareš et Johans. — 2 из 1. Порядки Chroococcidiopsidales Komárek, Kaštovský, Mares et Johans. и Coleofasciculales Strunecky et Mares представлены 1 видом и родом. Для комплекса ведущих таксонов трёх районов было характерно преобладание порядков Nostocales и Chroococcales, семейства Microcystaceae Elenkin, а также наличие родов Phormidium Kütz. ex Gomont, Pseudanabaena Lauterborn и Aphanocapsa Nägeli. По составу ведущих порядков флора цианопрокариот прибрежной зоны острова Гогланд согласуется с другими прибрежьями Финского залива: заказником «Северное побережье Невской губы» и архипелагом Берёзовые острова (Горин и др., 2016; Горин, Белякова, 2022).

Экологическая структура флоры характеризовалась преобладанием бентосных видов над планктонными и планктонно-бентосными (30, 18 и 14 видов соответственно), а также пресноводно-солонатоводных и пресноводных над саолонатоводными и эвригалинными (22, 20, 15 и 2 вида соответственно).

Горин К. К., Белякова Р. Н. Суанопрокариота прибрежной зоны заказника Берёзовые острова (Финский залив, Балтийское море). // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2022. Т. 63. № 2. С. 38–40.

Горин К. К., Никитина В. Н., Белякова Р. Н. Структурные показатели цианопрокариот некоторых прибрежных биотопов Невской губы Финского залива Балтийского моря. // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. № 7-4 (41). С. 58–71.

Häygen E. Über die Meeresalgen der Insel Hogland im Finnischen Meerbusen // Acta Phytogeographica Suecica. 1940. Т. 13. С. 50–62.

## Роль фитопланктона в снижении эмиссии метана с поверхности водоема The role of phytoplankton in reducing methane emissions from the surface of a water body

*Гречушникова М.Г.<sup>1,2</sup>, Комиссаров А.Б.<sup>3</sup>, Казанцев В.С.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Институт водных проблем РАН, Москва, Россия,*

<sup>3</sup>*Тверской ЦГМС, Тверь, Россия,*

<sup>4</sup>*Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, Москва, Россия*

*Grechushnikova M.G.<sup>1,2</sup>, Komissarov A.B.<sup>3</sup>, Kazantsev V.S.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, geographical faculty, Moscow, Russia,*

<sup>2</sup>*Water Problems Institute RAS, Moscow, Russia,*

<sup>3</sup>*Tver CHME, Tver, Russia,*

<sup>4</sup>*Institute of Atmospheric Physics named after A. M. Obukhov RAS, Moscow, Russia,*

Экосистема Иваньковского водохранилища, несмотря на значительную проточность, реагирует на внешние воздействия (смена синоптических условий, уровенный режим, приток воды), изменением гидрологической структуры водной массы. По данным комплексных съемок 5-6 августа 2020 г., 4-5 августа 2021 г. и 4-5 августа 2022 г. выявлены особенности влияния содержания кислорода в поверхностном слое воды на эмиссию метана из водоема. В процессе съемок выполнялись измерения вертикального распределения температуры воды, растворенного кислорода, продукции и деструкции в поверхностном слое. Содержание метана в отобранных пробах определялось на газовом хроматографе Хроматэк-Кристалл 5000.2, использованы методики «headspace» [Bastviken et al, 2010] и «плавающие камеры» [Bastviken et al, 2004]. Сбор материала фитопланктона, зообентоса и их камеральная обработка осуществлялась по стандартной методике.

Самый низкий уровень воды (примерно на 0.5 м ниже НПУ) наблюдался в 2022 г., наибольший приток - в июле 2020 г. Насыщение придонных слоёв воды кислородом было наибольшим в августе 2020 г. В жарком 2022 г. наблюдалось расслоение водной массы и формирование аноксии. В 2020 и 2021 гг. содержание кислорода снижалось до величин менее 2 мг/л только в придонных горизонтах наиболее глубоководных станций. В августе 2022 г. зарегистрированы самые высокие значения численности (N) и биомассы (B) фитопланктона с 2010 г.: N изменялась в поверхностном слое от 44.116 в створе Городня до 301.790 млн. кл/л в створе Плоски. В 2020 г. N была в пределах 2.831-8.777 млн. кл/л, в 2021 г. 15.178-65.218 млн. кл/л. По данным измерений активности продукционно-деструкционных процессов, только в жарком 2022 г. величина деструкции превышала величину продукции.

Эмиссия метана с поверхности водохранилища в рассмотренные три года значительно отличается: 2,9-63,4; 10,5-334; 2,1-182,2 мгС/(м<sup>2</sup>·сут) в 2020-2023 гг. соответственно. В 2022 г. содержание метана в придонных горизонтах было на порядок больше, чем в 2020-2021 гг.: 7,7-16,8; 4,6-132,3; 72,6-518 мкл/л соответственно. Такие особенности связаны с наибольшим прогревом в 2022 г., с активизацией биотурбации и бурным развитием фитопланктона и пересыщением кислорода в поверхностном слое (до 11,3-17,6 мг/л в 2022 г. против 9-10,7 мг/л в 2021 г.). Это привело к окислению метана и снизило значения его удельного потока.

*Работа выполнена в рамках проекта РНФ 24-27-00034.*

Bastviken D. et al. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochemical Cycles*. 2004. 18. doi:10.1029/2004GB002238.

Bastviken D., Santoro A., Marotta H. Methane emissions from Pantanal, South America, during the low water season: toward more comprehensive sampling // *Environmental Science and Technology*. 2010. 44(14). P. 5450–5455.

## Разнообразие наземных водорослей и цианобактерий тропических лесов

### Diversity of terrestrial algae and cyanobacteria in tropical forests

*Gusev E.S.<sup>1,2</sup>, Подунай Ю.А.<sup>3</sup>, Мартыненко Н.А.<sup>1</sup>, Ву Мань<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН*

<sup>2</sup>*Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр, Ханой, Вьетнам*

<sup>3</sup>*Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского - природный заповедник РАН, Феодосия, Россия*

*Gusev E.S.<sup>1,2</sup>, Podunay Yu.A.<sup>3</sup>, Martynenko N.A.<sup>1</sup>, Vu Manh<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Hanoi, Vietnam*

<sup>3</sup>*T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station, Natural Reserve RAS, Feodosia, Russia*

Изучены эпифитные водоросли лесных массивов 3-х национальных парков: низинный лесной массив Катъен, среднегорный Контюранг (700-900 м над у.м.) и высокогорный Бидуп-Нуйба (1600-2000 м). Выборка составила 324 древесных растений и лиан. Также изучено 38 почвенных образцов из Катъена и 10 из Бидуп-Нуйба. Для изучения использовали секвенирование тотальной ДНК (Illumina MiSeq, 2×300 п.н.), в качестве генетического маркера был использован регион V9 18S rDNA для эукариот и регион, охватывающий конец 16S-ITS-начало 23S rDNA для цианобактерий. Биоинформатический анализ проводили в QIIME2 инструментами DADA2, используя собственные классификаторы и базу данных нуклеотидных последовательностей PR<sup>2</sup>. Таксономические единицы (ASV, amplicon sequence variant) с числом чтений менее 10 удалялись. Всего в 3-х лесных массивах было обнаружено 830 ASV эукариотических водорослей с преобладанием Trebouxiophyceae, Ulvophyceae, Trentepohliales и Chlorophyceae. Число общих для всех лесов ASV составило 58 (7%). Всего при изучении почвенных микроводорослей в 2-х лесных массивах было обнаружено более 1000 ASV, что свидетельствует об очень высоком разнообразии почвенных водорослей тропических лесов. Всего обнаружены представители 38 классов. Наиболее богатыми по числу ASV были: Chlorophyceae, Chrysophyceae, Bacillariophyceae, Cryptophyceae, Dinophyceae, Trebouxiophyceae и Euglenophyceae. В качестве особенностей следует выделить преобладание по таксономическому богатству Chlorophyceae, а не Trebouxiophyceae, как это наблюдалось среди эпифитов. Для изучения цианобактерий пробы собраны в сухой сезон в национальном парке Катъен, изучено 23 почвенных и 23 эпифитных образца, суммарно 46 проб. Всего обнаружено 213 OTU, эпифитных – 157, а почвенных – 68. Только 12 из них (6%) были общими для 2-х местообитаний. В таксономической структуре преобладали Nostocales, Leptolyngbyales и Oculatellales. Также были обнаружены представители Oscillatoriales, Chroococcidiopsidales, Coleofasciculales и Chroococcales. В структуре разнообразия сообществ цианобактерий 2-х наземных местообитаний наблюдались различия. Всего было идентифицировано 50 родов цианобактерий. Более половины из них – новые для флоры Вьетнама.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 20-14-00211  
(<https://rscf.ru/project/20-14-00211/>).*

## Концепция вида у диатомовых водорослей

### Species concept in diatoms

*Давидович Н.А.*

*Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН, филиал ФИЦ Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Курортное, Феодосия, Республика Крым, Россия*

*Davidovich N.A.*

*Karadag Scientific Station – Nature Reserve RAS, Kurortnoe, Feodosiya, Republic of Crimea, Russia*

Понятие вида является одной из фундаментальных концепций в биологии. Вместе с тем, довольно сложно дать лаконичное и исчерпывающее определение этому понятию. Существует ряд критериев, позволяющих установить принадлежность особи к конкретному виду, в том числе морфологическое сходство, репродуктивная совместимость, единая экологическая ниша, эколого-физиологическая и биохимическая унитарность, генетическое и цитогенетическое сходство, монофилия. В зависимости от того, какому критерию отдается предпочтение, формируется понятие вида, равно как и определение этого понятия.

У диатомовых водорослей с начала их изучения и по настоящее время преобладает морфологический подход к описанию вида. Предпосылкой для этого служит огромное разнообразие форм и структур панцирей диатомовых, зачастую видоспецифичное как в комплексе, так и по отдельным элементам. Однако, в последнее время все чаще сообщают о криптических видах, у которых, при очень высоком, почти абсолютном морфологическом сходстве, видовые границы устанавливаются на основе дополнительных критериев.

Почти у всех диатомовых водорослей, за крайне редкими исключениями, половое воспроизведение является обязательным этапом жизненного цикла. И поскольку большинство диатомовых проявляют гетероталлизм, репродуктивный критерий становится не только очень удобным инструментом, но и концептуально значим для установления видовых границ. Конечно, надо помнить об аутомиктическом половом воспроизведении и асексуальных жизненных циклах.

Генетический критерий очень привлекателен и кажется надежным и объективным, но на самом деле еще весьма далек от того, чтобы говорить о нем как о безальтернативном. При этом, надо заметить, что последние работы (например, Audoor et al., 2024), в которых использован транскриптомный анализ, приблизились к расшифровке генетического пула, активизирующегося в процессе половой репродукции. В случае, если набор генов, отвечающих за прохождение процесса или отдельные гены, важные для конкретных этапов (например, обмена феромонами), окажутся высоковидоспецифичными, генетический критерий выйдет на первый план.

Большинство критериев, используемых для разграничения видов, не затрагивают, впрочем, сущностного понятия вида. Заметно упрощая, можно сказать, что "смысл жизни" состоит в том, чтобы она продолжалась из поколения в поколение. С другой стороны, дискретность существования живой материи, в нашем случае выраженная в понятии видов, требует их несмешиваемости (нескрещиваемости). Здесь весьма уместно обратиться к репродуктивной биологии, и еще раз вспомнить, что репродуктивная совместимость и репродуктивная изоляция и есть те две сущности, на которых базируется продолжение жизни в ее многообразии.

Audoor S., Bilcke G., Pargana K., et al., 2024. Transcriptional chronology reveals conserved genes involved in pennate diatom sexual reproduction. *Molecular Ecology*. V. 33: e17320.

# Половое воспроизведение диатомовой водоросли *Nitzschia cf. navis-varingica* Lundholm and Moestrup

## Sexual reproduction of the diatom *Nitzschia cf. navis-varingica* Lundholm and Moestrup

*Давидович О.И.<sup>1</sup>, Давидович Н.А.<sup>1</sup>, Полякова С.Л.<sup>1</sup>, Екер-Девели Е.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, Феодосия, Россия*

<sup>2</sup>*Мерсинский университет, педагогический факультет, кафедра математики и естественнонаучного образования, Чифтликкёй, Мерсин, Турция*

*Davidovich O.I.<sup>1</sup>, Davidovich N.A.<sup>1</sup>, Polyakova S.L.<sup>1</sup>, Eker-Develi E.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve RAS – Branch of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Feodosia, Russia*

<sup>2</sup>*Mersin University, Faculty of Education, The Department of Mathematics and Science Education, Ciftlikkoy, Mersin, Turkey*

Токсигенный вид *Nitzschia navis-varingica* Lundholm and Moestrup, способный продуцировать домоевую кислоту, был впервые обнаружен в прудах для выращивания креветок во Вьетнаме (Kotaki et al., 2000; Lundholm, Moestrup, 2000), а впоследствии в солоноватых водах и эстуариях во многих местах Тихоокеанского региона. В 2016 году этот вид наблюдался в Средиземном море (Ayaz et al., 2018), а в 2021 году было сообщение о первой находке этого вида в Мраморном море (Eker-Develi, Kideys, 2022). Пробы, отобранные в восточной части Мраморного моря, были переданы из Мерсинского университета (Турция) в Лабораторию диатомовых водорослей и микробиоты на Карадаге. Из них были выделены микропипеточным способом отдельные клоны для последующего изучения жизненного цикла диатомовой водоросли похожей на *N. navis-varingica*. Клоны содержали в стеклянных колбах объемом 100 мл в модифицированной среде ESAW. Эксперименты по скрещиванию проводили в чашках Петри. Нами впервые было получено и изучено половое воспроизведение водоросли, которую турецкие коллеги относят к *N. navis-varingica*. Тип полового процесса морфологически и поведенчески изогамный. В настоящее время нет полной уверенности в правильной идентификации вида из Мраморного моря. Нельзя исключить возможность того, что данный вид является представителем комплекса криптических видов. Для подтверждения конспецифичности необходимо проверить репродуктивную совместимость изучаемых клонов с представителями вида *N. navis-varingica* из других популяций.

Ayaz F., Eker-Develi E., & Sahin M. First report of *Nitzschia navis-varingica* in the Mediterranean Sea and growth stimulatory effects of *Nitzschia navis-varingica*, *Chrysochromulina alifera* and *Heterocapsa pygmaea* on different mammalian cell types // Molecular Biology Reports. 2018. V. 45. P. 571–579. <https://doi.org/10.1007/s11033-018-4195-7>

Eker-Develi, E., Kideys, A.E. First record of the diatom *Nitzschia navis-varingica* in the Sea of Marmara. Marine Science and Technology Bulletin. 2022. V. 11 (2). P. 231–235.

Kotaki Y., Koike K., Yoshida M., Thuoc C. V., Huyen N. T. M., Hoi, N. C., Fukuyo, Y. & Kodama, M. Domoic acid production of *Nitzschia* sp., isolated from a shrimp-culture pond in Do Son, Vietnam // Journal of Phycology. 2000. V. 36. P. 1057–1060.

Lundholm N., Moestrup Ø. Morphology of the marine diatom *Nitzschia navis-varingica*, sp. nov. (Bacillariophyceae), another producer of the neurotoxin domoic acid // Journal of Phycology. 2000. V. 36. P. 1162–1174. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.11.003>

## Пресноводные альгоценозы Евро-Арктического Баренцева региона в оценке качества среды

### Freshwater algocenoses of the Euro-Arctic Barents region in environmental quality assessment

*Денисов Д.Б., Косова А.Л., Вокуева С.И.*

*Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

*Denisov D.B., Kosova A.L., Vokueva S.I.*

*Institute of North Industrial Ecology Problems FRC KSC RAS, Apatity, Russia*

Использование уязвимых ко всем видам антропогенной нагрузки пресноводных ресурсов Арктики, принятие важных практических решений, связанных с управлением качеством вод невозможны без организации комплексных экологических мониторинговых наблюдений наряду с эффективным информационно-аналитическим обеспечением. Огромное значение в системе мониторинга качества пресных вод играют водорослевые сообщества.

Результаты многолетних ретроспективных мониторинговых данных о таксономическом составе и структуре альгоценозов более чем 160 разнотипных водных объектов Евро-Арктического Баренцева региона свидетельствуют о высокой информативности водорослей и цианопрокариот как индикаторов качества среды. Так, выявлены особенности перестройки альгоценозов в ответ на действие антропогенных факторов и доказано, что в высокоширотных водоемах комплексное действие тяжелых металлов на фоне развития процессов эвтрофирования не приводит к угнетению фитопланктона, а эффект закисления вод в сочетании с тяжелыми металлами усиливает токсическое действие последних. Альгоценозы крайне чувствительны ко всем происходящим изменениям: формируются новые адаптивные механизмы, меняются продукционные характеристики сообществ и экологические предпочтения отдельных видов (Sharov, Denisov, 2021). С начала XXI века из-за эвтрофикации вод, усиленной потеплением арктического климата, цветение водорослей стало типичной чертой озер наряду с увеличением доли цианопрокариот в планктоне. Спорадические случаи цветения были вызваны цианобактериями *Dolichospermum lemmermannii* (Richter) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek 2009 (биомасса до 85,2 мг/л в пятнах цветения). Методами масс-спектрометрии был выявлен профиль токсинов, преимущественно MC-LR, MC-RR и их деметилированные формы (Denisov et al., 2021). В водоеме питьевого назначения (оз. Имандра, Мурманская область) концентрация MC-LR превысила норму ВОЗ для питьевой воды более чем в два раза, что определяет новые риски для здоровья населения.

Sharov A., Denisov D. Algae of lakes in the European North of Russia / lake water: properties and uses (case studies of hydrochemistry and hydrobiology of lakes in northwest Russia), Nova Science Publishers, Inc., 2021. P. 153-191.

Denisov D.B., Chernova E.N., Russkikh Ia.V. Toxic Cyanobacteria in the arctic lakes: new environmental challenges. A case study // In: Vasenev V. et al. (eds.) Advanced Technologies for Sustainable Development of Urban Green Infrastructure. SSC 2020. Springer Geography. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-75285-9\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75285-9_15). 2021. P. 161–170.

## Зеленая водоросль *Oophila* – факультативный симбионт зародышей амфибий

### The green alga *Oophila* is a facultative symbiont of amphibian embryos

Десницкий А.Г.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Desnitskiy A.G.

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

В умеренных широтах Северной Америки, Европы и Азии встречаются зеленые кладки икры нескольких видов амфибий, содержащие одноклеточные водоросли в прозрачных яйцевых капсулах. Самый изученный пример – часто наблюдаемый симбиоз между живущей в Канаде и США пятнистой саламандрой *Ambystoma maculatum* и водорослью *Oophila amblystomatis* F.D. Lambert ex N. Wille 1909 (Chlorophyceae, Chlamydomonadales). Водоросль потребляет азотистые продукты метаболизма зародыша и использует образующуюся при его дыхании двуокись углерода для фотосинтеза. Производимый водорослью кислород способствует выживанию зародышей и ускорению их развития. Водоросли препятствуют размножению патогенных микробов внутри яйцевой капсулы и защищают зародыш от воздействия ультрафиолета. Обзор по истории изучения такого экзосимбиоза зеленых водорослей и амфибий был недавно опубликован (Desnitskiy, 2017). Цикл развития *O. amblystomatis* в условиях культуры пока не описан. Новый вариант симбиоза обнаружен в нескольких популяциях *A. maculatum* (Kerney et al., 2011). На стадии нейрулы часть популяции *Oophila* проникает из яйцевой капсулы внутрь непрозрачного зародыша. Эти водоросли (ставшие теперь эндосимбионтами) на последующих стадиях эмбриогенеза обнаружены в нервной трубке, эпидермисе и глазной чаше. Они находятся в состоянии стресса и переходят к брожению. Не все симбионты вступают внутрь зародыша. Многие клетки *Oophila* остаются внутри яйцевой капсулы до вылупления личинки, осуществляя фотосинтез. У зародышей другого вида, *Ambystoma gracile*, клетки *Oophila* обнаружены только в яйцевой капсуле. Но в экспериментальных условиях экзосимбионты *A. gracile* могут вступать внутрь зародыша *A. maculatum* (Kerney et al., 2019). Напротив, симбионты *A. maculatum* не могут вступать в зародыш *A. gracile*. Пока не ясно, проникает ли *Oophila* в яйцевые капсулы *A. maculatum* только из прудовой воды либо также из материнской репродуктивной системы. У взрослых саламандр в репродуктивных структурах обнаруживают ДНК водоросли (но не ее клетки!). Таким образом, данные в пользу вертикальной трансмиссии *O. amblystomatis* в жизненном цикле *A. maculatum* являются косвенными. Возможно, что вхождение клеток водоросли внутрь зародыша *A. maculatum* – это лишь начальная фаза в эволюции вертикальной передачи симбионтов (Bishop, 2022).

Bishop C.D. Pond water is principal source of algae that form a symbiosis with embryos of the spotted salamander *Ambystoma maculatum*: an experimental test // Symbiosis. 2022. V. 87. № 2. P. 107-120.

Desnitskiy A.G. A symbiosis of amphibian embryos and larvae with unicellular green algae // Russ. J. Herpetol. 2017. V. 24. № 3. P. 223-227.

Kerney R., Kim E., Hangarter R.P., Heiss A.A., Bishop C.D., Hall B.K. Intracellular invasion of green algae in a salamander host // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 2011. V. 108. № 16. P. 6497-6502.

Kerney R., Leavitt J., Hill E., Zhang H., Kim E., Burns J. Co-cultures of *Oophila amblystomatis* between *Ambystoma maculatum* and *Ambystoma gracile* hosts show host-symbiont fidelity // Symbiosis. 2019. V. 78. № 1. P. 73-85.

## **Диатомовые водоросли в оценке состояния почв районов нефтепромыслов: вклад кировской школы альгологов**

### **Diatoms as indicators of soil condition in oilfield areas: Kirov School's of Algologists contribution**

*Дорохова М.Ф.*

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*Dorokhova M.F.*

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

Почвенные диатомовые водоросли в районах добычи и транспортировки нефти изучались в СССР с середины 1970-х годов. Большой вклад в развитие представлений об их высокой индикационной значимости для выявления состояния почв и эффективности приемов рекультивации в нефтедобывающих районах внес коллектив альгологов под руководством профессора Эмилии Адриановны Штиной, одним из первых включившийся в «нефтяную тематику» в соответствии с Программой экологических исследований АН СССР.

Пионерной работой стало изучение альго-цианобактериальных сообществ почв долины р. Обь в двух нефтедобывающих районах Тюменской области (Неганова и др., 1978). Эти исследования впервые показали высокую чувствительность диатомовых водорослей к загрязнению почв и грунтов нефтью.

В рамках Программы экологических исследований в начале 1980-х годов на нефтепромыслах Пермского Прикамья Т.А. Ельшиной под руководством Э.А. Штиной была выполнена кандидатская диссертация (Ельшина, 1986). Полученные материалы дали ключ к выявлению индикаторных групп водорослей и цианобактерий техногенно трансформированных дерново-подзолистых почв в этом нефтедобывающем районе: диатомовые водоросли являются индикатором стадии техногенного осолодения (Ельшина, 1986; Штина, Некрасова, 1988). Талантливым развитием «нефтяной» тематики стали работы Н. М. Зимониной на территории Возейского месторождения нефти (Зимонина, 1998).

Благодаря этим исследованиям к 2000 году о диатомовых водорослях почв районов нефтепромыслов стало известно, что: 1) они чувствительны к углеводородному загрязнению почв и грунтов и не развиваются при сильном загрязнении; 2) их видовой состав может быть весьма разнообразным в случаях активного самоочищения загрязненных почв от углеводородов (например, при длительном периоде посттехногенной трансформации загрязненных почв, как это наблюдается, например, в подзоне южной тайги спустя 18-20 лет после загрязнения); 3) диатомовые водоросли обладают высоким биоиндикационным потенциалом и могут использоваться при мониторинге состояния и оценке состояния рекультивированных почв в районах нефтепромыслов.

Ельшина Т.А. Почвенные водоросли как индикаторы некоторых видов техногенного загрязнения почвы (на примере загрязнений, связанных с нефтедобычей): Автореф. дис...канд. биол. наук. – Л.: ЛГУ, 1986. – 16 с.

Зимонина Н.М. Почвенные водоросли нефтезагрязненных земель. – Киров: Вятский государственный педагогический университет, 1998. – 170 с.

Неганова Л.Б., Шилова И.И., Штина Э.А. Альгофлора техногенных песков нефтегазодобывающих районов Среднего Приобья и влияние на нее нефтяного загрязнения // Экология. 1978. N3. С. 29-35.

Штина Э.А., Некрасова К.А. Водоросли загрязненных нефтью почв // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. Глазовская М.А. (ред.). – М.: Наука, 1988. – С. 57-81.

## К разнообразию наземных сценедесмусовых водорослей (Scenedesmaceae, Chlorophyta) Байкальского региона

### On the diversity of green terrestrial scenedesmacean algae (Scenedesmaceae, Chlorophyta) in the Baikal Region

*Егорова И.Н., Кулакова Н.В.*

*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия*

*Egorova I.N., Kulakova N.V.*

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch RAS, Irkutsk, Russia*

Проведена оценка филогенетического разнообразия 12 штаммов семейства сценедесмусовых из коллекции культур водорослей СИФИБР СО РАН – ИРК–А. Изучали одноклеточные водоросли сходной морфологии из наземных и водных биотопов Байкальского региона. Для сравнения также взят штамм, выделенный нами из накопительной культуры антарктической почвы. Преимущественно использовали молекулярные маркеры ядерного генома, малой субъединицы рРНК, ITS. Все штаммы представляют собой коккоидные организмы, форма которых варьируется от шаровидной до яйцевидной или лимоновидной. Скульптуры на оболочке в световой микроскоп не заметны или можно предположить их наличие в виде ребер. Установлено, что эти водоросли принадлежат двум родам *Coelastrella* Chodat и *Chodatodesmus* Hegewald et al. *Coelastrella* представлены пятью филогенетическим линиями. Исследованные штаммы (семь) из наземных условий принадлежат видам *C. aeroterrestica*, *C. multistriata*, *C. striolata*. Штамм из Антарктиды, родственник *C. yingshanensis* Wang et al., возможно, новый для науки вид. Еще два штамма входят в состав клады *C. thermophila*. Изоляты *C. thermophila* наряду с двумя другими рода *Chodatodesmus* выделены из водных биотопов Байкальского региона. *Chodatodesmus* представлен двумя таксонами видового ранга: *C. australis* и *C. intermedia* sp. nov. Изученные сценедесмусовые водоросли из водных биотопов – потенциально новые линии для наземной альгофлоры рассматриваемой территории. Нуклеотидные последовательности выявленных видов *Chodatodesmus* найдены в метагеномах почв ряда регионов мира (Pluto, 2023). Вид *Coelastrella thermophila* описан на основе образцов из водных и субаэрофитных биотопов Китая (Wang et al., 2020).

В составе рода *Coelastrella* известно 17 видов (Guiry, Guiry, 2024). Для наземных местообитаний Байкальского региона подтверждено наличие пяти: *C. aeroterrestica*, *C. multistriata*, *C. striolata* (данное сообщение), а также *C. terrestris* и *C. oocystiformis* (Novakovskaya et al., 2021). Разные генетические линии *Coelastrella* обнаружены на географически удаленных территориях, в северных и южных районах региона, и в «соседствующих» растительных сообществах одной территории. В роде *Chodatodesmus* к настоящему времени было описано только два вида (Hegewald et al., 2013; Sciuto et al., 2015), один из которых, *C. australis*, ранее не обнаруживали на Евразийском континенте. Этот вид известен из Антарктиды (Sciuto et al., 2015). Нами предложен к описанию новый видовой таксон рода. Исследования расширяют представление о видовом разнообразии, экологии и географии сценедесмусовых водорослей.

Guiry M.D., Guiry G.M. 2024. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 20.05.2024)

Hegewald E., Bock C., Krienitz L. A phylogenetic study on Scenedesmaceae with the description of a new species of *Pectinodesmus* and the new genera *Verrucodesmus* and *Chodatodesmus* (Chlorophyta, Chlorophyceae) // Fottea, Olomouc. 2013. Vol. 13, N. 2. P. 149-164.

**Промышленная культура диатомовой водоросли *Nanofrustulum shiloi* (Lee, Reimer et Mcenery) Round, Hallsteinsen et Paasche 1999 в двухступенчатом хемостате**

**Industrial culture of diatom *Nanofrustulum shiloi* (Lee, Reimer et Mcenery) Round, Hallsteinsen et Paasche 1999 in a two-stage chemostat**

*Железнова С.Н., Геворгиз Р.Г.*

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

*Zheleznova S.N., Gevorgiz R.G.*

*A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Sevastopol, Russia*

Среди огромного разнообразия средств, используемых в лекарственной альтернативной терапии тяжёлых заболеваний, особое внимание заслуживают соединения природного происхождения, которые практически не имеют побочных действий на организм человека в отличие от синтетических препаратов. К числу наиболее перспективных продуцентов физиологически активных веществ относятся бентосные диатомовые водоросли. Среди многих видов бентосных диатомовых водорослей особый интерес представляет бентопланктонный, космополит *Nanofrustulum shiloi*, который способен расти в широком диапазоне температур от 7 до 25°C и солёности от 1 до 50‰; характеризуется высоким содержанием липидов, жирных кислот и фукоксантина. Известно, что процессы роста и биосинтеза БАВ у многих микроводорослей разобщены во времени. Также известно, что многие ценные вещества накапливаются в стрессовых условиях, например при лимитировании роста биогенными элементами. Поэтому для биосинтеза ценных веществ наиболее перспективным является проточное культивирование, в частности, двухступенчатый хемостат с равной или различной удельной скоростью протока для каждой ступени (Геворгиз и др., 2023). В первой ступени хемостата с высоким содержанием биогенных элементов наблюдается активный рост, в то время как во второй – при лимитировании роста биогенными элементами – активный синтез ПНЖК и фукоксантина. Варьируя скоростью разбавления культуры, появляется возможность управления процессом накопления целевых продуктов в биомассе микроводорослей и достижения максимальный скоростей биосинтеза ПНЖК и фукоксантина в оптимальных условиях.

Цель исследования - изучить биохимические и продукционные характеристики *Nanofrustulum shiloi* в условиях интенсивного культивирования и разработать промышленную технологию проточного культивирования *N. shiloi* в двухступенчатом хемостате при естественном освещении.

Эксперименты проводили в теплице при естественном освещении в осенне-весенний период времени. Выращивали культуру в 2-х промышленных фотобиореакторах объединённых в двухступенчатый хемостат. Объём суспензии в каждой ступени хемостата составил 275 л, рабочий слой — 0.1 м, освещаемая поверхность — 2.5 м<sup>2</sup>, при pH = 8–9. Максимальная плотность достигала 1,2 г/л. При удельной скорости протока 0.1 сут<sup>-1</sup> во второй ступени биомасса характеризовалась максимальной долей липидов, фукоксантина и ПНЖК. Выход биомассы составил 12 г/(м<sup>2</sup> \* сут), фукоксантина - 120 мг/(м<sup>2</sup> \* сут). По окончании эксперимента суммарно было получено 0.5 кг сухой биомассы *N. shiloi* и 5 г фукоксантина.

Геворгиз Р.Г., Железнова С.Н., Малахов А.С. Продукционные характеристики культуры диатомовой водоросли *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin в двухступенчатом хемостате // Морской биологический журнал Marine Biological Journal. - 2023. - Т. 8, no. 1. - С. 27-50; <https://doi.org/10.21072/mbj.2023.08.1.03>.

## Макрофиты прибрежных вод острова Крашенинникова (Авачинский залив, юго-восточная Камчатка)

## Macrophytes of the coastal waters of Krasheninnikov Island (Avacha Gulf, south-eastern Kamchatka)

Жигадлова Г.Г.

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

Zhigadlova G.G.

Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky

Невзирая на продолжительные альгологические исследования в прибрежных водах ООПТ восточной Камчатки, информация о макрофитах некоторых из них крайне скудна. Связано это с их удаленностью и труднодоступностью мест произрастания водорослей. С 2010 г. в рамках работы по изучению морской бентосной флоры восточной Камчатки вообще и в частности макрофитов морских охраняемых акваторий мы исследовали водоросли у о. Крашенинникова. Этот небольшой остров в северной части Авачинского залива входит в состав Природного парка «Налычево». Точные сведения о водорослях в прилегающей к территории этого парка прибрежной зоне Авачинского залива отсутствуют. Однако, собранный нами у о. Крашенинникова материал и полученные данные могут в некоторой степени дать представление о видовом составе макрофитов морской акватории этой ООПТ.

Материал собирали во время комплексных работ Лаборатории гидробиологии КФ ТИГ в северной части Авачинского залива. Водоросли собирали в июне-июле на литорали во время отливов, из выбросов и при помощи легководолазной техники на глубинах до 12 м.

Согласно полученным данным, в настоящее время, таксономическое разнообразие водорослей о. Крашенинникова представлено 3 отделами, 17 порядками, 35 семействами, 63 родами и 88 видами, еще 1 вид зеленых водорослей неопределенного положения (*Zygomitus reticulatus* Bornet et Flahault). Результатом изучения собранного фикологического материала стало описание нового для науки вида *Callophyllis selivanovae* Zhigadlova (Skriptsova, Zhigadlova, 2024), именно здесь были обнаружены новые для дальневосточных морей виды *Pseudorhododiscus nipponicus* Masuda и *Savoiea robusta* (N.L.Gardner) M.J.Wynne (Жигадлова, 2014; Selivanova, Zhigadlova, 2022). На острове нами также обнаружены виды, ранее не указанные в Авачинском заливе: *Streblonema evagatum*, *S. pacificum*, *Acrochaetium catenulatum*, *Rhododrewia porphyrae* и *Chondrus platynus*. *Coccotylus truncatus*, *Pleonosporium vancouverianum*, *Tokidadendron bullatum* и *Yendonia crassifolia* указывались ранее в южной части Авачинского залива, в северной части обнаружены впервые.

Несмотря на то, что Природный парк «Налычево» существует уже около 30 лет, сведения о представителях флоры и фауны, населяющих эту охраняемую территорию, недостаточны (исключение составляют, пожалуй, только птицы и млекопитающие), а информация о видовом составе морских беспозвоночных и водорослей отсутствует полностью. Наша работа – первый шаг в изучении видового состава макрофитов этой охраняемой акватории, а обнаруженные здесь новые виды делают ее весьма интересной и требующей продолжения научных исследований.

Жигадлова Г.Г. Первая находка красной эпифитной водоросли *Pseudorhododiscus nipponicus* Masuda (Palmariales: Rhodophyta) в Авачинском заливе (восточная Камчатка) // Биология моря. 2014. Т. 40. № 3. С. 238-239.

Selivanova O.N., Zhigadlova G.G. Distribution of algae of the genus *Savoiea* M.J. Wynne (Ceramiales, Rhodophyta) in the Northern Pacific // International Journal on Algae. 2022. V. 24. № 1. P. 17-28.

Skriptsova A.V., Zhigadlova G.G. Two new species of *Callophyllis* (Rhodophyta, Kallymeniaceae) from the Russian Pacific coast // Phycologia. 2024. V. 63. № 2. P. 129-144.

## **Функционально-метагеномный анализ альго-бактериальных сообществ для очистки сточных вод**

### **Functional metagenomics analysis of algal-bacterial consortia for wastewater treatment**

*Зайцев П.А.<sup>1</sup>, Шурыгин Б.М.<sup>1</sup>, Ладнов Э.О.<sup>1</sup>, Васильева С.Г.<sup>1</sup>, Родин В.А.<sup>2</sup>, Панова Т.В.<sup>2</sup>,  
Зверева М.Э.<sup>2</sup>, Соловченко А.Е.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, Биологический факультет, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, Москва, Россия*

*Zaytsev P.A.<sup>1</sup>, Shurygin B.M.<sup>1</sup>, Ladnov E.O.<sup>1</sup>, Vasilieva S.G.<sup>1</sup>, Rodin V.A.<sup>2</sup>, Panova T.V.<sup>2</sup>, Zvereva  
M.I.<sup>2</sup>, Solovchenko A.E.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Biology Faculty, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Lomonosov Moscow State University, Chemistry Faculty, Moscow, Russia*

Сообщества микроводорослей и прокариотических микроорганизмов широко представлены в разных водных экосистемах как биогенной, так и антропогенной природы. На водоочистных сооружениях альго-бактериальные сообщества могут выполнять функцию биологической доочистки сточных вод от микрополлютантов: избытков макронутриентов (нитратов и фосфатов), а также ксенобиотиков с лекарственными свойствами. Повысить эффективность данного процесса возможно путём подбора альго-бактериальных сообществ с выраженными свойствами толерантности к данным группам микрополлютантов. Оценка функционального потенциала подобных сообществ может проводиться на основании метагеномных данных, дающих информацию о присутствии и количественном соотношении таксонов с определенными физиологическими признаками и присутствии генов метаболических путей биodeградации и биоаккумуляции микрополлютантов.

В ходе данной работы был проведен сравнительный анализ альго-бактериальных сообществ из муниципальных сточных вод и других антропогенно-нарушенных местообитаний. Анализ проводился с использованием метагеномных данных, полученных методами секвенирования фрагмента V4 гена 16S рНК, а также секвенирования полного метагенома на платформах NGS и Oxford Nanopore. Для предсказания функционального профиля сообществ сравнивались алгоритмы для данных 16S рНК (PICRUST2 и др.), алгоритмы для метагеномно-собранных геномов (реализованные на веб-сервисе MGnify), а также разработанный в ходе данной работы пайплайн для поиска наборов генов искомым метаболических путей в метагеномно-собранных геномах и сырых чтениях нанопорового секвенирования.

На основании проведенного анализа было предложено альго-бактериальное сообщество, продемонстрировавшее высокий потенциал к полному биоизъятию 20-кратного избытка неорганического фосфора из муниципальных сточных вод г. Звенигород.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 21-74-20004.*

**Метаболомный поиск потенциальных медиаторов альго-бактериальных взаимодействий в лабораторных культурах каротиногенной микроводоросли *Halochlorella rubescens***

**Metabolomic search for potential mediators of algal-bacterial interactions in laboratory cultures of the carotenogenic microalga *Halochlorella rubescens***

Зайцева А.А., Зайцев П.А., Соловченко А.Е., Лобакова Е.С.  
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Zaytseva A.A., Zaytsev P.A., Solovchenko A.E., Lobakova E.S.  
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Каротиногенные микроводоросли (кМВ) — продуценты ценных каротиноидов, таких как астаксантин,  $\beta$ -каротин и лютеин. Клетки кМВ окружены фикосферой, заселенной гетеротрофными микроорганизмами, способными влиять на жизнедеятельность базибионта: скорость роста и накопление ценных соединений. Анализ метаболического профиля лабораторных культур кМВ с разной степенью заселенности фикосферы позволит изучить альго-бактериальные взаимодействия между фототрофом и его микробиомом и станет основой для их регулирования и создания высокопродуктивных со-культур микроводорослей.

