



МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ
ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ
**«ЦИАНОПРОКАРИОТЫ
(ЦИАНОБАКТЕРИИ):
СИСТЕМАТИКА, ЭКОЛОГИЯ,
РАСПРОСТРАНЕНИЕ».**

Тезисы докладов

Апатиты
2016



**ФАНО РОССИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР**
Институт проблем промышленной экологии Севера
Полярно-альпийский ботанический сад-институт
им. Н.А. Аврорина
РУССКОЕ БОТАНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
Мурманское отделение

**Международная научная школа-
конференция «Цианопрокариоты
(цианобактерии): систематика,
экология, распространение»**

*Апатиты, Мурманская область
5-9 сентября 2016 года*

Тезисы докладов

Апатиты
2016

FASO RUSSIA
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
KOLA SCIENCE CENTRE
Institute of the Industrial Ecology Problems of the North
N.A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute
RUSSIAN BOTANICAL SOCIETY
Murmansk branch

**International conference and the field
course «Cyanoprokaryota
(cyanobacteria): systematics, ecology,
distribution»**

*Apatity, Murmansk Province 5-9th September
2016*

Abstracts

**Apatity
2016**

УДК 582.232

Международная научная школа-конференция
«Цианопрокариоты (цианобактерии): систематика,
экология, распространение». Апатиты 5-9 сентября 2016 г.
Тезисы докладов. – Апатиты, 2016. – 140 с.

Редакторы: Д.А. Давыдов, Е.А. Боровичев.

Публикация осуществлена при поддержке РФФИ, грант 16-04-20537.

UCD 582.232

International conference and the field course «Cyanoprokaryota
(cyanobacteria): systematics, ecology, distribution». Apatity,
Murmansk Province 5-9th September 2016: Abstracts. Apatity, 2016.
140 p.

Editors: D.A. Davydov & E.A. Borovichev

The publication was partly supported by the RFBR, grant 16-04-20537.

ISBN 978-5-902-643-37-1

© Коллектив авторов, 2016

© Институт проблем

промышленной

экологии Севера КНЦ РАН, 2016

© Полярно-альпийский

ботанический сад-институт КНЦ

РАН, 2016

© Мурманское отделение Русского

ботанического общества, 2016

Содержание

Абдуллин Ш. Р. Цианобактерии пещер России и Абхазии.	12
Аверина С. Г., Краснова А. Д. Характеристика культивируемых штаммов цианобактерий озера Степед (Антарктида).	14
Андреева Н. А. Цианобактерии морской биоты в местах повышенной эвтрофикации акватории.	17
Ахмедьянов Д. И. Таксономическая структура цианобактериальных сообществ на примере настоящих степей Башкирского Зауралья.	19
Баженова О. П., Гульченко Я. И. Цианопрокариоты из планктона рек и озер Омского Прииртышья – особенности видового состава, распространение и обилие.	22
Баринова С. С. Развитие базы данных по экологии цианопрокариот.	24
Батаева Ю. В. Цианобактерии почв Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги.	28
Бачура Ю. М. Состав и структура цианобактериальных сообществ антропогенно-преобразованных почв Гомельского региона (Беларусь).	30
Бурдо А. Ю., Никитина В. Н., Павлова О. А., Николаева Е. В. Цианобактерии как компоненты альгофлоры некоторых искусственных водоемов Санкт-Петербурга.	33
Величко Н. В., Емельянова М. С. Определение таксономической принадлежности цианобактерий (Oscillatoriales) молекулярно-генетическими методами.	35

- Виноградова О. Н.** Концепция вида, систематика и некоторые проблемы альгофлористического изучения цианобактерий. 37
- Воякина Е. Ю., Чернова Е. Н., Русских Я. В., Жаковская З. А.** Цианобактерии и их метаболиты в эвтрофных водоемах г. Санкт-Петербурга. 40
- Гаврилова О. В.** Генотипы потенциально токсигенных цианобактерий на территории России. 42
- Гольдин Е. Б.** Цианобактерии и членистоногие: проблемы межвидовых взаимоотношений. 44
- Горин К. К., Никитина В. Н., Белякова Р. Н.** Цианопрокариоты прибрежных биотопов Невской губы Финского залива. 46
- Давыдов Д. А.** Систематика цианопрокариот – традиции российской школы и современное состояние. 49
- Давыдов Д. А., Патова Е. Н.** Биогеография цианопрокариот на примере флоры Арктики. 52
- Денисов Д. Б., Кашулин Н. А.** Цианопрокариоты озера Имандра (Кольский полуостров). 54
- Домрачева Л. И., Трефилова Л. В., Горностаева Е. А., Фокина А. И.** Роль цианобактерий в антропогенно-преобразованных почвах. 56
- Дорохова М. Ф., Кречетов П. П.** Реакция цианопрокариот на загрязнение почв авиационным керосином в полевом эксперименте. 58
- Дронова С. А., Темралеева А. Д.** Особенности цианобактериальных группировок почв зоны сухих степей и полупустынь. 61
- Егорова И. Н., Морозова Т. И.** Центральноеазиатские популяции морфовида *Nostoc commune*. 64

- Емельянова М. С., Снарская Д. Д., Чистякова Л. В.** CALU-коллекция живых культур микроорганизмов. 66
- Еремкина Т. В.** Суанoprokaryota Белоярского водохранилища – водоема-охладителя Белоярской АЭС (Средний Урал). 67
- Зимонина Н. М.** Участие цианобактерий в восстановительной сукцессии микрофототрофов на техногенных субстратах в условиях Крайнего Севера. 70
- Ивачева М. А., Тихонова И. В., Ханаев И. В., Краснопеев А. Ю., Потапов С. А., Белых О. И.** Молекулярно-биологическая идентификация продуцентов микроцистина в бентосе озера Байкал. 73
- Идрисова Г. И.** Распространение цианопрокариот в водоемах Республики Татарстан. 76
- Комулайнен С. Ф.** Суанophyta/Суанoprokaryota в перифитоне рек Восточной Финноскандии: роль в экосистемах, опыт изучения и проблемы. 79
- Кузнецова О. А., Никитина В. Н., Сазанова К. В., Власов Д. Ю.** Цианопрокариоты литобионтных сообществ в карьере Рускеала. 82
- Кухалеишвили Л. К.** Цианопрокариоты некоторых горных водоемов Западной Грузии. 84
- Макарёноква Н. Н.** Суанoprokaryota в планктоне крупных озер Вологодской области в 2010-2015 гг. 87
- Макеева Е. Г.** Видовое разнообразие Суанoprokaryota некоторых соленых озер Республики Хакасия. 89
- Мирошниченко Е. С.** Цианобактерии эпилитона литорали Кольского залива Баренцева моря. 92
- Намсараев З. Б.** Коммерческое применение фотосинтезирующих микроорганизмов. 94
- Николаева Е. В., Никитина В. Н., Пономарева З. А.** К экологии цианопрокариот (цианобактерий) некоторых урбанизированных экосистем. 95

- Новаковская И. В., Патова Е. Н.** Цианопрокариоты в коллекции живых культур Института биологии Коми НЦ УрО РАН (СΥΚΟΑ). 97
- Патова Е. Н., Сивков М. Д.** Нитрогеназная активность цианопрокариотных почвенных корочек в тундровых и горно-тундровых районах (европейский северо-восток России). 100
- Патова Е. Н., Стерлягова И. Н.** Цианопрокариоты в разнотипных водоемах бассейна реки Косью (Приполярный Урал). 102
- Пиневич А. В.** Систематика цианобактерий в начале XXI века. 105
- Плигин Д. Н., Сиделев С. И., Семенова А. С.** Цианобактериальные токсины снижают выживаемость планктонных рачков-фильтраторов. 107
- Редькина В. В., Шалыгина Р. Р., Шалыгин С. С., Давыдов Д. А.** Цианобактерии почв Мурманской области 110
- Садогурская С. А., Белич Т. В., Садогурский С. Е.** Альгофлора морской каменистой супралиторали Крыма. 111
- Сапожников Ф. В., Калинина О. Ю., Чернова Н. И., Никитин М. А.** Цианопрокариоты Большого Аральского моря на этапе ультрагалинизации вод. 114
- Сиделев С. И., Семенова А. С., Бабаназарова О. В., Жданова С. М.** Зоопланктон и токсигенные цианобактерии: согласуются ли полевые данные с защитной гипотезой? 117
- Смирнова С. В., Белякова Р. Н.** Виды рода *Stichosiphon* (Cyanoprokaryota) в водоемах северо-запада европейской части России. 119

- Станиславская Е. В.** Цианопрокариоты эпифитона
разнотипных озер Карельского перешейка. 121
- Трифонова И. С., Афанасьева А. Л.** Синезеленые
водоросли и «цветение» воды озер Карельского
перешейка. 124
- Фокина А. И., Зыкова Ю. Н., Лялина Е. И.**
Тетразольно-топографический метод определения
токсичности медьсодержащих растворов глутатиона. 126
- Халиуллина Л. Ю.** Особенности пространственного
распределения и Сезонной динамики сине-зеленых
водорослей Куйбышевского водохранилища в 2015 г. 129
- Чернова Н. И., Калинина О. Ю., Никитин М. А.**
Молекулярная филогения клоновых культур
Arthrospira platensis (Nordst.) Geitl. 132
- Чернова Н. И., Киселева С. В.** Цианобактерии
Arthrospira platensis (Nordst.) Geitl. как модельный
объект для изучения индукции липидов. 134
- Singh P., Shaikh Z. M., Gaysina L. A., Suradkar A.,
Samanta U., Shouche Y. S.** Taxonomic characterization
of a new species of *Nostoc* using polyphasic approach. 136

ЦИАНОБАКТЕРИИ ПЕЩЕР РОССИИ И АБХАЗИИ

Абдуллин Ш. Р.

Башкирский государственный университет, Уфа,
Республика Башкортостан, Россия; e-mail:
abdullinshrbu@mail.ru

Биоразнообразие – важнейший исчерпаемый ресурс планеты, обеспечивающий функционирование экосистем и биосферы в целом (Миркин, Наумова, 2004; Хански, 2010). Разнообразие высших растений изучено довольно полно, но инвентаризация криптогамных организмов, в частности, цианобактерий, все еще далека от завершения. Пещеры представляют собой уникальные образования. Большинство из них имеют стабильный микроклимат, для которого характерны низкая интенсивность света, достигающая критических значений по мере продвижения вглубь пещеры, незначительные колебания температуры в течение года и постоянная высокая влажность воздуха. Пещеры – это специфические экосистемы со своей уникальной биотой, в состав которой входят цианобактерии (Culver, Ripan, 2009). Изучению этой особой группы организмов уделяется все большее внимание (Claus, 1955; Friedmann, 1955; Mazon-Williams, 1966; Coute, Chauveau, 1994; Шарипова, Дубовик, 1999; Hoffmann, 2002; Sánchez et al., 2002; Мазина, 2010; Виноградова, 2013). Однако, состав видов цианобактерий пещер России и Республики Абхазия исследован недостаточно.

Материалом для работы послужили 1206 проб грунта, воды, донных отложений, соскобов и мазков со стен, воздуха и других типов местообитаний, отобранных с применением модифицированных стандартных методик с 1998 по 2013 гг. в 53 различных по морфологии и

залегающим породам пещерах России и Республики Абхазия. 420 проб не содержали цианобактерий. Выявление видового состава цианобактерий и водорослей в пробах проводили в лаборатории прямым микроскопированием, на «стеклах обрастания» (Голлербах, Штина, 1969) и после культивирования образцов в жидкой минеральной среде № 6 (Громов, 1965). Систематика цианобактерий и водорослей составлена согласно М. Д. и Г. М Гюри (Guiry, Guiry, 2014).

В результате анализа была выявлено 104 вида и внутривидовых таксона *Cyanobacteria* (*Cyanoprokaryota*), относящихся к 1 классу, 5 порядкам, 15 семействам, 35 родам и 101 виду. В 26 пещерах представители *Cyanobacteria* доминировали. По данным А. Couste и О. Chauveau (1994) к 1994 г. состав цианобактерий и водорослей, встречающихся в пещерах, насчитывал 117 родов, 332 вида и разновидности и 23 таксона, определенных до рода, из которых *Cyanoprokaryota* составляли 37 % от всех родов и 57 % от всех видов. Согласно L. Hoffmann (2002) в зарубежных пещерах к 2002 г. было зарегистрировано более 350 таксонов цианобактерий и водорослей, из которых *Cyanoprokaryota* составляли 58%.

По числу видов и внутривидовых таксонов в пещерах России и Абхазии преобладали представители порядков *Oscillatoriales* и *Nostocales*, семейств *Nostocaceae* и *Phormidiaceae*, родов *Phormidium*, *Anabaena* и *Nostoc*. Доминировали по сумме баллов обилия и наиболее часто встречались виды *Leptolyngbya boryana* (Gom.) Anagn. et Komárek (F = 21,6%; в 74% пещер), *Nostoc punctiforme* Har. (F = 21,3%; в 85% пещер), *Leptolyngbya gracillima* (Zopf ex Hansg.) Anagn. et Komárek (F = 11,9%; в 79% пещер), *Nostoc paludosum* Kütz. ex Born. et Flah. (F = 10,4%; в 53% пещер), *Phormidium ambiguum* Gom. (F = 9,2%; в 60% пещер). По

типу ареала наиболее массово встречались космополиты (55 видов) и голарктические виды (33 вида). В спектре жизненных форм – $P_{31}CF_{20}hydr.16amph.9C_9M_8PF_6Ch_3X_2$ – доминировала Р-форма. По типу местообитания чаще всего встречались почвенно-бентосные (22 вида), убиквисты (21 вид), планктонные (18 видов) и планктонно-бентосные виды (16 видов).

Цианобактерии входят в состав цианобактериально-водорослевых ценозов пещер и являются одними из диагностических видов для следующих синтаксонов: класс *Mychonastetea* Abdullin in Abdullin et Mirkin 2015, порядок *Mychonastetalia homosphaerae* Abdullin in Abdullin et Mirkin 2015, союз *Nostocion punctiformae* Abdullin in Abdullin et Mirkin 2015, ассоциации *Nostocetum punctiformae* Abdullin in Abdullin et Mirkin 2015, *Eolimnetum subminusculae* Abdullin in Abdullin et Mirkin 2015, *Phormidietum ambiguum* Abdullin in Abdullin et Mirkin 2015, субассоциация *Hantzschietum amphioxys phormidietosum ambiguum* Abdullin in Abdullin et Mirkin 2015 (Абдуллин, Миркин, 2015).

ХАРАКТЕРИСТИКА КУЛЬТИВИРУЕМЫХ ШТАММОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ОЗЕРА СТЕПЕД (АНТАРКТИДА)

Аверина С. Г., Краснова А. Д.

Санкт-Петербургский государственный университет,
Биологический факультет, Санкт-Петербург, Россия; e-
mail: s.averina@spbu.ru

Цианобактерии способны заселять разнообразные, часто экстремальные, местообитания. В полярных областях

они подвержены воздействию низких температур, замораживанию-оттаиванию, колебаниям осмотического давления и уровня освещенности. Однако истинно психрофильные формы (с оптимумом роста менее 20°C) встречаются редко.

Озеро Степед находится в районе оазиса Холмы Ларсеманн в Восточной Антарктиде (69°22'32,81" ю. ш., 76°23'8,94" в. д.) поблизости от российской полярной станции Прогресс 2 и китайской Zhongshan. Пробы, взятые в марте 2014 г., представляли собой биопленки, собранные со дна вдоль береговой линии, а также всплывшие и вмерзшие в лед фрагменты с глубины 2–4 м. Хранение и транспортировка проб осуществлялись при 4°C.

Для получения накопительных культур пробы объемом 5 мл помещали в 100 мл разбавленной вдвое жидкой питательной среды BG11 с добавлением циклогексимида (50 мкг/мл, для ингибирования роста эукариот). Одновременно проводился высев проб в чашки Петри на поверхность плотной (1%) агаризованной среды BG11. Выделение чистых культур цианобактерий осуществляли путем повторных истощающих высевов на плотную среду. Культивирование проводили параллельно при температурах 22–24°C и 10–12°C и постоянном освещении лампами дневного света с интенсивностью 1000 лк.

В результате было выделено 19 штаммов, депонированных в коллекции CALU Санкт-Петербургского государственного университета. Идентификация выделенных штаммов проводилась с использованием классических фенотипических признаков (форма, и размер клеток, особенности морфологии трихомов и клеточных скоплений, пигментный состав), а также методами молекулярно-генетического анализа. С этой целью

проводили амплификацию и секвенирование фрагмента гена 16S рРНК с цианобактериальными праймерами 106f и 781r. Полученные последовательности сравнивали с последовательностями из GenBank, используя программу BLAST.