Метаболомный анализ альго-бактериальных взаимодействий вели на интенсивных культурах оригинального штамма кМВ *Halochlorella rubescens* NAMSU SBB-20. Анализировали культуры в трех состояниях заселенности фикосферы: (1) культура с исходным микробиомом, (2) аксеничная культура, (3) со-культура с бактерией рода *Arsenicitalea* (Devosiaceae) и аксеничной культуры *H. rubescens*. Пробы отбирали в конце стадий вегетативного роста и каротинонегеза, вызванного азотным голоданием и светом высокой интенсивности. Изучали как культуральную жидкость, так и биомассу методом ГХ-МС, полученные данные обрабатывали с использованием ПО MS-DIAL, БД NIST и Golm, а также онлайн-сервиса MetaboAnalyst.

Анализ метаболического профиля культуры *H. rubescens* NAMSU SBB-20 выявил присутствие более 100 веществ, включая соединения центрального метаболизма. Анализ методом главных компонент показал большее сходство профилей биомассы (клеток) между собой, чем с профилями культуральной жидкости независимо от состояния микробиома и индукции каротиногенеза. Выявлены компоненты трансмембранного транспорта с помощью растворенных белков-переносчиков (SLC-mediated transmembrane transport), транспорта малых молекул, в частности, уксусная, лимонная, гамма-аминомасляная и 3-гидроксимасляная кислоты, глицерин, фенилаланин, фосфат и другие. Обнаружены соединения, потенциально способные к выполнению роли сигнальных межорганизменных молекул, такие как гомосерин, производные жирных кислот (9-октадеценовая кислота), фенольные кислоты (галловая кислота, 3-гидроксибензойная кислота, кофейная кислота), инозитол и другие вещества. Данные соединения могут быть использованы для регуляции альго-бактериальных взаимодействий и индукции накопления микроводорослью ценных для биотехнологии продуктов.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-74-00037.*

# Coccolithophyceae в альгофлоре водоемов степной зоны Южного Урала

## Coccolithophyceae in the algal flora of reservoirs in the steppe zone of the Southern Urals

*Игнатенко М.Е., Яценко-Степанова Т.Н.*

*Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Оренбург, Россия*

*Ignatenko M.E., Yatsenko-Stepanova T.N.*

*Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis of the Ural Branch RAS of the Orenburg Federal Research Center RAS, Orenburg, Russia*

Coccolithophyceae (Haptophyta) — группа микроводорослей, клетки которых покрыты кальцифицированными чешуйками (кокколитами). Преимущественно это морские организмы, обеспечивающие от 10 до 20% от общего объема первичной продукции фитопланктона океана и ответственные за половину всех современных осадков карбоната кальция в океане. Среди кокколитофорид известны также виды, населяющие солоноватые и соленые эстуарии, лагуны, озера, пруды. И лишь один вид (*Hymenomonas roseola* F. Stein) является пресноводным (Nicholls, 2015).

В водоемах Оренбургской области (степная зона Южного Урала) с использованием сканирующей электронной микроскопии зарегистрированы 5 видов Coccolithophyceae: в их числе *Chrysotila carterae* (Braarud et Fagerland) R.A. Andersen, J.I. Kim, Tittley et H.S. Yoon, *C. roscoffensis* (P.A. Dangeard) R.A. Andersen, J.I. Kim, Tittley et H.S. Yoon, *Hymenomonas roseola* F. Stein, *Jomonolithus littoralis* Inouye et Chihara, а также новый для науки вид *Hymenomonas uralensis* Ignatenko et Yatsenko-Stepanova. *H. uralensis* обнаружен и описан из планктона среднего течения р. Урал (51°25'55"N, 56°28'58"E) и на сегодняшний день является вторым (после *H. roseola*) пресноводным представителем кальцифицированных Haptophyta. Виды *C. carterae*, *C. roscoffensis* и *J. littoralis* впервые зарегистрированы на территории России, при этом находка *J. littoralis* является четвертой находкой в мире.

Среди обнаруженных таксонов кокколитофорид наибольшей частотой встречаемости отличался *H. roseola*. Вид был отмечен в различных по происхождению, лимническому типу и минерализации водоемах области: р. Урал (51°45'13.1"N, 55°06'26.2"E), протоки Казанче (50°59'47.1"N, 60°50'23.9"E) и «Восьмая бригада» (51°01'23.8"N, 60°56'05.1"E), Ушкотинское водохранилище (50°43'46"N, 59°57'54"E), пруд (50°55'N, 59°55'E), оз. Большое Песчаное (51°45'35.8"N, 55°35'31.2"E). *J. littoralis* был выявлен только в двух локалитетах: р. Урал (51°20'59"N, 57°06'18"E; при солености 0,6‰ и температуре воды 24,7 °C) и оз. Жетыколь (51°05'67"N, 60°29'25"E; при солености 5,7‰, температуре воды 19,8 °C и pH 7,53). *C. carterae* и *C. roscoffensis* также были зарегистрированы только в двух местообитаниях: оз. Жетыколь (при солености 3,8–5,7‰, температуре воды 19,8–22,5 °C и pH 7,53–9,1) и Ащисайском пруду (51°02'35"N, 61°11'33"E; при солености 8,1‰ и pH 8,9). Находки *C. carterae*, *C. roscoffensis*, *J. littoralis* в водоемах с низкой соленостью в сочетании с литературными данными позволили сделать вывод о широком диапазоне галотолерантности этих видов.

Полученные результаты уточняют биогеографию и экологию Coccolithophyceae, а также расширяют представление о разнообразии этой группы микроорганизмов в пресноводных местообитаниях.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-24-10056, <https://rscf.ru/project/23-24-10056/>*

## Чешуйчатые золотистые водоросли (Chrysophyceae) водоемов Московской области

### Silica-scaled chrysophytes (Chrysophyceae) from the waterbodies of the Moscow Region

*Капустин Д.А., Куликовский М.С.*

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

*Kapustin D.A., Kulikovskiy M.S.*

*K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia*

К «чешуйчатым» золотистым водорослям относятся представители порядков Chromulinales, Paraphysomonadales и Synurales, клетки которых покрыты кремнезёмными чешуйками. Морфология чешуек имеет большое таксономическое значение, поэтому для корректной идентификации таксонов этой группы необходимо применение электронной микроскопии.

Литературные данные о разнообразии этой группы в водоёмах Московской обл. практически отсутствуют. В публикациях О.В. Анисимовой с соавт., посвященных водорослям Звенигородской биостанции (Анисимова и др., 2004; Анисимова, Танченко, 2005), приводятся микрофотографии семи видов чешуйчатых золотистых водорослей из родов *Chrysosphaerella* Lauterborn, *Mallomonas* Perty и *Synura* Ehrenb.

Наши исследования проводились в 2020-2024 гг. Пробы отбирались в весенние (апрель, май) и осенние (октябрь, ноябрь) месяцы. Всего обнаружено 35 таксонов, относящихся к родам *Paraphysomonas* De Saedeleer (2 вида), *Spiniferomonas* E. Takahashi (1 вид), *Chrysosphaerella* Lauterborn (2 вида), *Synura* Ehrenb. (7 видов), *Mallomonas* Perty (22 таксона) и *Neotessella* B.Y. Jo et al. (1 вид). Многие виды (напр., *Mallomonas maculata* D.E. Bradley, *M. phasma* K. Harris et D.E. Bradley, *M. scalaris* Dürrschmidt и др.) являются редкими, а *M. cucullata* Barreto является новым видом для альгофлоры России.

*Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 122042700045-3).*

Анисимова О.В., Романова О.Л., Танченко Е.М. *Атлас водорослей водоемов Звенигородской биологической станции им. С. Н. Скадовского.* – М.: Издательство Московского университета, 2004. – 132 с.

Анисимова О.В., Танченко Е.М. К флоре Chrysophyceae Звенигородской биологической станции // Труды звенигородской биологической станции. 2005. Вып. 4. С. 136–142.

## Род *Chrysastrella* Chodat (Chrysophyceae): морфология, систематика, распространение

### Genus *Chrysastrella* Chodat (Chrysophyceae): morphology, taxonomy and distribution

Капустин Д.А.<sup>1</sup>, Мартыненко Н.А.<sup>2</sup>, Стерлягова И.Н.<sup>3</sup>, Куликовский М.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

Kapustin D.A.<sup>1</sup>, Martynenko N.A.<sup>2</sup>, Sterlyagova I.N.<sup>3</sup>, Kulikovskiy M.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Institute of Biology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

К роду *Chrysastrella* Chodat относятся *Ochromonas*-образные золотистые водоросли, обитающие в заболоченных водоемах. Этот род был описан в 1921 г. Р. Шо́да и включал три вида: *Ch. paradoxa* Chodat, *Ch. minor* Chodat и *Ch. breviappendiculata* Chodat (Chodat, 1921). Долгое время род *Chrysastrella* считался искусственным, т.к. вегетативные стадии его представителей оставались неизвестными, а описания всех видов основывались исключительно на структуре стоматоцист. В 2017 г. Р. Андерсен с соавт. восстановили забытое родовое название, показав, что *Ochromonas tuberculata* Hibberd конспецифичен *Ch. paradoxa* и располагается на филогенетическом древе в разных кладах с типовым видом рода *Ochromonas*, *O. triangulata* Vysotskii (Andersen et al., 2017).

Из болот в государственном природном заповеднике «Пасвик» (Мурманская обл.) и национальном парке «Югыд ва» (Республика Коми) нами были выделены в культуру *Ochromonas*-образные хризофиты, которые по морфологии стоматоцист соответствовали *Ch. paradoxa*. Однако, проведенный молекулярно-филогенетический анализ на основе гена 18S рДНК показал, что наши штаммы идентичны штамму ССМР1861, определенному Андерсеном с соавт. как *Ch. breviappendiculata*.

Систематическое положение рода *Chrysastrella* остается неясным. Р. Шо́да отнес его к искусственному семейству Chrysostomataceae (Chodat, 1921). Мы считаем правильным выделить этот род в самостоятельное монотипное семейство.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00372,  
<https://rscf.ru/project/24-24-00372/>

Andersen R.A., Graf L., Malakhov Y., Yoon H.S. Rediscovery of the *Ochromonas* type species *Ochromonas triangulata* (Chrysophyceae) from its type locality (Lake Veysove, Donetsk region, Ukraine) // *Phycologia*. 2017. V.56, №6. P. 591–604. DOI: <https://doi.org/10.2216/17-15.1>

Chodat R. Matériaux pour l'histoire des Algues de la Suisse // *Bulletin de la Société Botanique de Genève*. 1921. V.13. P. 66–114.

# **Изучение генетического разнообразия микроводорослей как основа применения метабаркодинга для экологического мониторинга поверхностных вод г. Москвы**

## **Study of the genetic diversity of microalgae as the basis for the use of metabarcoding for environmental monitoring of surface waters in Moscow**

*Кезля Е.М., Миронова Э.А., Куликовский М.С.  
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*Kezlya E.M., Mironova E.A., Kulikovskiy M.S.  
K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia.*

Город Москва является самым крупным городом в России, где проживает более 13 миллионов человек. В пределах МКАД находятся около 150 малых рек и ручьев и около 240 открытых водоёмов (прудов и озёр). Эти водоёмы испытывают на себе огромное антропогенное влияние, что связано со значительной рекреационной нагрузкой на эти экосистемы. В настоящее время метабаркодинг образцов окружающей среды уже признан альтернативным (более быстрым и экономичным) методом в отличие от традиционного метода микроскопии для экологической оценки и мониторинга водоемов и водотоков на основе микроводорослей и цианобактерий. Во многих странах уже разработаны руководства по мониторингу на основе экологической ДНК (eDNA). (Kelly et al. 2020, Elersek et al. 2021, Jerney et al. 2022). Система мониторинга поверхностных вод города Москвы в настоящее время предусматривает контроль только физико-химических и санитарно-биологических показателей. Нормативные документы, принятые Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в части «Наблюдения за загрязнением гидросферы» в отношении гидробиологического анализа поверхностных вод разработаны 1984-1996 годах и основаны на классических подходах микроскопирования. Все это подчеркивает необходимость и актуальность изучения генетического разнообразия микроводорослей и цианобактерий с целью составления региональных баркодовых баз данных для эффективной расшифровки данных метабаркодинга и адаптации современных молекулярно-генетических подходов для биомониторинга поверхностных вод.

В докладе будут обсуждены результаты изучения генетического разнообразия микроводорослей и цианобактерий водоемов и водотоков г. Москвы с разной антропогенной нагрузкой. Материалом для работы послужили моноклональные культуры, выделенные из природных образцов фитопланктона и фитобентоса, собранных на 20 водных объектах на территории г. Москвы. Будут рассмотрены причины низкой сопоставимости данных, полученных при помощи микроскопирования и метабаркодинга, проблема «выпадения» некоторых таксономических групп микроводорослей в данных eDNA, вопросы подбора генетических маркеров и наборов праймеров для рутинного мониторинга.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-20116  
(<https://rscf.ru/project/24-24-20116/>)*

Elersek, T. (Ed.) 2021. Technical Guidelines for eDNA Monitoring in Alpine Waters for Stakeholders and End-Users. URL: <https://www.alpine-space.eu/project/eco-alpswater/> (Accessed on 22 May 2024).

Kelly, M., Boonham, N., Juggins, S., Mann, D., Glover, R. Further development of a DNA based metabarcoding approach to assess diatom communities in rivers // Chief Scientist's Group report. In Version: SC160014/R; Environment Agency – Bristol, UK, 2020. 133 p.

Jerney, J., Hällfors, H., Oja, J., Reunamo, A., Suikkanen, S., Lehtinen, S. Guidelines for using environmental DNA in Finnish marine phytoplankton monitoring—Improved biodiversity assessment through method complementation // Reports of Finnish Environment Institute. 2022, V.40, 69 p.

**Определение лимитирующей концентрации биогенных элементов в отношении накопления внеклеточного мареннин-подобного пигмента *Haslea karadagensis* (Bacillariophyta) в культуре**

**The determination of the limiting concentration of biogenic elements associated with the accumulation of extracellular marennine-like pigments in *Haslea karadagensis* cultures (Bacillariophyta)**

*Кириенко Е.С., Давидович Н.А.*

*Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФИЦ Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН. пгт. Курортное, Феодосия, Крым, Россия*

*Kirienko E.S., Davidovich N.A.*

*T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature reserve of RAS – Branch of A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Feodosia, Crimea, Russia*

Мареннин и мареннин-подобные пигменты являются водорастворимыми соединениями сине-зеленого цвета, продуцируемыми некоторыми представителями рода *Haslea* Simonsen. Эндемик Черного моря, диатомовая водоросль *Haslea karadagensis* Davidovich, Gastineau & Mouget, относится к числу мареннин-продуцирующих видов.

Мареннины существуют во внутриклеточной и внеклеточной форме. Обе формы имеют разные молекулярные массы и спектральные характеристики (Pouvreau et al., 2006). Внутриклеточный пигмент накапливается в апикальных областях клеток, в то время как внеклеточный прижизненно выделяется клетками во внешнюю среду. Мареннины проявляют антиоксидантную, противовирусную и противогрибковую активность (Gastineau et al., 2012a). Противовирусная активность мареннинов способна угнетать рост и развитие патогенных бактерий поражающих устриц (Gastineau et al., 2012b). Осаждаясь на жабрах моллюсков-фильтраторов, пигмент окрашивает их тело в сине-зеленый цвет. Этой особенностью давно пользуются держатели устричных плантаций на Атлантическом побережье Франции.

Для определения оптимальных условий, способствующих активному синтезу и накоплению внеклеточного мареннин-подобного пигмента в культурах *H. karadagensis*, было проведено несколько серий экспериментов. Цель этих экспериментов заключалась в определении оптимальных концентраций азота и фосфора, которые являются ограничивающими факторами для роста культур и скорости накопления мареннин-подобного пигмента.

Уникальные свойства мареннин-подобного пигмента *H. karadagensis* позволяют использовать это биологически активное соединение в аквакультуре двустворчатых моллюсков, пищевой промышленности и медицине.

Знания особенностей синтеза и накопления пигмента в культуре *H. karadagensis* в зависимости от концентрации биогенных элементов помогут повысить эффективность производства мареннин-подобного пигмента при использовании его в промышленности и аквакультуре.

*Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №24-24-00054).*

Pouvreau J.-B., Morançais M., Fleury F., Rosa F., Thion L., Cahingt B., Zal F., Fleurence J., Pondaven P. // Preliminary characterisation of the blue-green pigment “marennine” from the marine tychopelagic diatom *Haslea ostrearia* (Gaillon/Bory) Simonsen. J. Appl. Phycol. 2006. V. 18, № 6. P. 757–767.

Gastineau R., Pouvreau J.-B., Hellio C., Morançais M., Fleurence J., Gaudin P., Bourgougnon N., Mouget J.-L. // Biological activities of purified marennine, the blue pigment produced by the diatom *Haslea ostrearia* and responsible for the greening of oysters. J. Agric. Food Chem. 2012a. V. 60, № 14. P. 3599–3605.

## Культивирование микроводорослей на водной фазе гидротермального ожижения биомассы активного ила

### Cultivation of microalgae on the aqueous phase of hydrothermal liquefaction of active sludge biomass

*Клементьев С.В.<sup>1</sup>, Буденкова Е.А.<sup>2</sup>, Куликова Ю.В.<sup>2</sup>, Сироткин А.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет, Россия

<sup>2</sup>Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта, Калининград, Россия

*Klementev S.V.<sup>1</sup>, Budenkova E.A.<sup>2</sup>, Kulikova Y.V.<sup>2</sup>, Sirotkin A.S.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Kazan National Research Technological University, Russia

<sup>2</sup>Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

Гидротермальное ожижение (ГТО) – процесс деполимеризации влажных органических отходов в субкритических условиях с получением продуктов с добавленной стоимостью (бионефть, биоуголь) (Watson et al.). Существенным недостатком ГТО является образование большого количества водной фазы (до 50 % от массы сырья), которую необходимо предварительно обезвредить перед сбросом в природные водоемы (Watson et al.). Водная фаза содержит в своем составе высокую концентрацию биогенных элементов (N, P, K) и микроэлементов (Belete et al.), в связи с чем ее можно использовать в качестве основы питательной среды для культивирования микроводорослей, избыточную биомассу которых далее можно подвергнуть гидротермальному ожижению с получением биотоплива.

**Цель работы:** оценка эффективности обезвреживания водной фазы гидротермального ожижения избыточного активного ила в процессе культивирования культур микроводорослей.

**Объекты исследования:** водная фаза ГТО избыточного активного ила очистных сооружений коммунально-бытовых сточных вод г. Калининград следующего состава: ХПК  $17737 \pm 886$  мгО/дм<sup>3</sup>; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>  $948 \pm 47$  дм<sup>3</sup>; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>  $472 \pm 24$  дм<sup>3</sup>; pH  $7.1 \pm 0.19$ . Девять культур микроводорослей из коллекции IPPAS ИФР РАН: *Chlorella sorokiniana*; *Chlorella vulgaris*; *Chlorella ellipsoidea*; *Parachlorella kessleri*; *Chlorella pyrenoidosa*; *Chlorella zofingiensis*; *Chlorella minutissima*; *Chlorella* sp; *Nannochloris* sp.

Культивирование осуществляли в периодическом режиме в течение 7 суток с чередованием фазы освещения (день-ночь по 12 часов) с интенсивностью  $4873 \pm 263$  люкс. Водную фазу предварительно разбавляли дистиллированной водой в 50 раз.

**Результаты и обсуждения** – все изучаемые культуры обладали способностью использовать биогенные элементы водной фазы в качестве субстрата. Эффективность изъятия аммонийного азота из водной фазы варьировала от 30 % до 82 %, фосфатов от 34 % до 89 %. К наиболее перспективному штамму можно отнести культуру *P. kessleri*, которая показала наибольшую способность к удалению биогенных элементов из водной фазы по сравнению с другими изучаемыми культурами. Помимо высокой степени удаления поллютантов из водной фазы, *P. kessleri* отличалась максимальной скоростью роста и, как следствие, малым временем генерации. Вероятно, это связано с тем, что *P. kessleri* обладает высокой адаптационной способностью к компонентам водной фазы ГТО избыточного активного ила. В дальнейшем эта культура микроводорослей может быть использована для трансформации биогенных элементов в биомассу или для доочистки водной фазы после бактериальной деструкции ее компонентов.

Watson J., Wang T., Si B., Chen W., Aierzhati A., Zhang Y. Valorization of hydrothermal liquefaction aqueous phase: pathways towards commercial viability // Prog. Energy Combust. Sci. 2020. Vol. 77. 100819;

Belete Y., Leu S., Boussiba S., Zorin B., Posten C., Thomsen L., Wang S., Gross A., Bernstein R. Characterization and utilization of hydrothermal carbonization aqueous phase as nutrient source for microalgal growth // Bioresource Technology. 2019. Vol. 290. 121758.

## Порядок Laminariales: фено- и генотипическая систематика, фитогеография, история формирования

### The order Laminariales: pheno- and genotypic taxonomy, phyto geography, the formation history

Клочкова Н.Г.

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

Klochkova N.G.

Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute FEB RAS; Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Согласно долгое время признаваемой в научном мире ревизии дальневосточных ламинариевых водорослей Ю.Е. Петрова (1975), основанной на дифференциации пор. Laminariales на семейства роды и виды по морфолого-анатомическим признакам, этот порядок бурых водорослей включал 5 семейств, 14 родов и 34 вида. Анализ научного наследия этого автора показывает его приверженность к очень широкому пониманию границ морфологической изменчивости видов и перекрываемости их таксономических признаков, а также склонность к синонимированию видов и понижению их статуса до форм и сортов.

В 90-х гг. прошлого столетия начался новый этап в изучении ламинариевых, связанный с разработкой молекулярно-генетических методов исследования. В одних случаях особенно при оценке объема политипических родов *Laminaria*, *Saccharina* и *Alaria*, они позволили уточнить их таксономический состав, в других – привели к обесцениванию значимости семейственных и родовых признаков фенотипической систематики ламинариевых и привнесли определенный хаос в ранее разработанную для них систематику. Так в семейство Laminariaceae были включены представители с принципиально разными типами роста и морфогенеза. Фенотипически близкие роды при этом были включены в разные семейства, а некоторые близкие по морфологии виды, напротив, отнесены к разным родам. Неудивительно, что повторные филогенетические исследования часто не подтверждали поспешных таксономических изменений приверженцев генотипической систематики (Kawai et al., 2017).

Изучение анатомо-морфологических, молекулярно-генетических, кариотипических и др. признаков у представителей пор. Laminariales показывает, что альгофлора российского Дальнего Востока включает 36 видов, 20 родов из 4 семейств. В ней отсутствуют некоторые ранее указывавшиеся виды из родов *Laminaria*, *Saccharina* и *Alaria*, два вида были описаны как новые для науки. Фитогеографический анализ ламинариевых свидетельствует о существовании в акватории Тихого океана семи центров их видовой и родовой разнообразия, 4 из них находятся в приазиатских водах, 3 – в морях российского Дальнего Востока.

Преобладание во флоре пор. Laminariales большого количества узкоареальных моно-и олиготипических родов, наличие видов с дизъюнктивными и сокращающимися ареалами, высокие колебания процентов дивергенции нуклеотидной последовательности в гомологичных участках ДНК у представителей разных родов и семейств свидетельствует о том, что в ходе своего исторического развития этот порядок претерпел значительную редукцию родового и видowego состава, в связи с чем его семейственная и родовая дифференциация должна быть более сложной, чем ныне разработанная. Современное распространение ламинариевых хорошо согласуются с голоценовыми изменениями в Тихом океане гидрологии, климата и рельефа.

Петров Ю.Е. 1975. Ламинариевые и фукусовые водоросли морей СССР. Автореф. дис. докт. биол. наук. Ленинград, 1975, 54 с.

Kawai H., Nanyuda T., Gao X., Terauchi M., Miyata M., Klochkova N.G., Lindstrom S.C., Miller K.A. Taxonomic revision of the Agaraceae with a description of *Neoagarum* gen. nov. and reinstatement of *Thalassiohyllum* // J. Phycol. 2017. Vol. 53, N 2. P. 261-270.

## Оценка взаимосвязи гидрохимических свойств вод средней Оби с таксономической структурой фитопланктона

### Assessment of the relationship between the hydrochemical properties of the waters of the middle Ob and the taxonomic structure of phytoplankton

*Колесниченко Л.Г.<sup>1</sup>, Барсукова Н.Н.<sup>2</sup>, Баженова О.П.<sup>2</sup>, Колесниченко Ю.Я.<sup>1</sup>, Бызаакай А.А.<sup>1</sup>,  
Ермолаева Н.И.<sup>3</sup>, Покровский О.С.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия,

<sup>2</sup>Омский государственный аграрный университет, Омск, Россия,

<sup>3</sup>Институт водных экологических проблем СО РАН, Новосибирск, Россия,

<sup>4</sup>GET, UMR 5563 CNRS, Тулуза, Франция

*Kolesnichenko L.G.<sup>1</sup>, Barsukova N.N.<sup>2</sup>, Bazhenova O.P.<sup>2</sup>, Kolesnichenko Yu.Ya.<sup>1</sup>, Byzaakai A.A.<sup>1</sup>,  
Ermolaeva N.I.<sup>3</sup>, Pokrovsky O.S.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia,

<sup>2</sup>Omsk State Agrarian University,

<sup>3</sup>Institute of Water Ecological Problems SB RAS, Novosibirsk, Russia,

<sup>4</sup>GET, UMR 5563 CNRS, Toulouse, France

Исследованы гидрохимические свойства вод и распределение фитопланктона в среднем течении реки Обь (от устья Томи до устья Иртыша). Отбор проб проведен в июле 2019 года с использованием научного судна №199 ИВЭП СО РАН. Пробы отбирали стандартными методами у берегов и в средней части реки. В перечень контролируемых показателей входили численность и биомасса фитопланктона, температура, pH, электропроводность, концентрация растворенных газов (CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>), растворенный органический и неорганический углерод, состав органического вещества, изотопный и элементный состав вод, содержание биогенных элементов. При выполнении полевых работ использовано оборудование УНУ «Система экспериментальных баз, расположенных вдоль широтного градиента». Элементный состав вод определен в ТРЦКП ТГУ. Содержание РОУ, РНУ и биогенных элементов определяли в ИЛ СО РАН.

Выявлено 398 видов из 8 отделов фитопланктона (Barsukova et al., 2021). Ведущая роль в формировании видового богатства принадлежала преимущественно зелеными, эвгленовыми водорослями и цианопрокариотам, доля остальных отделов была невысока. Установлено, что численность, биомасса и состав доминирующего комплекса фитопланктона в разных частях реки существенно различается. С юга на север снижалась как общая численность фитопланктона, так и численность доминирующих таксонов. Ниже слияния Иртыша и Оби наблюдался «краевой эффект»: при слиянии водных масс различной природы и химических свойств численность фитопланктона и биомасса увеличилась.

Статистически подтверждена взаимосвязь численности и биомассы отдельных таксонов фитопланктона с рядом физико-химических свойств, содержанием РОУ, составом органического вещества и газовым составом вод.

*Работа выполнена при частичной поддержке гранта РНФ 23-16-00218 (анализ гидрохимических свойств и статистическая обработка материалов).*

Barsukova N. N., Bazhenova O. P., Kolesnichenko L. G. Phytoplankton as an indicator of the current ecological status of the Ob River // Acta Biologica Sibirica. 2021. 7, С. 573-591

## **Оценка изменения органического вещества вод под влиянием фитопланктона**

### **Assessment of changes in water organic matter under the influence of phytoplankton**

*Кондратова О.В., Жабина Н.А., Колесниченко Л.Г.*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

*Kondratova O.V., Zhabina N.A., Kolesnichenko L.G.*

*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

Целью исследования являлась оценка степени трансформации культурами фитопланктона растворенного органического углерода (РОУ) вод поймы Оби.

Для проведения эксперимента использовали воды пойменных озер, а также водные вытяжки из луговых трав, доминирующих на территории поймы. Моделируя условия половодья, сухую траву заливали дистиллированной водой (один грамм травы на литр воды) и выдерживали сутки при комнатной температуре, после чего фильтровали с помощью стерильных установок Sartorius в стерильные емкости. Далее в фильтраты были помещены культуры фитопланктона, извлеченные из пойменных водоемов и культивированные в лабораторных условиях.

Экспериментальные работы проводили в течение десяти дней в климатической камере при температурах 5, 10, 25 и 35°C. Ежедневно, при помощи мультиметра WTW multi 3400i измеряли pH и электропроводность; с использованием анализатора TOC-LCSN (Shimadzu) исследовали содержание растворенного органического углерода (РОУ). Для изучения состава органического вещества использовали спектрофотометр Eppendorf BioSpectrometr® basic.

Установлены закономерности изменений физико-химических свойств исследованных фильтратов под влиянием культур фитопланктона по сравнению с контролем. Отмечены изменения концентраций РОУ и показателей, характеризующих состав органического вещества, таких как  $E_2:E_3$ ,  $E_4:E_6$ , Sr.

Полученные данные о влиянии фитопланктона на структуру растворённого органического вещества могут быть важны для понимания регулирования обмена CO<sub>2</sub> между водоёмами поймы и атмосферой и для оценки глобальных биогеохимических циклов.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-16-00218. При выполнении экспериментальных работ использовано оборудование УНУ «Система экспериментальных баз, расположенных вдоль широтного градиента».*

## Наиболее массовые токсичные виды фитопланктона прибрежной зоны юго-восточного Сахалина

### The most widespread toxic species of phytoplankton in the coastal zone of southeastern Sakhalin

*Коновалова Н.В., Мотылькова И.В.*

*Сахалинский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), Южно-Сахалинск, Россия*

*Konovalova N.V., Motylkova I.V.*

*Sakhalin branch of the Federal State Budgetary Institution "VNIRO" ("SakhNIRO"), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

Изучение фитопланктона проводилось на материалах, собранных во время гидробиологических экспедиций СахНИРО по госзаданию на различных локальных полигонах морского побережья в пределах изобат 0–20 м юго-восточного Сахалина вблизи впадения рек Долинка, Дудинка, Мануй, Горная с мая по октябрь 2019–2022 гг. Пробы фитопланктона отбирали батометром Нискина из поверхностного, среднего и придонного горизонтов. Отобранные пробы (1,5 л) фиксировали раствором Утермеля (Федоров, 1979).

В ходе наших исследований в прибрежных водах юго-восточного Сахалина было обнаружено 26 потенциально-токсичных микроводорослей. Наиболее массовыми были *Alexandrium tamarense*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *Phalacroma rotundatum*, *Prorocentrum cordatum* и *Pseudo-nitzschia cf. delicatissima*.

Потенциальный продуцент сакситоксина *A. tamarense* регистрировался во всех районах с мая по октябрь, максимум развития приходился на июнь–июль. Высокая встречаемость этого вида была зафиксирована в районе р. Долинка в июне–июле 2019 г., численность его в верхних слоях достигала 63,6–99,7 тыс. кл./л при температуре 8,3–12,9°C и солености 30,6–31,8 psu. Максимальные концентрации (166,9–225,5 тыс. кл./л) были зарегистрированы в третьей декаде июня 2020 г. в районе р. Дудинка при температуре воды 11,7–12,5°C и солености 28,9–29 psu.

Продуценты ядов диарейного комплекса *D. acuminata*, *D. acuta* и *Ph. rotundata* регулярно встречались во все периоды исследований. Пик развития приходился на конец июля–август при температуре воды 10,3–18,1°C. Наиболее массовым являлся *D. acuminata*, численность которого достигала 11,6 тыс. кл./л.

Потенциально токсичный *P. cordatum* вызывает отравление венерупином. В период наших наблюдений встречался повсеместно и во все сезоны. Активная вегетация отмечалась в июне–августе 2020 г. в районе р. Дудинка при максимальных концентрациях 25,758–132,109 тыс. кл./л. В других районах его численность не превышала 7 тыс. кл./л.

Продуцент домоевой кислоты *Pseudo-nitzschia cf. delicatissima* встречалась во все годы исследований, но активное их развитие наблюдали лишь в 2020 и 2022 гг. в районах рек Дудинка и Горная, соответственно. В эти годы они начинали вегетировать в конце июня при температуре воды 8–9°C, средняя численность составляла 275,0–333,5 тыс. кл./л. К середине июля на обоих участках их развитие достигало уровня цветения – 6991,5 тыс. кл./л (р. Дудинка) и 2914,72 тыс. кл./л (р. Горная) при средних по полигону 698,5 и 615,2 тыс. кл./л, соответственно. В 2019 и 2021 гг. (районы рек Долинка и Мануй) развитие видов данного рода во все периоды было слабым, наибольшая средняя численность отмечалась в октябре и не превышала 9,2 тыс. кл./л.

Таким образом, в прибрежных водах юго-восточного Сахалина наиболее массовые токсичные микроводоросли активно развиваются в летние месяцы, в морской среде это может спровоцировать массовую гибель рыб, беспозвоночных, птиц, морских млекопитающих. Употребление человеком в пищу гидробионтов, выловленных в эти периоды, может нанести вред здоровью.

**Влияние сульфида на фиксацию азота негетероцистной галоалкалофильной цианобактерией *Sodalinema* sp. P-1104**

**Effect of Sulfide on Nitrogen Fixation in Non-heterocystous Haloalkaliphilic Cyanobacterium *Sodalinema* sp. P-1104**

*Косякова А.И., Самылина О.С.*

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

*Kosyakova A.I., Samylina O.S.*

*Winogradsky Institute of Microbiology Research Center of Biotechnology RAS, Moscow, Russia*

Содовые озера представляют собой полиэкстремальные местообитания с высокой соленостью и стабильно щелочными значениями pH, а также часто с высоким содержанием сульфида. Для большинства цианобактерий сульфид является ингибитором оксигенного фотосинтеза, однако некоторые могут использовать его в качестве донора электронов в аноксигенном фотосинтезе. При этом в щелочных условиях сульфид намного менее токсичен, чем при нейтральных значениях pH. Однако влияние сульфида на фотосинтез и азотфиксацию у цианобактерий содовых озер не изучено.

Объектом данного исследования стала негетероцистная галоалкалофильная diaзотрофная цианобактерия *Sodalinema* sp. P-1104, выделенная из содового озера Петуховское (Кулундинская степь, Алтайский край). Цианобактерии рода *Sodalinema* широко распространены в фототрофных сообществах содовых и соленых щелочных озер в широком диапазоне общей солености (30-200 г/л).

Была проверена способность *Sodalinema* sp. P-1104 осуществлять сульфид-зависимый аноксигенный фотосинтез с помощью CO<sub>2</sub> фотоассимиляции. Активность фиксации азота определяли методом ацетиленредукции (АР). Также в экспериментах использовали ингибитор оксигенного фотосинтеза диурон (3-(3,4-дихлорфенил)-1,1-диметидмочевина) и широкий диапазон концентраций сульфида (2-20 мМ).

В результате было показано отсутствие ингибирования фотосинтеза и азотфиксации при добавлении сульфида вплоть до 20 мМ при pH среды 10. Более того, добавление сульфида в интактные культуры стимулировало активность АР в несколько раз. Также была выявлена сильная корреляция между убылью сульфида и стимулированием АР. Однако, увеличение активности азотфиксации происходило по большей части за счет удаления кислорода, выделяющегося в процессе фотосинтеза, что приводило к созданию анаэробных условий, благоприятных для нитрогеназы. Добавление диурона полностью ингибировало фотоассимиляцию CO<sub>2</sub> и АР, но добавление сульфида в ингибированные диуроном культуры инициировало эти процессы.

Таким образом, было показано стимулирование фиксации азота штаммом *Sodalinema* sp. P-1104 при добавлении сульфида в концентрациях от 2 до 20 мМ без эффекта ингибирования при pH 10 как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Положительный эффект обусловлен как удалением кислорода из среды, так и обеспечением нитрогеназы дополнительной энергией через аноксигенный фотосинтез.

Полученные данные расширяют знания об аноксигенном фотосинтезе и фиксации азота цианобактериями в содовых условиях и указывают на то, что сульфид может оказывать влияние на метаболизм цианобактерий как в лабораторных, так и в природных условиях.

*Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 22-14-00038.*

## Сообщества бентосных цианопрокариот Муринского ручья (г. Санкт-Петербург)

## Communities of benthic cyanoprokaryotes of the Murinsky creek (St. Petersburg)

*Котова А.С.<sup>1</sup>, Горин К.К.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

*Kotova A.S.<sup>1</sup>, Gorin K.K.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

Муринский ручей протекает на территории Калининского района Санкт-Петербурга и является правым притоком реки Охта, которая, в свою очередь, впадает в реку Неву. Ручей испытывает серьёзную антропогенную нагрузку (Навинкин, 2016). Отмечено, что предельно допустимые концентрации различных поллютантов в водах ручья кратно превышены (Смирнов, Сучкова, 2017).

Бентосные цианопрокариоты являются характерными обитателями загрязнённых, эвтрофных водоёмов, в которых они способны формировать крупные сообщества на различных типах субстратов. Несмотря на это, особенностям сообществ цианопрокариот нарушенных водных местообитаний уделено очень мало внимания.

Настоящая работа основана на сборах проб бентосных цианопрокариот, проводившихся в сентябре 2023 г. и мае 2024 г. в верхнем течении ручья (Муринский парк). При отборе проб отмечали характер субстрата, условия произрастания (температура и pH). Сообщества характеризовали после микроскопических и культуральных исследований, а также по доминантным видам (Вислоух, 1976) и морфологической структуре ассоциации.

В составе бентосных альгоценозов выявлено 13 видов цианопрокариот, 5 из которых образовывали макроскопические сообщества двух типов. Нитчатый эпипелитный мат с явным доминированием *Oscillatoria princeps* Vaucher ex Gomont и *Phormidium* cf. *lividum* (Hansgirg) Forti, с часто встречающимся *Leptolyngbya* sp. развивался на участках со слабым течением, на рыхлых грунтах при  $t$  13 °С и pH 6. Нитчатый эпипелитный мат с выраженным доминированием, образованный *Microcoleus autumnalis* (Gomont) Strunecky, Komárek & J.R.Johansen как доминантом и очень редко встречающимся *Oscillatoria limosa* C.Agardh ex Gomont формировался на бетонной конструкции водосброса в условиях сильного течения ( $t$  12 °С и pH 6).

Вислоух С. М. Биологический анализ воды //Руководство по теорет. и практ. микробиологии. Практ. медицина. – 1976. – №. 7. – С. 8.

Навинкин А. П., Подлипский И. И., Зеленковский П. С. Эколого-геологическая оценка Муринского парка (г. Санкт-Петербург) //Экологические проблемы недропользования. – 2016. – С. 297-299.

Смирнов Ю. Д., Сучкова М. В. Комплексная оценка экологического состояния вод Муринского ручья в г. Санкт-Петербурге //Вода и экология: проблемы и решения. – 2017. – №. 3 (71). – С. 35-48.

Guiry M.D., Guiry G.M. 2015. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 28.05.2024)

## Биохимические особенности *Bracteacoccus minor* в условиях фосфорного голодания

### Biochemical features of *Bracteacoccus minor* in conditions of phosphorus starvation

*Кочубей А.В.<sup>1</sup>, Мальцев Е.И.<sup>2</sup>, Яковийчук А.В.<sup>1,2</sup>, Строкань Н.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия*

<sup>2</sup>*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*Kochubey A.V.<sup>1</sup>, Maltsev Y.I.<sup>2</sup>, Yakoviichuk A.V.<sup>1,2</sup>, Strokan N.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Melitopol State University, Melitopol, Russia*

<sup>2</sup>*K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia*

Водоросли отдела Chlorophyta являются одной из наиболее многочисленных групп низших растений. Многие из представителей этого отдела исследуются как потенциальные объекты биотехнологического использования (Maltsev et al., 2020). Среди них хорошо известен *Bracteacoccus minor* (Schmidle ex Chodat) Petrová, который встречается в различных почвенных и водных экосистемах. В почве насаждения *Robinia pseudoacacia* L. парка имени М. Горького (г. Мелитополь, Россия) был выделен штамм, который на основании морфологических признаков и филогенетического анализа был идентифицирован как *Bracteacoccus minor* MZ–Ch31.

Штамм выращивали на среде Болда (ВВМ) с различным содержанием фосфора. С уменьшением концентраций наблюдался рост показателей биомассы исследуемого штамма. В условиях фосфорной голодовки наблюдалось уменьшение содержания хлорофилла *a* и *b* в сравнении с результатами на стандартной среде ВВМ в 1,5 – 5 раз, каротиноидов – в 4 раза. Препараторы хлорофиллов *a* и *b* такие как проторфин и магний проторфин, протохлорофиллиды, хлорофиллиды *a*, *b* имели значения пропорционально концентрациям фосфора. Содержание же производных пигментов (феофитин, неполярные каротиноиды) уменьшалось как при повышенных концентрациях фосфора, так и при пониженных относительно контрольных значений, соответствующих среде ВВМ.

Содержания витаминов А и Е было максимальным при росте штамма на стандартной среде ВВМ. При повышении концентрации фосфора показатели падали, а при уменьшении – не обнаруживались.

Показатель секвестрации углекислого газа в условиях максимального накопления биомассы штаммом *Bracteacoccus minor* MZ–Ch31, рассчитанный на основании углеродной модели (Menden-Deuer and Lessard, 2000), составил 4 г·л<sup>-1</sup>.

*Публикация основана на исследованиях, выполненных при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 23-74-10081). Количественное определение поглощения углекислого газа *Bracteacoccus minor* MZ–Ch31 поддерживалось в рамках темы FRRS-2024-0003 (124040100028-6).*

Maltsev, Y. I., Maltseva, I. A., Maltseva, S. Yu., & Kulikovskiy, M. S. (2020). Biotechnological potential of a new strain of *Bracteacoccus bullatus* (Sphaeropleales, Chlorophyta) as a promising producer of omega-6 polyunsaturated fatty acids. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67(1), 185–193. <https://doi.org/10.1134/s1021443720010124>

Menden-Deuer S., Lessard E. J. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms and other protist plankton // *Limnology and Oceanography*. 2000. Vol. 45, N 3. P. 569-579.

**Описание нового вида *Brachionococcus ignota* sp. nov. и сравнение эффективности различных методов кибернетического подхода для разграничения видов в *Chlorella*-кладе (Trebouxiophyceae, Chlorophyta)**

**Description of the new species *Brachionococcus ignota* sp. nov. and a comparison of the effectiveness of various methods of the cybernetic approach for distinguishing species in the *Chlorella*-clade (Trebouxiophyceae, Chlorophyta)**

*Кривина Е.С.<sup>1</sup>, Портнов А.М.<sup>2</sup>, Темралеева А.Д.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Всероссийская коллекция микроорганизмов (ВКМ), Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина РАН, ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пушchino, Россия*

<sup>2</sup>*Институт физико-химический и биологических проблем почвоведения РАН, Пушchino, Россия*

*Krivina E.S.<sup>1</sup>, Portnov A.M.<sup>2</sup>, Temraleeva A.D.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*All-Russian Collection of Microorganisms (VKM), Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms, Pushchino Scientific Center for Biological Research RAS, Pushchino, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Physico-Chemical and Biological Problems in Soil Science, Pushchino Scientific Center for Biological Research RAS, Pushchino, Russia*

Несмотря на длительную историю изучения, видовое разнообразие представителей клады *Chlorella* все еще до конца не изучено. Так новый представитель клады *Chlorella* был обнаружен в пресноводном урбанизированном оз. Восьмерка (Самарская область, Российская Федерация). Исследуемый штамм ACSSI 368 наряду с одиночными клетками, образует 4-16-клеточные, клетки в которых соединены гиалиновыми стебельками. Клетки от широкоовальных до шаровидных, 3-10 × 3.2-12 мкм. Хлоропласт одиночный, пристенный, чашевидный, поясковидный или полый шаровидный с отверстием. Пиреноид один, окружен зернами крахмала. Размножение 2-16 автоспорами. Филогенетический анализ с использованием фрагмента 18S-ITS1-5.8S-ITS2 показал, что ACSSI 368 совместно с сестринскими ему видами *C. chlorelloides*, *C. pulchelloides* образуют отдельный кластер в *Chlorella*-кладе, не связанный с голотипом рода *Chlorella* - *C. vulgaris*. Независимый видовой статус изученного штамма ACSSI 368 по сравнению с родственным *C. chlorelloides* (ранее типовой вид рода *Brachionococcus* *B. chlorelloides*) подтвержден морфологическими различиями (число клеток в колонии, тип хлоропласта, число автоспор), генетическими дистанциями межвидового уровня по 18S-ITS1-5.8S-ITS2 (0.5%), отдельно по последовательностям ITS1 (2%) и ITS2 (2.9%), наличием одной СВС в ITS1, а также результатами шести алгоритмов делимитации. Изученный штамм ACSSI 368 был описан как аутентичный штамм вида *Brachionococcus ignota*. В род *Brachionococcus* также были включены *B. chlorelloides* comb. nov. и *B. pulchelloides* comb. nov. Также было протестировано 6 различных методов кибернетического подхода для разграничения видов (ASAP, LocMin, KoT, GMYC, bPTP, mlPTP). Результаты топологического алгоритма GMYC в наибольшей степени соответствовали современным представлениям о таксономии *Chlorella*-клады. Однако этот метод является одним из самых трудоемких, так как для его реализации необходимо провести длительную подготовительную работу. Результаты KoT оказались менее точными, но при этом он менее трудоемок, поскольку не требует предварительного построения ультратомических деревьев.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-15-2021-1051) и государственного задания Федерального исследовательского центра «Пушчинский научный центр биологических исследований Российской академии наук», тема №122111000095-8.*

## Особенности состава жирных кислот у водорослей рода *Vischeria* (Eustigmatophyceae) при разных концентрациях азота

### Composition of fatty acids in algae of the genus *Vischeria* (Eustigmatophyceae) at different nitrogen concentrations

*Кривова З.В., Мальцев Е.И., Куликовский М.С.*

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

*Krivova Z.V., Maltsev Y.I., Kulikovskiy M.S.*

*K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia*

Водоросли являются важной составляющей в современной биотехнологической отрасли (Guleri, Tiwari, 2020). Продукты, получаемые из биомассы микроводорослей, могут использоваться в медицине, сельском хозяйстве, косметологии, энергетической промышленности (Chai et al., 2021). Благодаря своей обширной экологии (Junior et al., 2020) и достаточной высокой скорости роста, они имеют шансы выйти в лидеры в качестве сырья во многих актуальных для человека сферах жизни.

В данном исследовании были изучены и проанализированы тенденции в изменении состава профилей жирных кислот у трех штаммов рода *Vischeria* Pascher: MZ–CH18, MZ–E6, MZ–E8. Штаммы выращивали на среде BBM, с разными концентрациями азота: 0,6 г/л, 0,3 г/л, 0,15 г/л, 0,05 г/л, 0 г/л.

Корреляции в изменении состава жирных кислот у штаммов рассмотрим на примерах преобладающих составляющих. Увеличение концентрации азота влияла на процентное содержание жирных кислот, но незначительно. У штаммов MZ–E8 и MZ–E6 доминантными были насыщенная пальмитиновая, мононенасыщенная цис-7-гексадеценная и полиненасыщенная омега-3 эйкозапентаеновая жирные кислоты. Максимальная концентрация пальмитиновой и цис-7-гексадеценной кислот была при росте на среде с концентрацией азота 0,3 г/л у штамма MZ–E6 (28,9% и 34,99% соответственно) и 0,6 г/л у штамма MZ–E8 (30,59% и 35,43%). Эйкозапентаеновая кислота максимально (MZ–E6 – 23,61%; MZ–E8 – 22,15%) накапливалась при росте с минимальным количеством азота – 0,05 г/л. У штамма MZ–Ch18 доминантными были насыщенная пальмитиновая и полиненасыщенная омега-3  $\alpha$ -линоленовая кислоты. При разных концентрациях азота в среде сохранялся схожий профиль жирных кислот. Исключением являлся состав жирных кислот при росте с концентрацией азота 0,3 г/л. Тут отмечен минимальный процент пальмитиновой кислоты – 1,13% (в отличие от 24,31% при 0,6 г/л и 32,58% при 0,05 г/л) и максимальный процент  $\alpha$ -линоленовая кислоты – 63,86% (в отличие от 39,06% при 0,05 г/л и 51,81% при 0,6 г/л). В целом для почвенных штаммов *Vischeria* отмечено увеличение количества насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот и уменьшение полиненасыщенных при повышении концентрации азота в питательной среде.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-74-10081).*

Chai W.S., Tan W.G., Munawaroh H.S.H., Gupta V.K., Ho S.H., Show P.L. Multifaceted roles of microalgae in the application of wastewater biotreatment: a review // *Environmental Pollution*. 2021. V. 269. P. 116236.

Junior W.G.M., Gorgich M., Corrêa P.S., Martins A.A., Mata T.M., Caetano N.S. Microalgae for biotechnological applications: Cultivation, harvesting and biomass processing // *Aquaculture*. 2020. V. 528. P. 735562.

Guleri S., Tiwari A. Algae and ageing // *Microalgae biotechnology for food, health and high value products*. – Springer Singapore, 2020. – P. 267-293.

## Состав и динамика доминирующих комплексов фитопланктона рек юга таежной зоны (бассейн Средней Волги)

### Composition and dynamics of the dominant phytoplankton complexes of rivers in the south of the taiga zone (the Middle Volga basin)

*Кулизин П.В., Воденеева Е.Л., Охалкин А.Г.*

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

*Kulizin P.V., Vodeneeva E.L., Okhapkin A.G.*

*N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia*

Состав и структура доминирующих комплексов фитопланктона определяет характерные черты планктонных альгоценозов рек, отражает трофический статус и качество вод (Трифонова, 1990). Для характеристики доминирования использовали показатели «частота доминирования» DF, «частота встречаемости» pF и «порядок доминирования» Dt (Горбулин, 2012). В исследованных водотоках (рр. Ветлуга, Керженец и Вишня) 95 таксонов рангом ниже рода (10% общего списка) отнесено к группе доминантов. Преобладали диатомеи (более 40% состава доминантов) и эвглениды (14.7%), доля зеленых, охрофитовых (золотистые) и харовых водорослей составляла по 9.5%. Основу обилия фитопланктона рек большей протяженности создавали центрические диатомеи. В р. Керженец более заметна *Melosira varians*, при снижении частоты ее встречаемости с 85% (начало 2000-х гг.) до 23% (2014 г.) и доминирования с 61 до 21% (в современный период). Весной 2008 г. наблюдался подъем вегетации *Stephanodiscus hantzschii* (pF=7%, DF=7%,  $V_{max}=1.2 \text{ г/м}^3$  – 13% от общей), а в последующие годы (2016-2018 гг.) – *Aulacoseira subarctica* (pF=79-100%, DF=15-23%,  $V_{max}=0.94 \text{ г/м}^3$  – 49%). В р. Ветлуга преобладали *Aulacoseira subarctica* и *A. granulata* (pF и DF более 50-60%). Также в составе доминантов и субдоминантов отмечены виды родов *Navicula*, *Pinnularia*, *Plagiotropis*, *Ulnaria*, *Eunotia* и др. Биомасса зеленых в ней редко превышала  $1 \text{ г/м}^3$ . В течение безледного периода обычны вольвоксовые – *Thoracomonas irregularis*, *Chlamydomonas* sp.sp., содоминантом летнего фитопланктона являлась *Pandorina morum* (pF=12%, DF=6%). В рр. Керженец и Вишня зигнемовые (*Mougeotia* sp.sp.) и десмидиевые (*Cosmarium* sp.sp., *Closterium* sp.sp.) водоросли часто входили в перечень массовых видов. Среди динофлагеллят в реках Керженец и Ветлуга высокую частоту встречаемости и доминирования показали виды родов *Peridinium* и *Gymnodinium* с (pF 46 и 77% первые, DF 23-46% вторые). В составе эдификаторов летних сообществ р. Керженец отмечен инвазийный вид *Unruhadinium kevei* (pF=84%, DF=69%). В р. Ветлуге с 2010-2016 гг. в летний сезон отмечалось массовое развитие diaзотрофных цианопрокариот (*Dolichospermum spiroides* с pF больше 30%, при DF 10%). Гидролого-гидрохимические характеристики способствовали возрастанию в р. Вишне в летних ценозах доли эвгленид, при лидировании диатомей и зеленых водорослей весной и осенью. Таким образом, изученные водные объекты характеризовались разнообразием состава доминирующих видов и полидоминантностью их альгоценозов.

Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона / И.С.Трифонова; отв. ред. И.Н.Николаев. – Л.: Наука, 1990. – 184 с.

Горбулин О.С. Комплексы доминантных форм фитопланктона разнотипных водоемов О.С.Горбулин // Альгология. – 2012. – Т. 22. – № 3. – С. 303–315.

Кулизин П.В. Состав, структура и сукцессия фитопланктона водотоков юга таежной зоны в пределах водосбора Средней Волги: Автореф. дис. канд. биол. наук. – Нижний Новгород, 2023. 25 стр.

## Оценка разнообразия диатомовых водорослей малых рек охраняемых территорий Вьетнама методом метабаркодинга

### Estimation of diatom diversity in small rivers of protected areas in Vietnam using metabarcoding approach

Кулизин П.В.<sup>2</sup>, Подунай Ю.А.<sup>1</sup>, Мартыненко Н.А.<sup>3</sup>, Шкурина Н.А.<sup>4</sup>, Фан Чонг Хуан<sup>5</sup>, Гусев Е.С.<sup>3,5</sup>

<sup>1</sup>Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН, Феодосия

<sup>2</sup>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

<sup>3</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия

<sup>5</sup>Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр, Ханой, Вьетнам

Kulizin P.V.<sup>2</sup>, Podunay Yu.A.<sup>1</sup>, Martynenko N.A.<sup>3</sup>, Shkurina N.A.<sup>4</sup>, Phan Trong Huan<sup>5</sup>, Gusev E.S.<sup>3,5</sup>

<sup>1</sup>T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station, Natural Reserve RAS, Russia

<sup>2</sup>N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>3</sup>A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia

<sup>5</sup>Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Hanoi, Vietnam

Изучены бентосные и эпилитные водоросли 24 малых рек и ручьев Вьетнама пяти провинций (всего 62 образца) в пределах 4-х национальных парков: низинного лесного массива Катъен, среднегорных Контюранг (700-900 м над у.м.) и Хон Ба (отбирали на высотах 300-500 м) и высокогорного Бидуп-Нуйба (1600-2000 м). Также были изучены горные реки провинции Хатинь. Для изучения использовали секвенирование тотальной ДНК (Illumina Nova Seq, 2×250 п.н.), в качестве генетического маркера был выбран регион *rbcL* cpDNA. Биоинформатический анализ проводили в QIIME2 инструментами DADA2. Для классификации использовалась база данных Diat.barcode и GenBank. Операциональные таксономические единицы (ОТЕ) группировались при уровне сходства 97%. ОТЕ с числом чтений менее 5 удалялись. Идентификация таксонов проводилась при пороге сходства 97%. Всего было получено 10 781 904 чтений. В 5-ти провинциях было обнаружено 1051 ОТЕ диатомовых водорослей с преобладанием шовных пеннатных диатомей. Выявлено 176 ОТЕ, которые являлись общими для всех изученных провинций. Среди них массовыми видами были представители родов *Pinnularia*, *Nitzschia*, *Diademsis*, *Cymbella*, *Sellaphora*, *Encyonema*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Achnantheidium* и др. Использование классификатора Diat.barcode и базы данных нуклеотидных последовательностей GenBank позволило идентифицировать 177 организмов до уровня вида и большинство оставшихся до рода. Проведено сравнение состава водотоков низменностей и горных территорий, а также таксономической структуры диатомовых водорослей различных субстратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 20–14–00211  
(<https://rscf.ru/project/20-14-00211/>).

**Разнообразие и перспективы использования микроводорослей и  
цианобактерий**

**Diversity and future of applied using of microalgae and cyanobacteria**

*Куликовский М.С., Кузнецова И.В.*

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

*Kulikovskiy M.S., Kuznetsova I.V.*

*K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia*

В работе рассматриваются современные данные о разнообразии микроводорослей и цианобактерий на видовом и родовом уровнях. Отмечается всплеск описаний новых родов и видов среди диатомовых водорослей и цианобактерий. Обсуждаются основные подходы к описанию новых таксонов, географическое распространение, молекулярные данные. Отдельно рассматривается возможность и будущее использование микроводорослей в прикладных вопросах, куда входят проблема решения голода, получения новых биологически активных добавок и лекарств, углеродная нейтральность, качество воды и экологического мониторинга.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-14-00165 и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (122042700045-3).*

**Систематика, распространение и криптическое разнообразие *Gandhia* Kulikovskiy, Glushchenko, Iurmanov, M. Thacker, V. Karthick & Kociolek (Bacillariophyta)**

**Taxonomy, distribution and cryptic diversity of *Gandhia* Kulikovskiy, Glushchenko, Iurmanov, M. Thacker, V. Karthick & Kociolek (Bacillariophyta)**

*Куликовский М.С., Глущенко А.М., Кузнецова И.В., Юрманов А.А.*  
*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Kuznetsova I.V., Iurmanov A.A.*  
*K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia*

Северо-Восточные штаты Республики Индия остаются относительно малоизученными в вопросах альгофлоры. По этой причине совместно с коллегами из Agharkar Research Institute (г. Пун, Индия) было решено провести анализ собранных ими проб из Водопадов Вадди (14.61160° N, 74.55699° E) в округе Уттара-Каннада штата Карнатака, Индия. Обзор проб, принес первые результаты для систематики диатомовых водорослей. Коллекционные образцы из Agharkar Research Institute обрабатывали с помощью стандартной процедуры, включающей обработку 10% раствором соляной кислоты и концентрированной перекисью водорода. После обработки соляной кислотой образцы промывали деионизированной водой. Постоянные препараты диатомовых водорослей монтировали в Naphrax (Великобритания). Наблюдения под световым микроскопом (LM) проводились с помощью микроскопа Zeiss Axio Scope A1 (Германия), оснащенного масляным иммерсионным объективом (x100/n.a.1.4, DIC). Ультраструктуру исследовали под сканирующим электронным микроскопом JSM-6060A (Япония), работающим при напряжении 10 кВ и расстоянии 11 мм. Для сканирующей электронной микроскопии части суспензий фиксировали на алюминиевых заглушках после сушки на воздухе. Заглушки были покрыты напылением золота толщиной 50 нм в Eiko IB 3 (Япония). В результате, на основе детального морфологического исследования с использованием световой и сканирующей электронной микроскопии нами был описан новый род навикулоидных диатомовых водорослей: *Gandhia* Kulikovskiy, Glushchenko, Iurmanov, M. Thacker, V. Karthick & Kociolek. Род по желанию индийских коллег был назван в честь ботаника Хемендракумара Притхвираджа Ганди (Hemendrakumar Prithivraj Gandhi, 20.08.1920 – 5.06.2008), одного из первых в Индии специалистов по систематике диатомовых водорослей. *Gandhia obtecta* (Jüttner and Cox) Kulikovskiy, Glushchenko, Iurmanov, M. Thacker, V. Karthick and Kociolek ранее был описан как представитель рода *Navicula* Bory s.l. Этот вид отличается от других видов рода *Navicula* s.l. наличием внутренней кремнистой пластинки, покрывающей альвеолы и образующей изображение продольных линий по обе стороны от осевой области, видимое в световом микроскопе. Наличие этой кремнистой пластинки сходно с пластинками таких родов, как *Pinnularia* и *Gomphoneis*. Эта необычная морфологическая структура не типична для *Navicula* sensu stricto, как ранее отмечали другие ученые. Было проведено дополнительное исследование *Gandhia obtecta* и *Gandhia ramosissimoides* (H.P. Gandhi) Kulikovskiy, Glushchenko, M. Thacker, V. Karthick and Kociolek из водоемов Западных Гат и Гималаев. Сравнение с другими видами с такими же морфологическими признаками включало два дополнительных вида рода, а именно: *Gandhia jakovljevicii* (Hustedt) Kulikovskiy, Glushchenko, M. Thacker, V. Karthick, and Kociolek и *Gandhia lucida* (Pantocsek) Kulikovskiy, Glushchenko, M. Thacker, V. Karthick and Kociolek. Новые исследования показывают наличие криптического разнообразия среди представителей этого рода, более широкое распространение видов в Евразии, что будет отдельно обсуждено нами в докладе.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ 24-14-00165).*

**Молекулярное разнообразие диатомовых водорослей (Bacillariophyta)  
водоемов Кабардино-Балкарской республики**  
**Molecular diversity of diatoms (Bacillariophyta) from Kabardino-Balkarian  
Republic**

*Кухарук М.Ю.<sup>1</sup>, Лазарчева П.В.<sup>1</sup>, Кезля Е.М.<sup>2</sup>, Мальцев Е.И.<sup>2</sup>, Глушченко А.М.<sup>2</sup>, Куликовский М.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия.*

<sup>2</sup>*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия.*

*Kukharuk M.J.<sup>1</sup>, Lazarcheva P.V.<sup>1</sup>, Kezlya E.M.<sup>2</sup>, Maltsev Ye.I.<sup>2</sup>, Glushchenko A.M.<sup>2</sup>, Kulikovskiy M.S.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*North-Caucasus federal university, Stavropol, Russia.*

<sup>2</sup>*K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia.*

Кабардино-Балкарская республика находится в центральной части северного макросклона большого Кавказа, на ее территории расположена самая высокая горная вершина России и Европы – Эльбрус. Сведения об альгофлоре данного региона являются отрывочными (Аджиева и др., 2018), а данные о молекулярном разнообразии диатомовых водорослей отсутствуют для территории всего Северного Кавказа.

Материалом для данной работы послужили пробы водорослей с территории Кабардино-Балкарской республики, собранные в 2020 году. Из данных образцов в лаборатории молекулярной систематики водных растений ИФР РАН было получено 169 культур водорослей, которые были использованы для приготовления постоянных препаратов и выделения ДНК.

Постоянные препараты были изготовлены с использованием смолы Naphrax и исследованы под световым микроскопом с использованием DIC (Куликовский и др., 2016). Выделенные образцы ДНК были использованы для проведения ПЦР реакции, для которой были выбраны два наиболее часто используемых в баркодировании диатомовых водорослей маркера – ядерный 18S рРНК V4 (праймеры F-D512 /R-D978rev) и хлоропластный rbcL (праймеры rbcL66+ и rbcL1255- и rbcL404+ для секвенирования) (Kezlya et al. 2023). В результате реакции были получены участки V4 для 129 образцов, rbcL для 94 образцов. Все полученные секвенограммы были обработаны и выровнены на референс и проанализированы с использованием баз данных GenBank и Diat. barcode (Rimet et al. 2019).

В работе впервые изучено молекулярное разнообразие диатомовых водорослей Кабардино-Балкарской республики. Полученные данные позволили обнаружить новые виды для альгофлоры Северного Кавказа, могут быть использованы в дальнейших исследованиях диатомовых водорослей региона.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-14-00165 и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (122042700045-3).*

Аджиева Д.Х., Слонов Т.Л., Слонов Л.Х., Жемухов Д.А. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) водных мест обитания Кабардино-Балкарской республики (Центральный Кавказ) // Вопросы современной альгологии. 2018. №2 (17). URL: <http://algology.ru/1351>

Куликовский М.С. Определитель диатомовых водорослей России / М. С. Куликовский, А. М. Глушченко, С. И. Генкал, И. В. Кузнецова. – Ярославль: Общество с ограниченной ответственностью "Филигрань", 2016. – 804 с. – ISBN 978-5-906682-72-7.

Kezlya, E. Genetic Markers for Metabarcoding of Freshwater Microalgae: Review / E. Kezlya, N. Tseplik, M. Kulikovskiy // Biology. – 2023. – Vol. 12, No. 7. – P. 1038. – DOI 10.3390/biology12071038

## Водоросли в гербарной коллекции РГПУ им. А. И. Герцена (HERZ) Algae in the herbarium collection of the Herzen State Pedagogical University (HERZ)

*Ладьянова Г.С.<sup>1</sup>, Евдокимов А.С.<sup>1</sup>, Горин К.К.<sup>1,2</sup>, Котова А.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,  
Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

*Ladyanova G.S.<sup>1</sup>, Evdokimov A.S.<sup>1</sup>, Gorin K.K.<sup>1,2</sup>, Kotova A.S.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint-Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia*

Гербарная коллекция РГПУ им. А.И. Герцена насчитывает более 30.000 гербарных листов, большая часть из которых представлена семенными растениями (1). Однако коллекция также включает представителей группы водоросли. На момент последней инвентаризации (проводимой в рамках создания цифрового гербария (2, 3)), в гербарных фондах хранится 311 экземпляров водорослей. Для уточнения современного таксономического положения видов использовали базу данных AlgaBase (4).

Всего коллекция водорослей представлена 5 отделами (Heterokontophyta – 117 экземпляров, Rhodophyta – 108 экземпляров, Chlorophyta – 66 экземпляров, Charophyta – 16 экземпляров, Cyanobacteria – 4 экземпляра), включающие в себя 8 классов и 24 порядка. Наиболее многочисленными являются следующие порядки: Ceramiales – 53 экземпляра, Cladophorales – 40 экземпляров, Desmarestiales – 36 экземпляров, Fucales – 35 экземпляров.

Большинство гербарных образцов было собрано на побережьях Кольского полуострова (Белое и Баренцево моря) – 117 экземпляров. Вторым по многочисленности является Крымский полуостров – 56 экземпляров. Другие точки сбора включают до 10 экземпляров; наиболее интересные из которых: Лазурный берег (Франция) – 8 экземпляров, Неаполь (Италия) – 1 экземпляр, Александрия (Египет) – 1 экземпляр, Мыс Игольный (ЮАР) – 1 экземпляр. Наиболее старый экземпляр датируется 1832 годом. Всего до 1917 года насчитывается 75 гербарных листов. Последнее пополнение коллекции производилось в 2021 году, в ходе дальнейшей практики студентов в Карадагский заповедник (Республика Крым).

Коллекция водорослей РГПУ им. А.И. Герцена, несмотря на скромные размеры, является уникальным собранием экземпляров из разных уголков нашей планеты. А более чем вековая история делает эту коллекцию важной, в том числе, для изучения развития альгологии как науки в нашей стране.

Трофимова А.С., Ганжур А.В., Евдокимов А.С. Голосеменные (Pinophyta) в Комаровской исторической коллекции Гербария РГПУ им. А.И. Герцена (HERZ) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2023. – № 242. – С. 155-166.

Евдокимов А. С. Гербарные коллекции РГПУ им. А. И. Герцена (HERZ) // Ботанические коллекции Беларуси: сохранность, использование и перспективы развития гербариев: материалы II Международной научно-практической конференции - Минск, 20-23 сентября 2022 г. /ред. кол. В. И. Парфенов и др. – Минск, 2022. – С 27-29.

M.D. Guiry in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 17 February 2020. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 27 May 2024

## Элементы автотрофной микробиоты озера Большой Виллой (Восточная Камчатка)

### Elements of autotrophic microbiota of Bolshoy Vilyui Lake (Eastern Kamchatka)

*Лепская Е.В.<sup>1</sup>, Медведева Л.А.<sup>2</sup>, Никулина Т.В.<sup>2</sup>, Орлова Т.Ю.<sup>3</sup>, Эльчапаров В.Г.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия*

<sup>2</sup>*ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия*

<sup>3</sup>*Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия*

*Lepskaya E.V.<sup>1</sup>, Medvedeva L.A.<sup>2</sup>, Nikulina T.V.<sup>2</sup>, Orlova T.Yu.<sup>3</sup>, Elchaparov V.G.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia*

<sup>2</sup>*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia*

<sup>3</sup>*National Scientific Center of Marine Biology FEB RAS, Vladivostok, Russia*

Озеро Большой Виллой, один из эстуарных водоемов р. Большой Виллой, находится на восточном (Тихоокеанском) побережье Камчатки. Это меромиктический водоем (Краснова, 2021), площадью 4,3 км<sup>2</sup>, со средней глубиной – 3 м (в летнюю межень – 2,9 м) и максимальной глубиной – 7 м (Горин, 2013). Донные отложения в глубоководной части озера представлены водонасыщенными черными илами с сильным запахом сероводорода. Почти все дно эстуария (кроме его наиболее глубоководной части) покрыто зарослями zostеры. На дне оз. Большой Виллой предполагается наличие термальных источников. Разнообразие гидрологических условий в оз. Большой Виллой (Горин, 2013) предполагает наличие значительного биоразнообразия водной микрофлоры, которая может представлять собой причудливую смесь типично пресноводных, солоноватоводных и морских водорослей. Однако эта сторона озерной биоты в настоящее время практически не изучена.

В литературе описано «цветение» воды 18–19 июля 2000 г. в удаленной от моря части озера предположительно пурпурными бактериями, окисляющими сероводород, которые окрашивали воду в «кровавый» цвет (Введенская, Лепская, 2001). В небольшой заводи у северо-западной оконечности озера 11 и 28 июля 2022 г. наблюдали воду багряного цвета. При микроскопировании отобранного материала было выявлено, что в планктоне окрашенные организмы отсутствуют, но органические остатки (ветки, фрагменты zostеры), а также нитчатые формы цианобактерий были густо заселены эпифитами. На трихомах *Lyngbya aestuarii* (Mertens) Liebman ex Gomont были найдены колонии из плотно прилегающих клеток цианобактерии *Xenococcus* sp., которые имели пурпурную окраску. Виды рода *Xenococcus* образуют небольшие прикрепленные колонии, состоящие из клеток округлой, яйцевидной или неправильной формы, покрытые тонкой слизистой оболочкой.

В альгофлоре озера выявлены 97 видов, разновидностей и форм цианобактерий и диатомовых водорослей. К доминантам отнесены *Lyngbya aestuarii*, *Tabularia fasciculata* (C. Agardh) Williams et Round, *Melosira lineata* (Dillwyn) C. Agardh, *M. moniliformis* (O. Müller) C. Agardh, *Cocconeis scutellum* Ehrenberg, *Craticula halophila* (Grunow) D.G. Mann.

Введенская Т.Л., Лепская Е.В. 2021. «Цветение» пурпурных бактерий в оз. Большой Виллой // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Петропавловск-Камчатский: Камшат. С. 41–43.

Горин С.Л. 2013. Гидролого-морфологические процессы в эстуарии реки Большой Виллой (восточное побережье Камчатки) // Водные ресурсы. 40(1). С. 3–18.

Краснова Е.Д. 2021. Экология меромиктических озер России. 1. Прибрежные морские водоемы // Водные ресурсы. 48(3). С. 322–333.

## **Микромир водных экосистем: Новые методы – новые знания**

### **Microworld of aquatic ecosystems: New methods – new knowledge**

*Лихошвай Е.В.*

*Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия*

*Likhoshway Ye.V.*

*Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia*

В обзоре показана роль сочетания разных методов исследований в получении новых знаний о микроскопических водных организмах. Развитие и внедрение в практику исследований различных методов микроскопии и высокопроизводительного секвенирования (ВПС) существенно расширило представление о мире микроскопических обитателей и структурно-функциональной организации водных экосистем в целом.

Именно трансмиссионная электронная микроскопия (ТЭМ) позволила открыть мир водных экосистем и установить его участие в структурно-функциональной организации водоемов, а ВПС позволило определить структуру виroma в Мировом океане. Огромное разнообразие и новые филумы бактерий открыты с помощью ВПС. На основе анализа геномов диатомовых водорослей и других организмов открыты новые в природе семейства белков.

В исследовании микроводорослей ключевыми являются методы микроскопии. Применение метода сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) позволяет выявлять детали строения панцирей и описывать новые таксоны диатомовых водорослей. На основе сочетания микроскопии и молекулярно-биологических методов построена современная систематика микроводорослей. ТЭМ дополняет СЭМ при анализе разнообразия и биогеографии широкого круга кремний-зависимых микроэукариот.

Метабаркодирование (ВПС ампликонных библиотек фрагментов генов 16S и 18S р РНК в суммарной ДНК из пробы воды) выявляет таксономическую структуру сообществ про- и эукариот, а применение статистических методов анализа устанавливает корреляционные связи между таксонами и тренды в динамике сообществ в зависимости от сезона и/или факторов среды обитания.

При анализе динамичных экосистем, таких как озеро-река-водохранилище сочетание методов СЭМ, ТЭМ и метабаркодирования открывает возможность установить «наследуемость» таксономического состава сообществ микроводорослей реки из озера, степень обогащается видами микроводорослей по мере ее течения и впадения притоков, определить часть видов, которые сохраняются в водохранилищах, и оценить, какие изменения структуры сообществ происходят по ходу течения с изменением параметров среды обитания и по сезонам. Полученные нами данные по водохранилищам Ангарского каскада послужат для создания методологической основы мониторинга микроэукариот в пресноводных экосистемах в перспективе их возможных изменений.

Для понимания метаболической активности диатомовых водорослей перспективно применение прижизненных флуоресцентных красителей, в результате которого можно установить, какая часть клеток в популяции активна в плане ассимиляции Si, а использование метода ПЦР в реальном времени – определить уровень экспрессии целевых генов на разных стадиях развития культуры или в природной популяции на разной стадии развития и/или под влиянием факторов среды, в том числе стрессовых.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14-00028, <https://rscf.ru/project/23-14-00028/>.*

## Диазотрофные цианобактерии, ассоциированные с перистыми мхами

### Diazotrophic cyanobacteria associated with feather mosses

Лобакова Е.С., Шибзухова К.А., Бутаева Г.Б., Зайцева А.А., Горелова О.А.  
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Lobakova E.S., Shibzukhova K.A., Butayeva G.B., Zaytseva A.A., Gorelova O.A.  
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Исследованы побеги листостебельного мха *Hylocomium splendens*, произрастающего в двух районах Карельского берега Кандалакшского залива Белого моря: на открытом скалистом выступе стены выработанного карьера мрамора (КМ) (Нильма губа) и в хвойном лесу в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ (ОБ) (Ругозерская губа). Проведен сравнительный анализ разнообразия цианобактерий (Цб) на побегах мха, собранных в июле 2022 и 2023 годов. Изучение локализации Цб проводили на нативных и фиксированных образцах побегов с применением световой светлополюсной и люминесцентной микроскопии, а также сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Погодные условия лета 2022 и 2023 год существенно различались: летние месяцы 2023 года были более прохладными и засушливыми. Только в местах постоянного присутствия стоков пресной воды в ОБ и в тени в КМ наблюдались активно вегетирующие побеги мха с признаками присутствия Цб. Обилие и разнообразие морфотипов Цб зависело от влажности. Обнаружены веретеновидные и сферические кластеры мелкоклеточных трихомов с гетероцитами (вегетативные клетки (ВК)  $3.1 \pm 0.3 \times 3.4 \pm 0.6$  мкм, гетероцисты (Гц)  $3.1 \pm 0.3 \times 2.8 \pm 0.4$  мкм), мелкоклеточные одиночные трихомы с Гц и без них, а также крупноклеточные (ВК и Гц  $10.2 \pm 0.3 \times 8.3 \pm 0.2$  мкм) трихомы часто с диплетными Гц.

На внутренней поверхности верхних листьев побегов мха, собранных на КМ в 2022 и 2023 годах, преобладали удлинённые веретеновидные кластеры Цб. Каждый такой кластер представлял собой изогнутый или плотно скрученный поперек оси кластера одиночный трихом в слизистом чехле с концевыми Гц, выступающими за пределы чехла. Кластеры достигали 18.6–55.1 мкм в длину и 2.7–7.2 мкм в ширину. Одиночные веретеновидные кластеры иногда были собраны в филамент, в котором они соединялись между собой Гц. Отдельные трихомы Цб выявлялись и на стеблевых нитевидных выростах - парафиллиях. На поверхности листьев и парафиллий побегов, собранных в ОБ, особенно в 2023 году, были более обильны сферические кластеры Цб диаметром 9–47 мкм. Такие кластеры включали несколько скрученных трихомов Цб, состоящих из ВК и Гц, погруженных в прозрачный слизистый матрикс. Методом ПЭМ ультратонких срезов сферических кластеров в трихомах Цб помимо типичных ВК и Гц обнаружены формы с редуцированной клеточной стенкой (протопласты и сферопласты); редкие ВК с формирующимися в не параллельных плоскостях септами; ВК с 1–3 комплексами дугообразных пластин со структурно связанными под прямым углом протяженными микротрубочками (или филаментами) в сайте деления.

Профилирование состава Цб, обнаруженных на побегах мха, проводили методом ДНК метабаркодинга по гипервариабельному участку V4 гена 16S рРНК. Во всех изученных образцах обнаружены чтения, отнесенные к филуму Cyanobacteria. В образцах ОБ обнаружены чтения, относящиеся к сем. Nostocaceae, а в образцах побегов мха КМ – чтения относящиеся к Цб родов *Nostoc*, *Phormidium* и *Scytonema*. Среди доминирующих во всех образцах отмечено значительное количество чтений ASV, идентифицированного как *Nostoc* PSS 731023.

*Исследования проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 23-74-00037).*

# Эффективность ассимиляции CO<sub>2</sub> и накопление органического углерода в микроводорослях при различных режимах культивирования

## Efficiency of CO<sub>2</sub> assimilation and accumulation of organic carbon in microalgae under different cultivation regimes

*Лобус Н.В., Габриелян Д.А., Синетова М.А., Куликовский М.С.*  
*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*Lobus N.V., Gabrielyan D.A., Sinetova M.A., Kulikovskiy M.S.*  
*Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia*

В настоящее время одним из ключевых направлений технологического развития в мире является разработка «зеленых» технологий, которые позволяют обеспечить необходимый уровень экономического роста без создания дополнительных экологических рисков для окружающей среды. Среди обширного спектра живых организмов, используемых в этих целях, микроводоросли являются наиболее популярным и перспективным объектом исследований, поскольку они находят широкое применение в разных отраслях народного хозяйства (Lobus, 2022).