Культивируемые штаммы цианобактерий оз. Степед представлены одноклеточными и трихомными формами. На основе фенотипических признаков первые отнесены к роду *Synechococcus* (5 штаммов) Субсекции I (ботанический порядок *Chroococcales*), а вторые формы – к родам *Leptolyngbya* (10 штаммов) и *Pseudanabaena* (4 штамма) Субсекции III (пор. *Oscillatoriales*).

Анализ последовательностей фрагментов гена 16S рРНК выявил высокую степень сходства со следующими последовательностями из базы данных: *Cyanobium gracile* PCC 6307 (99%; 4 штамма), *Synechococcus* sp. PCC 7009 (97%; 1 штамм), *Leptolyngbya frigida* (99%; 2 штамма), *Pseudanabaena* sp. PCC 6903 (97–98%; 4 штамма) и *Phormidesmis priestleyi* (97–99%; 8 штаммов). Полученные данные в целом не противоречат результатам фенотипической идентификации.

Следует отметить, что штаммы *Pseudanabaena* spp. выделялись из проб только при 10–12°C. Для ответа на вопрос, являются ли они психрофилами, необходимо провести эксперименты по определению оптимальной температуры роста данных штаммов.

Исследование проводили с использованием оборудования ресурсных центров Научного парка СПбГУ «Развитие молекулярных и клеточных технологий» и «Культивирование микроорганизмов». Работа выполнялась при поддержке гранта РФФИ №16-04-00174.

ЦИАНОБАКТЕРИИ МОРСКОЙ БИОТЫ В МЕСТАХ ПОВЫШЕННОЙ ЭВТРОФИКАЦИИ АКВАТОРИИ

Андреева Н. А.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Институт природно-технических систем (ИПТС), Севастополь, Россия; e-mail: andreeva.54@list.ru

Цианобактерии (Cyanobacteria), наряду с микроводорослями, активно участвуют в ассимиляции органического вещества в акваториях с повышенной степенью эвтрофикации (например, морских прибрежных вольерах с дельфинами) и выступают как агенты естественных процессов очищения загрязненных вод. Отдельные виды цианобактерий могут быть использованы в качестве индикаторных при экомониторинге.

Исследования проводились в зоне черноморского прибрежного мелководья с повышенной эвтрофикацией органическими веществами (вольеры с дельфинами) в районе г. Севастополя.

В результате проведенных исследований в фитопланктоне было выявлено около 20 родов цианобактерий, принадлежащих к 5 порядкам (Chroococcales, Pleurocapsales, Oscillatoriales, Nostocales, Stigonematalis). Наиболее многочисленными являлись цианобактерии порядков Oscillatoriales (рода *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Lyngbya*, *Leptolyngbya*, *Spirulina* и др.) и Chroococcales (*Aphanocapsa*, *Cyanothece*, *Microcystis*, *Gloeocapsa*). Наибольшим разнообразием состав фитопланктона отличался в акватории, где поступление в воду органических веществ было максимальным (вольеры, плотно населенные морскими животными) (Смирнова и др. 1999).

В перифитоне исследуемой акватории, как и в фитопланктоне, выявлены цианобактерии, относящиеся к 5 порядкам. Здесь доминировали представители осцилляториевых и порядка Nostocales (*Anabaena*, *Nostoc*, *Calothrix*, *Tolypothrix* и др.). Более часто в перифитоне встречались цианобактерии родов: *Microcystis* (порядок Chroococcales), *Spirulina* (порядок Oscillatoriales) и *Calothrix* (порядок Nostocales).

В донных отложениях акватории с повышенной эвтрофикацией присутствовали осцилляториевые цианобактерии нескольких родов, нитчатые гетероцистные (*Anabaena*) и некоторые другие формы (*Microcystis*, *Gloeocapsa*, *Chroococcopsis*).

На основании полученных результатов предполагается возможность использования некоторых цианобактерий родов *Spirulina* и *Oscillatoria* в качестве индикаторов органического загрязнения в системе экологического мониторинга исследуемой акватории.

Цианобактерии в альгоценозах кожных покровов дельфинов были обнаружены у 3–5 из 11 исследованных животных и включали 1–5 видов, являющихся в основном представителями порядка Oscillatoriales (родов *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Lyngbya*, *Leptolyngbya*, *Spirulina*), а также родов *Chroococcus*, *Microcystis*, *Merismopedia*, *Cyanosarcina*, *Myxosarcina*, *Gloeocapsa*, *Pleurocapsa*, *Chroococcopsis*. Предполагается, что, находясь в сообществе с бактериями, грибами и простейшими в местах кожных поражений, цианобактерии могут способствовать внедрению патогенных микроорганизмов и препятствовать репаративным процессам (Гольдин, 2013).

При длительном культивировании образцов воды и кожных обрастаний на жидкой среде Громова №6, в некоторых из них при микроскопировании выявлялись

микроорганизмы гантелевидной формы серебристо-оливкового цвета, сходные по размерам с другими водорослями. Эти организмы при культивировании в пробирках присутствовали только в осадочном слое на дне. Впервые подобные формы были обнаружены нами в 2007 году в морских донных отложениях, загрязненных соединениями восстановленной серы (Смирнова, Андреева, 2009) на среде Ван-Ниля (среда для фототрофных бактерий) после 3-х месячной инкубации на свету. Ранее о нахождении организмов гантелевидной формы в докембрийских отложениях сообщали в своих работах В. Н. Сергеев (1993) и Ю. А. Розанов (2002). Каких-либо иных данных о подобных организмах в отечественной и зарубежной литературе не выявлено. Определенные нами размеры клеток в среднем составляли $4,4-8,0 \times 19,3-22,5$ мкм, ширина перетяжки – 2,3-2,8 мкм. Клетки могли делиться как продольно, так и поперечно. При многократном делении образовывалась микроколония в виде «цветка». На данный момент получить альгологически чистую культуру этих микроорганизмов не удалось. Мы предполагаем, что эти микроорганизмы могут быть реликтовыми формами, принадлежащими к отделу Cyanobacteria.

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ НА ПРИМЕРЕ НАСТОЯЩИХ СТЕПЕЙ БАШКИРСКОГО ЗАУРАЛЬЯ

Ахмедьянов Д. И.

Башкирский государственный университет, Уфа,
Республика Башкортостан, Россия; e-mail: dhws@mail.ru

Степень изученности биоразнообразия низших фотоавтотрофов находится на низком уровне, что делает затруднительным оценку общего состояния экосистем. Территория Башкирского Зауралья слабо изучена в альгологическом отношении. Данное исследование посвящено изучению таксономической структуры в цианобактерий в степях Башкирского Зауралья.

В основу работы положены 242 почвенные пробы, отобранные в ходе полевых сезонов 2008 и 2011 гг. маршрутным методом на территории Баймакского района (Республики Башкортостан).

Почвенные образцы отобраны на площадках размером 10×10 м, путем усреднения 10 исходных проб, взятых в слое 0-1 см площадью 5×5 см и доведенные до воздушно-сухого состояния. Видовой состав изучался в почвенных культурах со стеклами обрастания, без применения жидких культур, чтобы максимально исключить случайно занесенные гидрофильные виды.

В результате исследований обнаружено 27 видов цианобактерий, относящихся к порядкам *Oscillatoriales* – 16 видов, *Nostocales* – 8 видов и *Chroococcales* – 3 вида. Из них в 2008 году найдено 26 видов, а в 2011 – 23 вида.

В 2011 году по сравнению с 2008 годом произошло выпадение 4 таксонов: *Lyngbya aestuarii* (Mert.) Liebm., *Phormidium ambiguum* f. *majus* (Lemm.) Elenk. и *Schizothrix lardacea* (Ces.) Gom. и появление *Calothrix elenkinii* Kossinsk., что может быть связано с многогодичной флуктуацией.

Анализ видового разнообразия на уровне семейств показал, что ведущими семействами и в 2008 и в 2011 годах являются семейства *Phormidiaceae* (7 и 6 видов соответственно), *Nostocaceae* (по 7 видов) и *Pseudanabenaceae* (5 и 4 видов соответственно). Также в

2011 году происходит выпадение семейства *Oscillatoriaceae* и появление семейства *Rivulariaceae*.

При рассмотрении разногодичной динамики на уровне родов видно, что в 2011 году происходит уменьшение видового разнообразия в родах *Phormidium* и *Leptolyngbya*, однако изменения структуры ведущих родов не происходит: *Phormidium* (4 и 3 вида соответственно), *Leptolyngbya* (5 и 4 вида соответственно), *Cylindrospermum* (по 3 вида), *Nostoc* (по 3 вида).

Среди доминирующих видов не произошло радикальных изменений, что говорит об устойчиво сложившемся сообществе, в котором, несмотря на небольшие перемены в общем видовом разнообразии доминантные виды практически не изменяются. Доминирующими видами являются: *Microcoleus autumnalis* (Trev. ex Gom.) Strunecky et al., *M. vaginatus* Gom. ex Gom., *Leptolyngbya boryana* (Gom.) Anagn. et Komárek.

Анализ списка константных видов показал, что существенные перемены в их разногодичной динамике отсутствуют, что также указывает на устойчиво сложившееся сообщество, подверженное лишь небольшим флуктуациям.

При рассмотрении пропорций флор видно, что в 2011 году происходит их уменьшение по всем показателям кроме насыщенности семейств родами. Заметное изменение пропорций флор видно только в отношениях вид/род (с 3,7 до 3,3) и вид/семейство (с 2,0 до 1,8), что говорит об уменьшении видовой насыщенности семейств и родов, однако при этом сохраняется насыщенность семейств родами (1,85), что связано со снижением общего видового разнообразия с сохранением структуры таксонов, вызванного, по всей вероятности, разногодичными флуктуациями.

ЦИАНОПРОКАРИОТЫ ИЗ ПЛАНКТОНА РЕК И ОЗЕР ОМСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ – ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОГО СОСТАВА, РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ОБИЛИЕ

Баженова О. П., Гульченко Я. И.

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина», Омск, Омская область, Россия; e-mail: olga52@bk.ru, gulchenkoyi@gmail.com

Во всем мире цианопрокариоты (Cyanoprokaryota) являются объектом пристального внимания альгологов, гидроэкологов и токсикологов. Возрастающее обилие цианопрокариот во многих водных объектах, достигающее уровня «цветения» воды, влечет за собой негативные последствия, поэтому изучение их распространения и обилия в водных объектах различных регионов приобретает особую актуальность.

В пределах Омской области располагается среднее течение трансграничной реки Иртыш, часто эту территорию называют Омское Прииртышье. Водные объекты региона значительно различаются по ряду показателей. Многие из них эвтрофированы, что проявляется в ряде признаков, в особенности – значительном обилии фитопланктона, достигающем уровня «цветения», и вегетации в его составе мелкоклеточных видов водорослей и цианопрокариот.

По результатам наших исследований в планктоне рек и озер Омского Прииртышья найдено около 150 таксонов цианопрокариот рангом ниже рода. По видовому богатству они занимают третье место после зеленых и диатомовых водорослей, а по обилию часто выходят на лидирующие позиции, особенно в летне-осенний период. Так, в начале сентября 2014 г. в Иртыше общая численность фитопланктона,

в котором преобладали цианопрокариоты (доминант *Aphanocapsa holsatica*), достигала 233,29 млн кл./л.

Наибольшее видовое богатство цианопрокариот отмечено в городских водоемах. Интенсивность вегетации потенциально токсичных видов здесь обычно не превышает допустимый по рекомендациям ВОЗ показатель. Однако летом 2008 г. в озере Чередовое наблюдалось «цветение» воды, вызванное *Microcystis aeruginosa*, который формировал 99,4% общей численности фитопланктона, достигавшей 1,806 млрд кл./л.

В гипертрофном озере Соленом, расположенном на территории г. Омска, найден редкий для Сибири вид *Arthrospira fusiformis*, в летне-осенний период также вызывающий «цветение» воды. Фитомасса артроспиры обладает ценными кормовыми свойствами, массовая доля протеинов в сырой фитомассе составляет 33–46 %, а жиров – около 1 %. По содержанию токсикантов и иных веществ фитомасса артроспиры полностью соответствует установленным нормативам для кормления сельскохозяйственных животных. Запасы сырой биомассы артроспиры в озере имеют промышленное значение, что дает возможность его использования в качестве источника ценного биологического сырья.

В озерах Омского Прииртышья, расположенных в лесной зоне и активно используемых в рекреации, летом также отмечается интенсивная вегетация цианопрокариот. Ведущее место занимают цианопрокариоты в фитопланктоне самой крупной озерной системы региона Салтаим-Тенис, где ведется интенсивный рыбный промысел. Вегетация цианопрокариот в этих мелководных высокоэвтрофных озерах достигает уровня «цветения», наибольшей частотой доминирования отличаются виды рода *Aphanocapsa* и *Leptolyngbya saltaimica* (ранее идентифицировавшаяся как

Lyngbya saltaimica Skab.). По показателю биомассы летнего фитопланктона эти озера относятся к категории политрофных. Основу численности и биомассы фитопланктона здесь формировали цианопрокариоты, их доля в создании общей численности достигала 99 %, а биомассы – 70 %. «Цветение» воды, вызванное цианопрокариотами, отмечено также в ряде озер степной и лесостепной зоны, что снижает их хозяйственное и рекреационное значение.

Имеющиеся данные о видовом составе, обилии и распространении цианопрокариот позволяют широко использовать эту группу альгофлоры при проведении биомониторинга и оценке экологического состояния водных объектов Омского Прииртышья.

РАЗВИТИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПО ЭКОЛОГИИ ЦИАНОПРОКАРИОТ

Барина С. С.

Institute of Evolution, University of Haifa, Haifa, Israel;
e-mail: barinova@research.haifa.ac.il

Цианобактерии, цианопрокариоты (в таксономических системах) или синезеленые водоросли (как экологическая группа) представляют собой разнообразную, одну из наиболее древних и широко приспособленных групп организмов на Земле, известную с начала формирования ее биоты. В таксономическом плане в отношении цианопрокариот до сих пор ведется работа по уточнению их таксономического объема, состава и филогенетической позиции внутри системы органического мира. Это говорит о том, что еще нет достаточно полного

знания об их морфологии, процессах воспроизведения и экологии. Внимание к этой большой и сложной группе организмов привлекается еще и потому, что участие цианопрокариот в сообществах достигает иногда более 90% от общего таксономического разнообразия, численности и биомассы. Сообщества с участием цианопрокариот оккупируют самые разнообразные местообитания, такие как наземные, почвенные, аэрированные, водные, они входят в состав сообществ планктона, перифитона, бентоса. Роль их в природе заключается не только в активном производстве естественных белков путем фотосинтеза, но также очень важным свойстве азотфиксации, имеющем значение для повышения продуктивности почв. Кроме того, цианопрокариоты служат прекрасным объектом для культивирования, поскольку весьма неприхотливы и имеют высокую скорость размножения. Давно и продуктивно их используют в различных областях хозяйства, таких как пищевая и парфюмерная, промышленность. Высока их роль также в качестве научного объекта. Много современных методических и эволюционно-биологических исследований основано на изучении биологии и молекулярной структуры цианопрокариот. Использование их в мониторинге и экологических оценках уже много лет составляет часть государственных систем в странах Европы и СНГ. Все это не может не привлекать пристального внимания к экологии цианопрокариот, знания о которой еще весьма далеки от исчерпания.

В течение ряда лет, последние два-три десятилетия, наши исследования были посвящены сбору данных об экологических предпочтениях видов цианопрокариот, как составной части общей экологической базы данных, включающей к настоящему времени 8917 записей. Для составления базы данных была проанализирована

информация об экологических предпочтениях видов из 62 наиболее объемных таксономических и экологических сводок разных лет, опубликованных в течение 1950-2012 годов. Построение было проведено в редакторе Microsoft Access.

Собранные нами данные об экологии цианопрокариот к настоящему моменту известны для 874 таксонов (включая таксоны видового и внутривидового ранга). Таксономия была современной на момент января 2016. Данные были генерализованы по принципу предпочтения наиболее новых, наиболее объемных, наиболее основательных и наиболее достоверных источников.

По отношению к типу местообитания информация оказалась наиболее представительной, включающей данные о 817 таксонах, и разнообразной в силу широты экологии цианопрокариот. Наиболее представлены группы бентосных (167) и планктонных (160) обитателей, но также известны таксоны с широкой экологией, встречающиеся в различных средах и имеющих составные характеристики как обитателей почвы, бентоса, прикрепленных форм, планктона в различных сочетаниях (всего 19 типов сочетаний).

Сравнительно немного (91) таксонов имели определенное отношение к температуре среды обитания и относились к группам холодноводных (14), эвритермных (6), тепловодных (65) и видов, предпочитающих умеренные температуры (6).

Известно 16 индикаторов бескислородных условий с присутствием сероводорода в воде.