В ходе исследований была изучена эффективность ассимиляции CO<sub>2</sub> и интенсивность накопления органического углерода у двух новых для науки штаммов микроводорослей *Desmodesmus armatus* (штамм ARC06) и *Tribonema minus* (штамм ARC10), выращенных при низком (400 ppm) и высоком (~1.5% объёмная доля) содержании CO<sub>2</sub> в газовой смеси. Для экспериментов клетки *D. armatus* и *T. minus* предварительно культивировали в течение 10–14 дней в колбах Эрленмейера на 300 мл со 100 мл модифицированной среды Болда (BBM). Средняя освещенность была 50 мкмоль фотонов м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup> и состояла из тепло-белых светодиодов (LED). Далее аликвоту 50 мл переносили в новые стеклянные колбы с 250 мл среды Болда. Дальнейшее культивирование осуществляли в течении 9 суток при 30±0.6°C и непрерывном освещении 150 мкмоль фотонов м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>. Использовали белые, синие и красные светодиоды. Для каждого штамма культивирование осуществлялось в двух CO<sub>2</sub>-режимах (I и II). Аэрацию проводили путем барботирования среды стерильной газовой смесью (ГВС), содержащей атмосферный воздух с естественной концентрацией CO<sub>2</sub> (400 ppm) в I варианте и ~1.5% CO<sub>2</sub> в варианте II. Расход ГВС составлял ~2 л мин<sup>-1</sup>. Концентрации CO<sub>2</sub> в ГВС определяются газоанализатором ПКУ-4 НМТ. Определение органического углерода (ОУ) в сухой биомассе микроводорослей осуществлялось на анализаторе Shimadzu Europe TOC 5000-V-CPH методом высокотемпературного сжигания (+900°C) с использованием приставки SSM-5000A. Определение ОУ осуществляли на 3, 6 и 9 сутки эксперимента.

Для штамма *D. armatus* в варианте с низким и высоким содержанием CO<sub>2</sub> средняя биомасса в конце эксперимента была 2.72 и 4.47 г, а средняя скорость роста за весь период эксперимента составляла 0.29 и 0.49 мг л<sup>-1</sup> в день, соответственно. Для штамма *T. minus* величины существенно отличались. На 9 сутки эксперимента для вариантов I и II продуктивность штамма составила 1.83 и 6.81 г сухой биомассы. При этом средняя скорость роста культуры была 0.19 и 0.75 мг л<sup>-1</sup> в день, соответственно. В обоих вариантах эксперимента количество ОУ, аккумулированного в сухой биомассе штамма *D. armatus*, было одинаковым и составляло 51.5% сухой биомассы. Для штамма *T. minus* различия были более выражены. Доля ОУ в варианте I составила 48.6%, а в варианте II 52.4% сухой биомассы микроводорослей. На основе полученных данных для двух новых для науки штаммов микроводорослей рассчитаны величины эффективности ассимиляции CO<sub>2</sub> из ГВС.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда*  
*(№ 24-14-00165).*

Lobus N.V. Biogeochemical Role of Algae in Aquatic Ecosystems: Basic Research and Applied Biotechnology // J. of Marine Science and Engineering. 2022. V. 10 (12). 1846.

## Способность микроводорослей и дрожжей к росту на средах с высокими концентрациям сахарной мелассы

### The capability of microalgae and yeast of growth in the media harboring high concentrations of sugar molasse

Лукьянов А.А.<sup>1</sup>, Федоренко Т.А.<sup>1</sup>, Дольникова Г.А.<sup>1</sup>, Скрипникова Е.В.<sup>2</sup>, Лобакова Е.С.<sup>1</sup>,  
Соловченко А.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

Lukyanov A.A.<sup>1</sup>, Fedorenko T.A.<sup>1</sup>, Dolnikova G.A.<sup>1</sup>, Skripnikova E.V.<sup>2</sup>, Lobakova E.S.<sup>1</sup>, Solovchenko A.E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Belgiorod State University, Belgorod, Russia

Сахарная меласса — один из основных отходов производства сахара из тростника или сахарной свёклы. Характерными особенностями химического состава мелассы являются высокая (порядка 20% по массе) остаточная концентрация низкомолекулярных углеводов, а также присутствие темных соединений сложной химической структуры — меланоидинов, образующихся в результате поликонденсации сахаров и фенольных соединений. Некоторое количество сахарной мелассы используется в качестве кормовых добавок и сырья для спиртовых производств, но в целом меласса, особенно свекловичная, с трудом поддаётся переработке. При этом ежегодно образуются сотни тысяч тонн таких отходов. В литературе описаны многочисленные попытки использования мелассы для получения биомассы, богатой белком и (или) другими полезными веществами путем выращивания на ней дрожжей и (или) одноклеточных водорослей (микроводорослей), но для этого приходилось сильно (в десятки и сотни раз) предварительно разбавлять мелассу. Также отмечали сильный ингибирующий эффект мелассы на культуры микроводорослей.

Для поиска альтернативного подхода к биологической переработке мелассы в богатую белком биомассу исследовали особенности со-культивирования дрожжей *Saccaromyces cerevisiae* и одноклеточных водорослей *Desmodesmus* sp. в растворах сахарной мелассы различной концентрации (кратности разведения). Установлено, что для эффективного роста микроводорослей мелассу, содержащей около 20% углеводов и оптически непрозрачную в видимом диапазоне спектра, необходимо разводить минимум 16-кратно (что меньше разведения, описанного в литературных источниках). По предварительным данным, меласса не оказывала острого токсического действия на клетки исследованных микроводорослей. Рост последних лимитировался, скорее, доступностью световой энергии и элементов минерального питания (биодоступного азота и фосфора). Дополнительная утилизация углеводов из мелассы возможна при последовательной инокуляции мелассы культурой дрожжей (0–7 сут.) и культурой микроводорослей (7–14 сут.).

Полученные результаты свидетельствуют, что наиболее эффективная утилизация компонентов мелассы возможна при культивировании в них микроводорослей, по-видимому, благодаря более эффективной деструкции меланоидинов кислородом, выделяемым при фотосинтезе. Преимущество со-культивирования микроводорослей и дрожжей — получение биомассы с высоким содержанием белка, а также витаминов, антиоксидантов (каротиноидов) и длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант 21-74-20004).

## Микроводоросли и цианобактерии: биологические эффекты на соматические клетки животных, антимикробный потенциал

### Microalgae and Cyanobacteria: biological effects on animal somatic cells and antibacterial capability

*Лыков А.П.<sup>1</sup>, Геворгиз Р.Г.<sup>2</sup>, Железнова С.Н.<sup>2</sup>, Уваров И.П.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>НИИКЭЛ - филиал ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

<sup>3</sup>Кольцовская ветеринарная клиника. Новосибирск, Россия

*Lykov A.P.<sup>1</sup>, Gevorgiz R.G.<sup>2</sup>, Zheleznova S.N.<sup>2</sup>, Uvarov I.P.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Research Institute of Clinical and Experimental Lymphology - filial of the Institute Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia;

<sup>2</sup>A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Sevastopol, Russia;

<sup>3</sup>Koltsovskaya Veterinary Clinic, Koltsovo, Russia

Микроводоросли и цианобактерии синтезируют биологически активные соединения, такие как антибиотики, гепатотоксичные и нейротоксичные соединения и ферменты. Пигменты микроводорослей и цианобактерий, такие как хлорофиллы и каротиноиды, также оказывают положительное влияние на здоровье человека, обеспечивая быстрый рост и восстановление клеток, предотвращают рак, сердечные заболевания, неврологические расстройства и болезни глаз (Khavari et al., 2021). Однако из обилия микроводорослей и цианобактерий, только единичные представители были одобрены к использованию у человека и животных. Цель исследования - изучить биологические эффекты экстрактов микроводорослей и цианобактерий различных таксонов и ареалов обитания на соматические клетки животных. Элюирование биологически активных соединений (БАС) из зеленых микроводорослей (*C. vulgaris*, *Coelastrella* sp., *Tetraselmis (Platymonas) viridis*), цианобактерий (*A. platensis*, *L. cf. ectocarpus*, *P. agardhii*, *R. mixta* sp. nov.), диатомей (*C. closteriumn*, *N. shiloi*), красных микроводорослей (*P. purpureum*) проводили в 1% растворе ДМСО или растительном масле или этиловом спирте при 37°C. Оценивали влияние приема гранулированной пищи пропитанной масляным экстрактом БАС микроводорослей и цианобактерий, спиртового или масляного экстракта фукоксантина на биохимические параметры крови, цитокины. Кроме этого, оценивали эффекты ДМСО экстрактов БАС микроводорослей и цианобактерий на соматические клетки, а также антимикробный потенциал *in vitro*. Отмечено влияние масляных экстрактов БАС микроводорослей и цианобактерий на уровень белков, жиров, половых гормонов в сыворотке крови мышей. Показано, что БАС микроводорослей и цианобактерий у мышей, способны менять уровень продукции про- и противовоспалительных цитокинов как на уровне целостного организма (сыворотка крови), так и в отдельных органах (печень, почки). Помимо этого, выявлено что БАС микроводорослей и цианобактерий влияют на функциональные свойства лимфоцитов, моноцитов (жизнеспособность, продукция цитокинов), проявляют антимикробный потенциал против грамположительных и грамотрицательных бактерий и микобактерий. Внутривенное введение спиртового или масляного экстракта фукоксантина вызывает изменения уровня альбумина, мочевой кислоты, креатинина, холестерина, липопротеинов низкой и высокой плотности, печеночных трансаминаз, интерлейкинов в сыворотке крови мышей. Таким образом, микроводоросли и цианобактерии различных таксонов и ареалов обитания проявляют свое влияние на процессы метаболизма на уровне целостного организма и обладают антимикробным потенциалом.

Khavari F, Saidijam M, Taheri M, Nouri F. Microalgae: therapeutic potentials and applications. Mol Biol Rep. 2021 May;48(5):4757-4765. doi: 10.1007/s11033-021-06422-w.

## Биотехнологические аспекты утилизации полисахаридов отходов переработки ламинарий в Арктической зоне РФ

### Biotechnological aspects of utilisation of algal waste polysaccharides in the Arctic Russia

*Майорова К.А., Аксёнов А.С., Паршина А.Е., Поломарчук Д.А., Боголицын К.Г.*  
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск,  
Россия

*Mayorova K.A., Aksenov A.S., Parshina A.E., Polomarchuk D.A., Bogolitsyn K.G.*  
Northern (Arctic) federal university named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

При промышленной экстракции пигментов, липидов, витаминов, альгиновых кислот, полифенолов и других биологически-активных компонентов в процессе производства фармацевтической, косметологической и пищевой продукции из бурой водоросли *Laminaria digitata* образуются богатые целлюлозой отходы. Решениями вопроса рационального использования данного ресурса является сокращение выработки отходов за счет увеличения глубины экстракции или разработка метода утилизации с получением новых продуктов. Второй, биотехнологический, подход заключается в ферментативной конверсии полисахаридов в, преимущественно, глюкозу с последующей микробной ферментацией с получением спирта, органических и аминокислот и других промышленно ценных субстанций. Однако, присутствуют сложности выбора не только микроба-продуцента, но и ферментов для проведения ключевого этапа осахаривания. Для гидролиза растительных полисахаридов в современной практике успешно применяются грибные карбогидразы, которые имеют перспективу к конверсии водорослей в форму, доступную к утилизации микробом – продуцентом органической кислоты. Таким образом, целью работы является получение ферментативных гидролизатов *L. digitata* и оценка возможности их микробной конверсии

В качестве субстрата использовали целлюлозную фракцию *L. digitata*, полученный согласно схеме (Паршина и др., 2020), являющейся прототипом промышленной экстракции бурых водорослей, и дополнительной обработкой раствором 1М NaOH при 60 °С в течение 1 часа. Для гидролиза использовали комбинацию из грибных 1,3(4)-β-глюканаз *Penicillium verruculosum* и *Myceliophthora thermophila* с выраженными эндоглюканазной, целлюбогидролазной, ламинариназной и β-глюкозидазной активностями. Ферментативный гидролиз проводили при концентрации субстрата 7,5% по абсолютно сухому веществу, в термостатируемых ячейках es-20/60 (Biosan, Латвия) с постоянным перемешиванием 150 об./мин при 50 °С и pH 5,0. Эффективность гидролиза оценивали по уровню накопления глюкозы, концентрацию которой измеряли глюкозооксидазным методом. В качестве продуцента органической кислоты использовали препарат *Bacillus coagulans* ВКПМ № В-10486 ГосНИИГенетика. В ходе 48 часов гидролиза получили раствор ферментируемых сахаров с преобладанием глюкозы на уровне 45 г/л, который далее разбавляли до концентрации 10 г/л, обогащали дрожжевым экстрактом (5 г/л), пептоном (15 г/л), NaCl (5 г/л), с помощью 0.1н NaOH доводили pH до 6,0. Культивирование проводили в течение 48 ч при 30 °С с предкультивированием на среде L 24 часа в тех же условиях. В результате культивирования *B. coagulans* отметили активное накопление биомассы клеток и снижение содержания глюкозы в среде на более чем 60% за 48 часов, что свидетельствует о начале синтеза целевого продукта. Наличие органической (молочной) кислоты в среде подтвердили качественной реакцией с фенолятом железа.

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность культивирования продуцента органической кислоты *B. coagulans* на глюкозе, полученной ферментативным гидролизом богатых целлюлозой отходов химической экстракции бурой арктической водоросли *L. digitata*.

Боголицын, К. Г., Паршина, А. Э., Дружинина, А. С., Шульгина, Е. В. Сравнительная характеристика химического состава некоторых представителей бурых водорослей Белого и Желтого морей. // Химия растительного сырья. 2020. №3. С. 35-46.

## Сезонная изменчивость фитопланктона крупного мелководного озера Воже (Вологодская область) в 2016–2023 гг.

### Seasonal variability of phytoplankton of large shallow Vozhe Lake (Vologda Region) in 2016-2023

Макарёноква Н.Н.

Вологодский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ВологодНИРО»), Вологда, Россия

Makarenkova N.N.

Vologda Branch of FSBSI «VNIRO» («VologodNIRO»), Vologda, Russia

Крупное (418 км<sup>2</sup>) мелководное (средняя глубина 1,4 м) зарастающее оз. Воже располагается на севере Вологодской области. Водоем имеет важное рыбохозяйственное значение. Сезонные особенности фитопланктона оз. Воже были проанализированы по материалу, собранному в течение 2016–2023 гг. (март, май, август, октябрь).

Подледный фитопланктон оз. Воже характеризовался преобладанием диатомовых и зеленых водорослей. Часто встречались *Komma caudata* (Geitl.) Hill, *Aulacoseira islandica* (O.Müll.) Sim., *A. ambigua* (Grun.) Sim., *Cryptomonas pyrenoidifera* Geitl. На количественные параметры фитопланктона влияли диатомовые, криптофитовые, зеленые водоросли и цианобактерии. Средняя биомасса фитопланктона равнялась  $0,7 \pm 0,24$  г/м<sup>3</sup>, численность –  $1,5 \pm 0,33$  млн кл./л. К числу доминантов относились *Aulacoseira islandica*, *Komma caudata*, *Planktolyngbya contorta* (Lemm.) Anagn. & Kom., *P. limnetica* (Lemm.) Kom.-Legn. & Cronb.

В мае таксономический состав фитопланктона определяли также диатомовые и зеленые водоросли, им сопутствовали цианобактерии, в меньшей степени присутствовали другие отделы. В сообществе были широко распространены *Aulacoseira ambigua*, *Fragilaria* sp., *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz., *Melosira varians* Ag., *Nitzschia* sp., *Ulnaria acus* (Kütz.) Aboal, *U. ulna* (Nitzsch) Compère, *Komma caudata*. Биомасса водорослей в среднем составляла в этот период  $2,6 \pm 0,34$  г/м<sup>3</sup> при численности  $10,4 \pm 2,25$  млн кл./л. Большая часть биомассы была сформирована диатомовыми водорослями, численность – диатомовыми и цианобактериями. Доминировали *Aphanocapsa* sp., *A. holsatica* (Lemm.) Cronb. & Kom., *Aulacoseira ambigua*, *Fragilaria* sp.

Во второй половине лета фитопланктон оз. Воже был наиболее разнообразен, прежде всего, за счёт диатомовых, зеленых водорослей и цианобактерий, при этом доля последних значительно возросла. В сообществе регулярно отмечались *Aulacoseira ambigua*, *A. italica* (Ehr.) Sim., *Cryptomonas marssonii* Skuja, *Planktolyngbya contorta*, *P. limnetica*, *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz. Величина биомассы фитопланктона равнялась  $6,2 \pm 1,04$  г/м<sup>3</sup>, численность –  $146,6 \pm 32,29$  млн кл./л. Основными доминантами являлись *Aphanocapsa holsatica*, *Asterionella formosa* Hass., *Aulacoseira ambigua*, *Cryptomonas pyrenoidifera*, *Desmodesmus magnus* (Meyen) Tsarenko, *Dolichospermum* sp., *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh., *Planktolyngbya contorta*, *Pseudanabaena limnetica* (Lemm.) Kom., *Tabellaria fenestrata*.

В конце вегетационного периода в фитопланктоне преобладали диатомовые и криптофитовые водоросли, среди которых наиболее распространены были *Aulacoseira ambigua* и *Komma caudata*. Биомасса находилась на уровне  $0,9 \pm 0,23$  г/м<sup>3</sup>, численность –  $4,0 \pm 0,69$  млн кл./л. Большая часть фитопланктона создавалась *A. ambigua*, *Tabellaria fenestrata*, *Fragilaria* sp.

В фитопланктоне крупного рыбопромыслового оз. Воже наибольшее значение имеют диатомовые, зеленые, криптофитовые водоросли и цианобактерии. Основными представителями сообщества являются *Aulacoseira ambigua*, *Fragilaria* sp., *Komma caudata*, *Planktolyngbya contorta*, *Tabellaria fenestrata*. По средневегетационной биомассе фитопланктона оз. Воже ( $3,3 \pm 0,59$  г/м<sup>3</sup>) характеризуется мезотрофными условиями.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 076-00001-24-01.

## **Использование дефицита азота и фосфора для стимуляции накопления липидов у микроводорослей**

### **Using nitrogen and phosphorus deficiency to stimulate lipid accumulation in microalgae**

*Мальцев Е.И.<sup>1</sup>, Куликовский М.С.<sup>1</sup>, Мальцева И.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия*

*Maltsev Y.I.<sup>1</sup>, Kulikovskiy M.S.<sup>1</sup>, Maltseva I.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Melitopol State University, Melitopol, Russia*

Микроводоросли, способные накапливать большое количество липидов в своей биомассе, имеют большое биотехнологическое значение для производства биотоплива, кормов и подкормок для животных и аквакультуры, а также в фармацевтике, косметологии и других отраслях. Высокая стоимость таких производств стимулирует поиск условий выращивания, обеспечивающих их наибольшую продуктивность. Для увеличения содержания липидов и других ценных соединений в биомассе микроводорослей широко используется ограничение азота и фосфора во время выращивания. Однако во многих случаях этот подход не однозначен: часть видов демонстрируют увеличение содержания липидов при азотном голодании, часть – снижение или отсутствие изменений. Несмотря на то, что в данной области ведутся активные работы, потенциал адаптации микроводорослей к питательному голоданию, а в первую очередь – к ограничению азота и фосфора, все еще малоизвестен. Кроме того, практически отсутствуют данные, касающиеся влияния ступенчатого изменения концентрации азота и фосфора в питательных средах как на содержание ценных биопродуктов у штаммов разных видов водорослей, так и штаммов одного вида, имеющих разное происхождение. При этом достижение правильного баланса между оптимальным ростом, максимальным содержанием липидов и продуктивностью является основной целью многих экспериментальных работ по обеспечению экономически эффективного использования биомассы микроводорослей.

Для оценки влияния изменения концентраций азота и фосфора в питательных средах на содержание липидов были проанализированы результаты 301 эксперимента по выращиванию в условиях пищевого стресса водорослей из разных таксономических групп (цианобактерии, гаптофитовые, динофитовые, зеленые, красные и охрофитовые водоросли), при этом также учитывалось соотношение азот:фосфор, время проведения опыта, интенсивность света при культивировании и экологические условия выделения штаммов. Установлено, что изменение содержания и продуктивности липидов у микроводорослей связано как с количеством азота и фосфора, так и с их соотношением, а также с интенсивностью света и временем культивирования. Использование метода главных компонент показало, что сила взаимосвязи между содержанием и продуктивностью липидов у микроводорослей, количеством азота и фосфора, их соотношением, интенсивностью света и временем культивирования для микроводорослей разных таксономических и экологических групп разная и отражает специфику их метаболических стратегий в ответ на изменение условий культивирования (Maltsev et al., 2023). При этом при депривации азота и фосфора часть видов и штаммов цианобактерий, гаптофитовых, динофитовых, зеленых, красных и охрофитовых водорослей демонстрируют увеличение содержания и продуктивности липидов, часть – снижение или отсутствие изменений.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-74-10081).*

Maltsev Y., Kulikovskiy M., Maltseva S. Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae // *Microbial Cell Factories*. 2023. V. 22. P. 239.

## Биохимическая и антиоксидантная характеристика *Chlorococcum oleofaciens* в условиях питательного стресса

### Biochemical and antioxidant characteristics of *Chlorococcum oleofaciens* under nutritional stress

*Мальцева И.А.*<sup>1</sup>, *Черкашина С.В.*<sup>1</sup>, *Мальцев Е.И.*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия*

<sup>2</sup>*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*Maltseva I.A.*<sup>1</sup>, *Cherkashina S.V.*<sup>1</sup>, *Maltsev Y.I.*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Melitopol State University, Melitopol, Russia*

<sup>2</sup>*K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia*

*Chlorococcum oleofaciens* Trainor & H.C. Bold. – хорошо известный вид из водных и почвенных биотопов (Ettl and Gärtner, 1995). Он способен накапливать в значительных количествах липиды и считается перспективным биотехнологическим объектом (Islami and Assareh, 2020). Хорошо известным приёмом для стимуляции накопления биотехнологически ценных соединений водорослями является ограничение доступности азота и фосфора при культивировании (Maltsev et al., 2023). Стресс изменяет окислительно-восстановительный потенциал клеток, поэтому при его использовании его как инструмента активизации биосинтеза важно отслеживать изменения в системе антиоксидантной защиты водорослей.

Целью работы было установить содержания общих липидов, белков и пигментов у нового штамма *Cc. oleofaciens* CAMU MZ–Ch4 и характеризовать его антиоксидантный статус в условиях питательного стресса. Для этого изучали активность каталазы, супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы, сукцинатдегидрогеназы, определяли изменение содержания вторичных продуктов распада липидов (ТБК-активных продуктов). Различные концентрации азота и фосфора и их соотношение создавали на основе среды ВВМ.

Установлено, что максимальное количество сухой биомассы (СВ) было при концентрации 0,0413 г/л общего азота и 0,0520 г/л общего фосфора, что соответствует стандартной среде ВВМ. При концентрации азота и фосфора 0,00026 г СВ/л и 0,00020 г СВ/л соответственно, водоросль сохраняла способность к росту, но плотность биомассы была минимальной – 0,09 г СВ/л. Максимальная продуктивность биомассы достигала 0,11 г СВ/л/день, а поглощение CO<sub>2</sub> – до 0,375 г/л/день. Значительное влияние на накопление биомассы оказывало не только количество азота и фосфора, но и их соотношение. При N:P 1,79:1 в биомассе штамма было 9,20 % липидов и 5,68 % белков, а при соотношении N:P 12,80:1 – 13,30 % и 10,13 % соответственно. В целом уменьшение содержания азота и фосфора в питательной среде сопровождалось уменьшением содержанием липидов, белков, пигментов. Рост в обедненных на азот и фосфор питательных средах сопровождался увеличением активности каталазы, супероксиддисмутазы. Изменение активности других ферментов и содержание ТБК-активных продуктов не демонстрировало прямолинейную зависимость от содержания азота и фосфора.

*Публикация основана на исследованиях, выполненных в рамках темы FRRS-2024-0003 (124040100028-6).*

Ettl H., Gärtner G. Syllabus der Boden-, Luft und Flechtenalgen. – Stuttgart-Jena-New York: G. Fischer, 1995. – 721 s.

Islami H.R., Assareh R. Enhancement effects of ferric ion concentrations on growth and lipid characteristics of freshwater microalga *Chlorococcum oleofaciens* KF584224.1 for biodiesel production // Renew. Energy. 2020. V.149, N. 1. P. 264-272.

Maltsev Y., Kulikovskiy M., Maltseva S. Nitrogen and phosphorus stress as a tool to induce lipid production in microalgae // Microb. Cell Fact. 2023. N. 22. 239.

## Особенности состава жирных кислот штаммов *Coccomyxa* (*Trebouxiophyceae*)

### Fatty acid profiles of *Coccomyxa* (*Trebouxiophyceae*) strains

*Мальцева С.Ю., Миннуллин Д.Д., Кезля Е.М., Кривова З.В., Куликовский М.С., Мальцев Е.И.*  
*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*Maltseva S.Y., Minnullin D.D., Kezlya E.M., Krivova Z.V., Kulikovskiy M.S., Maltsev Y.I.*  
*K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia*

Виды зеленых водорослей из рода *Coccomyxa* Schmidle имеют широкие возможности биотехнологического использования благодаря высокой скорости роста; способности образовывать липидные капли на ранней стационарной фазе роста и сохранять их в течении 50 дней культивирования; концентрации омега-3 полиненасыщенных жирных кислот в диапазоне 56,4–68,0% от общего количества жирных кислот (Maltsev et al., 2019). Принимая во внимание данные аргументы, исследования, направленные на поиск новых штаммов *Coccomyxa*, способных синтезировать большие количества омега-3 жирных кислот, а также работы по оптимизации подходов их культивирования имеют высокую научную значимость и актуальность.

Из почвенных горизонтов тропических лесных экосистем Вьетнама было выделено 5 новых штаммов *Coccomyxa* (VP336, VP339, VP451, VP449 и VP521). Их таксономическая идентификация осуществлялась с помощью морфологических и молекулярно-генетических методов. Анализ биомассы данных штаммов на стационарной фазе роста показал преобладание полиненасыщенных жирных кислот в общем спектре, в частности линолевой 18:2n-6 (в пределах 4,5–21,7%) и  $\alpha$ -линоленовой 18:3n-3 (26,8–47,0%) кислот. Наибольшее содержание полиненасыщенных жирных кислот (75,1%) наблюдалось у штамма *Coccomyxa* VP339. Кроме того, штаммы VP336, VP521 и VP449 накапливали в биомассе большое количество насыщенной пальмитиновой 16:0 (22,0–31,2%) и мононенасыщенной ругановой 16:3n-3 (7,7–16,1%) кислот. Небольшие количества мононенасыщенных гексадеценновой 16:1n-9 (<0,7%) и пальмитолеиновой 16:1n-7 (<3,2%) кислот были обнаружены у всех штаммов, тогда как у VP336, VP521 VP449 также идентифицирована длинноцепочечная арахидоновая 20:4n-6 кислота ( $\leq 1,9\%$ ). Длинноцепочечная омега-3 эйкозапентаеновая 20:5n-3 кислота в концентрации 0,9% была зафиксирована исключительно в биомассе штамма VP336. В целом новые штаммы *Coccomyxa* характеризовались высоким содержанием омега-3 жирных кислот с наибольшим содержанием (62,6%) у штамма VP336. Также исследованные почвенные штаммы характеризовались рядом специфических особенностей профилей жирных кислот. Например, штамм VP339 отличался от остальных наибольшими концентрациями гексадекадиеновой 16:2n-6, гексадекатетраеновой 16:4n-3 и олеиновой 18:1n-9 кислот, а также низким содержанием пальмитиновой 16:0 и ругановой 16:3n-3 кислот. Штамм VP449 имел максимальное содержание пальмитиновой 16:0, линолевой 18:2n-6 и омега-6 жирных кислот в целом. Штамм VP336 характеризовался самым высоким соотношением омега-3 и омега-6 жирных кислот (9,3:1). В целом, сбалансированное соотношение омега-3 и омега-6 жирных кислот, высокое содержание  $\alpha$ -линоленовой 18:3n-3 кислоты определяют возможность использования биомассы новых штаммов *Coccomyxa* из лесных почв Вьетнама (особенно штаммов VP336 и VP521) в качестве высокоэффективных пищевых компонентов или составных частей кормовых добавок в аквакультуре и животноводстве.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-74-10081).*

Maltsev Y., Maltseva I., Maltseva S., Kociolek J.P., Kulikovskiy M. Fatty acid content and profile of the novel strain of *Coccomyxa elongata* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) cultivated at reduced nitrogen and phosphorus concentrations // *Journal of Phycology*. 2019. V. 55. P. 1154–1165.

## Воздействие нефтепродуктов на развитие бурой водоросли *Fucus distichus* (Phaeophyceae, Fucales)

### Impact of oil products on the development of brown algae *Fucus distichus* (Phaeophyceae, Fucales)

*Мартыненко Д.О., Климова А.В., Ключкова Т.А.*  
Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, Россия

*Martynenko D.O., Klimova A.V., Klochkova T.A.*  
Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Авачинская губа на протяжении более 50 лет подвержена регулярному антропогенному воздействию. Активное судоходство, ведение погрузо-разгрузочных и судоремонтных работ приводят к негативному воздействию на водную среду бухты. Нередко в ее акватории отмечается превышение загрязняющих веществ в водной среде, в частности – нефтепродуктов (НП) (Качество морских вод..., 2024). Так, в мае 2022 г. в районе центральной набережной был зарегистрирован аварийный разлив НП с превышением ПДК в 380 раз. Проведенные нами исследования морской воды у городского побережья, начиная с осени 2022 г., выявили регулярное превышение ПДК НП с максимальным зарегистрированным содержанием 8,6 мг/л. В теплое время года здесь ежедневно отмечается покрытие 10% видимой части акватории бухты нефтяной пленкой слабой интенсивности.

Неудивительно, что с момента активного хозяйственного освоения прибрежная экосистема бухты претерпела коренные изменения. В настоящее время во внутренней ее части среди водорослей-макрофитов встречается не более 20 видов, при исходном количестве – 165 (Ключкова, Березовская, 2001). Одним из наиболее устойчивых к антропогенному воздействию представителей флоры Авачинской губы в литоральных сообществах остается бурая водоросль *Fucus distichus* L. Однако за последние 7 лет у центральной набережной, в районе аварийного разлива НП 2022 г., площадь поселения фукуса, сократилась в более чем 2 раза. Целью нашей работы являлась оценка воздействия НП на развитие *F. distichus* и выявление роли последних в трансформации этого загрязнителя.

Сбор проб водорослей выполняли в апреле 2024 г. в бухте Завойко (горло Авачинской губы). В районе отбора фукуса содержание НП в водной среде составило 0,3 мг/л (6ПДК). Для эксперимента использовали особи от 5,6 до 9,6 см длины с 2-5 дихотомиями, наиболее крупные водоросли находились в фертильном состоянии. В два 8-литровых аквариума с морской водой добавили по 80 мг дизельного топлива и тщательно перемешали. Затем в один из них поместили фукус, другой аквариум являлся контрольным. Аквариумы экспонировали при температуре 8°C, активной аэрацией и фоторежиме 10:14 в течении трех суток.

Содержание растворенных НП в воде в аквариуме с фукусом в первые 15 мин. эксперимента составило 0,84 мг/л, в то время как в контрольном аквариуме оно достигало 1,43 мг/л. На третьи сутки эксперимента содержание НП в аквариумах снизилось до 0,59 и 0,82 мг/л соответственно. Далее в аквариуме с водорослями были заменена морская вода на чистую. После недели экспонирования фукуса в среде без НП размеры водорослей увеличились, повреждения на их поверхности отсутствовали, на дне стали заметны развивающиеся проростки. Таким образом, концентрация НП в воде, превышающая ПДК в 28 раз, не оказывает негативного воздействия на рост и размножение фукуса. Трансформация НП в воде в присутствии *F. distichus* происходит на 16% быстрее, чем без водорослей.

## Разнообразие, биогеография и экология пресноводных криптомонад

### Diversity, biogeography and ecology of freshwater cryptomonads

*Мартыненко Н.А.<sup>1</sup>, Гусев Е.С.<sup>1,2</sup>, Подунай Ю.А.<sup>3</sup>, Кулизин П.В.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр, Ханой, Вьетнам*

<sup>3</sup>*Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского - природный заповедник РАН, Феодосия, Россия*

<sup>4</sup>*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия*

*Martynenko N.A.<sup>1</sup>, Gusev E.S.<sup>1,2</sup>, Podunay Yu.A.<sup>3</sup>, Kulizin P.V.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Hanoi, Vietnam*

<sup>3</sup>*T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station, Natural Reserve RAS, Feodosia, Russia*

<sup>4</sup>*N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia*

Криptomonеды встречаются в разнообразных пресноводных, солоноватоводных, морских и даже почвенных средах обитания. Это преимущественно одноклеточные организмы 5-50 мкм в длину, с двумя жгутиками, дорсовентральным строением, бороздой и глоткой. Большинство описанных видов представляют собой фотосинтетические формы, хотя встречаются и исконно гетеротрофные представители, и виды, утратившие фотосинтетическую способность. Из-за узнаваемой формы клетки и специфического типа передвижения криптомонады издавна привлекают к себе внимание исследователей. Как итог, было описано около 200 номенклатурных комбинаций (Guiry, Guiry, 2024). Среди пресноводных криптомонад разнообразен род *Cryptomonas* Ehrenberg. На данный момент с помощью молекулярно-генетических методов типифицировано или описано 32 вида этого рода из различных регионов планеты. Некоторые видовые клады содержат скрытое разнообразие и требуют ревизии. К таким можно отнести *C. lundii*, *C. gyropyrenoidosa*, *C. curvata*, *C. obovoidea*, *C. pyrenoidifera*, *C. tetrapyrenoidosa* и *C. phaseolus* (Gusev et al., 2022). Также минимум восемь линий являются ещё не описанными видами и нуждаются в описании. Географическое распространение некоторых из видов можно оценить с помощью метода выделения клеток в культуру с последующим секвенированием репрезентативных генетических областей, что является надёжным, но довольно трудоёмким методом. Новейшим инструментом изучения биоразнообразия и распространения видов является метод метабаркодинга, при котором секвенируются целевые короткие фрагменты из тотальной ДНК, выделенной из природной пробы. Нами были проанализированы метабаркодинговые данные, полученные для водоёмов европейской стран (PRJNA414052), России и Вьетнама (наши данные). Из них выделены нуклеотидные последовательности, принадлежащие криптофитовым водорослям, что позволило сравнить разнообразие криптомонад из этих регионов. В докладе представлены результаты этой работы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 20–14–00211  
(<https://rscf.ru/project/20-14-00211/>).*

Guiry M.D., Guiry G.M. 2024. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 29.05.2024)

Gusev E., Martynenko N., Kulizin P., Kulikovskiy M. Molecular diversity of the genus *Cryptomonas* (Cryptophyceae) in Russia // European Journal of Phycology. – 2022. – Т. 57. – №. 4. – С. 526-550.

## Результаты изучения пресноводных водорослей в заповедниках южной части Дальнего Востока России

### Results of study freshwater algae in nature reserves of the southern part of the Russian Far East

*Медведева Л.А., Никулина Т.В.*

*ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия*

*Medvedeva L.A., Nikulina T.V.*

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia*

К южной части Дальнего Востока России относятся Амурская область, Еврейская автономная область, Сахалинская область, Приморский край и южная половина Хабаровского края. В большинстве заповедников российского ДВ проводится инвентаризация различных групп растений, в том числе и пресноводных водорослей.

**САХАЛИНСКАЯ ОБЛАСТЬ. Поронайский заповедник.** Нет сведений. **Курильский заповедник.** Имеются отдельные сведения о водорослях острова Кунашир (Fukushima, 1955-1958; Hirano, 1960; Баринова, 1989; Черепанова, Гребенникова, 2001; Медведева, 1992; Никулина, 2002; Nikulina, Kociolek, 2011). Достоверно для территории заповедника указаны 172 вида (183 таксона) водорослей и цианобактерий (Никулина, 2010, 2012).

**АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ. Зейский заповедник.** Имеются данные о 143 видах водорослей (150 таксонов) (Медведева, 2010а). **Норский заповедник.** Обнаружено 133 вида водорослей (138) (Медведева, 2010б). **Хинганский заповедник.** Альгофлора заповедника насчитывает 441 вид водорослей (Кухаренко, 1998; Kukharensko, 2002). Позднее список дополнен 63 видами, разновидностями и формами диатомовых водорослей (Никулина, 2013).

**ЕВРЕЙСКАЯ АВТОНОМНАЯ ОБЛАСТЬ. Заповедник «Бастак».** Приведен список 472 видов цианобактерий и водорослей (546) (Медведева, Саватеев, 2007). Дополнительно определено 185 видов цианобактерий и водорослей других отделов (Медведева, 2023, 2024).

**ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ. Джугджурский заповедник.** Нет сведений. **Буреинский заповедник.** Выявлено 200 видов водорослей (226) (Медведева, 1999б). **Комсомольский заповедник.** Приведен список из 485 видов (639 таксонов) (Баринова, Медведева, 1989). **Большехехцирский заповедник.** Обнаружено 293 вида водорослей (Кухаренко и др., 1986). Список переработан и дополнен и включает 357 видов водорослей (376) (Медведева, 2019). **Болоньский заповедник.** Выявлено 285 видов водорослей (Хахина, 1937, 1948). **Ботчинский заповедник.** Найдено 232 вида водорослей (253) (Медведева, 2019).

**ПРИМОРСКИЙ КРАЙ. Сихотэ-Алинский биосферный заповедник.** Список водорослей насчитывает 780 видов (925) (Medvedeva, 2001; Медведева, 2006, 2016). **Лазовский заповедник им. Л.Г. Капланова.** Альгофлора представлена 685 видами (Догадина, Кухаренко, 1990; Gontcharov, 1998; Гончаров и др., 2002; Медведева, 2005), имеются сведения о почвенных водорослях (Андреева, Чаплыгина, 1989; Костиков, 1993, 1995). **Ханкайский заповедник.** Б.В. Скворцовым описаны 245 таксонов диатомей (1929). Ряд статей посвящены водорослям озера (Хахина, 1937; Журкина, 1958-1960; Шур и др., 1995). Альгофлора заповеданных территорий включает 237 видов (Никулина, 2003, 2006).

**Уссурийский заповедник им. В.Л. Комарова.** Список насчитывает 327 видов (405 таксонов) (Хахина, 1936; Кухаренко, Медведева, 1978; 1981; Никулина, 1987; 1994; Никулина и др., 1996; Никулина, 2006а, б). **Заповедник «Кедровая падь».** Обнаружено 273 вида (323) (Кухаренко, 1964, 1970, 1972; Журкина, Кухаренко, 1974; Medvedeva, 1995; Медведева, 2002, 2006). **Дальневосточный морской биосферный заповедник.** Указан 251 вид водорослей (273) (Никулина, 2001, 2004 а, в-д).

В настоящее время ведется составление обобщенного списка водорослей заповедников южной части российского Дальнего Востока.