Всего 361 таксон имел известное отношение к обогащенности среды кислородом, и большинство из них представлено аэрофилами (126), хотя обитатели слаботекучих вод (110), текучих (26) и стоячих (86) также

широко представлены, причем имеются таксоны со смешанными характеристиками, более широкой экологией.

Цианопрокариоты весьма равнодушны к рН среды и было найден всего 21 представитель с определенными предпочтениями, относящийся к группам ацидофилов (1), алкалифилов (9) и индифферентов (11).

Относительно немного таксонов (172) было известно в качестве индикаторов солености (хлориды) среды обитания, но они относились к группам, охватывающим весь спектр концентраций, где обитают водоросли. Большинство из них представляло олигогалобы-индифференты (80), галофилы (30) и мезогалобы (36), а крайние группы галофобов (7) и полигалобов (16) включали небольшое число таксонов. Немного было видов с более широкой экологией, характеристики которых относились к 2 группам.

Индикаторов органического загрязнения и экологического состояния экосистемы было 277 среди цианопрокариот. Охвачена вся амплитуда характеристик от ксено- до полисапробионтов с преобладанием олиго-бетамезосапробионтов (44). А индексы сапробности известны для 298 таксонов цианопрокариот.

Последняя, достаточно важная категория – индикаторов трофности воды (334) среди цианопрокариот разделилась на 6 групп с преобладанием олиготрофов (108), эвтрофов (51), олиго-мезотрофов (48) и мезотрофов (46). Остальные группы представлены меньше.

Вся собранная информация об экологии цианопрокариот публиковалась в книгах в 1996, 2000 и 2006 годах и готовится к изданию в 2016. Она может быть использована в целях изучения сообществ, включающих цианопрокариоты, а также в мониторинге водных объектов.

ЦИАНОБАКТЕРИИ ПОЧВ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ И ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ

Батаева Ю. В.

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», Астрахань, Астраханская область, Россия; e-mail: aveatab@mail.ru

Важной группой микроорганизмов почв являются фототрофы – почвенные водоросли и цианобактерии, которые вносят существенный вклад в развитие почвенных экосистем, вследствие образования первичной продукции органического вещества, фиксации молекулярного азота, синтеза метаболитов и т.д. В связи с особенностями расположения и аридным климатом Астраханского региона, на его территории развиваются специфические виды цианобактерий, устойчивые к высоким температурам, повышенной солености, интенсивности света, высушиванию, ультрафиолетовому облучению и т.д.

Объектами исследования были выбраны почвы основных ландшафтов Астраханской области, образцы которых отобраны на территории право- и левобережья Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги.

Целью работы было исследование видового состава и некоторых экологических особенностей почвенных водорослей и цианобактерий в различных типах почв Волго-Ахтубинской поймы и Дельты Волги.

В результате проведенных исследований было установлено, что представители отдела *Cyanobacteria* составляют 71,3 % от общего числа изученных почвенных водорослей. Анализ всех почвенных образцов позволил выявить 64 вида цианобактерий, относящихся к 3 классам (*Chroococceae*, *Chamaeciphoneae*, *Hormogoneae*), 4

порядкам (*Chroococcales*, *Pleurocapsales*, *Nostocales*, *Oscillatoriales*), 9 семействам, 19 родам.

В исследованных почвенных объектах Астраханской области, по видовому разнообразию лидирующее положение занимает семейство *Oscillatoriaceae* (31 видовых таксона) – 36,0% от числа обнаруженных видов. В число ведущих, кроме того попадают 2 семейства, среди которых содержатся кокковые и колониальные формы (*Gloeocapsaceae*, *Microcystidaceae*). Основную долю представителей цианобактерий составляют виды родов: *Phormidium* (16), *Oscillatoria* (12), *Gloeocapsa* (10), *Microcystis* (3), *Anabaena* (3). Меньшим числом видов отдела *Cyanophyta* отличаются рода *Cylindrospermum* (2), *Spirulina* (2), *Plectonema* (2), *Synechococcus* (2) и др.

Наибольшее число видов водорослей обнаружено в аллювиальных луговых и бурых полупустынных почвах. Возможно, это связано с наименьшей засоленностью почвы и нейтральной реакцией среды. Проведенные исследования показали, что цианобактерии рода *Phormidium* и *Oscillatoria* отличаются значительным видовым разнообразием и являются широко распространенными в наземных экосистемах формами.

С помощью метода накопительных культур на основе отобранных на территории Астраханского региона почвенных и ризосферных образцов, выделены цианобактериальные сообщества и альгологичеки чистые культуры цианобактерий.

В результате проведенных экспериментов обнаружено, что цианобактерии обладают фитостимулирующей, фунгицидной активностью, способностью к колонизации ризосферы растений. Спектрофотометрический анализ показал наличие в культуральной жидкости циано-бактериальных сообществ

группу фенольных соединений, максимум поглощения которой равен 350 нм. Методом тонкослойной хроматографии из 16 элюирующих систем разделение показали 7, как полярные, так и неполярные. Обнаруженные в водно-спиртовых экстрактах цианобактериальных сообществ органические кислоты обладают высокой биологической активностью. Исследованные свойства и метаболиты циано-бактериальных сообществ, являются основой для разработки различных методов биотехнологии, в том числе и агробiotехнологии.

СОСТАВ И СТРУКТУРА ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ АНТРОПОГЕННО- ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ПОЧВ ГОМЕЛЬСКОГО РЕГИОНА (БЕЛАРУСЬ)

Бачура Ю. М.

Гомельский государственный университет имени
Ф. Скорины, Гомель, Беларусь; e-mail:
julia_bachura@mail.ru

Изучение цианобактериальных сообществ почв, испытывающих различные виды и уровни антропогенных воздействий, является актуальным и позволяет выявить реакцию организмов на специфические загрязнители, установить степень адаптации к действию возмущающих факторов, определить возможность использования определенных видов для оценки состояния почв, наметить пути биологической рекультивации. Целью работы являлось изучение видового состава и структуры цианобактериальных сообществ антропогенно-преобразованных почв Гомельского региона.

Для отбора почвенных образцов были выбраны следующие участки на территории г. Гомеля и ближайшего пригорода: тропинки в смешанном лесу, туристические стоянки, места горения разведенных нами костров и прилегающая к ним территория, придорожные газоны некоторых улиц города, Гомельский городской полигон твердых бытовых отходов, отвалы фосфогипса Гомельского химического завода и прилегающая к ним территория, дегроторфяники на сельхозугодиях. Для выявления состава водорослей использовали культуральные методы: почвенные и агаровые культуры. Степень развития водорослей оценивали по 3-балльной шкале Р. Р. Кабирова. Систематическое положение объектов приводили по данным сайта СуаноDB, жизненные формы определяли в соответствии с классификацией Э. А. Штиной и М. М. Голлербаха. Для сравнения цианобактериальных сообществ исследуемых территорий рассчитывали коэффициенты сходства систематического состава Сьеренсена-Чекановского при помощи программного модуля «GRAPHS».

В ходе исследования было идентифицировано 38 видов цианобактерий из 17 родов, 8 семейств, 3 порядков класса Cyanophyceae. Наибольшее видовое богатство было характерно для порядков Oscillatoriales – 19 видов (50,0 %) и Nostocales – 14 видов (36,8 %). В семейственном спектре преобладали Phormidiaceae, Nostocaceae и Pseudanabaenaceae; в спектре родов – *Phormidium* (9 видов) и *Nostoc* (5 видов). В экологическом отношении все цианобактерии являлись эдафотрофными. Среди них преобладали представители P- и C-жизненных форм – 17 и 15 видов соответственно (44,7 % и 39,5 %). Также были выявлены цианобактерии M- и Ch-жизненных форм. На

долно способных к азотфиксации видов приходилось 36,8 %.

Установлено, что изменения таксономической организации цианобактериофлоры могут служить показателями состояния окружающей среды, в частности, диагностировать степень нагрузки. Так, в сообществах цианей почв исследованных рекреационных территорий имеет место эффект «промежуточного нарушения»: на начальных этапах нарушения показано усложнение структуры сообществ, а затем – снижение их видового богатства и обилия. Состав цианобактерий изученных урбанизированных территорий разнороден вследствие различного химического состава исследованных субстратов; при увеличении рН отмечено расширение видового богатства цианей. В деградированных почвах выявлен рост числа видов цианей в составе сообществ с увеличением рН почвенного раствора.

Показано, что пресс антропогенных факторов оказывает лимитирующее действие на цианобактерии на участках с высокой степенью нагрузки. Сравнение состава цианобактериальных сообществ свидетельствует о том, что наиболее устойчивыми представителями, толерантными к любым загрязняющим веществам в изученных экосистемах, являются нитчатые цианеи Р-жизненной формы – виды родов *Phormidium* и *Leptolyngbya*, которые механически оплетают почвенные частицы, предотвращая их распыление, и способствуют удержанию влаги в почве благодаря склеиванию частиц почвы с помощью выделяемых слизистых чехлов.

ЦИАНОБАКТЕРИИ КАК КОМПОНЕНТЫ АЛЬГОФЛОРЫ НЕКОТОРЫХ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЁМОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

**Бурдо А. Ю.¹, Никитина В. Н.¹, Павлова О. А.²,
Николаева Е. В.¹**

¹Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия; e-mail: narow@yandex.ru,
botsadsbgu@yandex.ru, e2405p@yandex.ru

²Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург,
Россия; e-mail: pavlova@limno.org.ru

С середины XX века проблема контроля качества воды в водоёмах крупных городов приобрела большую актуальность во многих странах Европы и Америки. Влияние урбанизированных ландшафтов – одна из наиболее глубоких, активных и комплексных форм воздействия на природные объекты, в том числе на водные системы. Большая часть случаев антропогенного эвтрофирования водных объектов была отмечена впервые именно на таких территориях. Влияние городов ведёт к тому, что нарушается естественное функционирование водных экосистем, и они превращаются в антропогенно изменённые экосистемы. Для Санкт-Петербурга в настоящее время подобные исследования весьма актуальны. Малые водоемы – озера, водохранилища, реки и другие, расположенные в черте крупных городов, наилучшим образом отражают степень загрязнения окружающей среды урбанизированных территорий, так как являются аккумулялирующими звеньями гидрографической сети.

Объектами исследования являлись 3 водоёма, расположенные в рекреационной зоне Фрунзенского района Санкт-Петербурга. Два из них расположены в парке

Интернационалистов (Малый и Большой пруды), а третий (Большой карьер) на прилегающей к парку зелёной территории. Парк Интернационалистов является одной из немногих зелёных зон района. Пруды парка и Купчинские карьеры являются самыми большими водоёмами района – суммарно 26,3 га. Естественные водоёмы парка – остатки русла реки Волковки, которая была засыпана в ходе строительства района. Глиняные карьеры были вырыты в первой половине XX века в результате деятельности Кирпичного завода и после заполнились водой.

Мониторинг производился в сезон 2014 года. За период наблюдений выявлена достаточно разнообразная и богатая в видовом отношении альгофлора, представленная более чем 219 видами и внутривидовыми таксонами. Цианобактерии составили 15% от общего числа видов: 33 вида и внутривидовых таксона. В Малом пруду был обнаружен 31 таксон (16% от общего числа водорослей), в Большом пруду – 17 (24%) и в Большом карьере – 6 (14%).

Экологические характеристики видов схожи для всех изученных водоёмов. По отношению к субстрату большинство цианобактерий относится к планктонным видам, также присутствуют планктонно-бентосные виды. Индексы сапробности большинства видов соответствуют β -мезосапробной зоне. Особый интерес представляют 2 группы видов, обнаруженные в альгофлоре изученных водоёмов с точки зрения их потенциальной опасности. Первую группу составляют 18 видов, которые могут являться возбудителями «цветения» воды в условиях Северо-Запада России. Кроме того, 10 из них, составляющие вторую группу, являются потенциально токсигенными. Такие виды были обнаружены во всех 3 водоёмах.

Биомасса цианобактерий значительно менялась в течение сезона и в зависимости от водоёма. В Малом пруду они доминировали в июне-августе и полностью исчезали к ноябрю. Максимум доминирования был зафиксирован в июне и составлял 92% (0,94 мг/л) от общей биомассы водорослей. В июле и августе наблюдалось цветение цианобактерий. Доминировали *Dolichospermum circinale* (Rabenh. ex Born. et Flah.) P. Wacklin et al. и *Aphanizomenon flosaquae* (L.) Ralfs ex Born. et Flah. Максимальных значений биомасса достигала в июле - 5,99 мг/л. (89% от общей биомассы). В Большом пруду наблюдалось цветение в июне. Биомасса составляла 30,33 мг/л, доминирование по биомассе 99%. Преобладал вид *Dolichospermum planctonicum* (Brunnth.) P. Wacklin et al. В Большом карьере биомасса цианобактерий не достигала значительных величин, и они не являлись доминантами альгофлоры. Максимальные значения приходились на июнь. Биомасса достигала 0,03 мг/л (8% от общей биомассы). Доминировал вид *Dolichospermum lemmermannii* f. *minor* (Uterm.) Beljak. К октябрю вегетация цианобактерий в Большом карьере прекратилась.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ЦИАНОБАКТЕРИЙ (OSCILLATORIALES) МОЛЕКУЛЯРНО- ГЕНЕТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Величко Н. В.¹, Емельянова М. С.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия; e-mail: n.v.velichko@mail.ru

²Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия; e-mail: margar9@mail.ru

Классификация цианопрокариот осложняется не только в связи с проблемой вида у прокариот, но также из-за двойственной таксономической ситуации с ними в целом. Согласно Бактериологическому кодексу фундаментом в систематике прокариот является род, состоящий из одного или нескольких видов/штамов, представленных живыми культурами. Обязательное определение до уровня вида, подкрепленное гербарным образцом, связано преимущественно с традицией Международного кодекса ботанической номенклатуры. Однако и в том и в другом случае, для однозначного определения таксономического статуса морфологически сходных цианобактерий используется комплексный подход, включающий молекулярно-генетические методы. Особенно актуальными они являются в случае попыток классификации осциллаториевых цианобактерий. Согласно 2-му изданию «Определителя Берги по систематике бактерий» они входят в Субсекцию III (ранее пор. *Oscillatoriales*), который содержит 17 «форм-родов»: *Oscillatoria*, *Leptolyngbya*, *Planktothrix*, *Arthrospira*, *Limnothrix*, *Borzia*, *Pseudanabaena*, *Geitlerinema*, *Spirulina*, *Lyngbya*, *Crinalium*, *Starria*, *Microcoleus*, *Trichodesmium*, *Tychonema*, *Symploca* и *Prochlorothrix*. В случае ботанической классификации, количество описанных родов значительно больше.

Основным диагностическим признаком рода в случае «Руководства Берги..» служит морфология клеток. Однако некоторые таксономически важные признаки у осциллаториевых цианобактерий, такие как наличие/отсутствие чехла, агрегатов газовых везикул, а также выраженность спирализации у трихомов в лабораторных условиях могут изменяться.

Наряду с этим важную роль в систематике цианобактерий играет филогенетический анализ

последовательности гена 16S рРНК. Во многих случаях для уточнения таксономического положения на уровне рода необходимо применять дополнительные методы молекулярно-генетического анализа. Так, методы ДНК-фингерпринта и рестрикционного анализа используются достаточно широко для уточнения внутривидового статуса цианобактерий.

Нами был проведен морфологический, филогенетический и молекулярно-генетический анализ с целью определения таксономического статуса 30 представителей цианобактерий родов *Oscillatoria*, *Leptolyngbya*, *Planktothrix*, *Arthrospira*, *Limnothrix*, *Pseudanabaena*, *Geitlerinema*, *Symploca* и *Prochlorothrix*.

КОНЦЕПЦИЯ ВИДА, СИСТЕМАТИКА И НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ АЛЬГОФЛОРИСТИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

Виноградова О. Н.

Институт ботаники им. Н.Г. Холодного НАН
Украины, Киев, Украина; e-mail: o.vinogradova@gmail.com

Синезеленые водоросли (Cyanoprokaryota, Cyanobacteria, Cyanophyta) известны своей уникальной функционально-биологической организацией и важной ролью в водных и наземных экосистемах. Сочетание прокариотического строения клетки со способностью к оксигенному фотосинтезу и фиксации атмосферного азота делает их наиболее значимыми первичными продуцентами на Земле. Вода, как основная среда обитания и донор электрона при фотосинтезе объединяет про- и

эукариотические водоросли в общую эколого-биологическую группу, изучением которой традиционно занимается специальный раздел ботаники – альгология. Концепция вида, принципы систематики и методы оценки их разнообразия долгое время развивались в русле общеводорослевых подходов, однако за прошедшие полвека претерпели радикальные изменения. Признание бактериальной природы синезеленых водорослей инициировало поиск новых признаков для их таксономического разграничения, но в итоге не привело к окончательному переходу на бактериологический стандарт вида, который опирается на аксенический штамм, а главным критерием является генетическое сходство/различие, порог которого зависит от использованных молекулярных методов и для которого монофилия не является необходимым требованием. Было признано, что исследования, выполненные на культуральном материале, и учитывающие только молекулярные данные, дают неполное представление о существующих генотипах и их распространении в разнообразных экосистемах, не учитывают морфологическую изменчивость *in situ* и непрерывный процесс адаптации и возникновения новых цианобактериальных эко- и морфотипов (Wilmotte, Golubič, 1991; Komárek, Časlavská, 1991; Komárek, Kaštovský, 2003; Hoffmann et al., 2005). На смену классической концепции вида у синезеленых водорослей, в основе которой лежали морфологические и отчасти экологические отличия, которые к тому же служили источником описания многочисленных внутривидовых единиц, пришла монофилетическая концепция вида. Было предложено рассматривать вид как группу популяций (штаммов), принадлежащих к одному генотипу, имеющую стабильные

четко очерченные фенотипические признаки и одинаковые экологические требования (Komárek, Anagnostidis, 2005), т.е. наименьшую монофилетическую группу, обладающую аутапоморфией (Johansen, Casamatta, 2005). Такой подход позволяет по-прежнему работать в рамках Ботанического кодекса (на чем в свое время настаивала Н.В. Кондратьева). Большинство современных таксономических исследований цианобактерий сочетают молекулярно-генетические, морфологические и экологические наблюдения с последующим филогенетическим анализом, благодаря чему активно обновляется систематическая структура отдела и создаются предпосылки для создания новой классификационной системы, предварительный вариант которой недавно опубликован (Komárek et al., 2014). При этом ее авторы подчеркивают, что до того, как будет накоплено достаточно данных для создания филогенетической системы цианобактерий, любые ныне принятые таксоны рангом выше рода следует рассматривать как предварительные. Поэтому попытки анализировать систематическую структуру цианобактерий на уровне классов, порядков и семейств противоречат современным подходам к систематике этой группы. Это важное обстоятельство не должно игнорироваться при проведении альгофлористических и гидроэкологических исследований. Природные популяции остаются основным источником наших знаний о разнообразии цианобактерий, поэтому наша главная задача – это корректная идентификация с учетом монофилетической концепции вида, внимание к деталям морфологии и экологическим условиям местообитания.

ЦИАНОБАКТЕРИИ И ИХ МЕТАБОЛИТЫ В ЭВТРОФНЫХ ВОДОЕМАХ Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

**Воякина Е. Ю., Чернова Е. Н., Русских Я. В.,
Жаковская З. А.**

ФГБУН Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: katerina.voyakina@gmail.com

Со второй половины XX века вследствие интенсивного развития промышленности и сельского хозяйства усиливается антропогенное эвтрофирование водоемов, что в свою очередь приводит к нарушению экологического баланса и массовому развитию отдельных видов водорослей (или «цветению»). При современном состоянии водных экосистем это явление становится все более частым. Отрицательные последствия антропогенного эвтрофирования проявляются преимущественно в массовой вегетации в озерах планктонных водорослей, которые вызывают появление неприятных запаха и вкуса воды, увеличение содержания в ней органического вещества.

Исследование проводили в пресноводных акваториях, различающихся по лимнологическим параметрам, трофическому статусу (от мезотрофных до гиперэвтрофных), структуре фитопланктона, спектру и концентрации цианотоксинов, с июня по сентябрь 2008 - 2015 гг. в водоемах г. Санкт-Петербурга со значительной рекреационной нагрузкой (оз. Сестрорецкий Разлив и оз. Нижнее Суздальское).

Для определения индивидуальных соединений цианотоксинов использовали комплексный метод жидкостной хроматографии - тандемной масс-

спектрометрии на хромато-масс-спектрометре LTQ Orbitrap (Finnigan) с линейной и орбитальной ловушками в режиме электроспрей - ионизации (ESI+) и времяпролетном хромато-масс-спектрометре LCMS-IT-TOF фирмы «Shimadzu». Характеристичные масс-спектры анализов зарегистрированы в условиях масс-спектрометрии высокого разрешения и тандемной масс-спектрометрии. Параллельно с исследованием природной воды изучали и биомассу цианобактерий. Для экстракции внутриклеточных токсинов из образцов биомассы необходимо разрушение клеточной стенки бактерий, что достигается либо лиофилизацией, либо многократным замораживанием-размораживанием образца с последующей экстракцией.

В составе альгофлоры исследованных озер было обнаружено 155 таксонов рангом ниже рода, относящихся к 9 отделам. По числу видов преобладали зеленые, синезеленые (цианобактерии), эвгленовые и диатомовые водоросли. Все исследованные акватории в период максимального прогрева воды характеризовались высокими значениями биомассы фитопланктона, особенно цианобактерий. Среднемноголетнее значение биомассы фитопланктона в оз. Сестрорецкий Разлив было 28,2 мг/л, а в оз. Нижнее Суздальское – 63,0 мг/л. Кроме того, на всех участках доминировали потенциально токсичные виды цианобактерий. Состав доминирующих видов в этих озерах несколько различался. Так, если в оз. Сестрорецкий Разлив видами-доминантами были потенциально токсичные виды *Aphanizomenon flos-aquae* и виды рода *Microcystis*, то в оз. Нижнее Суздальское чаще всего в состав доминант входили *Planktothrix agardhii* и *Aphanizomenon flos-aquae*. В сезонной динамике фитопланктона в оз. Сестрорецкий Разлив в разные годы было характерно наличие одного летнего пика, связанного с вегетацией цианобактерий. В

целом за период исследования состав видов – доминант в оз. Нижнее Суздальское был более разнообразен, чем в оз. Сестрорецкий Разлив. В оз. Нижнее Суздальское также наблюдался один пик вегетации фитопланктона, за счет активного развития цианобактерий, динофитовых, криптофитовых и зеленых водорослей.

Наибольшее число различных видов метаболитов цианобактерий (18) было обнаружено в оз. Сестрорецкий Разлив. В течение сезона 2014 г. в оз. Нижнее Суздальское регистрировалось постоянное присутствие в воде анатоксина-а. Максимальная концентрация микроцистинов в воде была отмечена в июле 2014 г. в оз. Сестрорецкий Разлив (8,2 мкг/л), а максимальная концентрация анатоксина-а - в начале июля 2014 г. в оз. Нижнее Суздальское (1,7 мкг/л). В 2015 г. концентрация цианотоксинов в воде исследуемых озер была очень низкой.

ГЕНОТИПЫ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИГЕННЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Гаврилова О. В.

Санкт-Петербургский государственный университет,
кафедра микробиологии, Санкт-Петербург, Россия; e-mail:
avanti1958@inbox.ru

Многие одноклеточные и нитчатые цианобактерии образуют микроцистины, или циклические олигопептиды, обладающие гепатотоксической активностью. За их нерибосомный биосинтез отвечает кластер *тсу*, состоящий из 9–11 генов. Токсигенность является штаммовым признаком – кластер *тсу* может быть полностью или частично утрачен в ходе микроэволюции. В то время как его

строение различается у представителей разных таксонов цианобактерий, в нем имеются консервативные гены *тсуА*, *тсуВ*, *тсуD* и *тсуЕ*, которые используются в качестве молекулярных маркеров при мониторинге токсигенных штаммов. Эвтрофикация водоемов, дефицит осадков, повышение температуры воды стимулирует цветение цианобактерий, повышая риск прямого контакта человека и животных с токсигенными штаммами, мониторинг и анализ генов *тсу* на материале России становится все более актуальным.

Методом ПЦР с использованием специфичных праймеров выявлены ключевые гены кластера *тсу* в образцах планктона озер Ладога, Онега, Байкал, а также в малых водоемах Южного Урала, Прибайкалья, Северо-Запада и Центральной части России (причем как в эвтрофных, так и в ультра-олиготрофных зонах). Сравнение реконструированных нуклеотидных последовательностей генов *тсу* с базами данных указывает на их принадлежность роду *Microcystis*, как основного носителя кластера *тсу*. Вместе с тем, анализ лабораторных штаммов, выделенных из тех же самых местообитаний, свидетельствует о наличии этого кластера и у других родов одноклеточных и трихомных цианобактерий. Самым распространенным в исследованных регионах является ген *тсуА*. Последовательности генов *тсу* группируются на дендрограмме в кластеры, частично отражающие географические области сбора проб, что указывает на возможность их горизонтального переноса. Систематические исследования помогут дать ответ на вопрос, получают ли штаммы - носители генов *тсу* какие-либо преимущества в условиях эвтрофикации.

ЦИАНОБАКТЕРИИ И ЧЛЕНИСТОНОГИЕ: ПРОБЛЕМЫ МЕЖВИДОВЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ

Гольдин Е. Б.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского – Академия биоресурсов и природопользования; Симферополь, Республика Крым, Россия; e-mail: evgeny_goldin@mail.ru

Цианобактерии (Ц) и членистоногие (Ч) входят в число важнейших компонентов наземных и водных экосистем. Взаимоотношения между ними носят сложный и разнообразный характер и включают несколько комплексов, не выраженных как структуры с четко обозначенными границами. В природных и искусственных экосистемах наблюдаются различные варианты их сочетаний и/или переходы одной формы взаимоотношений в другую.

1. Трофический (растительноядный). Трофические связи между Ц и Ч присутствуют повсеместно. Ц служат базовым звеном в пищевых цепях водных и почвенных Ч и участвуют в процессах саморегуляции природных экосистем. Разные способы питания, способность к массовому размножению, существование токсичных и нетоксичных штаммов, позволяют Ц (например, *Microcystis aeruginosa*) использовать экологические механизмы и выполнять определенные функции в пищевых цепях.

1.1. Фагостимулирующий. Наблюдается избирательность питания растительноядных организмов некоторыми видами Ц (species-specific feeding). Одни виды Ц активно поглощаются ракообразными, клещами и насекомыми, другие игнорируются. Отмечено

стимулирующее действие некоторых Ц и их метаболитов на рост и развитие ряда насекомых.

1.2. Детеррентный (антифидантный). Подавление трофической функции проявляется в полном или частичном прекращении питания. Личинки и гусеницы младших возрастов растительноядных насекомых в модельных экспериментах практически не питаются, а старших – поглощают корма в 2-3 раза меньше, чем контрольные особи

1.3. «Трансмиссионный». Ц способны к передаче микроцистина и других токсинов по пищевой цепи через водные организмы, включая Ч (крабы), из пресноводных местообитаний с нижних трофических уровней к вершине пищевой пирамиды в морской среде. Таким образом, Ц связывают организмы различного эволюционного уровня, – от первичных продуцентов до вершины трофической пирамиды, – обитателей пресных и морских водоемов и прибрежной зоны, гидросферы и суши, и оказывают влияние на динамику ряда процессов, происходящих в окружающей среде.

2. Защитный («аллелопатический», репеллентный). Продуцирование и выделение в окружающую среду биологически активных метаболитов, безопасных для хозяина, но направленных на прямое или косвенное отпугивание и/или угнетение Ч-фитофагов. В отличие от известных токсинов Ц, поражающих теплокровных животных и гидробионтов во время «цветений» воды, они не вызывают летальный эффект непосредственно, но оказывают многостороннее влияние на физиологические функции целевого объекта. Защитные реакции Ц сходны с проявлениями ингибирующей активности макрофитов по отношению к растительноядным консументам, или наземных растений, продуцирующих аллелохимические

вещества для защиты от Ч-фитофагов. Генетическое и фенотипическое разнообразие на популяционном уровне способствует формированию у Ц своеобразных защитных механизмов против выедания («grazing»). Существуют свидетельства роста биоцидности или токсичности у Ц как реакции на появление в экосистеме растительоядных организмов-Ч («grazers»).

3. Биоцидный. Активное продуцирование биологически активных и/или токсичных веществ, приводящее к прямому или опосредованному (через накопление в других организмах) патологическим или летальным последствиям в отношении Ч.

Эти вещества оказывают многостороннее влияние на жизненные функции растительоядных Ч, вызывая ингибирующие эффекты, но не гибель, и служат важным инструментом в межвидовых взаимоотношениях в водных и наземных экосистемах. Активный комплекс включает физиологические, тератогенные, дерепродукционные, патологические и элиминационные компоненты, действующие параллельно, и отражающиеся не только на личинках, подвергшихся непосредственному воздействию, но и на последующих фазах развития, что проявляется в росте уязвимости и смертности Ч.

ЦИАНОПРОКАРИОТЫ ПРИБРЕЖНЫХ БИОТОПОВ НЕВСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Горин К. К.¹, Никитина В. Н.², Белякова Р. Н.³

¹ГБУ ДО Дворец детского (юношеского) творчества
Выборгского района, Санкт-Петербург, Россия; e-mail:
lordspg@yandex.ru

²Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия; e-mail: botsadspbgu@yandex.ru

³Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН,
Санкт-Петербург, Россия; e-mail: raisa_beljakova@mail.ru

Невская губа – самый восточный район Финского залива; ограниченный с востока островами дельты Невы, а с запада дамбой, располагается в границах города Санкт-Петербурга и испытывает комплексное воздействие его инфраструктуры. На антропогенное давление в первую очередь реагируют фотоавтотрофы, в том числе и цианопрокариоты. Меняются состав и структура их бентосных и планктонных сообществ, учащаются случаи их «цветения», значительно ухудшающие качество воды, и подавляющие жизненную активность других гидробионтов.

Проанализированы планктонные и бентосные пробы в районе заказника Северное побережье Невской губы, южной части губы и устья Большой Невки в период с 2010 по 2014 годы.

За весь период исследования было выявлено 77 видов и внутривидовых таксонов цианопрокариот, представителей 3 порядков. Таксономическим разнообразием отличался порядок *Chroococcales* – 31 вид из 17 родов. Из порядка *Oscillatoriales* обнаружено 25 видов из 12 родов, а из порядка *Nostocales* – 21 вид из 13 родов.

В экологическом отношении установлено преобладание бентосных форм над планктонными (47 и 27 вида соответственно). Доминировали пресноводные и пресноводно-солонатоводные формы (27 и 26 видов соответственно). Большая часть видов цианопрокариот являются индикаторами сапробности. Преобладают представители олиго-β-мезосапробов (10 видов), β-мезосапробов (7 видов и внутривидовых таксонов), и β-

олигосапробов (7 видов). Особенностью бентосных сообществ цианопрокариот можно считать наличие 22 видов потенциальных азотфиксаторов.

Из обнаруженных видов 7 являются потенциальными возбудителями «цветения» воды, а 3 из них могут сопутствовать массовому развитию других цианопрокариот. К числу не указанных ранее как возбудителей «цветения» 3 вида могут сопутствовать массовому развитию других цианопрокариот. К ним относятся *Coelospharium kuetzingianum* Näg., *Merismopedia punctata* Meyen., *Planktolyngbia brevicellularis* Cronb. et Komárek.

В наших материалах обнаружено два вида ранее зарегистрированных, как токсичные в пределах акватории в Невской губы: это *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Komárek. (продуцирующий гепатотоксины) и *Nostoc pruniforme* C. Ag. (продуцирующий микроцистины). Наряду с этим двумя видами являются потенциально токсичными для человека за счёт способности некоторых популяций синтезировать гепатотоксины (*Woronichinia naegelianiana* (Ung.) Elenk.), нейро- и гепатотоксины (*Dolichospermum lemmermannii* (Richter) Wacklin et al). Считается, что *Coelospharium kuetzingianum* оказывает токсическое действие на внутренние органы ряда сельскохозяйственных животных и водоплавающих птиц, а *Microcystis wesenbergii* (Komárek) Komárek потенциально токсичен для молоди рыб и беспозвоночных животных.

В процессе мониторинга, проведённого в период с 2013 по 2014 годы, отмечено, что в обследованных районах таксономический состав различался. Максимальное разнообразие было зафиксировано в заказнике Северное побережье Невской губы и было представлено 31 видом цианопрокариот из трёх порядков, где доминировали

хроококковые (17 видов), а порядки *Nostocales* и *Oscillatoriales* насчитывали 10 и 4 вида соответственно. В устье Большой Невки было выявлено всего 10 видов. Из них к порядку *Oscillatoriales* относилось 6 видов, а к порядкам *Chroococcales* и *Nostocales* - по 2 вида. В обследованной южной части акватории Невской губы было выявлено 19 видов цианопрокариот, среди которых абсолютными доминантами являлись осцилляториевые (17 видов) и 2 вида из порядка *Nostocales*. Снижение уровня таксономического разнообразия наиболее вероятно связано с различной антропогенной нагрузкой на исследованные биотопы.

СИСТЕМАТИКА ЦИАНОПРОКАРИОТ – ТРАДИЦИИ РОССИЙСКОЙ ШКОЛЫ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Давыдов Д. А.