## **Аллелопатические взаимодействия цианобактерий и мицелиальных грибов как основа экоориентированных решений проблемы цианобактериальных «цветений» водоемов**

### **Allelopathic interactions of cyanobacteria and filamentous fungi as the basis for eco-oriented solutions to the problem of harmful cyanobacterial blooms of water bodies**

*Медведева Н.Г.<sup>1</sup>, Кузикова И.Л.<sup>1</sup>, Зайцева Т.Б.<sup>1</sup>, Тимофеева О.Г.<sup>1</sup>, Поволоцкая А.В.<sup>2</sup>, Панкин Д.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

*Medvedeva N.G.<sup>1</sup>, Kuzikova I.L.<sup>1</sup>, Zaytseva T.B.<sup>1</sup>, Timofeeva O.G.<sup>1</sup>, Povolotckaia A.V.<sup>2</sup>, Pankin D.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Saint-Petersburg Federal Research Center RAS (SPC RAS), Saint-Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia*

Биологические методы контроля массового развития цианобактерий в настоящее время являются наиболее перспективными и экологически безопасными. Многие водные организмы могут ограничивать рост цианобактерий и разлагать микроцистины. Именно биодegradация является основным механизмом разрушения микроцистинов в природных условиях. Целью настоящей работы было выделение из водных объектов штаммов мицелиальных грибов, обладающих альгицидной активностью и свойством деструктировать микроцистины - токсичные метаболиты цианобактерий. Из проб воды и донных осадков, отобранных из водных объектов Северо-Запада РФ выделены 25 культур микромицетов. В результате проведенного скрининга у 7 изолятов выявлена как высокая альгицидная активность, так и свойство деструктировать микроцистин – LR. Наибольшую чувствительность к метаболитам-аллелохемикам микромицетов проявили токсичные штаммы цианобактерий *Microcystis aeruginosa* CALU 973 и *Planktothrix agardhii* CALU 1113, наименьшую – зеленые водоросли. На основании экспериментальных данных сделан вывод о непрямом механизме альгицидного действия выделенных изолятов путем экскреции в среду метаболитов, ингибирующих и/или лизирующих клетки водорослей. Установлено, что метаболиты-аллелохемики всех 7 исследуемых изолятов грибов независимо от их химической природы и видовой принадлежности продуцента индуцируют окислительный стресс у цианобактерий. Выявлено, что адаптация цианобактерий к воздействию грибных аллелохемиков осуществляется активированием фотосинтетической и антиоксидантной систем. Показано, что при ингибировании роста цианобактерий метаболитами грибов происходит значительное дозо-зависимое снижение концентраций в среде токсинов, образуемых *M. aeruginosa* и *P. agardhii*, при этом статистически значимые изменения в продукции микроцистинов единицей биомассы цианобактерий не были выявлены. Полученные результаты позволяют считать перспективным дальнейшее изучение альгицидных штаммов микромицетов для процессов контроля массового развития цианобактерий и детоксикации водных объектов, загрязненных токсичными метаболитами цианобактерий.

*Данная работа была поддержана грантом РНФ 23-24-00140.*

**Анализ структуры порового аппарата диатомовых водорослей рода  
*Placoneis* и родственных таксонов с описанием двух новых родов**

**Reassessment of pore occlusion in *Placoneis* and relative taxa with description of  
two new genera**

Миронов А.В.<sup>1,2</sup>, Глущенко А.М.<sup>1</sup>, Мальцев Е.И.<sup>1</sup>, Генкал С.И.<sup>2</sup>, Кузнецова И.В.<sup>1</sup>, Коциолек  
Дж.П.<sup>3</sup>, Куликовский М.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия

<sup>3</sup>Музей естественной истории, Боулдер, США

Mironov A.V.<sup>1,2</sup>, Glushchenko A.M.<sup>1</sup>, Maltsev Y.I.<sup>1</sup>, Genkal S.I.<sup>2</sup>, Kuznetsova I.V.<sup>1</sup>, Kociolek J.P.<sup>3</sup>,  
Kulikovskiy M.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia

<sup>4</sup>Museum of Natural History, Boulder, USA

Долгое время считалось, что уникальным признаком рода *Placoneis* является наличие поровых окклюзий типа тектулюм (Cox, 2003). В ходе исследования структуры панциря диатомей рода *Placoneis* Mereschkowsky, у типового вида *P. gastrum* (Ehrenberg) Mereschkowsky sensu Cox были выявлены поровые окклюзии нетипичного для рода строения. В связи с этим, было предложено новое родовое название *Witkowskia* Kulikovskiy, Mironov, Glushchenko & Kociolek для видов, у которых окклюзии представлены тектулюмом. В роде *Witkowskia* предложено 168 новых комбинаций. Также проведен анализ морфологических признаков видов *Navicula flabellata* F. Meister и неизвестного вида из оз. Ба Бе (провинция Бак Кан, Вьетнам). Оба вида отличаются окклюзиями уникального строения, для которых предложен новый термин «паратектулюм». На основе анализа морфологических признаков описан новый род *Chudaevia* Kulikovskiy, Mironov, Glushchenko & Kociolek, с новым видом *C. densistriata* Kulikovskiy, Mironov, Genkal, Glushchenko & Kociolek из Вьетнама. Предложена новая комбинация для вида *N. flabellata* (в роде *Chudaevia*). Таким образом, в роде *Placoneis* остается 4 валидно описанных вида, для которых характерны окклюзии типа псевдотектулюм. Один из них (*P. elinae* Kulikovskiy, Mironov, Genkal, Glushchenko & Kociolek) описан как новый для науки. Разработана классификация поровых окклюзий для представителей *Placoneis* и близких родов. Предложено 7 новых терминов на основе описания морфологических особенностей изученных родов. Результаты морфологического анализа подкреплены молекулярно-генетическими данными: анализ последовательностей генов SSU rRNA и *rbcL* указывает на близкое родство *Paraplaconeis* Kulikovskiy, Lange-Bertalot & Metzeltin, *Witkowskia* и *Geissleria* Lange-Bertalot & Metzeltin, представители которых обладают окклюзиями типа тектулюм в широком смысле (Mironov et al., 2024). В работе рассматриваются новые данные по морфологии близких видов к вышеописанным родам.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда  
(проект №23-74-10081 и 24-14-00165).

Cox E.J. *Placoneis* Mereschkowsky (Bacillariophyta) revisited: resolution of several typification and nomenclatural problems, including the generitype // Botanical Journal of the Linnean Society. 2003. № 141. P. 53-83.

Mironov A., Glushchenko A., Maltsev Y., Genkal S., Kuznetsova I., Kociolek J.P., Liu Y., Kulikovskiy M. Reassessment of pore occlusion in some diatom taxa with revaluation of *Placoneis* Mereschkowsky (Bacillariophyceae: Cymbellales) and description of two new genera // PeerJ. 2024. V. 12. P. 17278.

## Эпибионтные диатомовые водоросли морских черепах, обитающих у побережья г. Нячанг (Вьетнам)

### Epibiotic diatoms on sea turtles from the coastal area of Nha Trang (Vietnam)

*Миронова Э.А., Кезля Е.М., Куликовский М.С.*  
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

*Mironova E.A., Kezlya E.M., Kulikovskiy M.S.*  
K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Изучение эпибионтных диатомовых водорослей в настоящее время является предметом растущего интереса. Они постоянно присутствуют на панцирях черепах (Robinson et al. 2016). В частности, с панцирем как морских, так и пресноводных черепах недавно описано несколько новых видов (Frankovich et al., 2015; Van de Vijver et al., 2020; Majewska, 2021). Некоторые роды (*Chelonicola*, *Poulinea*, *Medlinella*) обнаружены только на панцирях черепах и считаются строго эпизойными (Van de Vijver et al., 2020). При этом вопрос облигатного эпибиоза все еще остается открытым. Обсуждаются вопросы взаимосвязи состава видов эпибионтных диатомовых с регионом происхождения и поведением черепах. Для окончательных выводов необходим сравнительный анализ состава эпибионтных диатомовых с составом диатомовых окружающей их среды. Использование современных молекулярно-генетических методов, в частности ДНК-баркодинга в перспективе может значительно улучшить понимание о происхождении эпибионтных сообществ и использования последних для изучения экологических характеристик разных популяций животных. Однако недостаточная наполненность референсных баз данных ограничивает эффективность применения этого метода в настоящее время (Rivera et al., 2018).

Наше исследование посвящено изучению разнообразия диатомовых водорослей на панцирях морских черепах, обитающих в прибрежных водах в районе г. Нячанг (Вьетнам). Пробы биопленок были собраны М.С. Куликовским. Обработка материала, выделение моноклональных культур диатомовых, выделение ДНК, амплификация регионов 18S rRNA и *rbcL* проведена в лаборатории молекулярной систематики водных растений ИФР РАН.

В результате исследования выявлено, что сообщества диатомовых-обрастателей отличаются значительным видовым разнообразием. Получено 94 штамма, относящихся к родам *Halamphora*, *Amphora*, *Parlibellus*, *Diploneis*, *Navicula*, *Psammodyction*, *Nitzschia*, *Karayevia*. В докладе будут обсуждены морфологическая варибельность и филогения найденных видов, будет проведено сравнение эпибионтных сообществ разных видов черепах.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-44-04006, <https://rscf.ru/project/24-44-04006/>*

- Frankovich, T. A., Sullivan, M. J. & Stacey, N. I. Three new species of *Tursiocola* (Bacillariophyta) from the skin of the West Indian manatee (*Trichechus manatus*) // Phytotaxa. 2015. № 204. P. 33-48. <http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.204.1.3>
- Majewska, R. *Nagumoea hydrophicola* sp. nov. (Bacillariophyta), the first diatom species described from sea snakes. // Diatom Research. 2021. № 36. P. 49-59. <http://dx.doi.org/10.1080/0269249X.2020.1870159>
- Robinson, N.J, Majewska, R., Lazo-Wasem, E.A., Nel, R., Paladino, F.V., Rojas, L. et al. Epibiotic diatoms are universally present on all sea turtle species. // PLoS ONE. 2016. V. 11 (6)/ e0157011. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157011>
- Van de Vijver, B., Robert, K., Majewska, R., Frankovich, T.A., Panagopoulou, A. & Bosak, S. Geographical variation in the diatom communities associated with loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). // PLoS ONE. 2020. T. 15, № 7. 0236513. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236513>

## Структура весеннего фитопланктона озера Байкал по данным микроскопии и метабаркодинга

### Structure of spring phytoplankton in Lake Baikal according to microscopy and metabarcoding data

*Михайлов И.С., Букин Ю.С., Фирсова А.Д., Петрова Д.П., Галачьянц Ю.П., Лихошвай Е.В.  
Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия*

*Mikhailov I.S., Bukin Y.S., Firsova A.D., Petrova D.P., Galachyants Y.P., Likhoshway Y.V.  
Limnological Institute, SB RAS, Irkutsk, Russia*

Фитопланктон используется для экологического мониторинга водных экосистем. С помощью микроскопии и метабаркодинга 18S V8-V9 рРНК мы охарактеризовали пространственно-межгодовые закономерности весеннего фитопланктона южной котловины озера Байкал в течение трех лет. Пространственно-межгодовые изменения относительной численности доминирующих таксонов фитопланктона по обоим методам были сходными. Выявлено, что Bacillariophyceae преобладали в 2020 и 2022 годах, а Mediophyceae и Chrysophyceae доминировали в 2021 году. Видовое богатство классов фитопланктона было выше ампликон сиквенс вариантов (ASV), чем видов на основе морфологии. Значимые положительные корреляции были только между богатством ASV и видов для классов Mediophyceae и Chlorophyceae. Положительная корреляция выявлена между индексами Шеннона по биомассе видов и ASV фитопланктона. Были выявлены корреляции между доминирующими видами и ASV, принадлежащими Bacillariophyta, Chrysophyceae и Cryptophyceae на основе их относительных численностей и биомасс. Состав и количественные характеристики большинства ASV и видов Chlorophyta (Trebouxiophyceae, Chlorophyceae) различались. Метабаркодинг ДНК дополнительно выявил динамику Eustigmatophyceae и гетеротрофных микроэукариот Fungi, Ciliophora и Cercozoa. Различия в идентификации некоторых групп фитопланктона разными методами и в пространственном распределении некоторых видов и ASVs показывают, что каждый из методов имеет свои ограничения и преимущества. Таким образом, совместное использование микроскопии и метабаркодинга улучшило таксономическую идентификацию фитопланктона и уточнило его пространственно-межгодовую динамику.

*Микроскопические исследования выполнены в Центре электронной микроскопии ЦКП «Ультрамикроанализ» Лимнологического института СО РАН, <https://www.lin.irk.ru/copp/>. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14-00028, <https://rscf.ru/project/23-14-00028/>.*

## Альгофлора некоторых водотоков юго-восточной части острова Сахалин

### Algal flora of some watercourses in the southeastern part of Sakhalin Island

*Мотылькова И.В.<sup>1</sup>, Никулина Т.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Сахалинский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), Южно-Сахалинск, Россия

<sup>2</sup>ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

*Motyilkova I.V.<sup>1</sup>, Nikulina T.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (SakhNIRO), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

<sup>2</sup>Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia

Водоросли перифитона – важный компонент пресноводных экосистем, ему отводится значительная роль в формировании видового разнообразия и первичной продукции в реках. Альгофлоре обрастаний некоторых водотоков о. Сахалин посвящен ряд работ, однако к настоящему времени она не достаточно полно изучена. Целью нашей работы было выявить видовой состав водорослей рек Ай, Найба и Очепуха. Исследуемые водотоки расположены в юго-восточной части о. Сахалин, протекают в широтном направлении, имеют небольшие размеры (длина р. Найба – 119 км, р. Ай – 33 км, р. Очепуха – 31 км), впадают в Охотское море. Питание рек смешанное с преобладанием снегового (Хоменко, 2003).

Материалом для изучения послужили пробы перифитона, отобранные в устьевой зоне р. Найба в августе 2001 г., в нижнем течении р. Ай в августе 2002 г., в верхнем течении р. Очепуха в июне и июле 2017 г. Отбор и обработку проб производили по общепринятым методикам (Водоросли, 1989). Частоту встречаемости определяли по шестибальной шкале Кордэ (1956).

В результате исследований было обнаружено более 150 видов цианобактерий и водорослей из пяти отделов Cyanobacteria, Bacillariophyta, Chlorophyta, Charophyta, Dinophyta. По количеству видов преобладали диатомовые водоросли. К ведущим родам отнесены *Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzschia*.

В р. Очепуха зарегистрировано наибольшее видовое разнообразие: 79 видов и внутривидовых таксонов (Bacillariophyta – 74, Chlorophyta – 1, Cyanobacteria – 3, Dinophyta – 1). Наиболее разнообразно водоросли перифитона были представлены в июле (66 таксонов рангом ниже рода против 56 в июне). Многочисленными в обрастаниях были диатомовые водоросли: *Cocconeis euglypta* Ehrenberg, *Encyonema minutum* (Hilse) Mann, *Fragilaria vaucheriae* (Kützing) J.B.Petersen, *Gomphonema angustatum* (Kützing) Rabenhorst, *Hannaea arcus* (Ehrenberg) Patrick, *Navicula viridula* (Kützing) Ehrenberg, *Odontidium mesodon* (Ehrenberg) Kützing. В июне наряду с ними высокой частотой встречаемости отличались колониальные цианобактерии *Tapinothrix varians* (Geitler) Bohunická & J.R.Johansen, *Microcoleus autumnalis* (Gomont) Strunecky, Komárek & J.R.Johansen. В эколого-географическом отношении преобладали космополиты, бентосные формы, алкалофилы, в санитарно-биологическом – олиго- и олиго-бетамезосапробионты.

Хоменко З.Н. Справочник по физической географии Сахалинской области. Южно-

Сахалинск: Сахалинское книжное издательство, 2003 г. – 110 с.

Водоросли. Справочник / С.П. Вассер, Н.В. Кондратьева, Н.П. Масюк и др. – Киев: Наук. думка, 1989. — 608 с.

Кордэ Н.В. Методика биологического изучения донных отложений озер (полевая работа и биологический анализ) // Жизнь пресных вод СССР. – М. ; Л. : АН СССР, 1956. – Т. 4, ч. 1. – С. 383–413.

# Использование цианобактерий как биологических удобрений для сорго (*Sorghum bicolor*)

## Cyanobacteria as a biofertilizer on sorghum (*Sorghum bicolor*)

Муравьева А.В.<sup>2,3</sup>, Кутузова И.А.<sup>1</sup>, Еланский С.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы"

Muraveva A.V.<sup>2,3</sup>, Kutuzova I.A.<sup>1</sup>, Elansky S.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS. Moscow, Russia

<sup>3</sup> Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba

Цианобактерии или сине-зеленые водоросли являются важной частью естественных и искусственных биоценозов. Благодаря своей широкой приспособляемости они обитают как в почве, так и в воде. Уже давно было замечено, что цианобактерии, естественным образом обитающие в воде рисовых полей, способны положительно влиять на урожай риса. Данный способ широко используется в Индии и Китае (Шальго, 2019).

В данном исследовании изучалось влияние пяти штаммов цианобактерий на рост и развитие растений сорго (*Sorghum bicolor*), мало изученной в данном направлении культуры.

Опыт был проведен на базе оранжерейного комплекса МГУ. Для выращивания растений сорго использовали контейнеры объемом 750 мл, в каждый из которых поместили 1 кг промытого песка. В каждый контейнер было помещено по 6 семян сорго. Через неделю после закладки опыта в почву было внесено по 5 мл клеточной культуры цианобактерий. Всего было использовано пять штаммов, три штамма рода *Anabaena* (Tr, 5-1), два из которых были выделены из лишайников, а один (B106) – взят из коллекции МГУ; два штамма рода *Nostoc* (A1A, A1B), выделенные из антарктических почвенных образцов.

Опыт был проведен в трех повторностях. Для сравнения был предусмотрен второй контрольный вариант с добавлением  $\text{NaNO}_3$  в концентрации 1,5 г/л. Растения поливали два раза в неделю, и один раз в неделю в качестве удобрения вносили 25 мл среды BG-11 без азота (по протоколу Stainer et al, 1971). Измерения высоты растений проводили каждую неделю. Через 15 дней после начала опыта провели измерение отдельных листов и корней растений, а также воздушно-сухой массы.

По итогам опыта было обнаружено, что у сорго, выращенного с использованием культуры цианобактерий рода *Nostoc*, штамм A1A, длина листьев была больше на 8,9% по сравнению с чистым контролем, на 7,1% по сравнению с контролем с добавлением азота; длина корней на 22,5 и 23,7% соответственно, масса растения 37,5 и 5,9% соответственно. Интересным является тот факт, что в варианте с добавлением цианобактерии рода *Anabaena*, выделенный из лишайника *Stereocaulon*, было отмечено отрицательное влияние на сорго. Длина листьев в этом варианте была на 11,3% короче контрольного варианта, корней – на 6,3%.

Из этого можно сделать вывод, что цианобактерии могут влиять на рост и развитие растений сорго как положительно, так и отрицательно в зависимости от рода и штамма. В целом цианобактерии рода *Nostoc* показали лучшие результаты.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (122042700045-3)*

## **К списку новых находок почвенных и аэрофитных цианобактерий и водорослей на территории России и Дальнего Востока**

### **To the list of new finds of soil and aerophytic cyanobacteria and algae in Russia and the Russian Far East**

*Никулин А.Ю., Никулин В.Ю., Багмет В.Б., Сущенко Р.З., Абдуллин Ш.Р., Гончаров А.А.  
ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия*

*Nikulin A.Yu., Nikulin V.Yu., Bagmet V.B., Sushchenko R.Z., Abdullin Sh.R., Gontcharov A.A.  
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia*

Цианобактерии и водоросли являются одними из наиболее важных автотрофных организмов водных и наземных местообитаний. В последнее время с развитием современных молекулярных методов выявлено огромное скрытое разнообразие этих групп, а их систематика и филогения претерпели значительные изменения. На данный момент с использованием комплексного подхода производится реинвентаризация биоразнообразия цианобактерий и водорослей почв Дальнего Востока и исследование таксономического состава альгофлоры архитектурных сооружений г. Владивостока.

В ходе исследования около сотни выделенных штаммов из почв Еврейской автономной области и Приморского края обнаружены шесть таксонов цианобактерий и водорослей, три из которых считаются новыми не только для территории Дальнего Востока, но и Российской Федерации: цианобактерия *Amazonocrinis malviyae* N.Kumar, A.Saraf, S.Pal, D.Mishra et P.Singh (Nostocales, Nodulariaceae); цианобактерия *Inacoccus carmineus* W.A.Gama, J.Rigonata, M.F.Flore et C.L.Sant'Anna (Chroococcales, Chroococcaceae); зеленая водоросль *Desmodesmus multivariabilis* var. *turskensis* P.M.Tsarenko & E.Hegewald (Chlorophyceae, Sphaeropleales, Scenedesmaceae). Три вида Chlorophyta были впервые отмечены лишь для российского Дальнего Востока: *Coccomyxa viridis* Chodat (Trebouxiophyceae, Coccomyxaceae); *Pseudochlorella pringsheimii* (Shihar & Krauss) Darienko et al. (Trebouxiophyceae, Prasiolales, Koliellaceae); *Pseudomuriella schumacherensis* Fuciková, Rada & L.A.Lewis (Chlorophyceae, Sphaeropleales, Pseudomuriellaceae). Выделенные штаммы данных организмов хранятся в коллекции лаборатории ботаники ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научных проектов № 21-14-00196 и № 24-24-00224.*

## Потенциально новый вид рода *Coelastrella* (Chlorophyta, Sphaeropleales) Proposal of a new species in *Coelastrella* genus (Chlorophyta, Sphaeropleales)

Никулин В.Ю., Сущенко Р.З., Никулин А.Ю., Абдуллин Ш.Р., Гончаров А.А.  
ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

Nikulin V.Yu., Sushchenko R.Z., Nikulin A.Yu., Abdullin Sh.R., Gontcharov A.A.  
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia

Род *Coelastrella* Chodat на данный момент включает 18 видов. В последние годы с помощью комплексного подхода описано несколько новых таксонов: *Coelastrella astaxanthina* K. Ohkoshi, R. Yoshida & S. Kawasaki (2019); *Coelastrella tenuithea* Qinghua Wang, Huiyin Song, Xudong Liu, Guoxing Liu & Zhengyu Hu (2019); *Coelastrella thermophila* Qinghua Wang, Huiyin Song, Xudong Liu, Guoxiang Liu & Zhengyu Hu (2019); *Coelastrella yingshanensis* Qinghua Wang, Huiyin Song, Xudong Liu, Guoxiang Liu & Zhengyu Hu (2019); *Coelastrella cogersae* Suarez-Montes, Borrell & J.M. Rico (2021); *Coelastrella affinis* E. Krivina, M. Sinetova, E. Zadneprovskaya, K. Shibzukhova, E. Lobakova & A.D. Temraleeva (Krivina et al., 2024). Однако разнообразие рода до сих пор полностью не изучено.

При изучении почвенных водорослей в зоне умеренного муссонного климата России (Приморский край и ЕАО) были выделены штаммы монадных зеленых водорослей. Изоляты были изучены с использованием комплексного подхода.

Большинство клеток сферической формы (5,2-6,9 мкм), иногда – эллипсоидные (5,6-9,1 × 5,9-9,7 мкм). Хлоропласт чашевидный, с выраженным пиреноидом, окруженным крахмальной оберткой. Полярных утолщений нет. Бесполое размножение 2-8 автоспорами.

Сравнение последовательностей 18S рДНК выявило принадлежность нового штамма к роду *Coelastrella*. Штаммы характеризовались относительно длинной ветвью на филогенетических деревьях, построенных на основании трех наборов данных (18S+ITS и ITS2 рДНК, *tufA* хпДНК), что отражает большое число замен, отличающих их от других видов рода. Чтобы проанализировать взаимосвязь между предполагаемым новым видом и родственными ему таксонами, мы реконструировали вторичную структуру спейсера ITS2 и методом баркодирования пар оснований (Darienko et al. 2015) нашли отличия в консервативных участках ITS2 (4 hCBC и 1 CBC).

На основании комбинации молекулярных данных (филогенетические реконструкции, модели вторичной структуры) и фенотипических особенностей, мы считаем, что обнаружен новый вид рода *Coelastrella*.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 124012400285-7) и частично финансировалось за счет гранта Российского научного фонда № 21-14-00196, <https://rscf.ru/project/21-14-00196/>*

## Видовое богатство альгофлоры и оценка экологического состояния оз. Торфянка (г. Владивосток, Россия)

### Algal flora species richness and assessment of the ecological state of Torphyanka Lake (Vladivostok, Russia)

Никулина Т.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup>Владивостокский государственный университет (ФГБОУ ВО ВВГУ), Владивосток, Россия

Nikulina T.V.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia

<sup>2</sup>Vladivostok State University, Vladivostok, Russia

Объект исследования – озеро Торфянка (Торфяное, Безымянное), расположенное на южной оконечности полуострова Муравьев-Амурский, между бухтами Патрокл (пролив Босфор Восточный) и Соболев (Уссурийский залив). Озеро является одним из трех естественных водоемов г. Владивосток, имеет длину до 278 м, ширину около 150 м, площадь около 3 га. Глубина в центральной части достигает 3,5 м. На севере в озеро впадает ручей длиной около 1,4 км, с площадью водосбора свыше 130 га, из его юго-восточной части вытекает ручей, впадающий в бух. Соболев (Раков, Шарова, 2008). В последние два десятилетия территория вокруг озера и его водосбор интенсивно застраиваются и, в связи с этим, усиливается техногенное воздействие на водоем. Интенсивная застройка связана с реализацией проектов туристско-развлекательного и учебно-научного комплекса «Приморский океанариум», расширением жилого микрорайона, созданием ландшафтно-рекреационного кластера в районе бух. Патрокл.

По предварительным данным, видовой состав альгофлоры озера представлен 80 видами и разновидностями цианобактерий и водорослей из 5 отделов и 43 родов. Основу изученной флоры формируют диатомовые водоросли, на долю которых приходится 80 % от общего видового состава. Отдел Bacillariophyta представлен 61 видом (64 внутривидовыми таксонами) из 31 рода. В систематической структуре флоры наибольшее количество таксонов принадлежит родам диатомовых водорослей: *Gomphonema* и *Nitzschia* – по 8 видов и разновидностей.

В перифитонных сообществах отмечено массовое развитие цианобактерий вида *Phormidium uncinatum* (C. Agardh) Gomont ex Gomont, зеленых водорослей *Coelastrum microporum* Nägeli и *Pediastrum duplex* var. *subgranulatum* Raciborski, диатомовых *Melosira varians* Agardh, *Cocconeis placentula* Ehrenberg и его разновидности *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehrenberg) Grunow, *Lemnicola hungarica* (Grunow) Round et Basson, *Nitzschia frustulum* (Kützing) Grunow, *Ulnaria ulna* Nitzsch) Compère.

Состояние вод (наличие органического загрязнения) в оз. Торфянка было оценено по методу Пантле-Бук в модификации Сладечека (1967). Значения индекса сапробности (S), рассчитанные по составу перифитона варьировали от 1,95 до 2,04, а по качественному составу фитопланктона S=2,05–2,22. Анализ полученных данных показал, что согласно рассчитанным индексам сапробности, воды озера имели степень сапробности β, соответствовали бетамезосапробной зоне и III классу чистоты и классифицируются как слабо загрязненные воды.

Раков В.А., Шарова О.А. Современное состояние и проблемы сохранения экосистемы реликтового озера во Владивостоке // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток: Дальнаука, 2008. Вып. 4. С. 76–81.

Сладечек В. Общая биологическая схема качества воды // Санитарная и техническая гидробиология. М.: Наука, 1967. С. 26–31.

***Heterochlamydomonas uralensis* sp. nov. (Chlorophyta): новый вид,  
выделенный из почвы Приполярного Урала**

***Heterochlamydomonas uralensis* sp. nov. (Chlorophyta): new species isolated  
from the soil of the Subpolar Urals**

Новаковская И.В.<sup>1</sup>, Болдина О.Н.<sup>2</sup>, Патова Е.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

<sup>2</sup>Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

Novakovskaya I.V.<sup>1</sup>, Boldina O.N.<sup>2</sup>, Patova E.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Biology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

<sup>2</sup>Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

Род *Heterochlamydomonas* включает группу одноклеточных зеленых водорослей с подвижными клетками. Представители имеют жгутики разной длины, параллельные базальные тела, тонкие клеточные стенки у зооспор и вегетативных клеток. Род был описан Ed.R. Cox и T.R. Deason (1969) на основе выявленного ими из почвы кедрового леса типового вида *H. inaequalis* Ed.R. Cox & Deason. До недавнего времени род включал пять видов: *H. callunae* (H. Ettl) Mikhailyuk & Demchenko, *H. inaequalis*, *H. lobata* M.F. Langford & Ed.R. Cox, *H. monticola* (Shin Watan.) Shin Watan. и *H. rugosa* M.F. Langford & Ed.R. Cox. Применение полифазного подхода к изучению этой группы водорослей позволило расширить сведения о представителях рода, выявить и описать новые таксоны.

В ходе нашего исследования впервые для науки на основе морфологических и молекулярно-генетических методов описан новый вид – *H. uralensis* Novakovskaya, Boldina, Shadrin, Patova sp. nov. Штамм SYKOA Ch-009-10 выделен из почвы осоково-мохово-лишайниковой тундры Приполярного Урала (Россия) и поддерживается в коллекции живых культур водорослей ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (<http://ib.komisc.ru/sykoa>). Морфологические особенности штамма изучали на микроскопах Nikon Eclipse80i (Japan) и Libra 120+ (Germany). ДНК выделена с помощью набора «FastDNASpinKit» (QBioGene, Canada). Фрагменты SSU rRNA и ITS2 депонированы в GenBank под номерами OQ134141 и OQ134140.

От других видов рода штамм SYKOA Ch-009-10 отличается формой подвижных клеток, особенностями строения пиреноида и по нуклеотидным последовательностям 18S и ITS2 рДНК. Подвижные клетки обратнойцевидные, (5.0) 6.5-8.7 x (2.0) 4-4.7 мкм. Оболочка очень тонкая, без папиллы. Парные жгутики немного различны по длине. Их базальные тела ориентированы почти параллельно друг другу. Молодые вегетативные клетки имеют пристенный хлоропласт, с вырезками. Тилакоиды преимущественно длинные, прямые и слабоизогнутые, парные, в пачках по 3, реже более. Стигма передняя, крупная, состоит из одного слоя липидных глобул. Пиреноид – латеральный, выше середины клетки или посередине, сферический, окружен многочисленными (до 20 на срез) зёрнами крахмала. Строма пиреноида высокоупорядоченная: разделена на равные участки прямыми парными тилакоидами; редко полностью гомогенная. Ядро чаще в задней, реже в передней половине клетки. Сократительных вакуолей – две; локализуются в апикальной части клетки. Зрелые клетки сферические, (7.9) 14-16 (22.5) мкм диам., без стигмы, с передним или центральным ядром, окружены ослизненной оболочкой и собраны в аморфные колонии со слоистой слизью. Размножение 2-4-8 (16) зооспорами (Novakovskaya et al., 2023). Полученные данные имеют важное значение для установления соответствия между видами, описанными на основе морфологических характеристик и выявленными с помощью ДНК- метабаркодинга.

*Исследования выполнены в рамках госзаданий 122040600026-9 и 121021600184-6.*

## Динофлагелляты озера Байкал: особенности экологии, возможная роль в экосистеме

### Dinoflagellates of Lake Baikal: ecological features, possible role in the ecosystem

Оболкин В.А.

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

Obolkin V.A.

Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

Динофлагелляты – широко распространенная группа микроводорослей, более известная для морей и океанов, но встречающаяся и в пресноводных озерах. В Байкале динофлагелляты впервые были описаны в 1930-50 годы. В последующие годы изучению экологии этих водорослей уделялось мало внимания. Некоторое обобщение результатов представлено лишь в работе Н.В. Анненковой (Annenkova, 2013). Однако, современные данные говорят о более сложной и необычной роли динофлагеллят в экосистеме озера, чем это представлялось ранее.

Большую часть года динофлагелляты в трофогенном слое озера относительно малочисленны, но весной, в апреле, динофлагелляты вида *Gymnodinium baicalense* кратковременно образуют гигантское скопление клеток как в подледных слоях воды, так и в порах весеннего льда, часто превышающее численность других водорослей вместе взятых. В 2018-2019 годах было обнаружено, что этот вид продуцирует диметилсульфопропионат (ДМСП) (Toda et al, 2023), что обычно присуще только морскими планктонными водорослями. Продукция ДМСП в Байкале другими водорослями не выявлена. Эти, вновь открывшиеся свойства байкальских динофлагеллят, ставят новые вопросы о их роли в экосистеме озера.

**Что привлекает динофлагеллят в поры весеннего льда?** (Одновременно, численность других водорослей также растет, но не внутри льда). Это может означать только одно - вода в порах весеннего льда обогащена биогенами. Предполагаются два источника таких биогенов: 1) просачивание через поры льда атмосферных выпадений, более богатых биогенами, чем воды озера (Obolkin et al, 2019); 2) генерация биогенов в талой воде ледовых пор за счет суточных колебаний фазового состояния льда - оттаивание днем/замерзание ночью.

**Вклад динофлагеллят в первичную продукцию озера.** Численность клеток динофлагеллят перед распадом весеннего льда превышает численность клеток всех других водорослей вместе взятых. То есть, в этот сезон, динофлагелляты могут играть важнейшую роль в пищевых цепях. В частности, к моменту максимума развития динофлагеллят из речных нерестилищ в Байкал скатываются личинки омуля, для которых это может являться важной кормовой базой, напрямую или через зоопланктон.

**Влияние диметилсульфида (ДМС) - продукта распада ДМСП - на миграцию водных животных Байкала.** Имеется множество публикаций показывающих, что морские животные (зоопланктон, птицы, рыбы, тюлени и т.д.) ориентируются на запах ДМС при выборе путей миграции в районы с высокой продуктивностью. Возможно, что и на Байкале такие процессы имеют место – например, миграция омуля, чаек, нерпы. Замечено также, что антропогенное ДМС (производство целлюлозы на Байкале) может влиять на миграцию омуля и нерпы.

Ожидается, что продолжение работ в этих направлениях могут внести существенно новый вклад в понимание функционирования экосистемы Байкала.

Annenkova N.V. Dinoflagellates of the Baikal Region. // R.D. Tobias and V.M. Lariree (Editors). Dinoflagellates. – Nova Science Publisher, 2013. – P. 89-109.

Toda K., Obolkin V.A., Ohira S.I., Saeki K. // Abundant production of dimethyl sulfoniopropionate as a cryoprotectant by freshwater phytoplanktonic dinoflagellates in ice-covered Lake Baikal. // Nature Communication Biology, 2023, T. 6, 1194, P. 1-10.

Obolkin V.A., Volkova E.A., Ohira S.I., Toda K., Netsvetaeva O.G., Chebunina N.S., Nosova V.V., Bondarenko N.A. The role of atmospheric precipitation in the under-ice blooming of endemic dinoflagellate *Gymnodinium baicalense* var. minor Antipova in Lake Baikal. // Limnology and Freshwater Biology 2019 (6): 345-352

## **Оценка разнообразия почвенных цианобактерий и водорослей в разных вариантах горных тундр Урала с применением метагеномных и морфологических подходов**

### **Assessment of soil cyanobacteria and algae diversity in different variants of Ural mountain tundras using metagenomic and morphological approaches**

*Патова Е.Н.<sup>1</sup>, Новаковская И.В.<sup>1</sup>, Гусев Е.С.<sup>2</sup>, Мартыненко Н.А.<sup>2</sup>, Сивков М.Д.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар Россия*

<sup>2</sup>*Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия*

*Patova E.N.<sup>1</sup>, Novakovskaya I.V.<sup>1</sup>, Gusev E.S.<sup>2</sup>, Martynenko N.A.<sup>2</sup>, Sivkov M.D.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Institute of Biology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Ecology and Evolution A.N. Severtsov RAS, Moscow, Russia*

В арктических и горных регионах биологические почвенные корки (Biological soil crust - BSC), сформированы широким спектром прокариотных и эукариотных организмов и относятся к доминирующим первичным продуцентами на оголенных криогенных субстратах. Почвенные водоросли и цианобактерии - важный функциональный компонент таких криптогамных сообществ. Цель исследования - обобщение сведений по таксономическому и структурному разнообразию сообществ эукариотных водорослей и цианобактерий BSC горно-тундровых сообществ с применением традиционных морфологических подходов и подходов ДНК-метабаркодинга. Видовое разнообразие водорослей и цианобактерий выявлено методами прямой микроскопии свежесобранных образцов, культуральными методами и методами анализа тотальной ДНК с использованием ДНК-метабаркодинга.

Впервые на основе метагенетических и морфологических подходов дана интегральная оценка активного и пассивного разнообразия фототрофной микробиоты биологических почвенных корок горных тундр Урала, формирующейся в высокогорных условиях на границе двух континентов - Европы и Азии. Выявлено 422 таксона наземных цианобактерий и эукариотических водорослей. На основе морфологических подходов определено 343 таксона. Применение ДНК-метабаркодинга позволило выявить значительную часть скрытого разнообразия, из 351 операционных таксономических единиц (OUT) идентифицировано 235 таксонов (48 таксономических единиц родового и 60 видового уровня – новых для региона исследований, 54 – для почв России). Также остались не идентифицированными более 200 OTU, представляющие потенциально новые для науки виды. Выполнен анализ распределения разнообразия почвенных водорослей в разных типах горно-тундровых сообществ в зависимости от экологических условий. Число таксономических единиц различалось для разных типов BSC и составляло от 25 до 129 OTU на образец, из них эукариоты составляли от 6 до 33 и цианобактерии от 6 до 96 OTU. Выделены доминантные и индикаторные таксоны, формирующих горную микробиоту BSC.

Комплексный подход к изучению разнообразия фототрофной микробиоты биологических почвенных корочек перспективен для оценки разнообразия, распространения и роли различных функциональных групп цианобактерий и эукариотных водорослей в горных экосистемах, поиска видов-продуцентов ценных биологически активных веществ, а также в целях мониторинга и оценки долговременной сукцессии почвенной биоты при изменении климата.

*Исследования выполнены при поддержке гранта РФФ № 22-24-00673  
(<https://rscf.ru/project/22-24-00673/>) и в рамках госзадания N 122040600026-9.*

## Изменения в морфологии пеннатных диатомовых водорослей при длительном культивировании

### Changes in the morphology of pennate diatoms during long cultivation

*Петрова Д.П., Марченков А.М., Бедошвили Е.Д., Фирсова А.Д., Захарова Ю.Р.  
Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия*

*Petrova D.P., Marchenkov A.M., Bedoshvili Y., Firsova A.D., Zakharova Y.R.  
Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia*

Кремнистый панцирь диатомовых водорослей – один из примеров микро- и наноструктурированного природного материала с различными типами отверстий (ареол), пор, выростов и шипов, расположенных специфичным для вида образом. Предполагается, что морфология дочерних створок диатомовых водорослей точно воспроизводится при каждом клеточном делении, при этом происходит постепенное уменьшение размера. Однако, помимо изменения размеров клеток, иногда наблюдается изменение формы створок, количество штрихов и нарушение формирования ареол. Тератологии обычно наблюдаются в природных популяциях, но не превышают 5% (Morin et al., 2008). Процесс формирования тератологических изменений возможно проследить при наблюдении за моноклональными культурами. Подобный подход позволяет получить необходимые знания о клеточных процессах, лежащих в основе морфологических изменений и факторах, приводящих к их формированию, что позволит использовать оценку тератологических нарушений как один из биомаркеров загрязнений.

В данном исследовании мы сосредоточились на наблюдении процессов накопления тератологических изменений в моноклональных культурах пеннатных пресноводных диатомей *Ulnaria acus* (Kützing) M.Aboal, *Ulnaria danica* (Kützing) Compère & Bukhtiyarova и *Fragilaria subalanceolata-baikali* (Flower & D.M.Williams) Novais, C.Delgado & S.Blanco, выделенные из проб фитопланктона оз. Байкал. Мы так же отметили компенсирование морфологических нарушений в результате вегетативного укрупнения клеток (Vegetative cell enlargement - VCE) у *F. subalanceolata-baikali* и описали закономерности формирования тератологий.