Полярно-альпийский ботанический сад-институт
КНЦ РАН, Апатиты, Россия; e-mail: d_disa@mail.ru

Систематика цианопрокариот исторически создавалась в рамках анатомо-морфологического подхода принятого в ботанической традиции. Наибольшее развитие ботаническая классификация цианопрокариот достигла в трудах L. Geitler (1925, 1932, 1942). Им были предложено выделять три порядка *Chroococcales*, *Chamaesiphonales* и *Hormogonales* (Geitler, 1932), а позднее система трансформировалась в пять порядков: *Chroococcales*, *Dermocarpales*, *Pleurocapsales* и *Hormogonales* (Geitler, 1942).

Основателем российской школы по изучению синезеленых водорослей можно по праву считать А.А.

Еленкина. Его система (1916, 1923, 1936) во много основана на работах L. Geitler. Создание А.А. Еленкиным в соавторстве с М.М. Голлебахом, Е.К. Коссинской и В.И. Полянским определителя «Синезеленые водоросли СССР» (Еленкин, 1936, 1938, 1949) послужило основой для развития всей отечественной альгологии цианопрокариот. По-сути, без изменений система, принятая в этом трехтомнике, была использована и во втором выпуске «Определителя пресноводных водорослей СССР» (Голлербах и др., 1953). Большинство отечественных альгологов пользуются им в повседневной работе при определении и при публикации своих результатов до сих пор.

Морфологическая простота строения цианопрокариот, отсутствие у них ядер, полового процесса и другие признаки, характерные для прокариот, были очевидны и во время создания трудов L. Geitler, А.А. Еленкина и их последователей. После появления прокариотной концепции бактерий (Stanier, van Niel, 1962) стал развиваться микробиологический подход к классификации цианобактерий (Stanier, Cohen-Bazire, 1977).

Основываясь на морфологических критериях Rippka et al. (1979) были выделены пять секций, которые используются в определителе Берджи, I (= Chroococcales), II (= Pleurocapsales), III (= Oscillatoriales), IV (= Nostocales) и V (= Stigonematales) (Castenholz 2001).

Развитие ботанического подхода с привлечением новых признаков для классификации (количество плоскостей деления, строение внутриклеточных мембран и т.д.) легли в основу системы J. Komárek, K. Anagnostidis (Komárek, Anagnostidis, 1986, 1989, 1998, 2005; Anagnostidis, Komárek, 1988, 1990). Которые выделяли 4 порядка:

Chroococcales, Oscillatoriales, Nostocales, Stigonematales. В дальнейшем система была пересмотрена.

На сегодняшний день номенклатура цианопрокариот регламентируется действием сразу двух кодексов: Международного кодекса ботанической номенклатуры (ICBN) и Международного кодекса номенклатуры бактерий (ICNB), что определяет и наличие нескольких систем классификации цианопрокариот. Полифазный подход декларируемый для учета всех признаков и сглаживания противоречий между ботанической и микробиологической концепциями вылился в создание проекта Руководства по номенклатурным и таксономическим трактовкам цианопрокариот (<http://www.cyanodb.cz/files/CyanoGuide.pdf>).

Филогенетические системы, построенные на основе анализа отдельных генов, предполагают создание монофилетичных таксономических групп (Johansen, Casamatta, 2005; Siegesmund et al., 2008).

Последним наиболее значимым изменением в системе цианопрокариот является разграничение класса на 4 подкласса: Gloeobacteriophycidae, Synechococcophycidae, Oscillatoriophycidae, Nostochophycidae (Komárek et al., 2014). Первый и последний подклассы являются монофилетичными. Очевидным вектором развития систематики цианопрокариот на сегодняшний день остается развитие филогенетических систем.

Исследование выполнено при поддержке грантов РФФИ № 14-04-98810, № 15-04-06346, № 15-29-02662.

БИОГЕОГРАФИЯ ЦИАНОПРОКАРИОТ НА ПРИМЕРЕ ФЛОРЫ АРКТИКИ

Давыдов Д. А.¹, Патова Е. Н.²

¹Полярно-альпийский ботанический сад-институт
КНЦ РАН, Апатиты, Россия; e-mail: d_disa@mail.ru

²ФГБУН Институт биологии Коми НЦ Уральского
отделения РАН, Сыктывкар, Республика Коми, Россия; e-
mail: patova@ib.komisc.ru

Географический анализ видов *Cyanoprokaryota* весьма затруднен по причине сложившегося мнения о космополитном распространении группы и большинства ее представителей. В большинстве печатных работ по альгофлорам внимания их распространению не придается, не приводятся типы распространения и ареалогические анализы. Критика такого подхода рассмотрена Э.Г. Кукком (1969).

Затруднения, испытываемые при отнесении вида к тому или иному элементу, имеют ряд причин. 1) Древний возраст происхождения. 2) Многие цианопрокариоты относятся к гидрофитным организмам, их распространение приурочено к водным экосистемам, часто они имеют интразональный характер распространения. Многие наземные виды также могут встречаться в водных экотопах, это сказывается на величине их ареалов, охватывающих обширные пространства по всему Земному шару или на значительной его территории. 3) Цианопрокариоты (особенно наземные и водно-наземные виды) приурочены к микронишам, в которых поясno-географические условия нивелируются, а решающее значение имеют узкоэкологические факторы среды. 4) Морфологическая схожесть популяций, наличие криптических видов и видов

эндемиков можно выявить только молекулярно-генетическими исследованиями. Наблюдается типичная для прокариот ситуация, когда генотипическое разнообразие превышает фенотипическое, и, следовательно, многие морфотипы могут иметь ареалы, охватывающие обширные пространства по всему Земному шару или на значительной его территории. Выполненное нами обобщение флоры цианопрокариот российской Арктики и Субарктики демонстрирует большое разнообразие видов (583). Для собственно арктической флористической области характерно 435 видов. Наибольшее число видов обнаружено в Мурманской области (354 вида), на арх. Шпицберген (281) и в Большеземельской тундре (191). Флоры Таймыра (125), Полярного Урала (119), Чукотки (84), арх. Земля Франца-Иосифа (68), Малоземельской тундры (67), Новой Земли (54), Ямала (56) можно охарактеризовать как частично изученные. Небольшое разнообразие характерно для Чукотки (48) и Северной Земли (41). Различные арктические флоры характеризуются значительной специфичностью. Наибольшее сходство видового состава (53% сходства по коэффициенту Сьеренсена) демонстрируют флоры Большеземельской тундры и Полярного Урала (78 общих видов). Основная причина высокой специфичности представляется нам в гетерогенной изученности территорий. Типичными широко распространенными в Арктике видами следует считать *Nostoc commune* Vauch. ex Born. et Flah., *Microcoleus autumnalis* (Trev. ex Gom.) Strun. et al., *Oscillatoria tenuis* C. Ag. ex Gom., *Tolypotrrix tenuis* Kütz., *Chroococcus turgidus* (Kütz.) Näg.

Исследование выполнено при поддержке грантов РФФИ № 14-04-98810, № 15-04-06346, № 15-29-02662.

ЦИАНОПРОКАРИОТЫ ОЗЕРА ИМАНДРА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Денисов Д. Б., Кашулин Н. А.

Институт проблем промышленной экологии Севера
КНЦ РАН, Апатиты, Мурманская область, Россия; e-mail:
denisow@inep.ksc.ru

Проанализирован видовой состав и структура сообществ цианопрокариот в составе планктона оз. Имандра в аспектах сезонной и пространственной динамики. Характерным проявлением изменения видового разнообразия планктонных водорослей с начала XXI века стали эпизодические явления массового развития синезеленых водорослей в отдельных участках акватории наряду с увеличением доли цианопрокариот в составе планктона.

Типичными представителями синезеленых водорослей, способными вызывать «цветение» в составе планктона оз. Имандра в настоящее время являются: *Dolichospermum lemmermannii* (Richter) P. Wacklin et al., *Anabaena flosaquae* G. S. West, *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz., *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Komárek. Всего в составе планктона был выявлен 21 таксон цианей рангом ниже рода. Наиболее богаты видами роды *Anabaena* (5) и *Dolichospermum* (4). По сравнению с результатами предыдущих исследований конца XX-го века, наряду с цианопрокариотами, возросла доля зеленых и харовых водорослей в составе планктона. Их сезонные максимумы приурочены к середине и концу гидробиологического лета; они способны вегетировать вплоть до замерзания озера. Очевидно, это является следствием глобальных

климатических изменений наряду с развитием процессов антропогенной эвтрофикации озера Имандра.

Отмечено, что явления массового развития цианей (преимущественно, *Dolichospermum lemmermannii*) сопровождаются штилевыми условиями, им предшествуют сравнительно высокие температуры воздуха, массовое развитие водорослей приурочено к заливам и губам, куда формирующуюся у поверхности пленку водорослей сгоняет небольшим ветром. Очевидно, цианопрокариотическое «цветение» вод реализуется при благоприятном сочетании метеорологических и гидролого-гидрохимических условий, наряду с достаточным количеством доступных биогенных элементов. Достоверной связи численности синезеленых водорослей с содержанием биогенных элементов не выявлено, в то время как участки акватории, где наблюдалось цветение синезеленых водорослей, приурочены к зонам распространения стоков апатитового производства. В настоящее время явления массового развития цианей характеризуются рядом специфических черт. Во-первых, они ограничены сравнительно изолированными участками акватории озера, и не распространяются на открытые водные пространства. Во-вторых, формирование плотных скоплений водорослей отчасти обусловлено легким ветром, направленным в сторону залива (губы), с последующим штилем. В-третьих, явление локального цветения не всегда сопровождается высокой долей синезеленых водорослей в составе фитопланктона, развивающегося в толще воды. Вместе с тем в периоды массового развития цианопрокариот наблюдалась гибель молоди рыб.

Искусственные колебания уровня воды, не синхронизированные с естественной динамикой, привели к существенным нарушениям в функционировании

литоральных экосистем, а в некоторых случаях к полному исчезновению литоральных сообществ организмов. Выпадение такого важного структурно-функционального элемента из экосистемы озера приводит к изменениям циклов биогенных элементов, сокращению нерестовых площадей, исчезновению многих литоральных организмов, в том числе и кормовых объектов для ценных представителей ихтиофауны – нарушаются условия для естественного воспроизводства рыб, в первую очередь сиговых и лососевых.

РОЛЬ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В АНТРОПОГЕННО- ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ПОЧВАХ

**Домрачева Л. И.¹, Трефилова Л. В.¹, Горностаева Е. А.²,
Фокина А. И.²**

¹Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Киров, Кировская область, Россия; e-mail: nm-flora@rambler.ru

²Вятский государственный университет, Киров, Кировская область, Россия; e-mail: annushka-fokina@mail.ru

Среди почвенной микробиоты цианобактериям принадлежит существенная роль в протекании важнейших биологических процессов как в не нарушенных деятельностью человека, так и в антропогенно преобразованных почвах. В зависимости от силы и длительности антропогенных воздействий меняется видовой состав, плотность цианобактериальных популяций, структура фототрофных комплексов. Вегетация цианобактерий протекает и в глубинных слоях почвы («диффузный» тип сообществ), и на её поверхности,

образуя при массовых разрастаниях пленки, корочки или «цветение» почвы. Постоянными спутниками цианобактерий выступают эукариотные водоросли. Доказано, что структура и количественные характеристики альго-цианобактериальных ценозов почвы определяются тремя взаимодействующими механизмами: саморегуляцией, обусловленной изменением характера связей между фототрофными партнерами; трофической активностью почвенных беспозвоночных и контролем через химико-физические факторы.

Общебиологическая роль цианобактерий, как и водорослей, сводится к образованию первичной продукции, которая выступает в роли пищевого и энергетического субстрата для гетеротрофных бактерий, грибов и мелких животных. Кроме того, дополнительное обогащение почвы «биологическим» азотом происходит в результате азотфиксирующей активности гетероцистных форм цианобактерий. Об их потенциальном вкладе в жизнь почвы свидетельствуют показатели численности цианобактериальных популяций: до нескольких миллионов клеток в 1 г почвы и до 40-90 млн. клеток/см² при «цветении» почвы. В результате антропогенного воздействия происходит трансформация альго-цианобактериальных комплексов. Для почв техногенных экосистем и урбанозёмов характерно абсолютное доминирование цианобактерий (цианофитизация) на всех этапах сезонной сукцессии при действии таких загрязнителей, как ионы тяжелых металлов, нефть и нефтепродукты, фосфорорганические соединения, поверхностно-активные вещества и др. При этом уровень доминирования увеличивается по мере возрастания концентрации поллютанта. Поэтому усиление доли цианобактериального компонента в структуре

фототрофных популяций в почве служит одним из диагностических признаков при её химическом загрязнении.

Аборигенные формы цианобактерий и цианобактериальная инокуляция семян способствуют оздоровлению почвы при её биологическом и химическом загрязнении. Так, при введении культур цианобактерий в почву, ставшую фитотоксичной из-за длительного выращивания монокультур, нами неоднократно отмечался эффект повышения супрессивности почвы и очистки её от фитопатогенов. Способность цианобактерий к связыванию, деструкции и детоксикации различных поллютантов служит теоретической основой использования их в биоремедиационных целях и, в частности, в качестве биосорбентов. Особенно перспективным является направление создания растительно-цианобактериальных комплексов, повышающих вынос из почвы тяжелых металлов. В частности, доказано, что предпосевная обработка семян горчицы белой культурой почвенной цианобактерии *Fischerella muscicola* существенно повышает уровень выноса меди из медьзагрязненной почвы. Поэтому растительно-цианобактериальный комплекс «*Sinapis alba* + *Fischerella muscicola*» перспективен для создания системы мероприятий, направленных на биоремедиацию почв, загрязненных тяжелыми металлами.

РЕАКЦИЯ ЦИАНОПРОКАРИОТ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ АВИАЦИОННЫМ КЕРОСИНОМ В ПОЛЕВОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Дорохова М. Ф., Кречетов П. П.

Московский государственный университет им. М.В.
Ломоносова, Москва, Россия; e-mail: dorochova@mail.ru

Целью исследований было изучение реакции цианопрокариот в градиенте концентраций авиационного керосина в почвах разных ландшафтов в рамках комплексного изучения устойчивости экосистем к загрязнению.

Район исследования расположен в подзоне хвойно-широколиственных лесов, в долине крупной реки. Рельеф надпойменных террас холмисто-увалистый, с вытянутыми плоскими мезопонижениями. На основных поверхностях террас преобладают лесные фитоценозы на бурых лесных слабоподзоленных и примитивных перегнойных почвах, в мезопонижениях – влажно-луговые и болотные фитоценозы на лугово-болотных перегнойных почвах.

Изучение влияния авиационного керосина марки Т1 на цианопрокариоты было проведено на четырех ключевых участках - в фитоценозах, характерных для ландшафтов района исследования: березово-сосновом лесу, дубраве, влажнотравном лугу и в осоково-сфагновом болоте. В пределах каждого ключевого участка в четырехкратной повторности было заложено 10 вариантов эксперимента, различающихся задаваемым содержанием авиационного керосина в слое 0-10 см почвы (1, 5, 25, 50 и 500 г/кг), а при равной нагрузке - наличием-отсутствием травяного покрова. Видовой состав цианобактерий изучался в жидкой питательной среде Болда. Обилие клеток цианобактерий в препарате определялось при микроскопировании пробы по б-балльной шкале.

Роль цианопрокариот в сообществах микрофототрофов в изученных незагрязненных почвах различна: в бурых лесных слабоподзоленных и примитивных перегнойных почвах под лесными фитоценозами они составляют менее 21% от общего числа видов микрофототрофов; в лугово-болотных перегнойных

почвах осоково-сфагнового болота – 25%, в аналогичных почвах влажного луга – 34%. Во всех почвах цианопрокариоты представлены видами, относящимися к C-, CF-, P- и PF- жизненным формам. Фиксирующие азот виды наиболее разнообразны в лугово-болотных перегнойных почвах болота, где они составляют 56% от общего числа видов цианопрокариот. Азотфиксирующие виды во всех почвах входят в состав доминантов.

Цианопрокариоты, относящиеся к перечисленным выше жизненным формам, относительно устойчивы к действию углеводов, это проявляется в первую очередь в увеличении их доли от общего числа видов в сообществах микрофототрофов загрязненных почв - до 31% в бурых лесных оподзоленных почвах, 42% - в примитивных перегнойных и лугово-болотных перегнойных почвах влажного луга, 60% - в почвах болота. Во всех загрязненных почвах (за исключением примитивных перегнойных) максимальная доля цианопрокариот отмечается в вариантах эксперимента с наибольшим содержанием авиационного керосина. При этом разнообразие цианопрокариот зависит от содержания углеводородного горючего в почве. При низких и средних его концентрациях происходит появление видов, отсутствующих в незагрязненных почвах: в примитивных перегнойных и лугово-болотных перегнойных почвах влажного луга преимущественно представителей C- и CF- жизненных форм, в двух других почвах – преимущественно видов, относящихся к P- и PF-жизненным формам. Диапазоны концентраций авиационного керосина, оказывающие стимулирующее действие на цианопрокариоты, для разных почв различны. Высокие содержания авиационного керосина вызывают уменьшение разнообразия цианопрокариот за счет исчезновения неустойчивых к углеводам видов. Во

всех почвах, кроме бурых лесных оподзоленных, в их число входят азотфиксирующие цианопрокариоты. Вместе с тем в целом уменьшается и количественное развитие цианопрокариот – они чрезвычайно редко входят в состав доминирующих видов сообществ микрофототрофов, уступая некоторым зеленым водорослям. Наиболее устойчивыми к загрязнению изученных почв авиационным керосином являются *Leptolyngbya nostocorum* (Born. ex Gom.) Anagn. et Komárek и *Leptolyngbya edaphica* (Hollerb. ex Elenk.) Anagn. et Komárek.

ОСОБЕННОСТИ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК ПОЧВ ЗОНЫ СУХИХ СТЕПЕЙ И ПОЛУПУСТЫНЬ

Дронова С. А.¹, Темралеева А. Д.^{1,2}

¹Пушинский государственный естественно-научный институт, Пушкино, Московская область, Россия; e-mail: sonja.dronova@gmail.com

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Московская область, Россия; e-mail: temraleeva.anna@gmail.com

Цианобактерии (Cyanobacteria / Cyanophytes / Cyanoprokaryotes) являются разнообразной группой оксигенных фотосинтетических прокариот, обладающих уникальной морфологией и физиологией, широкой экологической валентностью и пластичностью, что определяет их повсеместное распространение в различных биотопах, в том числе и экстремальных (пустыни, термальные источники, гиперсоленые и щелочные водоемы и почвы, вулканические субстраты и др.). Несмотря на то,

что экологические условия почв зоны сухих степей и полупустынь (низкая влажность, высокая температура, инсоляция, щелочность и засоленность) благоприятны для развития цианобактерий, имеются лишь единичные почвенно-альгологические исследования данных зон.

Целью нашей работы было изучение цианобактериальных группировок почв зоны сухих степей и полупустынь с использованием морфологического и молекулярно-генетического анализа. Объектами исследования стали 3 образца луговых почв и по 9 – каштановых почв и солонцов (Волгоградская область, зона сухих степей), а также 3 образца бурых полупустынных почв (Астраханская область и Республика Калмыкия, зона полупустынь), стерильно отобранных из верхнего почвенного горизонта А1. Физико-химические свойства почв ($pH_{\text{водн}}$, $C_{\text{орг}}$) определяли по стандартным методикам. Для выделения максимального разнообразия цианобактерий культивировали на 4-х средах (BG-11 с азотом и без, Bold3N, Cyanophycean) в климатостате (+ 23 – + 25 °С, 2000 Лк, 12 ч). Морфологическое описание штаммов цианобактерий проводили с помощью световой микроскопии, для молекулярно-генетической диагностики использовали ПЦР-анализ гена 16S рРНК в качестве молекулярного маркера.

Цианобактериальные группировки почв зоны сухих степей и полупустынь отличались по видовому богатству и таксономической структуре. Исследованные цианобактерии принадлежали 4 порядкам: Nostocales, Oscillatoriales, Synechococcales и Chroococcales. Максимальным видовым богатством обладали каштановые почвы и солонцы (по 19 видов), а в луговых и бурых полупустынных почвах обнаружено 16 и 17 видов соответственно. В луговых почвах, щелочных, влажных и

богатых гумусом, преобладали представители порядка Nostocales. К индикаторным видам можно отнести *Phormidium coutinhoi* (Oscillatoriales). Каштановые почвы характеризовались менее щелочной средой и меньшим содержанием гумуса. В них, напротив, господствовали безгетероцитные цианобактерии порядка Synechococcales, часто имеющие слизистые чехлы. К обнаруженным только в данном типе почвы принадлежат *Leptolyngbya tenuis*, *Rhabdoderma* sp., *Nostoc flagelliforme* (Nostocales) и *Ph. taylora*. В солонцах с водонепроницаемым солонцовым горизонтом, меньшим содержанием гумуса и разреженным растительным покровом, отмечено два преобладающих порядка цианобактерий: Nostocales и Synechococcales. Виды *Microcoleus autumnalis* и *Ph. papyraceum* (Oscillatoriales) изолированы преимущественно из солонцов. В изученном почвенном ряду наиболее жесткими экологическими условиями обладали бурые полупустынные почвы (более щелочные, с низким содержанием гумуса, практически полное отсутствие растительности), в которых доминировали безгетероцитные цианобактерии порядка Oscillatoriales. Цианобактерии *M. vaginatus*, *Ph. subfuscum*, *Oscillatoria euboica*, *O. subbrevis* и *N. desertorum* (Nostocales) встречались исключительно в почвах зоны полупустынь. Таксономическая идентификация некоторых цианобактерий (виды родов *Nodosilinea*, *Nostoc*, *Tolypothrix*) помимо морфологического описания включала молекулярно-генетический анализ. Среди интересных находок можно отметить *Nodosilinea epilithica* (Synechococcales), впервые обнаруженную на территории России. Все изолированные штаммы цианобактерий были депонированы в альгологическую коллекцию Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (ACSSI). Исследования почвенных

цианобактерий зон сухих степей и полупустынь продолжают.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-34-60020 мол_а_дк.

ЦЕНТРАЛЬНОАЗИАТСКИЕ ПОПУЛЯЦИИ МОРФОВИДА *NOSTOC COMMUNE*

Егорова И. Н., Морозова Т. И.

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Иркутская область, Россия; e-mail: egorova@sifibr.irk.ru

Нами изучается *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault из наземных местообитаний территорий, испытывающих иссушающее влияние центральноазиатских пустынь: экспедиционными маршрутами охвачены некоторые районы Монголии и граничащих с ней – России (Егорова, 2015; Егорова, Шамбуева, 2015). Несмотря на известный факт существования здесь популяций этого вида (Еленкин, 1931; 1938 и др.), до сих пор их исследования носят в значительной степени фрагментарный характер.

В августе 2015 г. нами были проведены экспедиционные работы в юго-восточном Алтае, в том числе в долине р. Богуты (Кош-Агачский район). На этой территории преобладает степная растительность. Обследованы два озера с одноименным названием Богуты, местное население обозначает их как Малое и Большое Богуты, соответственно их размерам. Первые исследования здесь были проведены в 1929 г. геоботаником В.И. Барановым, который и коллекционировал отсюда экземпляры ностока (Еленкин, 1938). Нами обнаружены

макроскопические слоевища ностока, развивающиеся на поверхности сырой почвы между кочками или в мелких лужах на берегу озер. В самих озерах макроскопические колонии ностока не зарегистрированы. Внешний облик слоевищ в целом характерен для ностока из влажных местообитаний (Егорова и др., 2014). Изучение морфологии при помощи световой микроскопии выявило, что морфологические признаки соответствуют таковым в описании вида *Nostoc commune*, более всего его f. *ulvaceum*. Колониальная слизь плотная, иногда очень ясно заметен мраморный рисунок на срезах слоевища; трихомы извилистые, ровные – состоят из клеточек, соединенных между собой в «правильной» последовательности. Однако отдельные участки одной и той же колонии могут содержать трихомы разного облика. В некоторых частях слоевища клеточки трихомов часто шаровидные и последовательность их соединения между собой отлична от характерной для вида, так что создается впечатление сильной извилистости нитей. На наш взгляд, это происходит вследствие несколько иного соединения клеточек посредством плазмодесм: в «типичных» трихомах они последовательно соединяют полюса клеток в одних и тех же участках, из-за чего трихомы выглядят правильной нитью. В «нетипичных» – последовательно соединяющиеся клетки смещены относительно друг друга, т.е. плазмодесмы соединяют их не строго в одном и том же месте, а происходит их смещение относительно полюса, вследствие этого нити кажутся сильно извилистыми – «курчавыми». Также иногда наблюдается и в одном трихоме разница в последовательности соединений клеточек. Исходя из описаний, мы предполагаем, что обнаруженные нами экземпляры соответствуют тем, которые описаны как *Nostoc commune* f. *crispatum* Elenkin. Однако, поскольку

рисунков этой формы мы не обнаружили, а типовой материал нами не изучался, нет полной уверенности в идентичности полученных нами и А. А. Еленкиным данных.

Представляет интерес изучение этих популяций ностока, в том числе его биологии и экологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 15-04-06346-а, а также в рамках Гос. задания 52.1.10 от 2015 и 2016 гг.

Авторы выражают глубокую признательность сотруднику Сайлюгемского национального парка, сотруднику СИФИБР Т.А. Пензиной и монгольским коллегам за содействие в организации экспедиций.

CALU-КОЛЛЕКЦИЯ ЖИВЫХ КУЛЬТУР МИКРООРГАНИЗМОВ

Емельянова М. С., Снарская Д. Д., Чистякова Л. В.

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия; e-mail: margar9@mail.ru

Коллекция основана в 1959 году проф. Б.В. Громовым, который заведовал кафедрой микробиологии СПбГУ в 1969-2000 гг. Основу коллекции составляют фотосинтезирующие организмы. В коллекции хранится 356 штаммов цианобактерий из 41 рода и 465 штаммов микроскопических водорослей из 57 родов. Помимо этого в коллекции содержатся 3 представителя рода *Euglena*, а также 3 эндотрофных паразита, поддерживаемых на чувствительной культуре *Scenedesmus obliquus*. Места, из которых были выделены музейные штаммы, разнообразны: олиготрофные озера Карелии, озеро Байкал, прибрежные

воды Балтийского моря, поля и лесные почвы Северо-Западного региона, тундра и болота Западной Сибири, гидротермальные источники Камчатки и Кавказа, рисовые поля в районе Азовского моря и т.д. Часть штаммов была передана из зарубежных коллекций США, Германии, Великобритании, Чехословакии. Все культуры поддерживаются в жизнеспособном состоянии на жидких или агаризованных синтетических питательных средах, при температуре 14°C (за исключением термофилов) и постоянном освещении лампами дневного света.

Коллекция сегодня предоставляет штаммы на безвозмездной или коммерческой основе для использования при выполнении фундаментальных или прикладных исследовательских программ в учебных и научных учреждениях с государственной аккредитацией.

ЦАНОПРОКАРИОТА БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА – ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Еремкина Т. В.

Уральский филиал ФГБНУ «Госрыбцентр»,
Екатеринбург, Свердловская область, Россия; email:
tver60@mail.ru

Белоярское водохранилище – самое крупное на территории Свердловской области – образовано в 1959 г. путем зарегулирования русла р. Пышмы (Обь-Иртышский бассейн). Площадь зеркала – 38 км², объем при НПУ – 265,0 млн. м³, средняя глубина 7,0 м, максимальная – 20.0 м. Основное назначение водоема – источник технического

водоснабжения и водоем-охладитель Белоярской атомной электростанции (БАЭС).

Первые сведения о фитопланктоне водохранилища получены в 1980-е годы М.И. Ярушиной и В.П. Гусевой, чему посвящен ряд публикаций. Альгологические исследования проводились ООО НПО «Альгобиотехнология» в рамках работ по биологической реабилитации водоема в 2010-2013 гг. Нами фитопланктон водохранилища изучался при рыбохозяйственных и мониторинговых исследованиях с 2001 по 2015 гг. В фитопланктоне Белоярского водохранилища *Cyanoprokaryota* занимают третью позицию (14%) по видовому богатству. Целью настоящей работы является анализ таксономической структуры цианопрокариот водохранилища и его эколого-географическая оценка на современном этапе.

В 1980-е годы таксономический список синезеленых водорослей Белоярского водохранилища включал 22 вида и внутривидовых таксона. С учетом литературных и оригинальных данных на основе современных номенклатурных преобразований в настоящее время в Белоярском водохранилище известно 75 видов, разновидностей и форм *Cyanoprokaryota*, относящихся к 3 подклассам, 6 порядкам, 15 семействам и 28 родам. Наибольшим таксономическим разнообразием отличаются семейства *Aphanizomenonaceae*, *Merismopediaceae*, *Microcystaceae*, *Oscillatoriaceae*, содержащие, соответственно, 10, 9, 9 и 9 таксонов (49,3% от общего видового состава). Видовым богатством выделяются роды *Microcystis*, *Anabaena*, *Dolichospermum*, *Aphanocapsa* и *Chroococcus*. Доля маловидовых (< 5 видов) родов достигает 78,6%. Крупнейшим является подкласс *Synechococcophycidae*, объединяющий 45 видов и

внутривидовых таксонов (60 % от всего разнообразия цианопрокариот), относящихся к 4 порядкам, 11 семействам и 19 родам. Наибольшим видовым разнообразием характеризуются порядки *Synechococcales* и *Nostocales* (36 и 24% от общего разнообразия, соответственно).

В верховьях водохранилища отмечено 46 видов и внутривидовых таксона, из них 12 не встречаются в других зонах водоема. Менее разнообразны *Cyanoprokaryota* в центральной (34) части с естественным термическим режимом и приплотинной (33) зоне. В зоне сброса теплых вод БАЭС видовое богатство значительно ниже – 16 таксонов, из которых 11 видов встречаются по всей акватории, при этом *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Born. et Flah., *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Komárek, *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. и *Microcystis wesenbergii* (Komárek) Komárek достигают массового развития, вызывая «цветение» воды в водохранилище.

Эколого-географический анализ показал, что среди таксонов с известным географическим распределением 69,1% – космополиты, голарктические виды – 16,4%, бореальные – 10,9%, альпийские и аркто-альпийские виды представлены единично. По типу местообитания преобладают планктонные формы (60,3%), значительна доля планктонно-бентосных водорослей – 24,0%. По отношению к степени минерализации воды основную часть (68,4%) составляют индифференты, доля галофилов достигает 23,7%. Большая часть индикаторов сапробности (54,5%) – β -, α - β - и β - α -мезосапробы, ксено- и олигосапробы составляют 15,9%, виды-индикаторы загрязненных вод – 26,6%.

Полученные данные свидетельствуют о значительном увеличении разнообразия *Cyanoprokaryota* в Белоярском водохранилище по сравнению с 1980-ми гг. и повышении трофического статуса водоема.

УЧАСТИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СУКЦЕССИИ МИКРОФОТОТРОФОВ НА ТЕХНОГЕННЫХ СУБСТРАТАХ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Зимонина Н. М.

Вятский государственный университет, г. Киров,
Кировская область, Россия; e-mail: zimonina.nata@mail.ru,
kaf_eco@vshu.kirov.ru

Интенсивное развитие добывающих отраслей топливно-энергетического комплекса приводит к увеличению площадей занятых техногенными аренами на Крайнем Севере. В роли первопоселенцев техногенных субстратов часто выступают почвенные микроорганизмы и водоросли. Состав и структура сообществ микрофототрофов могут служить индикационными признаками свойств субстрата и отражать характер процессов самовосстановления растительности.

Цель настоящего исследования – оценить качественные и количественные показатели цианобактерий в составе сообществ микрофототрофов в районах интенсивной нефте- и угледобычи Республики Коми. Отбор и обработка проб велись общепринятыми в микробиологических и альгологических исследованиях методами. Пробы отобраны на плоских вершинах техногенных отвалов в характерных для нарушенных местообитаний участках: грунт без высших растений, заросший мхами и под разнотравно-злаковой растительностью. Физико-химические свойства техногенных грунтов определены в аналитической лаборатории Института биологии Коми Научного центра.

Сообщества микрофототрофов промплощадок буровых скважин Возейского нефтяного месторождения (граница подзона лесотундры и крайнесеверной тайги, Усинский промышленный район). На территории нефтепромысла для обустройства скважин используются четвертичные покровные пески и супеси, добытые из местных карьеров. Всего на промплощадках выявлено 154 вида водорослей: цианобактерии – 63 (41%), зелёные – 67 (43%), жёлтозелёные – 21 (14%), диатомовые 3 (2%).