Было отмечено, что после получения моноклональной культуры примерно 3% клеток каждого вида имели разные нарушения. В течение первого года культивирования большинство створок приобретают искривленную форму. Этой тератологии сопутствуют смещение осевого поля, изменения формы апекса и смещение двугубого выроста, так как часто эти аномалии обусловлены именно искривлением формы створки. Нарушение рядов ареол, зарост ареол, ареолы большого размера и наросты на створках встречались единично и отнесены нами к частным случаям.

Наблюдение морфологии створок штамма *U. acus* А6, который культивировался более 7 лет, позволил нам высказать предположение, что со временем все створки в культурах будут иметь тератологические изменения с полным изменением формы створки и других важных морфологических признаков. Удивительным оказалось, что спустя два с половиной года от начала культивирования штамм *F. subalanceolata-baikali* показал небольшое увеличение среднего размера клеток и постепенное восстановление формы панциря и систематических признаков в ходе нескольких митотических делений. При регулярном наблюдении культуры мы не отмечали формирования аукоспор и предполагаем, что в данном случае имело место VCE, который описан для ряда центрических и пеннатных видов как процесс вегетативного восстановления размеров клетки при достижении критических значений. Однако, мы впервые наблюдали восстановления культуры с тератологическими нарушениями в результате VCE.

Morin S., Duong T.T, Dabrin A., Coynel A., Herlory O., Baudrimont M. Long-term survey of heavy-metal pollution, biofilm contamination and diatom community structure in the Riou Mort watershed, South-West France // Environ Pollut. 2008. V.151(3). P. 532-42.

## Трентеполиевые водоросли тропических лесов Вьетнама

### Algae from the order Trentepohliales in the tropical forests of Vietnam

*Подунай Ю.А.<sup>1</sup>, Мартыненко Н.А.<sup>2</sup>, Ву Мань<sup>3</sup>, Гусев Е.С.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>*Каратагская научная станция им. Т.И. Вяземского - природный заповедник РАН, Феодосия, Россия*

<sup>2</sup>*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия*

<sup>3</sup>*Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр, Ханой, Вьетнам*

*Podunay Yu.A.<sup>1</sup>, Martynenko N.A.<sup>2</sup>, Vu Manh<sup>3</sup>, Gusev E.S.<sup>2,3</sup>,*

<sup>1</sup>*T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station, Natural Reserve RAS, Feodosia, Russia*

<sup>2</sup>*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Hanoi, Vietnam*

Изучены представители порядка Trentepohliales в тропических лесах в двух национальных парках Вьетнама: Катъен и Бидуп-Нуйба с 2021 по 2023 гг. Пробы отобраны в рамках темы Эколан 1.2. Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра. Исследования разнообразия трентеполиевых водорослей включали их сбор на стволах и листьях древесных растений, выделение в культуру, изучение морфологического строения с помощью световой микроскопии и метабаркодинговые исследования. Представители Trentepohliales представляют собой разветвленные нити, которые у некоторых видов могут плотно переплетаться и давать компактные, почти корковые массы и образуют на стеблевой клетке специализированные зооспорангии; являются основным компонентом субаэральной флоры водорослей и широко распространены на почве, камнях, стволах, листьях, плодах и различных искусственных субстратах. В настоящее время порядок включает пять родов (*Cephaleuros* Kunze ex Fries, *Phycopeltis* Millardet 1870, *Stomatochroon* B.T. Palm 1934, *Trentepohlia* C.F.P. Martius 1817 и *Printzina* R.H. Thompson & Wujek 1992) и около 100 видов. Для метабаркодинговых исследований было отобрано более 200 образцов коры с 81 вида деревьев (относящихся к 70 родам) в Катъене и более 40 образцов, представляющих 34 вида древесных растений и лиан в Бидуп-Нуйба. Для изучения использовали секвенирование тотальной ДНК (Illumina MiSeq, 2×300 п.н.), в качестве генетического маркера был использован регион V9 18SrDNA. Биоинформатический анализ проводили в QIIME2 инструментами DADA2, используя собственные классификаторы и базу данных нуклеотидных последовательностей PR<sup>2</sup>. Таксономические единицы (ASV, amplicon sequence variant) с числом чтений менее 10 удалялись. В наших исследованиях тропических лесов в пределах двух национальных парков Вьетнама выявлено гораздо большее разнообразие этой группы – более 270 ASV по региону V9 18SrDNA. В докладе будут представлены данные по разнообразию и распространению представителей Trentepohliales Вьетнама.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 20–14–00211*

*(<https://rscf.ru/project/20-14-00211/>).*

## Определение видовых границ представителей рода *Entomoneis* на основе репродуктивной биологии и молекулярных маркеров

### Determination of species boundaries of representatives of the genus *Entomoneis* based on reproductive biology and molecular markers

*Подунай Ю.А.<sup>1</sup>, Мартыненко Н.А.<sup>2</sup>, Гусев Е.С.<sup>2</sup>, Давидович О.И.<sup>1</sup>, Давидович Н.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского - природный заповедник РАН, Феодосия, Россия*

<sup>2</sup>*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия*

*Podunay Yu.A.<sup>1</sup>, Martynenko N.A.<sup>2</sup>, Gusev E.S.<sup>2</sup>, Davidovich O.I.<sup>1</sup>, Davidovich N.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station, Natural Reserve RAS, Feodosia, Russia*

<sup>2</sup>*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia*

Установление видовых границ диатомовых водорослей – проблема широко обсуждаемая в научной литературе. *Entomoneis* Ehrenberg, 1845 – род каналшовных пеннатных диатомовых водорослей, обитающих преимущественно в морских и солоноватых водоемах, включающий как широко распространенные виды, такие как *E. paludosa*, *E. alata*, так и виды, имеющие ограниченный ареал. Клетки, относящиеся к морфотипу рода *Entomoneis*, были изолированы из проб, собранных в течение 2017–2024 годов у побережья Шотландии и о. Гран-Канария (Атлантический океан), п-ва Крым и Турции (Черное море), Вьетнама (Южно-Китайское море), г. Мурманска (Белое море), г. Владивостока (Японское море) и п-ва Камчатка (Охотское море). В качестве генетических маркеров для филогенетического анализа использовали гены ITS рДНК и *rbcL*. Для проверки репродуктивной совместимости клонов проведены эксперименты по внутри- и межпопуляционному скрещиванию. В результате работы изучены особенности полового воспроизведения и жизненного цикла видов рода *Entomoneis*. Представители всех изученных популяций оказались способными к внутривидовому скрещиванию. Показана репродуктивная изоляция между представителями большинства изученных популяций. Репродуктивно совместимыми между собой оказались клоны из следующих групп популяций: крымской и турецкой, шотландской и канарской, некоторые клоны из владивостокской и камчатской. В отношении изученных представителей рода *Entomoneis* филогенетическое разделение видов по генам *rbcL* и ITS соответствует репродуктивной изоляции/совместимости между ними.

# Оценка металлического загрязнения прибрежных морских экосистем Камчатки с помощью вида-монитора *Fucus distichus* (Fucales, Phaeophyceae)

## Assessment of metal pollution in coastal marine ecosystems of Kamchatka using the monitor species *Fucus distichus* (Fucales, Phaeophyceae)

*Позолотина Л.А.<sup>1,2</sup>, Климова А.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский,

<sup>2</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

*Pozolotina L.A.<sup>1,2</sup>, Klimova A.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

<sup>2</sup>Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Среди морских водорослей-макрофитов *F. distichus* subsp. *evanescens* общепризнан как вид-монитор загрязнения окружающей среды. Этот вид широко распространен в умеренных широтах морей России, в том числе и в прикамчатских водах, что позволяет проводить долгосрочные наблюдения за состоянием прибрежных морских сообществ. Поэтому для оценки экологического состояния прибрежных акваторий Камчатки использовали метод биомониторинга, при котором степень загрязнения района определяли по содержанию металлов Zn, Cu, Ni, Pb и Cd в *F. distichus*. Для этого было проанализировано 227 образцов фукуса, собранных у берегов восточной Камчатки с 1999 по 2023 гг.

Расчетный природно-фоновый диапазон содержания металлов в *F. distichus* определяли, как медиану из 15% минимальных значений выборки плюс/минус двойная медиана абсолютных отклонений от медианы ( $Me_{15} \pm 2MAD_{15}$ ) (Чернова, Коженкова, 2016). Получен природно-фоновый диапазон содержания металлов в фукусе прикамчатских вод (мг/кг): **Zn** – 8,58–20,54; **Cu** – 1,04–2,42; **Ni** <0,004; **Pb** <0,007; **Cd** – 0,55–1,19. При этом уровень содержания металлов в фукусе из «условно-чистых районов» на основе эмпирических данных составляет (мг/кг): **Zn** – 3,01–26,76; **Cu** – 0,56–5,05; **Ni** – 0,95–5,19; **Pb** – <0,007–8,79; **Cd** – <0,01–5,08. Диапазон эмпирических данных содержания металлов у фукуса шире, чем расчётный природно-фоновый уровень.

Для интегральной оценки металлического загрязнения района исследований применяли суммарный нормализованный коэффициент опасности загрязнения водорослей металлами –  $K_{Me}$  (Чернова, Коженкова, 2020). Для всего района исследований  $K_{Me}$  представлен диапазоном **0,1-3,1**; для «условно-чистых районов» – **0,1-0,7**. Также был рассчитан индекс металлического загрязнения **MPI** (Metal Pollution Index) (Облучинская и др., 2013). Среднее значение MPI для всей выборки составил **6,1**, тогда как для фукуса из «условно-чистых районов» – **3,5**.

Расчитанные  $K_{Me}$  и **MPI** для интегральной оценки металлического загрязнения прибрежных морских экосистем Камчатки показали статистически значимые различия значений между районами, испытывающими антропогенное воздействие, и выделенными «условно-чистыми» местами произрастания вида-монитора. Выявленные пороговые диапазоны содержания металлов в *F. distichus* могут быть использованы для оценки загрязнения металлами прибрежных сообществ в прикамчатских водах.

Чернова, Е.Н., Коженкова С.И. Определение пороговых концентраций металлов в водорослях-индикаторах прибрежных вод северо-западной части Японского моря // Океанология. 2016. Т. 56, № 3. С. 393–402.

Чернова Е.Н., Коженкова С.И. Пространственная оценка загрязнения залива Петра Великого (Японское море) металлами с помощью бурой водоросли *Sargassum miyabei* // Океанология. 2020. Т. 60, № 1. С. 49-56.

Облучинская Е.Д., Алешина Е.Г., Матишов Д.Г. Сравнительная оценка загрязнения металлами губ и заливов Мурмана по индексу MPI (Metal Pollution Index) // Доклады Академии наук. 2013. Т. 448, № 5. С. 588–591.

## Ферментативная конверсия глюканов морских макроводорослей

### Enzymatic conversion of marine macroalgae glucans

Поломарчук Д.А., Майорова К.А., Аксёнов А.С., Паршина А.Е., Боголицын К.Г.  
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск,  
Россия

Polomarchuk D.A., Mayorova K.A., Aksenov A.S., Parshina A.E., Bogolitsyn K.G.  
Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

Гидролиз таких полисахаридов макроводорослей, как целлюлоза и ламинарин, до глюкозы, с применением ферментов является платформой для разработки технологий конверсии глюкановых компонентов водорослей в продукты микробиологического синтеза – органические и аминокислоты, представляющие большую ценность для фармацевтической, химической, пищевой и сельскохозяйственной промышленности. Наиболее подходящими для данных целей ферментами являются комплексы гликозил-гидролаз, продуцируемых штаммами аскомицетных грибов, способные специфично катализировать гидролиз 1,3- и 1,4-β-D-глюканов различной структуры. Целью работы является исследование реакционной способности к ферментативному гидролизу глюканов бурых арктических водорослей с применением грибных гликозил-гидролаз.

Доступность глюкановых компонентов для ферментативных реакций пространственно затрудняется локализацией липидно-пигментного комплекса на волокнах целлюлозы в нативном состоянии водоросли. В связи с этим, в качестве субстрата для гидролиза использовали богатые целлюлозой фракции арктических макрофитов *Laminaria digitata*, *Saccharina latissima*, *Ascophyllum nodosum* и *Fucus vesiculosus*, полученные в результате многоэтапной химической экстракции по технологии, моделирующей промышленную переработку бурых водорослей. Для гидролиза использовали комбинации гликозил-гидролаз *Penicillium verruculosum* и *Myceliophthora thermophila* с удельными активностями в расчете на 1 мг белка препарата: 4,6-51,8 ед. эндоглюканаза, 0,3-0,7 ед. целлобиогидролаз, 0,5-8,6 ед. β-глюкозидаз и 5,8-14,2 ед. ламинариназ. Расход ферментов составил 30-55 мг белка/г абсолютно сухого субстрата (а.с.с.). Гидролиз проводили в термостате es-20/60 (Biosan, Латвия) при 50 °С и pH 5,0, в течение 24 часов при концентрации субстрата 1% по а.с.с. Концентрацию глюкозы измеряли глюкозооксидазным методом на анализаторе глюкозы Энзискан Ультра (Лабовэй, Россия). Эффективность гидролиза оценивали по степени конверсии в глюкозу, рассчитанной согласно формуле из (Shevchenko et al., 2023).

В серии образцов фракций водорослей четырех видов наибольшая степень конверсии в глюкозу 46% характерна для *L. digitata*, среди представителей водорослей рода Fucaceae вдвое большую, по сравнению с *F. vesiculosus*, глубину осахаривания 21% продемонстрировал образец *A. nodosum*, что обусловлено большим содержанием целлюлозы в составе водорослей в рамках семейств. С целью повышения доступности глюканов к воздействию ферментов провели предобработку фракций раствором 1M NaOH при 60 °С в течение 1 часа и альтернативно, 1,5% раствором H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1:9 при 100 °С в течение 30 минут. Выход фракций составил 96%. Щелочение обеспечило существенный прирост концентрации глюкозы в гидролизатах фракции *S. latissima*, однако наибольшую реакционную способность к ферментативному гидролизу продемонстрировала фракция *L. digitata*, степень конверсии которой повысилась на ~20%. Щелочная обработка обеспечила растворение белковых и гемицеллюлозных компонентов, увеличила доступную для ферментов поверхность глюканов. Для фракций *A. nodosum* и *F. vesiculosus* более эффективной оказалась кислотная обработка - степень конверсии в глюкозу *A. nodosum* достигла 40%.

Таким образом, химические стадии обработки нативных водорослей в сочетании с применением высокоэффективных ферментов в оптимизированных условиях позволяют достичь высоких показателей биоконверсии глюканов бурых арктических водорослей.

Shevchenko, A. R., Mayorova, K. A., ... Aksenov A. S., Sinitsyn, A. P. Enzymatic hydrolysis of kraft and sulfite pulps: what is the best cellulosic substrate for industrial saccharification?. // Fermentation. 2023. V. 9, №11. 936.

**Влияние некоторых абиотических факторов на вегетативный рост  
диатомовой водоросли *Navicula gregaria* на разных стадиях жизненного  
цикла**

**The influence of some abiotic factors on the vegetative growth of the diatom  
*Navicula gregaria* at different stages of the life cycle**

*Полякова С.Л., Давидович Н.А., Давидович О.И.*

*Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН, филиал  
ФИЦ Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Курортное, Феодосия,  
Республика Крым, Россия*

*Polyakova S.L., Davidovich N.A., Davidovich O.I.*

*Karadag Scientific Station – Nature Reserve RAS, Kurortnoe, Feodosiya, Republic of Crimea,  
Russia*

Вид *Navicula gregaria* Donkin, 1861 встречается повсеместно в водных средах с разной соленостью: озерах, реках, ручьях, прудах, а иногда и на влажных мхах или почвах, вдоль побережий, в солоноватых устьях рек и в эвтрофных водах. Из пробы с океанической соленостью, отобранной на Камчатке (бухта Южная 52°57'09"N 158°41'16"E) выделена одиночная клетка, давшая начало клональной культуре 21.0512-SK. Штамм =23.0725-A получен в результате гетероталлического полового воспроизведения камчатского штамма 21.0512-SK и штамма 22.1211-Z, полученного из вьетнамских проб. Эксперименты по влиянию солености и освещенности на темп деления клеток одного из родительских и дочернего штаммов проводили в стадии экспоненциального роста численности клеток в культуре. Для адаптации клоновые культуры засеяли в чаши Петри диаметром 5 см в модифицированную среду ESAW с разной соленостью (4, 10, 18, 30, 36, 47, 55, 65 и 70‰) а также в пресноводную среду DM с последующим пересевом в свежую среду. Для экспериментов по определению оптимальных условий освещения чаши Петри с культурами в среде соленостью 36‰ помещали в разные условия освещенности (4,9, 3,9, 2,9, 2,3, 1,7, 1,0 клк) при заданном 12-ти часовом фотопериоде.

В ходе экспериментов установлено, что у родительских клеток темп деления был практически одинаковым при 10, 18 и 36‰, в то время как наибольший темп деления дочерних клеток наблюдался при 30‰. В заданных условиях максимальный темп деления как родительских, так и у дочерних клеток не превышал 1,3 дел · сут<sup>-1</sup>. Стоит отметить, что клетки родительского штамма 21.0512-SK начинали делиться и нарастать уже в среде DM и в среде с соленостью 4‰, в отличие от дочернего штамма =23.0725-A, деление клеток которого отмечено в среде с соленостью 10‰ и выше, в то время как в средах с более низкой соленостью клетки оставались живы но переставали вегетативно размножаться. Возможно, это обусловлено размерами штаммов, апикальная длина родительских клеток 15,5 мкм, дочерних 35,5 мкм. Нами ранее уже отмечалась наибольшая устойчивость к изменениям эколого-физиологических факторов клеток меньшего размера в сравнении с крупными клетками одного вида (*Nitzschia* cf. *termoloides*). В эксперименте по освещенности максимальный темп деления отмечен при 2,9 клк для обоих штаммов. При этом темп деления постинициальных клеток был незначительно выше по сравнению с родительскими клетками, 2,1 и 1,9 дел сут<sup>-1</sup> соответственно.

Таким образом, наблюдается различие физиологических реакций клеток диатомовых водорослей, находящихся на разных этапах жизненного цикла.

# Микроводоросли и цианобактерии песчаных дюн Крайнего Севера России: морфология и ДНК-баркодинг

## Microalgae and cyanobacteria from the sand dunes of Russian High North: morphology and DNA barcoding

*Редькина В.В.<sup>1</sup>, Кривина Е.С.<sup>1</sup>, Соромотин А.В.<sup>2</sup>, Темралева А.Д.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Пушchino,  
Россия

<sup>2</sup>Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

*Redkina V.V.<sup>1</sup>, Krivina E.S.<sup>1</sup>, Soromotin A.V.<sup>2</sup>, Temraleeva A.D.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms, PSCBR RAS, Pushchino,  
Russia

<sup>2</sup>Tyumen State University, Tyumen, Russia

В работе изучали культивируемое разнообразие микроводорослей и цианобактерий в составе почв, биокорочек и лишайников на территории песчаного раздува в Надымском Приобье Западно-Сибирской равнины с использованием методов световой микроскопии и ДНК-баркодинга на основе внутреннего транскрибируемого спейсера ITS2 (для эукариотических водорослей) и последовательности гена 16S рРНК (для цианобактерий).

Исследуемая территория представляет собой эоловый песчаный ландшафт площадью около 3 км<sup>2</sup> в пределах северной тайги Западной Сибири (преобладают хвойные виды древесных растений *Pinus sibirica* (Du Tour), *Pinus sylvestris* (L), *Larix sibirica* (Ledeb) на второй надпойменной террасе в нижнем течении реки Надым. На активизацию эоловых процессов здесь сильно повлияла хозяйственная деятельность человека. Участок в плоских понижениях между активными дюнами является первой стадией первичной линейной сукцессий в направлении зональных (типичных северотаежных) лесов, участок на стабилизированных дюнах со смешанным березово-лиственнично-сосновым молодым лесом - второй стадией сукцессии. Почвы обоих участков - Albic Podzols.

В образцах почвы первой стадии сукцессии были обнаружены и выделены в чистые культуры 11 таксонов - представители харофитовых (*Klebsormidium*), зеленых (*Bracteacoccus*, *Deuterostichococcus*, *Elliptochloris*, *Neocystis*, *Parietochloris*, не описанный ранее вид из клады *Phacotinia*, *Spongiococcum*) и эустигматофитовых (*Vischeria*) водорослей. В образцах почвы, почвенных биологических корочек и талломов лишайников второй стадии сукцессии был обнаружен 21 таксон - представители харофитовых водорослей рода *Interfilum*, зеленых водорослей родов *Asterochloris*, *Chloroidium*, *Chloromonas*, *Coelastrella*, *Deuterostichococcus*, *Elliptochloris*, *Leptosira*, *Myrmecia*, *Pseudochlorella*, *Pseudococcomyxa*, *Sporotetras*, *Tritostichococcus*, а также эустигматофитовая водоросль *Vischeria* и цианобактерии *Dapisostemon* и *Scytonema*.

Таким образом, анализируемые сообщества преимущественно состояли из зеленых микроводорослей классов Trebouxiophyceae и Chlorophyceae. Анализ ITS2 позволил идентифицировать лишь половину таксонов эукариотических водорослей до уровня вида. Отчасти это связано с тем, что для разделения некоторых групп водорослей (*Asterochloris*, *Klebsormidium*, *Interfilum*, *Vischeria*) необходим анализ других генетических маркеров, например *rbcL*. Вторая проблема – запутанность систематики некоторых таксонов, например, это касается родов *Sporotetras*, *Parietochloris* и *Leptosira*. Кроме того, отметим недостаточность данных по нуклеотидным последовательностям выбранного генетического маркера в базе NCBI. Ну и наконец, ряд исследованных нами штаммов являются кандидатами в новые виды - VKM Al-464 *Interfilum* sp., VKM Al-457 *Bracteacoccus* sp., VKM Al-449 *Chloroidium* sp., VKM Al-476 *Deuterostichococcus* sp., VKM Al-467 *Klebsormidium* sp., а также новый род - VKM Al-472 из семейства Phacotaceae (Chlamydomonadales, Chlorophyta).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №24-16-00163).

## Анализ состава жирных кислот у двух видов диатомовых водорослей при разной солености

### Fatty acids profile analyzes of two diatom microalgae species under different salinity regimes

Репкина Н.С.<sup>1</sup>, Воронин В.П.<sup>1</sup>, Давидович О.И.<sup>2</sup>, Давидович Н.А.<sup>2</sup>, Мурзина С.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник Российской академии наук – филиал Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Российской академии наук», Феодосия, Россия

Repkina N.S.<sup>1</sup>, Voronin V.P.<sup>1</sup>, Davidovich O.I.<sup>2</sup>, Davidovich N.A.<sup>2</sup>, Murzina S.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Biology, Karelian Research Center RAS, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup>Vyazemsky Karadag Research Station, Nature Reserve of the Russian Academy of Science, Branch of Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Feodosiya, Russia

Диатомовые водоросли – ключевое звено пищевой цепи водных экосистем, они доминируют количественно и по видовому разнообразию в составе фитопланктона [1]. Известно, что при изменении условий среды, микроводоросли реализуют комплекс адаптаций, в том числе биохимических, для поддержания жизнедеятельности. Одним из таких механизмов является изменение состава жирных кислот (ЖК) и модификации липидов, что, в конечном итоге, поддерживает энергетический обмен и структурную целостность биомембран клетки. Одним из лимитирующих факторов распространения и воспроизводства микроводорослей является изменение солености. Целью настоящей работы было изучение влияния разной солености среды на ЖК состав двух видов диатомовых водорослей. Отбор проб *Haslea ostrearia* (Gaillon) Simonsen проведен в бассейне Черного моря (залив Донузлав), а *Nitzschia cf. thermaloides* – в районе грязевых вулканов Булганакского сопочного поля, Республика Крым. Выделенные клоновые культуры содержали в питательной среде ESAW с разным уровнем солености: 20 и 30 ‰ для *H. ostrearia* и 0-110‰ для *N. cf. thermaloides*. Анализ ЖК проводили методом ГХ-МСД, а отдельных классов липидов – методом ВЭТСХ. Аналитическая работа проведена на базе лаборатории экологической биохимии ИБ КарНЦ РАН и с использованием ЦКП КарНЦ РАН. Установлено большее содержание стеролов у *H. ostrearia* при 30 ‰, чем при 20 ‰. Показаны качественные различия ЖК профиля: идентифицированы 21-е ЖК у водорослей при 30 ‰ и 13-ть ЖК при 20 ‰. Обнаружение отдельных минорных n-3 и n-6 полиненасыщенных ЖК (ПНЖК) свидетельствуют об активном биосинтезе, а соотношения отдельных ЖК указывает на направление метаболизма по пути n-3 ПНЖК у *H. ostrearia* при 30 ‰. Для *N. cf. thermaloides* показано преимущественное содержание насыщенных жирных кислот (НЖК). Профиль НЖК в порядке убывания: 16:0, 18:0, 22:0, 20:0, 14:0, 15:0. При разной солености среды их качественный состав не изменялся, а их количественное содержание незначительно варьировало. Полученные данные свидетельствуют о видоспецифичной стратегии изменения состава ЖК в ответ на изменение солености, а также указывают на различающиеся границы галотолерантности. Более того, оба вида могут рассматриваться с точки зрения ресурса для биотехнологии, в качестве источников ПНЖК – *H. ostrearia* и НЖК – *N. cf. thermaloides*.

Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН FMEN-2022-0006.

Bhattacharjya R., Tiwari A., Marella T.K. et al. New paradigm in diatom omics and genetic manipulation // Biores. Tech. 2021. Vol. 325. P. 124708.

## **Цианобактерии литобионтных сообществ в горных экосистемах на примере гор Айкуайвенчорр и Кукисвумчорр (Хибины, Мурманская область)**

### **Cyanobacteria of lithobiont communities in mountain ecosystems on the example of the Aikuaivenchorr and Kukisvumchorr mountains (Khibiny, Murmansk region)**

*Родина О.А.<sup>1,2</sup>, Сазанова К.В.<sup>2</sup>, Копейна Е.И.<sup>1</sup>, Давыдов Д.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

<sup>2</sup>*Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

*Rodina O.A.<sup>1,2</sup>, Sazanova K.V.<sup>2</sup>, Kopeina E.I.<sup>1</sup>, Davydov D.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Polar-Alpine Botanic Garden-Institute - Separate subdivision of Federal Research Center «Kola Science Center», Apatity, Russia*

<sup>2</sup>*Komarov Botanical institute RAS, Saint-Petersburg, Russia*

Литобионтные сообщества привлекают внимание своей геохимической активностью, поскольку участвуют в таких важных процессах, как выветривание горных пород и начальное образование почвы. Литобионты способствуют круговороту основных органических элементов, включая углерод и азот (Rousk, Bengtson, 2014). Биоплёнки являются частой формой существования на горной поверхности и состоят не только из самих микроорганизмов (таких как водоросли, бактерии, грибы, лишайники и простейшие), но и из внеклеточных веществ — продуктов их метаболизма (Berdoulay, Salvado, 2009). Целью данной работы является выявление видового состава цианобактерий и пространственного распределения метаболитов литобионтных сообществ гор Айкуайвенчорр и Кукисвумчорр. Пробы отбирали в стерильные фальконы и крафтовые конверты. Идентификация видов проводилась с использованием световой микроскопии по морфологическим признакам по классическим определителям. Для анализа метаболома пробы биопленок экстрагировали метанолом. Экстракты выпаривали до сухого остатка, растворяли в пиридине и получали ТМС (триметил-силил-производные) соединений. Анализ выполняли методом газовой хроматографии / масс-спектрометрии (ГХ-МС) на приборе Maestro instrument (Interlab, Russia) с детектором Agilent 5975. Колонка HP-5MS, 30 m X 0.25 mm X 0.25 µm. Хроматограммы были записаны по полному ионному току. Статистический анализ был выполнен в программе MetaboAnalyst ([https:// www.metaboanalyst.ca](https://www.metaboanalyst.ca)). По морфологическим признакам всего было выявлено 17 таксонов цианобактерий ранга ниже рода. Проведено сравнение видового состава в исследуемых точках. По результатам ГХ-МС анализа отмечено наличие моно- ди- и трисахаров, гликозидов, полиолов, сахарокислот, жирных кислот, кислот цикла Кребса, терпенов (фитол и неофитадиен), фенольных соединений (бензойная кислота, токоферол, 1,3-дигидроксиантрахинон, бензальдегид, гидроксихинон), стеринов и алкалоидов (оксид кариофиллена). Главным образом пробы отличаются по количественному составу сахаров и их соотношению. Как правило, в темноокрашенных биопленках преобладает трегалоза и сахароза.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-14-20002.*

Berdoulay, M. & Salvado J. C. Genetic Characterization of Microbial Communities Living at the Surface of Building Stones // Letters in Applied Microbiology. 2009. №49 (3). P. 311–316.

Rousk, J.; Bengtson, P. Microbial regulation of global biogeochemical cycles // Frontiers in Microbiology. 2014. №5(225), P. 103.

## Харовые водоросли (Charophyceae, Characeae) юго-востока Восточно-Европейской равнины

### Charophytes (Charophyceae, Characeae) of south-east of East-European plain

Романов Р.Е.<sup>1</sup>, Вишняков В.С.<sup>2</sup>, Никулин В.Ю.<sup>3</sup>, Жакова Л.В.<sup>4</sup>, Никулин А.Ю.<sup>3</sup>, Беляков Е.А.<sup>2</sup>,  
Ефремов А.Н.<sup>5</sup>, Афанасьев Д.Ф.<sup>6</sup>, Гончаров А.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, Борок, Россия

<sup>3</sup>ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>4</sup>Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup>Научный центр фундаментальных и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии  
Ульяновского государственного педагогического университета, Ульяновск, Россия

<sup>6</sup>ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

Romanov R.E.<sup>1</sup>, Vishnyakov V.S.<sup>2</sup>, Nikulin V.Yu.<sup>3</sup>, Zhakova L.V.<sup>4</sup>, Nikulin A.Yu.<sup>3</sup>, Belyakov E.A.<sup>2</sup>,  
Efremov A.N.<sup>5</sup>, Afanasyev D.F.<sup>6</sup>, Gontcharov A.A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia,

<sup>2</sup>Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia

<sup>3</sup>Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia

<sup>4</sup>Zoological Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

<sup>5</sup>Research Center for Fundamental and Applied Problems of Bioecology and Biotechnology,  
Ulyanovsk State Pedagogical University, Ulyanovsk, Russia

<sup>6</sup>Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia

Для выявления видового разнообразия харовых водорослей, уточнения распространения видов, подготовки рекомендаций для охраны отдельных видов в 2019–2022 гг. проведены полевые исследования популяций харовых водорослей юго-востока Восточно-Европейской равнины на территориях Волгоградской и Астраханской областей, Республик Адыгея и Калмыкия, Краснодарского и Ставропольского краев, проверены все доступные образцы в гербариях Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (LE) и Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (IBIW), а также обобщены литературные источники и учтены данные iNaturalist.org. Выявлено 30 видов: 18 видов *Chara* L., 5 видов *Nitella* C. Agardh, 4 вида *Tolypella* (A. Braun) A. Braun, по 1 виду *Lamprothamnium* J. Groves, *Lychnothamnus* (Ruprecht) A. Braun и *Nitellopsis* Hu, включая 1 вид, известный по литературным данным (*Nitella tenuissima* (Desv.) Kütz.). Разнородность природных условий объясняет высокое видовое богатство харовых водорослей региона. Обнаружены 2 новых вида для России (*Chara oedophylla* Feldm.-Maz. и *Tolypella mongolica* R.E. Romanov, V.S. Vishnyakov, V.Yu. Nikulin et A.A. Gontcharov) и 2 новых вида для Европы (*C. altaica* A. Braun и *T. mongolica*). Регион примечателен тем, что здесь находятся наиболее западные местонахождения *C. altaica*, *C. kirghisorum* Less., *T. mongolica*, наиболее восточное местонахождение *C. oedophylla*, наиболее северные местонахождения *C. neglecta* Hollerb., *C. oedophylla* и *C. uzbekistanica* Hollerb. Часть видов изучена в рамках интегративной таксономии. По результатам работы два вида, *Chara baltica* (Hartm.) Bruzelius и *Lychnothamnus barbatus* (Meen) Leonh., включены в Красную книгу Российской Федерации.

## Конструирование фотобиореакторов для массового культивирования микроводорослей и цианобактерий

### Design of photobioreactors for mass cultivation of microalgae and cyanobacteria

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

*Savinykh G.A., Gabrielyan D.A., Gabel B.V., Sinetova M.A., Los D.A.  
K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia*

Микроводоросли – это фотосинтезирующие микроорганизмы, которые играют важную роль в образовании кислорода и органических соединений на Земле. Они имеют широкое применение в различных сферах деятельности человека благодаря своим уникальным возможностям продуцировать ценные метаболиты, витамины и другие органические соединения.

Для интенсивного выращивания микроводорослей существуют различные методы и устройства. Получение биомассы высокого качества требует специальных фотобиореакторов (ФБР), которые создают и поддерживают оптимальные условия для интенсивного роста культуры или накопления целевого продукта, а также сочетают в себе множество многоцелевых решений. Промышленные реакторы большого объема могут быть как конструкцией из нескольких узких реакторов, соединенных в виде батареи, так и единой емкостью с погруженной внутрь системой освещения. Разделение большого объема на несколько меньших позволяет избежать потери всей суспензии в случае нештатных ситуаций, к примеру, контаминации (Габриелян и др., 2023).

Важным аспектом оптимизации промышленного культивирования является поэтапное масштабирование процессов культивирования, перенос суспензии в ФБР большего объема по окончании экспоненциальной или линейной фазы роста.

В работе представлены результаты с экспериментальных запусков фотобиореакторов малого и среднего объемов (5-25 л) с культурой зеленой микроводоросли *Chlorella sorokiniana* IPPAS C-1. В ходе работы был сформулирован порядок расчета цикла промышленного культивирования на примере масштабирования с сосуда лабораторной системы интенсивного культивирования объемом 0.25 л (ЛСИК) в плоскостной ФБР объемом 5 л (П-5) и промышленный ФБР объемом 100 л (П-100). П-100 выполнен в виде сочетания четырех реакторов по 25 л. Были рассчитаны оптические плотности (ОП при 750 нм) по окончании каждого этапа культивирования, время культивирования в каждом ФБР, и получено итоговое количество сухой биомассы. Представлено сравнение расчетных данных с результатами экспериментов. Было определено, что в конце культивирования на ЛСИК ОП<sub>750</sub> должна быть равна 6, в конце культивирования на П-5 равна 12, после П-100 ОП<sub>750</sub> равна 10-12. В итоге цикл займет неделю и будет получено порядка 400 г сухой биомассы *Chlorella sorokiniana* IPPAS C-1.

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

Габриелян Д. А., Синетова М. А., Габель Б. В. [и др.] / Полупромышленное культивирование микроводорослей и цианобактерий в плоскостных фотобиореакторах // Устойчивость растений и микроорганизмов к неблагоприятным факторам среды: тезисы докладов VI Всероссийской научной конференции с международным участием, Иркутск, Большое Голоустное, 03–07 июля 2023 года. – Иркутск: Иркутский государственный университет, 2023. – С. 163. – EDN SEBWJJ.

# Влияние климатических факторов на многолетнюю динамику фототрофных сообществ содового озера Танатар VI (Кулундинская степь)

## The influence of climatic factors on the long-term dynamics of phototrophic communities of soda lake Tanatar VI (Kulunda steppe)

*Самылина О.С.<sup>1</sup>, Косякова А.И.<sup>1</sup>, Крылов А.А.<sup>2</sup>, Сорокин Д.Ю.<sup>1</sup>, Пименов Н.В.<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup>Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

*Samylyna O.S.<sup>1</sup>, Kosyakova A.I.<sup>1</sup>, Krylov A.A.<sup>2</sup>, Sorokin D.Yu.<sup>1</sup>, Pimenov N.V.<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup>Winogradsky Institute of Microbiology, Research Center of Biotechnology RAS, Moscow, Russia  
<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

Ещё в середине XX в. для Западной Сибири были выявлены внутривековые климатические циклы длительностью от 20 до 47 лет, которые проявляются в чередовании влажных и засушливых периодов (Шнитников, 1950). Для Кулундинской степи и Барабинской низменности характерны и более кратковременные (9–14 лет) климатические колебания, связанные с циклами солнечной активности (Максимов, 1989), которые обуславливают существенные изменения уровня воды и связанной с ним солености в бессточных минерализованных озерах этого региона. В данной работе мы рассматриваем многолетнюю сукцессию фототрофных микробных сообществ в небольшом мелководном содовом озере Танатар VI, расположенном в Кулундинской степи (Samylyna et al., 2024). Целью работы был анализ взаимосвязи между изменениями солнечной активности, площадью поверхности и соленостью озера за 12-летний период наблюдений (2011–2022 гг.), а также анализ влияния этих изменений на сукцессию фототрофных микробных сообществ.

За период исследования площадь поверхности озера изменилась в три раза (min 1.18 км<sup>2</sup>, max 3.58 км<sup>2</sup>), соленость – более чем на порядок (max 250 г/л, min 13 г/л). На основе анализа спутниковых и гидрохимических данных, а также полевых наблюдений выделены периоды высокой (100–250 г/л; 2011–2014 гг.), средней (60 г/л; 2015–2016 гг.), очень низкой (13–16 г/л; 2017–2020 гг.) и низкой (23–34 г/л; 2021–2022 гг.) солености. Смена периодов происходила при смене фаз в ходе 24-го и 25-го циклов солнечной активности. Проанализирована встречаемость 33 морфотипов цианобактерий, двух ключевых морфотипов зеленых водорослей и четырех морфотипов аноксигенных фототрофных бактерий. Показано, что многолетняя динамика разнообразия фототрофных микроорганизмов определялась изменением солености, которое было естественным, долгосрочным и колебательным. Таким образом, наши данные показывают, что экосистема модельного содового озера на юге Западной Сибири характеризуется динамической стабильностью, обусловленной климатическими циклами. Под динамической стабильностью мы понимаем чередование различных альтернативных (структурных и/или функциональных) устойчивых состояний экосистемы, закономерно повторяющихся во времени.

*Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 22-14-00038).*

Максимов А.А. Природные циклы. Причины повторяемости экологических процессов. – Ленинград: Наука, 1989. – 236 с.

Шнитников А.В. Внутривековые колебания уровня степных озер Западной Сибири и Северного Казахстана и их зависимость от климата // Труды лаборатории озероведения. – М.: Наука, 1950. Т. 1. С. 28–30.

Samylyna O.S., Kosyakova A.I., Krylov A.A., Sorokin D.Yu., Pimenov N.V. Salinity-induced succession of phototrophic communities in a southwestern Siberian soda lake during the solar activity cycle // *Heliyon*. 2024. V. 10. №4. Art. e26120.