На техногенных песках, лишённых растительности, наибольшим видовым разнообразием отличается порядок *Oscillatoriales*. Чаше всего встречаются виды родов *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Plectonema*, которые предпочитают открытые местообитания и устойчивы к недостатку влаги. В условиях недостатка органических веществ, азота и при наличии углеводородного загрязнения особое значение имеют азотфиксирующие цианобактерии. На насыпных субстратах, лишённых растительности отмечен самый разнообразный набор видов азотфиксаторов: *Nostoc linckia* (Roth.) Born. et Flah.; *N. punctiforme* (Kütz.) Hariot; *Anabaena cylindrica* Lemm.; *A. variabilis* Kütz.; *Cylindrospermum michailovskoense* Elenk.; *Nodularia harveyana* (Thwait.) Thur.; *Tolypothrix tenuis* Kütz.; *Calothrix elenkinii* Kossinsk. Виды родов *Nostoc* и *Anabaena* входят в состав доминантов сообществ микрофототрофов. Пределы колебаний численности клеток на участке составили 60-270 тыс. клеток в 1 г. субстрата, её основу составляют цианобактерии. Биомасса микрофототрофов колебалась в пределах 0.6-1.0 г/м². В ее создании цианобактерии и зеленые водоросли принимают приблизительно равное участие (43 и 56% соответственно). Приуроченность к замоховелым экотопам обнаруживают *Tolypothrix tenuis* и *Pseudanabaena galeata* Böcher.

Численность клеток микрофототрофов на участках под мхами невысокая 17 - 29 тыс. клеток/г почвы. В сообществах микрофототрофов под травянистой растительностью большого разнообразия достигают зеленые водоросли. Под травянистой растительностью насчитывалось в среднем 147-246 тыс. клеток в 1 г грунта с биомассой 0.1-0.5 г/м². По числу клеток преобладают многоклеточные нитчатые цианобактерии родов *Plectoneta* и *Phormidium*, составляя 80-90 % суммарной численности и 9% биомассы

Сообщества микрофототрофов породных отвалов угольной шахты «Юнь – Яга» (подзона южных тундр, Воркутинский промышленный район) На рекультивированных суглинком породных отвалах наибольшая интенсивность развития микрофототрофов отмечена на незадернованных грунтах. На данном участке количество клеток достигало 1 млн. 200 тыс. в 1г грунта, величина биомассы 10 кг/га. Ведущее значение в структуре численности и биомассы принадлежало нитчатым цианобактериям. Заметное участие в структуре биомассы принимают гетероцистные цианобактерии: *Anabaena variabilis*, *Nostoc punctiforme*, их биомасса составила 1,21 кг/га, что на порядок выше чем в других исследованных экотопах. На долю одноклеточных зелёных и диатомовых водорослей приходится не более 2% от общей численности клеток на участке. Сообщества микрофототрофов на *аргиллитовом щебне* в основном представлены одноклеточными зелеными водорослями. Продукция микрофототрофов на породных отвалах возрастала в ряду задернованный суглинок (9 кг/га), задернованный щебень (14 кг/га), незадернованный щебень (26 кг/га), незадернованный суглинок (33 кг/га).

Таким образом, начальные этапы восстановительной сукцессии почвенно-растительного покрова на техногенно нарушенных территориях Крайнего Севера представлены разнообразными микрофототрофными сообществами в составе и структуре которых активное участие принимают цианобактерии. Присутствие азотфиксирующих цианобактерий определяет возможность использования суглинка на этапе технической рекультивации породных отвалов и разливов нефти.

МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОДУЦЕНТОВ МИКРОЦИСТИНА В БЕНТОСЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

**Ивачева М. А., Тихонова И. В., Ханаев И. В.,
Краснопеев А. Ю., Потапов С. А., Белых О. И.**

Лимнологический институт Сибирского отделения
РАН, Иркутск, Иркутская область, Россия; e-mail:
iren@lin.irk.ru

Цианобактерии, являющиеся одной из самых древних на Земле групп организмов, способны населять различные экологические ниши от жарких пустынь до льдов Арктики и Антарктики. В озере Байкал они являются важными первичными продуцентами и сразу вовлекаются в трофические цепи. В последнее время участились случаи массового размножения потенциально токсичных цианобактерий, как в планктоне, так и в бентосе озера. С 2011 года наблюдается сильное изменение структуры сообщества литорали озера Байкал и массовая гибель уникальных байкальских губок. С помощью иммуноферментного анализа нами было показано наличие

микроцистина в цианобактериальном мате, развивающемся на байкальской губке. Микроцистины - циклические гептапептиды с необычной химической структурой и некоторым количеством небелковых аминокислот. Основные продуценты микроцистинов в планктоне – *Microcystis*, *Anabaena*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon* – являются причиной токсичного «цветения» воды в высокопродуктивных водоемах всего мира. Бентосные продуценты микроцистина менее изучены, в мировой базе статей Pubmed доступны лишь исследования водоемов Швейцарии, водохранилищ и озер Калифорнии (Izaguirre, Jungblut, Neilan, 2007), реки Нил (Mohamed, El-Sharouny, Ali, 2007) и реки Вайтаки (Wood et al., 2010), аридных каналов Испании (Hurtado et al., 2007), рек Марокко (Oudra, Dadi-El, Vasconcelos, 2009). Наиболее быстрые и точные инструменты для исследования угрозы загрязнения вод токсинами цианобактерий – микроскопические и молекулярно-биологические методы, позволяющие оценить физиолого-биохимический потенциал цианобактерий. Целью данной работы стало выявление в пробах бентоса – биопленках, населяющих большую байкальскую губку и участки дна озера – фрагмента гена микроцистинсинтетазы с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР). Пробы были отобраны 31 сентября 2016 года в заливе Лиственничном оз. Байкал. С помощью водолазов были подняты 6 типов образцов биопленок, как со дна озера, так и с большой губки. Выделение ДНК проводили с помощью ферментативного лизиса и последующей экстракции фенолом и хлороформом. Выявление участка гена *mscE*, кодирующего домен аминотрансферазы, выполняли с помощью праймеров *herF* и *herR*, как описано ранее (Белых и др., 2013). В качестве положительного контроля использовали ДНК токсичной

цианобактерии *M. aeruginosa* CALU 972. Секвенирование фрагментов проводили в ЦКП «Геномика» (ИХБФМ СО РАН, Новосибирск). Анализ полученных последовательностей проводили с помощью программы BLAST базы данных GenBank. Во всех шести пробах наблюдали развитие цианобактерий порядков Chroococcales, Oscillatoriales и Nostocales. Из шести проб, в четырех пробах обнаружился фрагмент гена синтеза микроцистина длиной 470 пар нуклеотидов. Проанализировано 40 клонов с вставками гена микроцистинсинтетазы. Все последовательности были гомологичны участку гена аминотрансферазы мультифермента микроцистинсинтетазы цианобактерий родов *Microcystis* и *Anabaena*. Однако, степень гомологии была весьма невысокой – 74-75%. Такие значения могут показывать, что байкальский бентосный продуцент микроцистина принадлежит порядку Chroococcales, но не семейству Microcystaceae. Таким образом, исследования выявили, что в бентосе озера Байкал, также как и в планктоне, присутствуют цианобактерии, которые могут являться угрозой для человека и животных. Ранее нами были изучены планктонные токсикогенные цианобактерии и показано, что массовое развитие их наблюдается в летнее время года в теплых хорошо прогреваемых заливах (Белых и др., 2015). В нашем исследовании обнаружены токсикогенные цианобактерии, развивающиеся на дне озера Байкал, где температура никогда не превышает 10°C. Продукция токсинов психрофильными цианобактериями показана исследователями Арктики и Антарктики (Jungblut et al., 2006; Wood et al., 2008; Kleinteich et al., 2013, 2014). При исследовании токсичных матов реки Шпицбергена показан весьма сходный с байкальским бентосом видовой состав (Chrappusta et al., 2015). Поскольку получены данные

о наличии токсичных генотипов цианобактерий в бентосе озера Байкал, необходимо продолжать исследования с выявлением психрофильной бентосной цианобактерии – продуцента микроцистина в озере Байкал.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 16-54-44035 Монг_а.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЦИАНОПРОКАРИОТ В ВОДОЕМАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Идрисова Г. И.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Республика Татарстан, Россия; e-mail: guzel_imamovna@mail.ru

Цель нашей работы – анализ видового состава и таксономической структуры цианопрокариот исследуемых водоемов.

Материалом для изучения послужили сборы фитопланктона малых озер г. Казань (2001-2003 гг.) и искусственных плотинных прудов, расположенных на различных малых реках и их притоках 15 административных районов РТ (2004-2005 гг.), а также реки Казанка (2007-2009 гг.). Отбор проб фитопланктона и фитоперифитона Собакинских озер производился в 2006 и 2008-2009 гг., р. Ашит - в 2012-2014 гг. Пробы фитобентоса и фитоперифитона озер Раифского участка ВКГПЗ были собраны в 2003-2005 гг., 2008 г. Сбор и обработка материала осуществлялись по общепринятой методике (Водоросли..., 1989).

В результате проведенных исследований был выявлен 81 таксон (видов, разновидностей, а также

видов, определенных до рода) цианопрокариот, относящихся к 36 родам, 13 семействам, 3 порядкам. В данный список не вошли *Tetrarcus ilsteri* Skuja, единичные экземпляры которого были встречены в оз. Моховое (Лаишевский р-н) и р. Анзирка (Елабужский район), *Dactylococopsis acicularis*, *D. irregularis* и *D. raphidioides*, виды широко распространенные в прудах. Небольшое число видов цианопрокариот характерно для малых рек Казанка (7 видов; 7,8 % от общего числа видов, обнаруженных в данном водоеме) и Ашит (2; 2,1 %). Наибольшее число видов зафиксировано в карстовых озерах Раифы (41; 21,4 %) и Собакино (26; 16,0 %). Малые озера Ново-Савиновского района г. Казань, Восточное, Ротановое, Большое и Малое Чуйково, а также водоемы, расположенные по ул. Меридианная и Адоратского (последние два в настоящее время исчезнувшие в результате строительства жилого дома и рынка), насчитывают 18 видов (17,8 %). Все вышеперечисленные водоемы города образовались на месте бывших торфоразработок Кизического болота (Шигапов, 2014). Оз. Нижний Кабан с 7 (15,2 %) видами цианопрокариот является старичным озером, осложненным карстовыми процессами. Для 33 прудов было выявлено в общей сумме 20 видов (16,3 %).

В Раифских озерах, р. Казанка и р. Ашит по числу видов преобладает пор. Nostocales, составляя от 42,8% до 50 % всего видового разнообразия. В малых озерах г. Казань и прудах на первом месте пор. Chroococcales с 50-57,1 %. В Собакинских озерах пор. Nostocales и пор. Chroococcales представлены в равных долях (38,5 %). Пор. Oscillatoriales в большинстве случаев составляет одну треть всего видового разнообразия (от 28,6 до 33,3 %). Несколько меньше их в Собакинских озерах (23 %).

В прудах осцилляториевые представлены совсем незначительно (15 %) и всего тремя видами, *Phormidium limosum*, *Oscillatoria princeps* и *O. tenuis*.

Во всех исследуемых водоемах, за исключением малых озер г. Казань, ведущую роль в спектре семейств занимает сем. *Nostocaceae* (28,6 - 50 %). В малых озерах г. Казань на первый план по числу видов выходят семейства *Pseudanabaenaceae* с 16,5 % (водоемы Ново-Савиновского района) и *Microcystaceae* с 28,5 % (оз. Нижний Кабан). Независимо от типа исследуемого водоема, семейство *Merismopediaceae* неизменно следует за *Nostocaceae*.

Только Раифские озера и, частично Собакинские, отличаются высоким видовым разнообразием в родовом спектре для *Anabaena* (7 и 4, соответственно), *Dolichospermum* (6 и 0) и *Merismopedia* (4 и 3). В прудах роды *Dolichospermum*, *Merismopedia*, и *Microcystis* включают по три вида. В остальных водоемах видовое разнообразие в родовом спектре низкое, с 1-2 видами.

Таким образом, во всех исследуемых водоемах семейства *Nostocaceae* (26), *Merismopediaceae* (11) и *Microcystaceae* (9) определяют 56,8 % всего разнообразия цианопрокариот. Ведущими родами являются *Dolichospermum* (9), *Anabaena* (8), *Merismopedia* (5), *Phormidium* (5), *Oscillatoria* (5), *Microcystis* (5). Участие этих родов в общем видовом разнообразии равно 45,8%.

СЯАНОРНУТА / СЯАНОРКАРЮТА В ПЕРИФИТОНЕ РЕК ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ: РОЛЬ В ЭКОСИСТЕМАХ, ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ.

Комулайн С. Ф.

Институт биологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск.
Республика Карелия, Россия; e-mail: komsf@mail.ru

В перифитоне исследованных рек определено 123 вида цианопрокариот, относящихся к 46 родам и 17 семействам. Таксономический состав количественных проб менее разнообразен и включает только 99 видов.

Ведущими родами цианопрокариот по числу видов в альгофлоре исследованных рек являются роды: *Chamaesiphon*, *Tolypothrix*, *Calothrix*, *Rivularia*, *Dolichospermum* и *Phormidium*. Они содержат 45 видов, что составляет 37% от всех определенных видов. 34 вида доминируют хотя бы на одной из 342 станций в 66 исследованных реках. Однако только шесть имеют встречаемость более 10%. Это: *Microcystis aeruginosa*, *Stigonema mamillosum*, *Nostoc coeruleum*, *Tolypothrix distorta*, *T. saviczii* и *Dichothrix gypsophila*.

В каждой из исследованных рек выявленные таксоны цианопрокариот в зависимости от морфологии и экологии могут быть объединены в три группы. Первую составляют планктонные виды родов *Microcystis*, *Oscillatoriales*, *Planktothrix*, *Anabaena* и *Aphanizomenon* более характерные для лентических систем, где они доминируют в позднелетнем планктоне. Во вторую группу входят водоросли, которые постоянны не только в водных, но и в наземных местообитаниях: *Stigonema*, *Plectonema*, *Nostoc* и др. В исследованных реках они являются

ценозообразующими видами и формируют плотные группировки на камнях в «амфибиотической» или «брызговой» зоне. И наконец, типичные реофилы главным образом из родов *Tolypothrix*, *Dichothrix* и *Calothrix*, формирующие дерновинки разнообразного облика, и чаще других доминирующие по биомассе в перифитоне.

Эколого-географический анализ фитоперифитона показал, что среди Cyanoprokaryota в перифитоне наиболее постоянны типичные прикрепленные формы. Низкая минерализация и нейтральные значения pH объясняет высокое разнообразие индифферентных по отношению к солености видов и активной реакции среды видов. Перифитон исследованных рек носит ярко выраженные черты холододлюбивой флоры, а достаточно большая вытянутость территории с юга на север определяет разное соотношение между бореальными и широкораспространенными видами в альгофлоре отдельных рек. Одна из черт, характеризующих в географическом плане северный облик альгофлоры - значительная роль одновидовых родов и семейств, которые составляют среди цианопрокариот соответственно 46 и 24% от общего числа родов и семейств. При оценке «географических» особенностей альгофлоры используется также отношение Cyanoprokaryota/Chlorophyta. Для обсуждаемой альгофлоры оно составляет 1,02:1,00, что близко к результатам, полученным для донных альгоценозов рек бореальной и субальпийской зоны и, по-видимому, отражают специфику альгофлоры перифитона северных рек. В водотоках Северной Карелии и Кольского полуострова отмечено также увеличение числа ностоковых водорослей в сравнении водорослями порядка *Oscillatoriales*.

Сезонный цикл в исследованных реках характеризуется «классической» таксономической сукцессией, одной из особенностей которой является летнее доминирование цианопрокариот, когда заметную роль играют водоросли родов *Stigonema*, *Tolypothrix*, *Calothrix* и *Dichothrix*. Отличительной особенностью летнего фитоперифитона является также доминирование в обрастающих аллохтонных, планктонных видов - возбудителей «цветение». Оно наблюдается на участках, расположенных ниже проточных эвтрофных озер. В некоторых случаях здесь на долю видов родов *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Planktothrix* и *Gloeothechia* приходится до 80 от суммарной биомассы перифитона.

Проблемы, возникающие при изучении структуры и динамики цианопрокариот в перифитоне рек и при использовании полученных данных для оценки состояния водотоков, связаны с методическими трудностями, а также недостаточной эколого-географической изученностью водорослей. Из эколого-географического анализа практически выпадают обширные семейства *Scytonemataceae*; *Rivulariaceae*; *Stigonemataceae*. Кроме того, многочисленные работы, посвященные экологическим особенностям цианопрокариот, выполненные на культуральном материале и не всегда могут быть экстраполированы на природные популяции. Поэтому исследование экологии цианопрокариот является одной из важнейших задач.

ЦИАНОПРОКАРИОТЫ ЛИТОБИОНТНЫХ СООБЩЕСТВ В КАРЬЕРЕ РУСКЕАЛА

**Кузнецова О. А.¹, Никитина В. Н.¹, Сазанова К. В.^{1,2},
Власов Д. Ю.^{1,2}**

¹Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия; e-mail: oksid93@bk.ru

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия;

На открытых каменных поверхностях фототрофные и гетеротрофные бактерии, простейшие, грибы, лишайники образуют литобионтные сообщества (био пленки). Их развитие приводит к выветриванию минералов и горных пород. В состав био пленок входят внеклеточные полимерные вещества, которые изменяют физико-химические свойства поверхности каменистого субстрата. Цианопрокариоты являются одним из основных компонентов литобионтных био пленок. Они способны колонизировать открытые поверхности горных пород в условиях различной освещенности.