## Морфологические, физиологические и генетические особенности новых штаммов микроводорослей *Asteromonas gracilis* из гипергалинных водоемов России

### Morphological, physiological and genetic characteristics of new strains of microalgae *Asteromonas gracilis* from hypersaline reservoirs of Russia

*Селиванова Е.А., Тынников О.А.*

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

*Selivanova E.A., Tynnikov O.A.*

*Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch RAS, Orenburg, Russia.*

Благодаря характерной морфологии вид *Asteromonas gracilis* Artari 1913 (Chlorophyta), впервые обнаруженный в соленых водоемах в Крыму, активно регистрировался в подобных местообитаниях по всему миру, как и другие представители рода *Asteromonas*, описанные на основании морфологических отличий и требующие детального изучения (Peterfi et al. 1968). При филогенетическом анализе на основе ITS1+5.8S+ITS2 единственная в GeneBank последовательность *A. gracilis* из Ирана, группировалась вместе с другими галофильными представителями Chlamydomonadales, однако ветвь имела слабую бутстрэп-поддержку, а для ITS2 фрагмента не удалось получить удовлетворительную модель вторичной структуры (Henley et al., 2018). Таким образом, представители рода *Asteromonas* остаются недостаточно изученными на сегодняшний день.

В задачи исследования входило определить распространение рода *Asteromonas* водоемах с различной соленостью и провести сравнительный анализ новых культур, выделенных из географически удаленных источников, с применением полифазного подхода.

С помощью ДНК-метабаркодинга по V4 фрагменту гена 18S рРНК анализировались планктонные пробы из водоемов соленостью от 0 до 380 г/л в четырех регионах: Крым, Волгоградская, Оренбургская и Челябинская области (MiSeq (Illumina)). У пяти культур, выделенных из пруда для выпаривания соли у Сиваша, р. Малой Самороды и эфемерного водоема около реки Солянка, а также из озера Тузлучное, были изучены особенности морфологии, галотолерантности, экологии и филогении на основании генов 18S рРНК, ITS1+5.8S+ITS2, *rbcL*. Последовательности генов 18S рРНК были идентичными и демонстрировали высокое сходство до 99,9% с последовательностями других представителей вида *A. gracilis*. При сравнительном анализе фрагмента ITS1+5.8S+ITS2 выявлялись различия штаммов в зависимости от их источника выделения (Крым, реки Приэльтонья, Соль-Илецкие озера). Впервые определена полная последовательность гена *rbcL* для этого вида и вторичная структура ITS2 фрагмента. Выделенные культуры характеризовались сходной морфологией и имели незначительные различия в размерах, однако отличались по диапазону галотолерантности. Установлено, что нижняя граница развития всех изученных штаммов *A. gracilis* не ниже 40 г/л, что свидетельствует о том, что исследуемые штаммы являются галофильными, а не галотолерантными.

*Работа выполнена на базе ЦКП «Персистенция микроорганизмов» ИКВС УрО РАН при финансовой поддержке гранта РФФИ 23-24-10062 (<https://rscf.ru/project/23-24-10062/>).*

Peterfi L. S., Manton I. Observations with the electron microscope on *Asteromonas gracilis* Artari emend. (*Stephanoptera gracilis* (Artari) Wisl.), with some comparative observations on *Dunaliella* sp. // British Phycological Bulletin. 1968. V. 3, № 3. P. 423-440.

Henley W.J., Cobbs M., Novoveská L., Buchheim M.A. Phylogenetic analysis of *Dunaliella* (Chlorophyta) emphasizing new benthic and supralittoral isolates from Great Salt Lake // Journal of phycology. 2018. V. 54, № 4. P. 483-493.

# Генетическое разнообразие галофильных микроводорослей рода *Dunaliella*, выделенных из различных географических источников

## Genetic diversity of halophilic microalga of *Dunaliella* genus isolated from geographically different sites

*Селиванова Е.А., Тынников О.А., Насырова М.А., Плотников А.О.*

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

*Selivanova E.A., Tynnikov O.A., Nasyrova M.A., Plotnikov A.O.*

*Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch RAS, Orenburg, Russia.*

Гипергалинные водоемы, включающие как талассогалинные, так и аталассогалинные, широко распространены на всех континентах. Галофильные микроводоросли рода *Dunaliella* (Chlorophyta) являются важным компонентом микробных сообществ и одним из основных продуцентов органического вещества в условиях высокой солености. Представители рода *Dunaliella* используются для получения  $\beta$ -каротина, биотоплива и как система экспрессии рекомбинантных белков (Acevedo et al., 2022). Различные виды отличаются по физиологии, биохимическому составу клеток и биотехнологическому потенциалу. Существует несколько таксономических классификаций видов внутри рода *Dunaliella*, основанных на их морфологических, физиологических и молекулярно-генетических особенностях. Однако между различными классификациями существуют несоответствия, что приводит к неоднозначной идентификации описываемых штаммов (Dehghani et al., 2019). Считается, что разнообразие рода *Dunaliella* в настоящее время недооценено из-за недостаточной выборки и отсутствия полных описаний ряда штаммов (Henley et al., 2018).

С помощью секвенирования генов 18S рРНК, *rbcL* и региона ITS1-5.8S-ITS2 мы оценили филогенетическое положение и таксономическую принадлежность 40 новых штаммов микроводорослей рода *Dunaliella*, выделенных из морских прудов для выпаривания соли юго-восточной части Италии и Португалии, Сицилии, из Крыма, а также из внутренних соленых озер в различных регионах России (Эльтон, Соль-Илецк, Кулундинская степь).

Полученные результаты продемонстрировали значительное генетическое разнообразие галофильных представителей рода *Dunaliella* и его ближайших соседей из семейства Dunaliellaceae. Отдельные клады *D. parva*, *D. salina*, *D. viridis* включали представителей из географически удаленных местообитаний. Таким образом, тщательный и интенсивный отбор проб позволил оценить географическое распространение известных видов *Dunaliella*. Некоторые новые изоляты галофильных микроводорослей могут представлять новые виды. Полученные результаты расширяют современное представление о разнообразии галофильных микроводорослей семейства Dunaliellaceae и указывают направления дальнейшего поиска новых биотехнологически ценных штаммов.

*Работа выполнена на базе ЦКП «Персистенция микроорганизмов» ИКВС УрО РАН при финансовой поддержке гранта РФФИ 23-24-10062 (<https://rscf.ru/project/23-24-10062/>).*

Acevedo H.E.H., Ramos L.F., Cifuentes F.V., Soto A.R., Samanamud C.P.A. Characterization and production potential of carotenes in Peruvian strains of *Dunaliella salina* Teodoresco // J. World Aquacult. Soc. 2022. V. 53, № 3. P. 765-780.

Dehghani J., Atazadeh E., Omidi Y., Movafeghi A. The use of 18S ribosomal DNA, ITS and *rbcL* molecular markers to study the genus *Dunaliella* (Dunaliellaceae) in Iranian samples: A phylogenetic approach // Oceanological and Hydrobiological Studies. 2019. V. 49, № 1. P. 88-98.

Henley W.J., Cobbs M., Novoveská L., Buchheim M.A. Phylogenetic analysis of *Dunaliella* (Chlorophyta) emphasizing new benthic and supralittoral isolates from Great Salt Lake // Journal of phycology. 2018. V. 54, № 4. P. 483-493.

**Применение количественных методов исследования экологии  
макроскопических водорослей для фитоиндикации качественного  
состояния водных объектов Западно-Сибирской равнины**

**Application of quantitative methods of the research of the ecology of  
macroscopic algae for the phytoindication of the quality of water bodies of the  
West Siberian Plain**

*Свириденко Б.Ф.<sup>1</sup>, Мурашко Ю.А.<sup>2</sup>, Ефремов А.Н.<sup>1</sup>, Токарь О.Е.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>ОмГПУ, Омск, Россия, <sup>2</sup>СурГУ, Сургут, Россия, <sup>3</sup>ТюмГУ, Тюмень, Россия*

*Sviridenko B.F.<sup>1</sup>, Murashko Yu.A.<sup>2</sup>, Efremov A.N.<sup>1</sup>, Tokar O.E.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Omsk State Pedagogical University, Omsk, Russia, <sup>2</sup>Surgut State University, Surgut, Russia,  
<sup>3</sup>Tyumen State University, Tyumen, Russia*

Западно-Сибирская равнина является регионом, в котором факторы водной среды широко варьируют, что позволяет получить количественную информацию об экологической толерантности гидромакрофитов. В период 1984-2023 гг. выполнялись работы по оценке параметров воды в экотопах водных макроскопических растений, в том числе видов из порядков Charales, Zygnematales, Ulvales, Cladophorales, Ulothrichales, Chaetophorales, Oedogoniales, Vaucheriales, Tribonemales, Nematiales. Целью было выявление количественных диапазонов толерантности видов к ведущим параметрам водной среды. В 1984-1994 гг. сбор данных выполнялся в казахстанской части равнины. В экотопах изучалась концентрация основных ионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ), общая минерализация, общая жесткость, активная реакция воды. В 1995-2023 гг. эти исследования продолжены на российской территории, дополнительно определялась концентрация растворимых форм металлов (Pb, Ni, Mn, Zn, Cd, Cr, Cu, Fe) и нефтяных углеводородов. Результаты представлены в табличной форме, где для видов указаны диапазоны значений факторов (минимальные и максимальные). В итоге эти данные позволяют оценивать режим, в пределах которого возможно существование каждого вида. Предварительные материалы были опубликованы (Свириденко и др., 2016, 2017 а, б), однако эта работа продолжается, в связи с чем диапазоны значений факторов систематически уточняются. Количественная оценка толерантности видов послужила основой для разработки систем экобиоморф харофитов (Свириденко, Свириденко, 2016). Алгоритм количественной оценки параметров водной среды на основе информации о толерантности видов макроскопических водорослей и высших гидрофитов приведен в одной из работ (Свириденко и др., 2011).

Свириденко Б.Ф., Мамонтов Ю.С., Свириденко Т.В. Использование гидромакрофитов в комплексной оценке экологического состояния водных объектов Западно-Сибирской равнины. – Омск: Амфора, 2011. – 231 с.

Свириденко Б.Ф., Мурашко Ю.А., Свириденко Т.В., Ефремов А.Н. Толерантность гидромакрофитов к активной реакции, минерализации и жесткости воды в природных и техногенных водных объектах Западно-Сибирской равнины // Вестник НВГУ. Экология. 2016. № 2. С. 8-17.

Свириденко Б.Ф., Мурашко Ю.А., Свириденко Т.В., Ефремов А.Н. Содержание нефтяных углеводородов в экотопах гидромакрофитов Западно-Сибирской равнины (Тюменская и Омская области) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2017 а. № 1. С. 25-30.

Свириденко Б.Ф., Мурашко Ю.А., Свириденко Т.В., Ефремов А.Н., Токарь О.Е. Содержание тяжелых металлов в экотопах гидромакрофитов Западно-Сибирской равнины // Вестник СурГУ. Биологические науки. 2017 б. № 4. С. 81-96.

Свириденко Т.В., Свириденко Б.Ф. Харовые водоросли (Charophyta) Западно-Сибирской равнины. – Омск: Амфора. 2016. – 247 с.

**Скрытое разнообразие цианобактерий с морфотипом ‘Leptolyngbya’,  
изолированных из соленых и содовых озер**

**Cryptic diversity of cyanobacteria with ‘Leptolyngbya’ morphotype isolated  
from salt and soda lakes**

Синетова М.А.<sup>1</sup>, Самылина О.С.<sup>2</sup>, Косякова А.И.<sup>2</sup>, Батаева Ю.В.<sup>3</sup>, Стариков А.Ю.<sup>1</sup>,  
Куприянова Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН,  
Москва, Россия

<sup>3</sup>Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии  
Роспотребнадзора, Оболensk, Россия

Sinetova M.A.<sup>1</sup>, Samylina O.S.<sup>2</sup>, Kosyakova A.I.<sup>2</sup>, Bataeva Yu.V.<sup>2</sup>, Starikov A.Yu.<sup>1</sup>,  
Kupriyanova E.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>K.A. Timiryazev Institute of plant physiology RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Winogradsky Institute of Microbiology, Research Center of Biotechnology RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup>State Scientific Center of Applied Microbiology and Biotechnology of Rosпотребнадзор, Obolensk,  
Russia

Цианобактерии с морфотипом ‘Leptolyngbya’ имеют тонкие трихомы (<3.5 мкм) и периферически расположенные тилакоиды. Подобный морфотип часто встречается в соленых и содовых водоемах. Однако имеющиеся в литературе данные показывают высокое скрытое таксономическое разнообразие среди этих цианобактерий. Мы исследовали 5 штаммов цианобактерий, имеющих морфотип ‘Leptolyngbya’ и изолированных из соленых и содовых водоемов, используя полифазный подход.

Штамм IPPAS B-2022 был выделен из соленого озера Мраморное (Астраханская область, Россия). Молекулярно-генетический анализ показал сходство 97.2% по последовательности 16S рРНК-ITS со штаммом *Halomicronema hongdechloris* C2206, изолированным из залива Шарк Западной Австралии. Филогенетический анализ показал, что штаммы C2206 и IPPAS B-2022 образуют кладу, отдельную кладу с типовым видом *Halomicronema* – *H. excentricum* и, следовательно, представляют собой новый род, принадлежащий семейству Nodosilineaceae. Штаммы нового рода объединяет морфологическое сходство, присутствие хлорофилла *f* и отсутствие толерантности к 0.2 М NaHCO<sub>3</sub>.

Штаммы G3-1803 и Z-D0801 были выделены из содовых озер Горчина 3 (Алтайский край) и Доронинское (Забайкалье). Последовательности 16S рРНК-ITS этих штаммов имеют 97.76% сходства. Из валидно описанных видов максимальное сходство по 16S рРНК (~93.5%) с исследуемыми штаммами имеют *Amazoninema brasiliense* CMAA1609 и *Sphaerotherix gracilis* Esp01 (Nodosilineaceae). Следовательно, штаммы G3-1803 и Z-D0801 принадлежат новому роду в семействе Nodosilineaceae и, вероятно, представляют его разные виды. Оба штамма характеризуются хорошим ростом на средах, содержащих 0.2 М NaHCO<sub>3</sub>.

Штамм LZ-2005 был выделен из соленого щелочного озера Второе Засечное (Курганская область), штамм EL-2009 – из соленого озер Эльтон (Волгоградская область). Последовательности 16S рРНК-ITS этих штаммов имеют сходство 98.87% между собой и 99.7% с последовательностью 16S рРНК референсного штамма типового вида *Toxifilum mysidocida* MYSIDO1, обитающего в соленых маршах у залива Нуэсес (Техас, США) и являющегося продуцентом анабенопептина G. Таким образом, штаммы LZ-2005 и EL-2009 принадлежат к роду *Toxifilum*, и характеризуются заостренными на конце филаментами, хорошим ростом на морских и соленых средах с высоким содержанием азота, толерантностью к присутствию 0.2 М NaHCO<sub>3</sub>.

*Работа поддержана грантом РФФ № 21-74-30003.*

## **Биоремедиация карьерных сточных вод с использованием автохтонных и аллохтонных штаммов микроводорослей**

### **Phycoremediation of open-pit coal mine wastewaters with microalgae**

*Соловченко А.Е.<sup>1</sup>, Селях И.О.<sup>1</sup>, Семенова Л.Р.<sup>1</sup>, Щербаков П.Н.<sup>1</sup>, Михайлова Е.С.<sup>2</sup>, Лукьянов А.А.<sup>1</sup>, Лобакова Е.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия*

*Solovchenko A.E.<sup>1</sup>, Selyakh I.O.<sup>1</sup>, Semenova L.R.<sup>1</sup>, Scherbakov P.N.<sup>1</sup>, Mikhaylova E.S.<sup>2</sup>, Lukyanov A.A.<sup>1</sup>, Lobakova E.S.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.*

<sup>2</sup>*Kemerovo State University, Kemerovo, Russia.*

Биотехнологии, включая биотехнологии, основанные на культивировании микроводорослей, имеют преимущества даже перед современными физико-химическими методами биоремедиации сточных вод угольных карьеров и шахт, загрязненных токсичными тяжелыми металлами. Микроводоросли, процветающие в таких биотопах, являются многообещающими кандидатами на эту роль, поскольку они обладают выраженной способностью поглощать и накапливать тяжелые металлы. Перспективный подход к решению описанной выше проблемы очистки карьерных сточных вод заключается в установке на месте накопителей сточных вод (зумпфов) фотобиореакторов с культурами устойчивых к тяжелым металлам микроводорослей.

С этой целью на территории угольного разреза «Моховский» были собраны биообразцы, из которых были выделены микроводоросли. Выполнено сравнительное тестирование полученных изолятов микроводорослей с использованием модельных и реальных карьерных сточных вод. Аналогичные испытания были также проведены с использованием штамма микроводорослей, полученного из географически удаленного из биотопа, загрязненного фосфатами.

Карьерные сточные воды не вызывали острой токсичности у исследованных микроводорослей. Тем не менее, сточные воды угольных шахт характеризовались изменчивостью количественного состава из-за геологических особенностей участка добычи, продолжительности их стабилизации в прудах-отстойниках, а также сезонных изменений. Эти обстоятельства необходимо учитывать при разработке технологии ремедиации сточных вод с применением культур микроводорослей.

Сточные воды угольных шахт содержат мало азота и фосфора. Поэтому их очистка с помощью активно растущих суспензионных культур без добавления азота и фосфора будет затруднена. Несмотря на это, с применением водорослей удалось снизить концентрацию тяжелых металлов до уровня, который считается безопасным для сброса. Установлено, что сорбционная способность клеток изученных микроводорослей по отношению к Zn, Mn и Fe достаточно высока (но у автохтонных штаммов она выше, чем у аллохтонных). Ожидается, что ожидаемый ресурс культур микроводорослей будет достаточным при условии их иммобилизации на подходящем биополимере.

*Работа выполнена при поддержке РФФ (грант 21-74-20004).*

## Разнообразие рода *Synura* Европейской части России на основании морфологических и молекулярно-генетических данных

### Diversity of the genus *Synura* in the European part of Russia based on morphological and molecular data

*Стерлягова И.Н.<sup>1</sup>, Гусев Е.С.<sup>2</sup>, Мартыненко Н.А.<sup>2</sup>, Кулизин П.В.<sup>3</sup>, Воякина Е.Ю.<sup>4,5</sup>, Патова Е.Н.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия*

<sup>2</sup>*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия*

<sup>3</sup>*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия*

<sup>4</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>5</sup>*Санкт-Петербургский ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия*

*Sterlyagova I.N.<sup>1</sup>, Gusev E.S.<sup>2</sup>, Martynenko N.A.<sup>2</sup>, Kulizhin P.V.<sup>3</sup>, Voyakina E.Yu.<sup>4</sup>, Patova E.N.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Institute of Biology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia*

<sup>2</sup>*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>4</sup>*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia*

<sup>5</sup>*Saint-Petersburg Research Center RAS, Saint-Petersburg, Russia*

Род *Synura* Ehrenb. представляет собой группу колониальных свободноплавающих пресноводных золотистых водорослей, которые встречаются в различных водоемах Европейской части России. К настоящему времени известно около 90 таксонов рода *Synura*, из которых 54 являются валидными (Škaloud et al, 2023). Находки представителей *Synura* на территории России основаны в основном на данных световой электронной микроскопии (Волошко, 2017; и др.). К настоящему времени молекулярно-генетические исследования рода *Synura* на территории России единичны (Гусев и др., 2016). В России из 33 выявленных видов рода *Synura* лишь 4 подтверждено как молекулярно-генетическими, так и морфологическими методами (Гусев и др., 2016). Цель работы — провести морфологический и молекулярно-генетический анализ штаммов из коллекций ИБ Коми НЦ УрО РАН (SYKOA) и ИБВВ РАН (BOROK WDCM602), относящихся к роду *Synura*, а также анализ данных, полученных методом метабаркодинга. Всего было проанализировано 29 штаммов рода *Synura* из водоёмов, расположенных на территории северо-востока европейской части России (Республика Коми, Ярославская, Владимирская и Нижегородская области) и изучено методом метабаркодинга 36 водоёмов республик Коми и Карелия, а также Нижегородской области. Молекулярно-генетическими данными подтверждены находки пяти новых для флоры России видов.

*Работа выполнена в рамках темы госзадания «Оценка эколого-ценотического, видового и популяционного разнообразия растительного мира ключевых особо охраняемых природных территорий Республики Коми №122040600026-9.*

Волошко Л. Н. Золотистые водоросли севера России. – СПб.: «Реноме», 2017. 380 с.

Гусев Е.С., Капустин Д.А., Мартыненко Н.А. Морфологическое и молекулярно-генетическое изучение видов рода *Synura* Ehrenb. (Chrysophyceae) из коллекции ИБВВ РАН // Тр. Ин-та биол. внутр. вод РАН. – Ярославль, 2016. – Вып. 73 (76). – С. 5–11.

Kristiansen J., Preisig H.R. Chrysophyte and Haptophyte Algae. Part 2: Synurophyceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. – Vol. 1/2. – Berlin: Springer-Verlag, 2007. – 252 p.

Škaloud P., Škaloudová M., Jadrná I., Pilátová J., ShinW., Kopecký J. Unravelling the hidden complexity in diversity and pigment composition of a colonial flagellate *Synura sphagnicola* (Chrysophyceae, Stramenopiles) // Fottea, Olomouc. 2023. Vol. 23(2). P. 149-163.

## Молекулярные и клеточные механизмы адаптации *Ulnaria acus* к условиям среды обитания

### Molecular and cellular mechanisms of adaptation of *Ulnaria acus* to environmental conditions

*Судакова Э.М., Бедошвили Е.Д.*

*Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия*

*Sudakova E.M., Bedoshvili Ye.D.*

*Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia*

Диатомея *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal является одним из доминирующих видов в фитопланктоне оз. Байкал. Вопросы о физиологических особенностях клеток диатомей являются особенно актуальными в плане определения их потенциала для биотехнологического применения и выяснения молекулярных и клеточных механизмов функционирования водных экосистем. В докладе рассмотрены вопросы об адаптивных механизмах клеток *U. acus* при длительном культивировании, дефиците кремния и альгицидном воздействии *Bacillus mycooides*. С помощью флуоресцентного окрашивания (Live cell labeling kit, Abcam, Великобритания) показано, что при указанных стрессовых воздействиях клетки долгое время сохраняют жизнеспособность, однако останавливаются в делении. Также в клетках происходит накопление нейтральных липидов (BODIPY 493/503, Thermo Fischer Scientific, США) и активация экспрессии генов, связанных со стрессом. В частности, среди таких генов рассматривается изменения экспрессии метакаспаз типа III (*UaMC1*, *UaMC2*, *UaMC3*), белка специфичного для гибели (*UaDSP*) и антиоксидантной системы защиты – глутатионсинтетазы (*UaGSHS*) и альдегиддегидрогеназы (*UaALDH12*), а также демонстрируется суточное изменение их экспрессии (Bedoshvili et al., 2021; Bayramova et al., 2024). Вместе, эти данные предполагают, что экспрессия этих генов необходима как для клеточного развития, так и для адаптации к стрессовым условиям. Наблюдаемая дифференциальная экспрессия данных генов указывает на различные механизмы реакции на стрессовые воздействия в зависимости от фактора воздействия и его продолжительности. В результате исследований проб из природной популяции *U. acus* в оз. Байкал (7 км от Листвянки) в подлёдный период и период открытой воды с разных глубин фотического слоя проб выделяли РНК для исследования изменения экспрессии нескольких генов метакаспаз и *DSP*, а также проводили оценку активности ассимиляции кремнезёма с помощью флуоресцентного окрашивания (PDMPO, Invitrogen, США). Было выяснено, что активная ассимиляция кремнезёма клетками *U. acus* происходит в подлёдный период развития, и в это же время наблюдается высокий уровень экспрессии *UaMC1*, *UaMC2* и *UaDSP*. Это может указывать на то, что экспрессия этих генов необходима клеткам не только как ответ на стрессовые воздействия (Bayramova et al., 2023), но для их роста в определённые периоды развития популяции.

*Исследование выполнено при поддержке проекта Государственного задания Лимнологического института Сибирского отделения РАН №0279-2021-0008.*

- Bedoshvili Y., Bayramova E., Sudakov N., Klimenkov I., Kurilkina M., Likhoshway Y., Zakharova Y. Impact of algicidal *Bacillus mycooides* on diatom *Ulnaria acus* from Lake Baikal // Diversity. 2021. V. 13. 469.
- Bayramova E., Petrova D., Marchenkov A., Morozov A., Galachyants Y., Zakharova Y., Bedoshvili Y., Likhoshway Y. Differential expression of stress adaptation genes in a diatom *Ulnaria acus* under different culture conditions // Int. J. Mol. Sci. 2024. V. 25. 2314.
- Bayramova E.M., Bedoshvili Y.D., Likhoshway Y.V. Molecular and cellular mechanisms of diatom response to environmental changes // Limnol. Freshw. Biol. 2023. V. 1. P. 20–30.

## Изучение ростостимулирующих свойств микроскопических зеленых водорослей в рамках проекта Евразийского НОЦ

### Study of the growth-stimulating properties of microscopic green algae within the framework of the Eurasian Research Center project

Суханова Н.В., Хилажетдинова Л.Б., Муфазалова А.С., Хасанова Г.Ф., Гизатуллина А.И.,  
Фазлутдинова А.И., Радыгина А.В., Гайсина Л.А.  
БГПУ им. М. Акмуллы, Уфа, Россия

Sukhanova N.V., Khilazhetdinova L.B., Mufazalova A.S., Khasanova G.F., Gizatullina A.I.,  
Fazlutdinova A.I., Radygina A.V., Gaisina L.A.  
BSPU n. M. Akmully, Ufa, Russia

Перспективными для использования в различных отраслях биотехнологии являются штаммы наземных зеленых водорослей, которые зачастую обитают в экстремальных условиях природной среды. Их высокие адаптивные свойства связаны со способностью синтезировать биологически-активные вещества, позволяющие им выживать при недостатке влаги, экстремальных значениях температуры и реакции среды и загрязнении конкуренции. В этой связи, особенно актуальна задача поиска высококонкурентных и продуктивных видов водорослей, обладающих ростостимулирующим действием.

Нами установлено стимулирующее воздействие суспензии ВСАС 3 *Bracteacoccus engadiensis* на всхожесть семян пшеницы мягкой сорта «Зауральская жемчужина», вызывая ее увеличение с 96 до 99%. Суспензии штаммов ВСАС 152 *Oocystella oogama*, ВСАС 301 S39 *Scotiellopsis rubescens* оказывали достоверное влияние на длину проростков пшеницы мягкой. При этом под влиянием суспензий ВСАС 301 S39 *Scotiellopsis rubescens* и ВСАС 152 *Oocystella oogama* средняя арифметическая уменьшалась 69,49±2,97 мм до 61,35±2,66 мм и 43,73±2,76 мм соответственно. Штамм водоросли ВСАС 301 S39 *Scotiellopsis rubescens* вызывал также достоверное укорачивание корней пшеницы мягкой. Штамм водоросли ВСАС 301 S39 *Scotiellopsis rubescens* вызывал также достоверное укорачивание корней пшеницы мягкой с 86,38±3,13 мм до 61,17±3,78 мм. Ряд штаммов, использованных при проведении этих исследований, был выделен из почв Государственного природного заказника «Фролихинский» (Fazlutdinova et al., 2024) и вулканических почв полуострова Камчатки (Фазлутдинова и др., 2024).

Результаты полевых испытаний эффективности суспензий штаммов ВСАС 76 *Chlorella vulgaris*, ВСАС 164 *Pseudoccomyxa simplex*, а также суспензии на основе обеих водорослей на пшеницу мягкую сорта «Зауральская жемчужина» показали, что изученные суспензии оказали положительное влияния на содержание клейковины и число падения. На контрольной площадке (без обработки суспензиями водорослей) содержание клейковины в зерновках составляло 27,99%, при обработке суспензией ВСАС 76 *Chlorella vulgaris* - 28,57%, биопрепаратом на основе ВСАС 76 *Chlorella vulgaris* и ВСАС 164 *Pseudoccomyxa simplex* - 29,26%. На контрольной площадке число падения составляло 305,277, при обработке суспензией ВСАС 76 *Chlorella vulgaris* - 415,443, при обработке суспензией ВСАС 164 *Pseudoccomyxa simplex* - 474,425, при обработке биопрепаратом - 379,603. Таким образом, наиболее эффективной для увеличения клейковины был биопрепарат на основе суспензий водорослей, для числа падения - суспензия ВСАС 164 *Pseudoccomyxa simplex*.

Fazlutdinova A.I., Sukhanova N.V., Gaysina L.A. Diversity of soil diatom communities of Frolikhinsky State Nature Reserve // Theoretical and Applied Ecology. 2024. No. 2. P. 175-184.  
Фазлутдинова А. И., Гайсина Л. А., Аллагуватова Р.З., Суханова Н.В., Хасанова Г.Ф., Гизатуллина А.И. Свидетельство о государственной регистрации БД № 2024620659 РФ. Водоросли и цианобактерии вулканов Камчатки: № 2023624670: заявл. 06.12.2023: опубл. 09.02.2024 /; заявитель ФГБОУ ВО «БГПУ им. М.Акмуллы»

## Новые находки видов рода *Micractinium* из пирокластических отложений полуострова Камчатка

### New findings of species of the genus *Micractinium* from pyroclastic deposits of the Kamchatka Peninsula

*Сущенко Р.З., Никулин В.Ю., Никулин А.Ю.*  
ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

*Sushchenko R.Z., Nikulin V.Yu., Nikulin A.Yu.*  
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia

В ходе исследования разнообразия водорослей пирокластических отложений вулканов Шивелуч и Горелый (п-ов Камчатка) были выделены *Chlorella*-подобные штаммы зеленых водорослей VCA-72 и VCA-93 из проб, отобранных вдоль русла р. Байдарная на вулкане Шивелуч и на выходе термальных паров по краю кальдеры на южном склоне вулкана Горелый в 2018 и 2020 гг. соответственно. Идентификация штаммов выполнялась в рамках комплексного подхода микроскопическими и молекулярно-генетическими методами, включающими предварительную идентификацию, получение нуклеотидных последовательностей малой субъединицы и внутреннего транскрибируемого спейсера рРНК, построение филогенетических деревьев и вторичных структур участков ITS1 и ITS2 рРНК. На филогенетическом древе штамм VCA-93 кластеризовался в видовой кладе *Micractinium thermotolerans*. Штамм VCA-72 занимал базальное положение в кладе *M. inermum*. Детальный анализ морфологии и жизненного цикла позволил выявить в стареющих культурах клетки, размеры которых значительно превышают вегетативные и имеют грушевидную, овальную и эллипсоидную формы с неглубоким широким сужением в центре. Также в стареющих культурах обоих видов были выявлены клетки с бесцветными липидными каплями. Способность синтезировать и накапливать липиды говорит о большом потенциале штаммов для производства биодизельного топлива. Обзор местообитаний предыдущих и новых находок позволяет сделать вывод об экологической пластичности исследуемых видов. Полученные результаты дополняют сведения о биогеографии видов: *M. inermum* обнаружен впервые на территории России, а *M. thermotolerans* – на полуострове Камчатка.

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

**Подходы к делимитации видов водорослей: выбор ДНК-маркеров,  
установление молекулярных порогов и оценка эффективности  
математических алгоритмов**

**Approaches to distinguishing algal species: selection of DNA markers,  
establishment of molecular thresholds, and evaluation of the effectiveness of  
mathematical algorithms**

*Темралеева А.Д.*

*Всероссийская коллекция микроорганизмов (ВКМ), Институт биохимии и физиологии  
микроорганизмов им. Г.К. Скрябина РАН, ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, Россия*

*Temraleeva A.D.*

*All-Russian Collection of Microorganisms (VKM), Skryabin Institute of Biochemistry and  
Physiology of Microorganisms, Pushchino Scientific Center for Biological Research RAS,  
Pushchino, Russia*

Традиционно идентификация водорослей была основана на световой микроскопии фенотипических характеристик их штаммов. Тем не менее, общепризнанно, что многие группы водорослей морфологически неразличимы из-за ограниченного набора идентифицируемых признаков и конвергентной эволюции. Такие характеристики водорослей как тип таллома, количество и тип хлоропластов, способность к десмосхизису, наличие клеточной стенки зооспор и др. не являются надежными таксономическими маркерами, т.к. возникали неоднократно и независимо в разных филогенетических линиях. Золотым стандартом современной таксономии водорослей стал генетический анализ рибосомных генов, а сейчас и геномов. С развитием эффективных, простых и недорогих методов секвенирования ДНК многократно вырос массив данных о нуклеотидных последовательностях, позволяющих проводить верификацию морфологических диагнозов. В настоящее время альгологи работают в период постоянного пересмотра систематики, быстрых и многочисленных открытий новых таксонов и ревизий традиционных. При этом ключевым этапом при разграничении видов остается определение пороговых значений внутри- и межвидовых различий, которые могут назначаться субъективно. Ограничения дистанционного подхода также связаны с тем, что уровни внутри- и межвидовой дивергенции зависят от времени и скорости накопления мутаций в нуклеотидной последовательности. Следовательно, должны быть определены для каждой конкретной группы водорослей индивидуально. Кроме дистанционного подхода достаточно популярен СВС-подход, заключающийся в сравнении вторичной структуры ITS2 и поиске компенсаторных замен в консервативных регионах спейсера. Однако у него есть недостатки, включая внутригеномную вариабельность и высокую консервативность у некоторых групп водорослей. Альтернативой описанным подходам может стать установление видовых границ водорослей с помощью современных автоматизированных алгоритмов ASAP, GMYC, PTP и др., которые основаны на анализе дистанций или деревьев. В докладе будут рассмотрены вопросы выбора ДНК-маркеров, установления молекулярных порогов и оценки эффективности математических алгоритмов делимитации видов водорослей на примере конкретных таксонов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего  
образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2021-1051).*

## Влияние олиготрофных вод озера Байкал на пространственно-временную динамику фитопланктона Иркутского водохранилища

### The influence of oligotrophic waters of Lake Baikal on the spatio-temporal dynamics of phytoplankton in the Irkutsk Reservoir

*Фирсова А.Д., Бессудова А.Ю., Титова Л.А., Бузевич В.В.*  
*Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия*

*Firsova A.D., Bessudova A.Yu., Titova L.A., Buzevich V.*  
*Limnological Institute, Siberian Branch RAS, Irkutsk, Russia*

Фитопланктон, являясь важнейшей частью экосистемы и чутко реагируя на изменения окружающей среды, имеет особенности сезонного развития, влияющие на его состав и количественные характеристики. Изучено сообщество микроводорослей южной части Байкала в 2023 году с июня по октябрь на станции 3 км от Листвянки, находящуюся вблизи истока р. Ангары, которое переходит в Иркутское водохранилище. Всего обнаружено 78 видов из восьми отделов микроводорослей: Chrysophyta (23 таксона), Bacillariophyta (22 таксона) и Chlorophyta (17 таксонов), Cyanophyta (8), Cryptophyta (2), Dinophyta (2), Charophyta (1) и Nartophyta (1). Общие численность и биомасса фитопланктона была невысоки и варьировали от 111 до  $292 \times 10^3$  cells L<sup>-1</sup> и от 13 до 366 mg·m<sup>-3</sup> соответственно. Средняя температура воды за время исследований росла от начала июня к сентябрю от 3,1 °С до 14,6 °С, немного снижаясь в октябре до 8,5 °С. В июне видовое богатство складывалось за счет крупноклеточных видов *Aulacoseira baicalensis* (K. Meyer) (Wisłouch) Simonsen, *A. islandica* (O. Müller), *Fragilaria radians* (Kützing) D.M. Williams & Round, *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal, и видов золотистых рода *Dinobryon* (*D. cylindricum* Imhof и *D. cylindricum* var. *palustre* Lemmermann). К концу июня возросло количество мелкоклеточных видов chlorophyta таких как cf. *Mychonastes homosphaera* (Skuja) Kalina & Puncová и *Koliella* sp. появления видов синезеленых *Microcystis* sp. В июле преобладали зеленые - *Koliella* sp. и *Monoraphidium griffithii* (Berkeley) Komárková-Legnerová. Видовое богатство существенно возросло в осенние месяцы за счет развития зеленых и появления мелких центрических диатомей.

Полученные данные показывают, что фитопланктон, поступающий со станции 3 км от Листвянки в Иркутское водохранилище, сохраняет свой основной состав до станции Бурдугуз (Воробьева, 1995; Pоровskaya et al., 2012; Firsova et al., 2023a; Firsova et al., 2023b). Со станции на уровне Залива Еловый происходят постепенные изменения видового состава, и увеличение количественных показателей за счет мелководности и изменения циркуляции вод (Firsova et al., 2023a; Firsova et al., 2023b).

*Микроскопические исследования выполнены в Центре электронной микроскопии ЦКП «Ультрамикроанализ» Лимнологического института СО РАН, <https://www.lin.irk.ru/copp/>. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14-00028, <https://rscf.ru/project/23-14-00028/>.*

Firsova A., Galachyants Yu., Bessudova A., Mikhailov I., Titova L., Marchenkov A., Hilkanova D., Nalimova M., Buzevich V., Likhoshway Ye. Summer phytoplankton species composition and abundance in the southern basin of Lake Baikal and Irkutsk Reservoir // *Limnology and Freshwater Biology*. 2023. № 6. P. 204-228.

Firsova A.D., Galachyants Y.P., Bessudova A.Y. et al. Environmental factors affecting distribution and diversity of phytoplankton in the Irkutsk Reservoir ecosystem in June 2023 // *Diversity*. 2023. V.15, № 10. P. 1-20. DOI: 10.3390/d15101070

Popovskaya G.I., Firsova A.D., Bessudova A.Yu. et al. Phytoplankton of the Irkutsk Reservoir as an indicator of water quality // *Oceanological and Hydrobiological Studies*. 2012. V. 41, № 2. P. 29-38. DOI: 10.2478/s13545-012-0014-2

**К систематике рода *Planothidium* (Achnanthidiaceae, Bacillariophyceae)**  
**Concerning the systematics of the genus *Planothidium* (Achnanthidiaceae, Bacillariophyceae)**

Цеплик Н.Д.<sup>1,2</sup>, Мальцев Е.И.<sup>1</sup>, Глущенко А.М.<sup>1</sup>, Генкал С.И.<sup>3</sup>, Куликовский М.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Биологический факультет, Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия

Tseplik N.D.<sup>1,2</sup>, Maltsev Ye.I.<sup>1</sup>, Glushchenko A.M.<sup>1</sup>, Genkal S.I.<sup>3</sup>, Kulikovskiy M.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia

Род *Planothidium* Round et Bukhtiyarova был выделен из рода *Achnanthes* Vory на основе морфологических признаков, в том числе – наличие подковообразной структуры в центральной части бесшовной створки (Round, Bukhtiyarova, 1996), которая может иметь вид прикрытого или не прикрытого вдавления (соответственно кавума или синуса) (Moss, Carter, 1982). Молекулярные исследования продемонстрировали филогенетическую значимость этого признака (Jahn et al., 2017).

Материалом для данного исследования послужили 22 моноклональных штамма *Planothidium*, выделенные из различных водоемов полуострова Камчатка.

Типовой вид рода *Planothidium lanceolatum* имеет синус в центральной части бесшовной створки (Van de Vijver et al., 2013). В связи с этим уточнен диагноз рода *Planothidium*, чтобы включить только виды, имеющие синус. На основе строения центральной части бесшовной створки из *Planothidium* выделено два новых рода: *Paraplanothidium*, характеризующийся кавумом, и *Pseudoplanothidium*, характеризующийся отсутствием подковообразной структуры. От других одношовных родов, имеющих кавум, *Paraplanothidium* отличается строением штрихов и конечных щелей шва. *Pseudoplanothidium* имеет схожее строение с другими представителями *Planothidium* s.l. Также нами описаны несколько новых для науки видов, вошедшие в новые роды.

Полученные нами данные вносят значительный вклад в понимание филогении рода *Planothidium* s.l. и группы одношовных диатомовых в целом.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 24-14-00165 и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (122042700045-3).*

Jahn R., Abarca N., Gemeinholzer B., Mora D., Skibbe O., Kulikovskiy M., Gusev E., Kusber W.-H., Zimmermann J. *Planothidium lanceolatum* and *Planothidium frequentissimum* reinvestigated with molecular methods and morphology: four new species and the taxonomic importance of the sinus and cavum // *Diatom Research*. 2017. V. 32, № 1. P. 75–107.

Moss M.O., Carter J.R. The resurrection of *Achnanthes rostrata* Østrup // *Bacillaria*. 1982. V. 5. P. 157–164.

Round F.E., Bukhtiyarova L. Four new genera based on *Achnanthes* (*Achnantheidium*) together with a re-definition of *Achnantheidium* // *Diatom Research*. 1996. V. 11, № 2. P. 345–361.

Van de Vijver B., Wetzel C., Kopalová K., Zidarova R., Ector L. Analysis of the type material of *Achnantheidium lanceolatum* Brébisson ex Kützing (Bacillariophyta) with the description of two new *Planothidium* species from the Antarctic Region // *Fottea*. 2013. V. 13, № 2. P. 105–117.

## Особенности состава и распределения кремнистых микроводорослей в поверхностных осадках заливов Восточной Камчатки

### Features of the composition and distribution of siliceous microalgae in surface sediments of the Eastern Kamchatka bays

*Цой И.Б., Прушковская И.А., Обрезкова М.С.*

*ТОИ ДВО РАН, Владивосток, Россия*

*Tsoy I.B., Prushkovskaya I.A., Obrezkova M.S.*

*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia*

Изучение кремнистых микроводорослей в осадках заливов Восточной Камчатки (ВК) было инициировано после экологической катастрофы 2020 г. у побережья Авачинского залива, приведшей к гибели морских организмов, которую связывают с массовым цветением токсичных динофитовых микроводорослей (Orlova et al., 2022). В последующие годы было проведено несколько комплексных морских экспедиций ТОИ ДВО РАН для оценки современных экологических рисков в прибрежной зоне этих районов. Кремнистые микроводоросли – диатомеи и силикофлагеллаты, являющиеся индикаторами водных масс и продуктивности вод, нами были изучены из поверхностных осадков Авачинского и Камчатского заливов, Авачинской губы, Вилючинской и Лиственичной бухт. Образцы получены дночерпателем в 80-ом рейсе НИС «Профессор Гагаринский» (2022 г.) и в 68-ом рейсе НИС «Академик Опарин» (2023 г.). Диатомеи доминируют в фитопланктоне заливов ВК (Семина, 1980; Лепская и др., 2011) и хорошо сохраняются в осадках, регистрируя прижизненные условия обитания и осадконакопления. В изученных осадках установлена богатая диатомовая флора, состоящая из 400 видов и внутривидовых таксонов, принадлежащих 126 родам, а также силикофлагеллаты (5 видов из 4 родов). Диатомеи представлены пресноводными (174 вида и внутривидовых таксона), морскими (170) и солоноватоводными (18) видами, а также видами, обитающими как в морских, так и пресных водах (26). В осадках шельфовой зоны всех заливов и бухт доминируют в основном морские неритические виды (*Thalassiosira antarctica*, *T. nordenskioldii*, *T. pacifica*, *Bacterosira bathyomphala*, *Odontella aurita*), группа криофильных видов рода *Fragilariopsis*, в некоторых образцах высока численность индикаторов высокой продуктивности вод *Chaetoceros* spp. (споры) и *Thalassionema nitzschioides*. В осадках верхней части склона Камчатского залива одним из доминантов является океанический вид *Neodenticula seminae*. В прибрежных осадках этого залива, в зоне влияния стока р. Камчатка, преобладают пресноводные виды (55.3-57.8%), в основном, это представители рода *Aulcoseira*, *Melosira varians* и др. Максимальное количество микроводорослей отмечено в осадках Авачинской губы (10.2 млн. створок/г осадка), относительно высокое (до 5.5 млн створок/г) – в Камчатском заливе, в остальных бухтах их содержание низкое и неравномерное. Для выявления особенностей распространения диатомовых водорослей в осадках заливов ВК был проведен Q-кластерный анализ с использованием программы STATISTICA и построены карты распределения диатомовых водорослей в изученных осадках в пакете SURFER. Полученные результаты обсуждаются в настоящей работе.

*Работа выполнена по госзаданию Минобрнауки РФ (№ 124022100084-8).*

Лепская Е.В., Коломейцев В.В., Тепнин О.Б., Шагинян А.Э. Сравнительная характеристика фитопланктона эпипелагиали тихоокеанских вод Камчатки // Исслед. водных биол. ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2011. 22. С. 5–22.

Семина Г.И. Качественный состав фитопланктона западной части Берингова моря и прилегающей части Тихого океана. Диатомовые водоросли. // Экология морского фитопланктона. М.: Институт океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР, 1981. С. 6–32.

## Диатомовые водоросли пресных водоемов оазиса Холмы Ларсеманн (Восточная Антарктида)

### Freshwater diatoms from Larsemann Hills (East Antarctica)

Чудаев Д.А., Кутузова И.А.  
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Chudaev D.A., Kutuzova I.A.  
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Переход от широкой к узкой концепции вида, обусловленный исследованиями в области репродуктивной биологии ряда модельных групп, а также синтезом морфологических, молекулярных и репродуктивных данных (Mann, 1999), позволил иначе взглянуть на биогеографию диатомей. Господствовавшая ранее идея о космополитизме большинства видов постепенно уступает место представлению о значительном эндемизме диатомовой флоры. Особенно активно обсуждается в литературе эндемизм среди антарктических диатомовых. По современным оценкам до 44% видов, встречающихся на территории Антарктики, являются эндемиками (Verleyen et al., 2021). А в некоторых родах, таких как *Luticola*, эта цифра достигает 98% (Kociolek et al., 2017).

Материалом для работы послужили 20 проб микробных матов со дна восьми озер и одного ручья, отобранных в январе-феврале 2023 года на территории оазиса Холмы Ларсеманн (Восточная Антарктида). После очистки от органического вещества створки диатомовых изучали при помощи светового и сканирующего электронного микроскопа.

В результате выявлен 21 вид диатомовых водорослей из 12 родов. Наибольшим числом видов оказались представлены роды *Luticola*, *Pinnularia*, *Psammothidium* (по 3 вида в каждом), а также *Humidophila* и *Nitzschia* (по 2 вида в каждом), остальные включали по 1 виду (*Cratichula*, *Halamphora*, *Melosira* (?), *Muelleria*, *Navicula*, *Stauriforma*, *Stauroneis*). Высокое разнообразие в родах *Luticola* и *Humidophila* подтверждает идею о важной роли почвенно-аэрофильных таксонов в современной антарктической флоре (Pinseel et al., 2021). В большинстве проб отмечались и достигали высоких значений относительной численности такие виды как *Psammothidium abundans*, *P. stauroneioides*, *Pinnularia australomicrostauron*, в качестве регулярно встречающихся сопутствующих видов можно указать *Psammothidium papilio* и *Nitzschia hamburghensis*. Заслуживает внимания находка неидентифицированной центрической диатомовой, предварительно отнесенной к роду *Melosira*, требующая дальнейших более детальных исследований. Еще четыре таксона не были отмечены в оазисе Холмы Ларсеманн предшествующими исследователями (Sabbe et al., 2003). Только шесть видов из числа обнаруженных встречаются за пределами Антарктики, что подтверждает идею о высокой степени эндемизма антарктической диатомовой флоры.

Kociolek J.P., Kopalová K., Hamsher S.E., Kohler T.J., Van de Vijver B., Convey P., McKnight D.M. Freshwater diatom biogeography and the genus *Luticola*: an extreme case of endemism in Antarctica // Polar Biol. 2017. DOI 10.1007/s00300-017-2090-7

Mann D.G. The species concept in diatoms // Phycologia. 1999. Vol. 38(6). P. 437-495.

Pinseel E., Van de Vijver B., Wolfe A.P., Harper M., Antoniadou D., Ashworth A.C., Ector L., Lewis A.R., Perren B., Hodgson D.A., Sabbe K., Verleyen E., Vyverman W. Extinction of austral diatoms in response to large-scale climate dynamics in Antarctica // Science Advances. 2021. Vol. 7: eabh3233

Sabbe K., Verleyen E., Hodgson D.A., Vanhoutte K., Vyverman W. Benthic diatom flora of freshwater and saline lakes in the Larsemann Hills and Rauer Islands, East Antarctica // Antarctic Science. 2003. Vol. 15(2). P. 227-248.

Verleyen E., Van de Vijver B., Tytgat B., Pinseel E., Hodgson D.A., Kopalová K., Chown S.L., Van Ranst E., Imura S., Kudoh S., Van Nieuwenhuyze W., ANTDIAT consortium, Sabbe K., Vyverman W. Diatoms define a novel freshwater biogeography of the Antarctic // Ecography. 2021. Vol. 44. P. 548-560.

**Анализ таксономического состава уникальных карстовых озер  
Нижегородской области с применением различных подходов**

**Analysis of the taxonomic composition of unique karst lakes in the Nizhny  
Novgorod region with the help of various approaches**

*Шарагина Е.М.<sup>1</sup>, Воденеева Е.Л.<sup>1</sup>, Кулизин П.В.<sup>1</sup>, Старцева Н.А.<sup>1</sup>, Охалкин А.Г.<sup>1</sup>, Журова  
Д.А.<sup>1,2</sup>, Гусев Е.С.<sup>3</sup>, Мартыненко Н.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород,  
Россия*

<sup>2</sup>*Нижегородский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии», Нижний Новгород, Россия*

<sup>3</sup>*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия*

*Sharagina E.M.<sup>1</sup>, Vodeneeva E.L.<sup>1</sup>, Kulizin P.V.<sup>1</sup>, Startseva N.A.<sup>1</sup>, Okhapkin A.G.<sup>1</sup>, Zhurova D.A.<sup>1,2</sup>,  
Gusev E.S.<sup>3</sup>, Martynenko N.A.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>2</sup>*Nizhny Novgorod branch of the Federal State Budget Scientific Institution «Russian Federal  
Research Institute of Fisheries and oceanography», Nizhny Novgorod, Russia*

<sup>3</sup>*Institute of ecology and evolution A.N. Severtsov RAS, Moscow, Russia*

Целью настоящего исследования было выявление таксономического состава трех уникальных карстовых озер бассейна Чебоксарского водохранилища – Ключик, Светлояр и Святое Дедовское. Материалом для работы послужили интегральные и вертикальные пробы растительного планктона. Выверение списка видов производили с помощью международной базы данных Algaebase (Guiry, Guiry, 2024). Видовой состав фитопланктона определялся как при помощи морфологического подхода, так и с применением метода метабаркодинга (на основе региона V9 18S рДНК) для озер Ключик и Святое Дедовское.

Сводный список фитопланктона исследуемых озер на основании морфометрических данных насчитывал 347 видов (432 в.в.т.). В альгофлоре гидрокарбонатных слабоминерализованных озер (оз. Светлояр и Святое Дедовское) первое место занимают зеленые, а в гипсовом сульфатном оз. Ключик – диатомовые водоросли. Для оз. Святое Дедовское заметнее выражено участие харовых водорослей (до 13,2% состава) в сложении альгофлоры, что свидетельствует о заболоченности водосбора.

Применение метода метабаркодинга в целом продемонстрировало соответствие (на уровне отделов) результатов морфологического (СМ) и молекулярно-генетического (МГ) подходов с констатацией недовыявления богатства охрофитовых (в основном чешуйчатых золотистых водорослей порядка *Synurales*) водорослей (оз. Святое Дедовское) и криптофитовых (оз. Ключик).

*Работа выполнена в рамках реализации Программы «Приоритет 2030» ННГУ (№  
темы Н-468-99\_2021-2023)*

Guiry M.D., Guiry G.M. 2024. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 20.05.2024).

## Антиоксидантный статус изолятов *Bracteacoccus minor*

### Antioxidant status of *Bracteacoccus minor* isolates

Яковийчук А.В.<sup>1,2</sup>, Мальцев Е.И.<sup>2</sup>, Кочубей А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия

<sup>2</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

Yakoviichuk A.V.<sup>1,2</sup>, Maltsev Y.I.<sup>2</sup>, Kochubei A.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Melitopol State University, Melitopol, Russia

<sup>2</sup>K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

В биотехнологии инициация биосинтеза цитопротекторов осуществляется различными типами стрессирования. Посредником активации выступают активные формы кислорода. Механизм антиоксидантного ответа клетки на стресс-фактор и тип накапливаемого метаболита детерминирован экологически (Yakoviichuk et al., 2023). Соответственно изоляты одного вида могут отличаться антиоксидантной устойчивостью и биотехнологическим потенциалом. Для рода *Bracteacoccus* Tereg данные закономерности не исследованы, а антиоксидантная устойчивость штаммов *Bracteacoccus minor* (Schmidle ex Chodat) Petrová упоминается только в работе Santhakumaran et al. (2020). Хотя данный показатель может быть маркерным при выборе биотехнологического объекта и оценки его продуктивных качеств.

В работе исследованы почвенные штаммы *Bracteacoccus minor* изолированные из разных биотопов: MZ–Ch31 *Bracteacoccus minor* (насаждение *Robinia pseudoacacia* L., парк имени Горького, г. Мелитополь, Россия), MZ–Ch39 *Bracteacoccus minor* (сосновый лес, г. Комсомольск, Полтавская область, Украина).

При культивировании изолятов в идентичных условиях антиоксидантный статус определялся по величине коэффициента антиоксидантной активности ( $K_{АОА}$ ). При этом для MZ–Ch39 он был выше на 21.2%. Эффективность антиоксидантной системы MZ–Ch39 выше относительно MZ–Ch31, так как при инициации пероксидного окисления липидов содержание вторичных продуктов распада липидов снижено в 2.6 раз. Формирование антиоксидантного ответа у MZ–Ch39 происходил за счет повышения активности антиоксидантных ферментов (глутатионпероксидаза, каталаза) и накопления ретинола (в 16.9 раз выше относительно MZ–Ch31). Для MZ–Ch31 антиоксидантный ответ формировался за счет  $\alpha$ -токоферола (в 6.3 раза выше), каротиноидов (в 3.2 раза выше), увеличения соотношения насыщенные/мононенасыщенные жирные кислоты и снижения сукцинатдегидрогеназной активности.

В биотехнологической практике изоляты могут быть использованы в разных целях из-за различий в реализации антиоксидантной защиты клеток. Штамм MZ–Ch31 может использоваться в качестве источника липидов, обогащенных омега-3 жирными кислотами,  $\alpha$ -токоферолом и каротиноидами, а MZ–Ch39 быть потенциальным источником липидов, обогащенных незаменимыми омега-6 жирными кислотами и ретинолом.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда  
(проект № 23-74-10081).*

Yakoviichuk A., Krivova Z., Maltseva S., Kochubey A., Kulikovskiy M., Maltsev Y. Antioxidant status and biotechnological potential of new *Vischeria vischeri* (Eustigmatophyceae) soil strains in enrichment cultures // *Antioxidants*. 2023. V.12, № 3. P. 654.

Santhakumaran P., Ayyappan S.M., Ray J.G. Nutraceutical applications of twenty-five species of rapid-growing green-microalgae as indicated by their antibacterial, antioxidant and mineral content // *Algal Research*. 2020. V. 47. P. 101878.

## The effect of *Spirulina platensis* microalgae enriched with iron sulfate on the tissues of the liver of Wistar rats

*Banazadeh S.<sup>1</sup>, Zarei Darki B.<sup>1</sup>, Omid A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Department of Marine Biology, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

<sup>2</sup>*Department of Anatomical Sciences, Faculty of Medical Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

Iron is a vital nutrient that the body requires in small amounts. Iron deficiency anemia is a common type of anemia where the blood lacks a sufficient amount of healthy red blood cells (Eltahan *et al.*, 2023). Having insufficient iron can lead to a condition called iron-deficiency anemia, which can result in various health problems. Therefore, finding an iron supplement that is safe to use and effectively increases iron levels in the body is important (Dai *et al.*, 2024). The determination of total mineral content (iron, manganese, chromium, zinc, and magnesium) in *Spirulina* dietary supplements, evaluation of mineral bioavailability using laboratory digestion method, and atomic absorption spectrophotometry were performed (Korol *et al.* 2013). The study aimed to investigate the effect of iron-enriched dried *Spirulina platensis* microalgae on iron-deficiency anemia and its impact on the liver tissue of male Wistar rats. Male rats weighing 120 to 140 grams were divided into six groups with an iron deficiency diet and adding 120 grams of tannic acid/kg of diet to create an anemia model as a positive control group and *spirulina* as a control and *spirulina* with an iron content of 10, 20, 30 mg/gr, in contrast to the negative control group, they were fed with the basic diet for 6 weeks. Liver and blood samples were collected and prepared for analysis using histological and biochemical methods to examine their microscopic structure and chemical composition. The health status of the rats was determined by complete blood count (CBC), Hb, serum iron (Fe), and ferritin were calculated. In the end, iron-enriched *Spirulina* at the tested levels significantly ( $P \leq 0.05$ ) improved every blood parameter for treating anemia compared to the control group and anemic group and led to increased body weight, improved hematocrit, hemoglobin, red blood cells, serum iron, ferritin, and platelets in the treated groups indicating an improvement in IDA. Adding *Spirulina* to the diet helped improve oxidative stress due to malnutrition in the liver, spleen, and kidneys by reducing lipid peroxidation and increasing the activity of superoxide dismutase and glutathione, which are antioxidants that help protect cells from damage. Tissue samples showed that adding iron-enriched *Spirulina* helped reverse abnormal changes in the body. Specifically, it reversed fat changes in liver cells, thinning of cardiac muscle fibers, and destruction of intestinal villi. Therefore, research has shown that incorporating *Spirulina* into the daily diet is sufficient food for preventing and treating anemia. In summary, *Spirulina* helped improve protein and iron deficiencies and showed that the nutrients (iron and protein) in *Spirulina* are as effective as casein and iron ascorbate in terms of absorption and easy utilization by the body.

Dai, S., Hao, Z., Gao, Y., Sang, Y., Liu, Z., & Xue, H. Preparation, Biological Activities, and Application of Plant Polysaccharide Iron Complexes: A Review. *Starch. Stärke* // 2024. 76(3-4), 2300145.

Eltahan, N., Elshershaby, E., & Diab, L. Biological Studies on Quinoa and Spirulina on Anemic Rats. *Journal of Home Economics-Menofia University* // 2023. 33(03), 17-27.

Korol ON, Zarei Darki B, Gevorgiz RG. Assessment of extreme productivity of microalgae cultivated in the open air around neighborhoods of Isfahan City. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* // 2013. 12(3). 629-638.

# Evaluation of ecological factors on the antioxidant properties of the symbiotic algae *Symbiodinium* sp. collected from the coasts of the Persian Gulf and Gulf of Oman

Bigham S.<sup>1</sup>, Zarei Darki B.<sup>2</sup>, Yusefzadi M.<sup>3</sup>, Ranjbar M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran

<sup>2</sup>Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science, Tarbiat Modares University

<sup>3</sup>Department of Biology, Faculty of Science, University of Qom, Qom, Iran

The effects of climate change on coral reefs are the subject of numerous outstanding assessments, most of which focus more on individual factors than on interactions (Thirukanthan et al., 2023). This article integrates our present knowledge of the two main aspects of climate change that impact coral reefs: ocean acidification and warming, as well as, when applicable, how these interact with local pollution issues and other consequences that disrupt ecosystems. In terms of ecology, the Persian and Gulf of Oman are unusual locations where little is known about the inherent fluctuation of important environmental factors (such as temperature, chlorophyll, and carotenoids) that affect soft corals. The HQ40D portable multimeter, which has the capacity to record certain environmental data, was used to measure the environmental elements. The northern shores of the Gulf and Chabahar Gulf were the sites of *Stichodactyla haddoni* sampling (during the summer and winter seasons). The findings indicate that there is no statistically significant link ( $P < 0.05$ ) between the causes causing the pH, DO, and salinity to fall within a normal range. The summer Persian Gulf sample had the lowest concentration of chlorophyll a and carotenoid, whereas the maximum concentration was found in the Chabahar sample. There was minimal variation in chlorophyll c levels across all stations and seasons in the samples. Heat map of the physicochemical interactions with *Symbiodinium* sp. pigments. The factors of temperature, salinity, and the percentage of dissolved oxygen were found to have the strongest link with pigments throughout the summer. Temperature, salinity, and the percentage of dissolved oxygen had the biggest effects on pigments in the winter, particularly carotenoid and chlorophyll a, according to the thermal map. The Persian Gulf's corals are widely renowned for their ability to withstand high temperatures. They can withstand temperatures that can cause mass mortality in extreme circumstances, but they also live at the edge of their tolerance every summer (Burt et al., 2019, Ghanim., 2024). Additionally, Paparella et al. 2019 research revealed that the greatest chance of coral bleaching happened after 3 weeks at  $< C^{\circ}35$  or 8 weeks at  $\leq C^{\circ}34$  of exposure. According to our research, the mitotic index rises as DO (6.95 mg/L) falls. According to the results, the summertime rise in symbiotic dinoflagellate pigment at Chabahar Bay station may have been caused by monsoon winds, which alter the temperature of the water. Chlorophyll c is resistant to seasonal and environmental changes, according to the results collected.

Thirukanthan, C. S., Azra, M. N., Lananan, F., Sara', G., Grinfelde, I., Rudovica, V., ... & Burlakovs, J. 2023. The evolution of coral reef under changing climate: a scientometric review. *Animals*, 13(5), 949.

Burt, J. A., Paparella, F., Al-Mansoori, N., Al-Mansoori, A., & Al-Jailani, H. 2019. Causes and consequences of the 2017 coral bleaching event in the southern Persian/Arabian Gulf. *Coral Reefs*, 38, 567-589.

Ghanim, T., 2024. Integrative Genomic Insights into Coral Resilience: Adaptive and Acclimatory Responses to Seasonal Environmental Shifts.

Paparella F, Xu C, Vaughan GO, Burt JA. Coral bleaching in the Persian/Arabian Gulf is modulated by summer winds. *Frontiers in Marine Science*. 2019 Apr 24; 6:205

# Effects of soil and water conservation-applied cyanobacteria and algae cultured in different media on chlorophylls

*Gharemahmudli S.<sup>1</sup>, Sadeghi S.H.R.<sup>1</sup>, Zarei Darki B.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Department of Watershed Management, Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

<sup>2</sup>*Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

The role of soil microorganisms in reducing erosion and land degradation has attracted the attention of most researchers worldwide. Increasing the production and performance of algae, especially soil cyanobacteria, can be a suitable solution to conserving water and soil resources (Sadeghi *et al.*, 2021). Based on this, this research investigated the different effects of three culture mediums, CHU10, BBM, and BG11, on the chlorophyll performance of cyanobacteria and soil algae. The soil required for the present study was selected and sampled from the Badranlou area in North Khorasan province, Iran, from 0 to 5 cm from the soil surface. After examining and evaluating many general soil cyanobacteria culture mediums, Bold's Basal, Chu10, and BG11 culture mediums due to their functionality and commonness, the ability to grow a wide range of different genera of soil cyanobacteria, economical as well as accessibility, and easy preparation, the most suitable ones were selected and used. The optimum conditions for the growth of cyanobacteria and alga were set at  $25\pm 1^\circ\text{C}$  and  $124 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  24 light intensities at 10:14 h light: darkness (Zarei Darki *et al.*, 2017). In order to measure the chlorophyll of the primary soil without culture medium and soil with culture medium, some of the primary soil and one-third of the soil in the Petri were sampled. After shade drying, one gram of both samples was weighed, and finally, the concentration of chlorophyll a, b, and c was read by spectroscopic method at wavelengths 461, 630, 647, 663, 664, and 750 nm. APHA's (1999) method was used to determine the amount of chlorophyll, and Jensen's (1978) method was used to determine carotenoids. The results showed that the highest amount of chlorophyll a, b, and c is in the BBM culture medium, and the lowest amount is in the CHU10 culture medium for one gram of soil. Also, the BBM culture medium has a significant effect ( $P < 0.05$ ) than the CHU10 and BG11 culture medium on the amount of chlorophyll of cyanobacteria and algae. Different culture mediums with different element percentages affect chlorophyll and carotenoids of cyanobacteria and soil algae. The composition of the materials in the culture medium is one of the most critical factors affecting the growth rate, pigment, and chlorophyll production. Therefore, essential elements such as iron, potassium, magnesium, nitrogen, and phosphate can significantly affect the growth performance of cyanobacteria and algae. Therefore, the increase in chlorophyll a, b, and c in the BBM culture medium can be due to the bond structure of the elements and the quantity and quality of the elements in this culture medium compared to the other two culture mediums. Based on the research findings, soil cyanobacteria grew more in the BBM culture medium than in the CHU10 and BG11 cultures. Therefore, due to the presence of valuable and influential elements in the culture medium, BBM can be used to cultivate soil-borne cyanobacteria to conserve soil and water.

APHA. 1999. Standard methods for the examination of Wastewater, 20th End. American Public Health Association. *Hydrobiologia*. 661(1): 337–389.

Jensen A. 1978. Chlorophylls and carotenoids. In: Hellebust JA, Craigie IS. (ed). *Handbook of Phycological Methods. Physiological and Biochemical Methods*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 59–70.

Sadeghi S. H. R, Najafinejad A., Gharemahmudli S., Zarei Darki B., Behbahani A. M., Kheirfam, H. 2021. Reduction in soil loss caused by a freeze-thaw cycle through inoculation of endemic soil microorganisms. *Applied Soil Ecology*, 157, 103770.

Zarei Darki B., Seyfabadi J., Fayazi S. 2017. Effect of nutrients on total lipid content and fatty acids profile of *Scenedesmus obliquus*. *Agriculture, Agribusiness and Biotechnology*, (60): e17160304.

## Investigation of different dosage of cyanobacteria in rangeland soil in Damavand

*Mahboubeh Mirzahosseini<sup>1</sup>, Mohammad Jafari<sup>1</sup>, Behrouz Zarei Darki<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Department of Range since & Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran*

*<sup>2</sup>Department of Marin Biology, Faculty of Marin Science, Tarbiat Modares University (TMU), Mazandaran, Iran*

Cyanobacteria are one of the important components of biological soil crust which seems have vital roles in the soils. Although cyanobacteria are key organisms in the evolution of life on Earth, but their roles and performance in ecosystems hasn't completely understood. However, several researches tried to clear their importance, but most of the investigations performed in laboratory conditions. In this regard, in current research, one dosage of extracted cyanobacteria from soil samples  $10^8$  numbers of cyanobacteria in 1000 cc bold basal medium (BBM)) were applied in the field and the performance of this dosage were analyzed considering soil properties after 15, 30, 45, 180 days after cyanobacteria inoculation. It seems that the inoculation process led to formation of bio crust in the soil. In this respect, the results showed that there was a significant difference between control part and parts containing cyanobacterial in soil fertility parameters including total nitrogen (TN), organic material (OM), potassium and also the soil pH. Moreover, the best results obtained in the  $10^8$  concentration of cyanobacteria.

Bahig, A. E., E.A.Aly, A.A.Khaled & K.A.Amel. Isolation, characterization and application of bacterial population from agricultural soil at Sohag Province// Egypt. *J. Malaysian of Microbiology*. 2008. 4(2): 42-50.

Chamizo,S., M.Gianmarco, R.Federco, C.Giacomo & D.P.Robert. Cyanobacteria inoculation improves soil stability and fertility on different textured soils// gaining insights for applicability in soil restoration. *J. Environmental Science*. 2018. 49(6): 1-14.

Hu, C., Liu, Y., Song, L., & Zhang, D. Effect of desert soil algae on the stabilization of fine sands//. 2002. *Journal of Applied Phycology*, 14(4), 281-292.

Kheifam, H., M.Homaii, S.H.R. Sadeghi & B.Zarei Darki. The roll of soil bio crust by inoculate and bacteria in increase of the Nitrogen in soil erosion//. *J. Soil & water*. 2017. 31(2): 545-556.

## Studying the amount of chromium bioaccumulation in the cyanobacterium *Spirulina platensis*

Moghadamzadegan S.<sup>1</sup>, Zarei Darki B.<sup>1</sup>, Allameh A.<sup>2</sup>, Bigham S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Marine Biology, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Department of Clinical Biochemistry, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Department of Biochemistry, Biology of Faculty, Falavarjan Branch, Islamic Azad University, Iran

Algae produce many bioactive components it can be said that algae are excellent sources of secondary metabolites with biological activity. (Moghadamzadegan *et al.*, 2021) One of cyanobacteria's products is chromium, an essential trace element. It is considered for the proper functioning of living organisms and its amount in *Spirulina* reaches about 6 (µg/g) (Frontasyeva *et al.*, 2009). Severe chromium deficiency causes reversible insulin resistance and diabetes. Animal studies have shown that dietary chromium deficiency can lead to an inability to remove glucose from the bloodstream effectively (Rabinowitz *et al.*, 1983). For the above research, the cyanobacterium *Spirulina platensis* was prepared from the algae collection of the Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University. Three treatments were selected for cultivation, including control (1) - chrome treatment (2) - mixed treatment of vitamin B, chromium, and iron (3) (three replicates). It was done at a temperature of 28±2 degrees Celsius with a light/dark cycle of 9.15 hours, in one cultivation period for 14 days. In treatment number 2, chromium oxide (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) was added to the culture medium in 70 micrograms. In treatment (3), chromium oxide, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and pyridoxine were added to the culture medium (Zarei Darki *et al.*, 2017). After taking the samples to the electric furnaces, the ash process was digested at 550 degrees Celsius, and the volume was reached after cooling with acid. Then the supernatant was analyzed by the standard absorption spectrometer method. The results were calculated in mg/kg of dry algae (Akbarnezhad *et al.*, 2016). The results of the chrome measurement were analyzed using the SPSS version 36 software program. The results show that the amount of absorption of the treatments after 14 days of cultivation in the control treatment (1) is 0.06 mg/kg and in the chrome treatment (2) approximately 0.41 mg/kg and in the mixed treatment (3) approximately It is 1.17 mg/kg. In bioaccumulation experiments, the difference in metal adsorption efficiency was more pronounced in multi-component systems compared to single-component systems. The absorption of metals by *Spirulina* biomass is different in single and multi-component systems. In bioaccumulation tests in single-component systems, the absorption efficiency is 0.6% and the multi-component absorption efficiency is 1.7%. These results are while the bio absorption of the control treatment is around 0.08%. According to the obtained results, it seems that the elements can accumulate in *Spirulina* without disturbing the growth of cyanobacteria, when two elements are used together with vitamins, the percentage of absorption is increased to an important amount, almost 21 times compared to the control.

Akbarnezhad, M., Shamsaie Mehrgan, M., Kamali, A. & Javaheri Baboli, Mehran. Bioaccumulation of Fe+2 and its effects on growth and pigment content of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*). AACL Bioflu // 2016. 9(2). pp: 277-238.

Frontasyeva, M.F., Pavlova, S.S., Aksenovaa, N.G., Mosulishvilib, L.M., Belokobylskiiib, A.I., Kirkesalib, E.I., Ginturib, E.N. & Kuchavab, N.E. Chromium Interaction with Blue-Green Microalga *Spirulina platensis*. Journal of Analytical Chemistry // 2009. 64(7). pp: 746-749.

Moghadamzadegan, S., Emtiazjoo, M., Sadeghi, M. & Rabbani, M. Evaluation of anti-inflammatory effects of bioactive *Spirulina platensis* peptides extracted by alkaline protease in animal model Balb/C mice. Journal of Oceanography // 2021.12 (47). pp: 110-119.

Rabinowitz, M.B., Gonick, H.C., Levin, S.R. & Davidson, M.B. Effects of chromium and yeast supplements on carbohydrate and lipid metabolism in diabetic men. Diabetes Care // 1983. 6. pp: 319-327.

Zarei Darki, B., Seyfabadi, J., Fayazi, S. Effect of nutrients on total lipid content and fatty acids profile of *Scenedesmus obliquus*. Brazilian Archives of Biology and Technology // 2017. 60. pp: 1-12.

# Dynamics of biological soil crust under different land use/cover: cyanobacterial composition, abundance, and related soil properties

*Moghimiyan N., Zarei Darki B. Kooch Y., Hosseini S.M.*

*Department of forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

Today throughout the world, Biological Soil Crusts (BSC) and cyanobacteria, as bio-indicators, are known for their important ecological services (Karoline et al., 2016). For the first time, biodiverse cyanobacteria dominant in BSCs were collected from six land uses/covers, i.e. virgin natural forest (VNF), degraded natural forest (DNF), alder plantation (AP), sequoia plantation (SP), improved fallow (IF), and home garden agroforestry (HG), and examined to determine the composition, abundance, and related soil properties in north of Iran. We tested the following hypotheses: (i) alder plantation would markedly influence topsoil diversity of cyanobacteria, concentration of chlorophyll a and cell number which make it distinct from the other land use/covers, especially in the summer, (ii) soil N, P, and K concentration are the main factors significantly influencing the cyanobacterial community across the different land uses/covers. Soil samples (25cm ×25 cm at depths of 0-5 cm and 5-10 cm) were dug along the five parallel transects in the central part of land use/cover, during four months and the characters of temperature, moisture and cyanobacterial abundance (Chla + cell number) were measured. The topsoil (0-5cm) samples were placed in sterile bags and carried to the laboratory for the identification of cyanobacteria composition (Chen et al., 2023). Soil samples in the summer were air-dried and passed through 2-mm sieve to characterize soil physico-chemical properties. Totally, 27 species were found in 4 seasons and at depths of 0-5 cm. The dominant genera were *Anabaena*, *Lyngbya*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, and *Phormidium*. In contrast, some cyanobacteria were rare, such as *Cylindrospermum*, *Scytonema*, and *Spirulina*. The cyanobacterial composition was found to be significantly higher in the AP area than in the IF area. Maximum concentration of chlorophyll a and cell number were found in August, in an AP area, at a depth of 0-5 cm (1.38 mg g<sup>-1</sup> soil- 54.8 cell g<sup>-1</sup> ×10<sup>3</sup>); minimum values were found in February, in an IF area, at a depth of 5-10 cm (0.09 mg g<sup>-1</sup> soil- 9.4 cell g<sup>-1</sup> ×10<sup>3</sup>). High total N, available P, K, clay, pH, EC and water content of soil were significant factors, influencing the cyanobacterial community in different land use areas (Kheirfam et al., 2017). As a conclusion, alder (*Alnus subcordata* C. A. Mey.) plantation improved soil quality almost similar to natural forest ecosystem. It is recommended that natural forests be preserved to increase soil quality; a plantation with suitable native broad-leaved species and forestation plan management to rehabilitate degraded natural forests should be taken into account.

- Chen, Q., Yan, N., Xiong, K. Zh, J., 2023. Cyanobacterial diversity of biological soil crusts and soil properties in karst desertification area. *Front Microbiol.*14: 1113707.
- Kheirfam, H., Sadeghi, H., Homae, M., ZareiDarki, B., 2017. Quality improvement of an erosion-prone soil through microbial enrichment. *Soil Tillage Res.* 165, 230- 238.
- Karoline, S., Tatiana, M., Mirko, D., Peter, L., Ulf, K., 2016. Biological Soil Crusts from Coastal Dunes at the Baltic Sea: Cyanobacterial and Algal Biodiversity and Related Soil Properties. *Microb. Ecol.* 71, 178–193.

## Use of Twin-layer photobioreactors in cultivation of microalgae: Challenges and opportunities

*Zarei Darki B., Tahmasebi H., Yaseri M., Abi B., Taghiyan M., Rajajnejad M.*

*Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*

Cultivation on biofilm is different from suspension culture in terms of the dynamic state of microalgae during the culture period. In this type of culture, microalgae do not experience turbulence and displacement and they are at rest during the growth period. This state of stability or quiescence is particularly important for some species or some aspects of culture. Since 2017, our scientific group has been using two-layer photobioreactors for the cultivation of filamentous and single-cell algae. A two-layer photobioreactor was used to cultivate *Symbiodinium* sp. isolated from sea anemone *Stichodactyla haddoni* (Tahmasebi and Zarei Darki. 2017), to increase and accumulate the pigments of the algae *Coelastrella* sp. and *Chlorella* sp. (Abi et al., 2021) to obtain lipids from *Coelastrella* sp. and to purify wastewater treatment with the help of *Spirulina* sp. and *Coelastrella* sp. (Zarei Darki et al. 2022; Taghiyan et al. 2022; Rajajnejad et al. 2022). Dehydration of microalgae is expensive to harvest, but with the biofilm culture method, there is no need for sedimentation, flocculation, filtration or centrifugation. Moreover, the entire biofilm cultivation method reduces water and energy consumption because microalgae are naturally concentrated and can be easily separated from the biofilm, surface. It is estimated that for one kilogram of biomass grown in a multilayer photobioreactor, 34-240 liters of nutrient medium are required, whereas in an open system this amount is from 1100 to 2800 liters depending on the cultivated species. The results of studies with various algal cultures show that biofilm photobioreactors are excellent for the cultivation of unicellular and especially symbiotic algae, while the cultivation of filamentous algae requires different technologies because they have the ability to move.

- Abi B., Zarei Darki B., Noroozi M. (2021). Effect of light intensity on the amount of biomass, chlorophyll and carotenoids of microalgae *Coelastrella* sp. in biofilm culture method // 2 nd National Iranian Conference on Phycology. TMU. 20-29.
- Rajajnejad M., Zarei Darki B., Unesi H. TMU. Application of biofilm photobioreactor for effective removal of nitrogen and phosphorus from municipal wastewater by means of microalgae *Spirulina* sp. and *Coelastrella* sp. Msc of Biology Tesis. TMU. Tehran. 2022. 108p.
- Tahmasebi H., Zarei Darki B. Measuring the specific growth rate and mitotic index in dinoflagellate *Symbiodinium* sp. Isolated of sea anemone *Stichodactyla haddoni*. Journal of Aquatic Ecology // 2017. 7(2). 107-114.
- Taghiyan M., Zarei Darki B., Unesi H. Extraction of lipids and fatty acids from microalgae *Spirulina* sp. and *Coelastrella* sp. cultivated in urban wastewater and the feasibility of using them in biodiesel production. Msc of Biology Tesis. TMU. Tehran. 2022. 93p.
- Zarei Darki, B., Yaseri Gohari, M., Tahmasebi, H. Isolation, cultivation and biochemical characterization of the symbiotic dinoflagellate, *Symbiodinium* sp., from the sea anemone, *Stichodactyla haddoni* from the Strait of Hormuz // Iranian Journal of Fisheries Sciences. 2022. 21(3). 688-704.