Цианобактерии считаются пионерами заселения минерального субстрата. Осуществляя фотосинтез и накапливая биомассу, они обогащают субстрат органическим веществом, а за счет азотфиксации создают благоприятные условия для развития растений. Некоторые формы цианобактерий способны жить в пещерах при ничтожном освещении, в вокруг их нитей может откладываться кальцит. Цианобактерии участвуют в почвообразовательном процессе и составляют обязательный компонент сообщества почвенных микроорганизмов.

Для исследования был выбран карьер «Рускеала» в Северном Приладожье (Республика Карелия, недалеко от города Сортавала), где добывался мрамор для строительства известных архитектурных сооружений Санкт-Петербурга. В настоящее время карьер представляет собой памятник горного дела, который носит название «Мраморные ломки Рускеала XVII – начала XX вв.». Данная территория подходит для изучения обрастаний природного мрамора на участках, различающихся по своим характеристикам (пещеры, штольни, открытые пространства). Здесь можно проследить различные стадии биологической колонизации карбонатной породы (от зачаточных биопленок до формирования первичной и настоящей почвы с травянистой и древесной растительностью). В нашу задачу входило изучение состава цианопрокариот в различных типах биообрастаний мрамора.

Сбор проб проводился в стерильные конические пробирки с винтовой крышкой, а также стерильные контейнеры объемом до 120 мл. Для идентификации цианопрокариот проводили прямое микроскопирование проб после их отстаивания в дистиллированной воде на протяжении недели. Производили микрофотосъемку отобранного материала.

В результате проведенных исследований на мраморе карьера «Рускеала» выявлено 19 видов цианопрокариот, относящихся к 11 родам и 4 порядкам. Большинство из них по экологической принадлежности входит в состав сообществ аэро- и геофитона. Экологический состав обнаруженных цианопрокариот практически полностью соответствует экологическому статусу биотопов. В качестве доминанта биопленок определен вид *Calothrix parietina* Thur. ex Vorn. et Flah., образующий характерные

слизистые налёты на поверхности камня (трихомы одеты в чехлы и собраны в дерновинки, которые обильно покрываются слизью). Потенциально этот вид является одним из активных агентов биодеструкции каменных поверхностей карьера «Рускеала». Самым разнообразным в видовом отношении и по частоте встречаемости является род *Gloeocapsa*, в составе которого отмечено 6 видов (почти 32% разнообразия выявленных цианопрокариот). В пробах литобионтных биопленок были также представлены следующие рода: *Anabaena*, *Chroococcus*, *Eucapsis*, *Gloeocapsopsis*, *Gloeothece*, *Leptolyngbya*, *Lyngbya*, *Phormidium*, *Synechocystis*.

Полученные данные указывают на значительное разнообразие цианобактерий в литобионтных биопленках на мраморе рускеальского карьера, которое значительно превосходит разнообразие цианопрокариот в городской среде. Изучение их роли в процессах биологической колонизации и выветривании мрамора будет продолжено.

Работа выполнена при поддержке гранта СПбГУ 1.37.151.2014 и гранта РФФИ 16-34-00725, мол_a.

ЦИАНОПРОКАРИОТА НЕКОТОРЫХ ГОРНЫХ ВОДОЕМОВ ЗАПАДНОЙ ГРУЗИИ

Кухалеишвили Л. К.

Институт ботаники государственного университета
Ильи, Тбилиси, Грузия; e-mail: lalikuk@yahoo.com

Цианопрокариоты горной части Западной Грузии ранее не были изучены. Мы в течении длительного периода (20 лет) проводили альгологические исследования водоемов верхнего течения бассейнов некоторых рек

Западной Грузии, в частности: Енгури, Риони, Аджарисцхали, Кодори и Кинтриши. Эти реки относятся к бассейну Черного моря. Бассейны рек – Енгури, Риони, Кодори расположены на южном склоне Главного Кавкасиони, а бассейны рек Кинтриши и Аджарисцхали на южном нагорье Грузии т.е. на Малом Кавкасини.

В результате наших исследований в разнообразных водоемах вышеперечисленных бассейнов удалось обнаружить 248 таксонов цианопрокариот. Самое большое число видов – 69 найдено в бассейне р. Енгури; в бассейне р. Риони – 66, р. Аджарисцхали – 43, и в бассейнах рек Кодори и Кинтриши соответственно 37 и 33 цианопрокариотов. 128 таксонов оказались общими для всех изучаемых регионов.

Обнаруженные на исследуемой территории цианопрокариоты принадлежат к 3 классам, 4 порядкам, 16 семействам и 30 родам. Среди них по числу видов ведущее место занимает класс *Hormogoniophyceae*, к нему относится 82 таксона цианопрокариотов. Они распределены среди 3 порядков и 8 семейств. Из них наиболее разнообразен порядок *Oscillatoriales* (52), где по числу видов доминируют роды *Phormidium* (18) и *Oscillatoria* (17).

Менее разнообразен порядок *Nostocales*. Его 27 представителя распределены среди 7 родов из 5 семейств. Здесь более значительными являются роды - *Nostoc* (7), *Scytonema* (6) *Calothrix* (6). Остальные представлены скуднее. Порядок *Stigonematales* включает в себя лишь 3 вида.

Класс *Chroococcophyceae* в водоемах изучаемой территории представлен меньшим разнообразием видов, всего 32 из 6 семейств одного порядка. По числу видов здесь выделяются роды *Gloeocapsa* (12) и *Microcystis* (6). Другие роды этого класса представлены одним-тремя видами.

Чрезвычайно беден видами класс *Chamaesiphonophyceae* всего 5 видов.

Максимальное число цианопрокариот обнаружено в проточных водах, где они населяли различные субстраты, которые увлажняются водой, или погружены в нее. Встречались как чистые ценозы цианопрокариот, так и вместе водорослями и среди мхов. Менее богатыми оказались озера и лужи. В них найдено соответственно 38 и 32 таксона цианопрокариот. В минеральных источниках и на орошаемых скалах обнаружено 31 и 29 видов. Минимальное число видов зафиксировано в заболоченных местах (19) и на увлажняемой земле (11).

На всей исследуемой территории довольно широко распространены – встречались почти во всех типах водоемов: *Phormidium autumnale* (C. Ag.) Gom., *Gloeocapsa turgida* (Kütz.) Hollerb. *G. montana* (Kütz.) ampl. Hollerb., *G. minuta* (Kütz.) Hollerb. ampl., *Calothrix braunii* Bornet et Flahault, *Merismopedia tenuissima* Lemmerm., *M. glauca* (Ehrenb.) Näg., *Microcystis pulverea* (Wood) Forti emend Elenkln, *M. grevillei* (Hass.) Elenk., *M. muscicola* (Menegh.) Elenk., *Oscillatoria amoena* (Kütz.) Gom., *O. princeps* Vauch., *Schizothrix lenormandiana* Gom., *Nostoc linckia* (Roth) Born. et Flah. sensu Elenk., *N. paludosum* Kütz.. Они в основном развивались хорошо, хотя некоторые из них в отдельных местообитаниях были развиты слабо.

Распространение большинства обнаруженных нами цианопрокариотов очень ограничено. Их встречали редко и в незначительном количестве, но среди них были и такие, которые развивались обильно как например: *Microcoleus vaginatus* (Vauch.) Gom., *Tolypothrix distorta* Kütz. ex Born. et Flah. f. *distorta* et f. *penicillata* (C. Ag.) Kossinsk., *T. tenuis* Kütz., *Synechococcus cedrorum* Sauv., *Chlorogloea microcystoides* Geitl., *Oscillatoria terebriformis* (C. Ag.) Elenk.

emend., *Phormidium bohneri* Schmidle, *P. favosum* (Bory) Gom., *Scytonema ocellatum* Lyngb., *Microchaete tenera* Thur., *Xenococcus rivularis* (Hansg.) Geitl., *X. kernerii* Hansg., *Symploca muscorum* (C. Ag.) Gom.

СЬАНОПРОКАРЬОТА В ПЛАНКТОНЕ КРУПНЫХ ОЗЕР ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ В 2010-2015 ГГ.

Макарёнова Н. Н.

Вологодское отделение ФГБНУ «ГосНИОРХ»,
Вологда, Вологодская область, Россия; e-mail:
mackarenckowa@yandex.ru

К крупным рыбопромысловым озерам Вологодской области, расположенным целиком в ее пределах, относятся озера Белое, Воже и Кубенское. Озеро Воже (418 км²) принадлежит к бассейну реки Онеги, его средняя глубина составляет 1,4 м, при этом для водоема характерны значительные внутригодовые и межгодовые колебания уровня воды. Озеро характеризуется изрезанной береговой линией, что в сочетании с нестабильным уровнем воды и заболоченностью берегов обуславливает интенсивное развитие макрофитов. Кубенское озеро (417 км²) относится к Северо-Двинскому бассейну и является частью одноименного водного пути. Морфологические и гидрологические особенности этого водоема, во многом сходные с озером Воже, а также значительная антропогенная нагрузка обуславливают его интенсивное зарастание. Самым крупным водоемом, находящимся полностью в границах Вологодской области, является озеро Белое (1284 км²). Озеро принадлежит к бассейну Верхней Волги, его средняя глубина – 4,1 м. Характерной чертой

водоема является интенсивное перемешивание воды в связи с мелководностью, открытостью и округлой формой. Литоральная зона с зарослями макрофитов выражена в озере слабо.

В основу работы положены материалы количественной и качественной обработки проб фитопланктона, отобранных на трех озерах – Белое, Воже, Кубенское. Отбор проб осуществлялся в мае, июне и в августе-октябре в течение 2010-2015 гг. Пробы отбирались батометром Паталаса (1 л) в пределах фотического слоя воды, фиксировались раствором Люголя с добавлением формалина и концентрировались отстойным методом. Всего обработано и проанализировано 194 пробы.

В Белом озере на некоторых участках акватории основную биомассу создают синезеленые водоросли – до 15 г/м^3 – преимущественно за счет пучковидных колоний *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs ex Born. et Flah. В озере ежегодно отмечается окрашивание водных масс в травяной цвет, которое отражает массовое развитие этого и других видов синезеленых водорослей, достигающих до 30,03 млн кл./л. Большая часть встреченных видов относятся к истинно-планктонным формам – 73,68%. Виды-индикаторы сапробности составляют 73,08% всего видового списка водорослей в озере. Из 7 групп сапробионтов, представленных в озере Белом, чаще встречаются β -мезосапробионты (44,45%). Географическая приуроченность известна для 65,38% таксонов рангом ниже рода из отдела Cyanoprokaryota, из них космополиты – 82,35%, бореальные виды – 5,88%, голарктические – 11,76%.

В фитопланктоне озера Воже синезеленые водоросли составляют, как правило, около 90% численности (до 213,22 млн кл./л). Наиболее широко представлены в озере виды

Aphanocapsa holsatica (Lemm.) Cronb. et Komárek, *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Kom.-Legn. et Cronb., *Planktolyngbya contorta* (Lemm.) Anagn. et Komárek. Виды, обитающие в озере, преимущественно являются истинно-планктонными (64,71%) и планктонно-бентосными (32,35%). По отношению к органическому загрязнению таксоны отдела Цианопрокариота рангом ниже рода распределяются между 7 группами сапробионтов. Среди них основную часть составляют β -олигосапробионты и β -мезосапробионты. По географической приуроченности синезеленые водоросли озера Воже относятся к космополитам – 81,25%, бореальным видам – 6,25%, голарктическим – 12,50%.

Синезеленые водоросли озера Кубенского создают численность до 263,75 млн кл./л и биомассу до 1,24 г/м³. Основной вклад вносят виды *Aphanizomenon flos-aquae*, *Aphanocapsa incerta* (Lemm.) Cronb. et Komárek. Как и в двух других озерах, преобладают истинно-планктонные виды Цианопрокариота. Виды-индикаторы сапробионности преимущественно относятся к β -мезосапробионтам (35,29%). Большая часть таксонов синезеленых водорослей рангом ниже рода представлена космополитами (82,35%), доля бореальных видов составляет 17,65%.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОПРОКАРИОТА НЕКОТОРЫХ СОЛЕННЫХ ОЗЕР РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ

Макеева Е. Г.

Государственный природный заповедник
«Хакасский», Абакан, Республика Хакасия, Россия; e-mail:
meg77@yandex.ru

В период 2006-2012 гг. были проведены альгофлористические исследования некоторых минерализованных озер Республики Хакасия: Беле (минерализация в период исследования – 9-14 г/л), Шира (15,9-17,8 г/л), Терпекколь (12,4-21,3 г/л), Улугколь (18,3-21,7), Тус (82-115,1 г/л).

Обнаружено 104 вида цианопрокариот, принадлежащих к 5 порядкам, 19 семействам, 42 родам. Среди ведущих семейств: *Oscillatoriaceae* (27 видов), *Chroococcaceae* и *Merismopediaceae* (по 11), *Leptolyngbyaceae* (9) и *Spirulinaceae* (8). К ведущим родам относились *Phormidium* (14 видов), *Oscillatoria* (9), *Spirulina* (8), *Leptolyngbya* и *Chroococcus* (по 6), *Merismopedia* и *Lyngbya* (по 4).

Наибольшее распространение получили виды: *Synechocystis salina* Wisl, *Oscillatoria tenuis* C. Ag. ex Gom., *Trichormus variabilis* (Kütz. ex Born. et Flah.) Komárek et Anagn. (встречены во всех 5 озерах); *Synechocystis aquatilis* Sauv., *Aphanothece salina* Elenk. et A.N. Danilov, *Chroococcus minutus* (Kütz.) Näg., *Gloeocapsopsis crepidinum* (Thur.) Geitl. ex Komárek, *Lyngbya aestuarii* Liebm. ex Gom., *Phormidium ambiguum* Gom. ex Gom., *Spirulina major* Kütz. ex Gom., *S. tenuissima* Kütz. (встречены в 4 озерах).

В оз. Беле обнаружен 61 вид синезеленых водорослей. В фитопланктоне доминировали *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek et Hindák, *Aphanocapsa salina* Woron., *Phormidium chalybeum* (Mert. ex Gom.) Anagn. et Komárek, *Trichormus variabilis*, содоминировал *Gomphosphaeria aponina* Kütz. В составе фитобентоса субдоминантом диатомей являлся *Phormidium tergestinum* (Rabenh. ex Gom.) Anagn. et Komárek. Виды *Gloeocapsopsis crepidinum*, *Calothrix parietina* (Näg.) Thur. ex Born. et Flah., *Rivularia bullata* Berk. ex Born. et Flah., наряду с представителями других отделов, преобладали в обрастаниях.

В оз. Ши́ра зарегистрировано 47 видов цианопрокариот. Доминантами фитопланктона являлись *Planktolyngbya contorta* (Lemm.) Anagn. et Komárek и *Microcystis pulverea* (H.C. Wood) Forti. В бентосе преобладали *Jaaginema profundum* (Schröt. et Kirchn.) Anagn. et Komárek, *Oscillatoria tenuis*, *Phormidium chalybeum*, *Leptolyngbya tenuis* (Gom.) Anagn. et Komárek. В обрастаниях массовое развитие получили *Oscillatoria tenuis*, *Calothrix parietina*, *C. elenkinii* Kossinsk., *Gloeocapsopsis crepidinum*, *Microcystis pulverea*.

В Терпекколе выявлено 27 видов цианей. Фитопланктон оз. Терпекколь отличался доминированием *Trichormus variabilis* f. *tenuis* Popova, *Synechocystis salina*, *Nodularia harveyana* (Thw.) Thur. ex Bornet et Flah., *N. spumigena* Mert. ex Born. et Flah., *Arthrospira jenneri* Stizenb. ex Gom., *Spirulina tenuissima*. В грунтах отмечалась ведущая роль синезеленых, с доминантом *Nodularia spumigena*. В обрастаниях превалировали: *Nostoc caeruleum* Lyngb. ex Born. et Flah., *Gloeocapsopsis crepidinum*, *Nodularia spumigena*, *Chroococcus minutus*, *Spirulina major*, *S. tenuissima*, *Arthrospira jenneri*.

В оз. Улугколь зарегистрировано 24 вида синезеленых водорослей. В фитопланктоне доминировали *Aphanothece salina*, *Aphanocapsa salina* Woron., *Spirulina tenuissima*. Доминирующий комплекс фитобентоса побережья состоял из *Arthrospira jenneri*, *Spirulina major*, *S. tenuissima* и *Oscillatoria tenuis*, *Synechocystis salina*, *Aphanothece salina* и *Aphanocapsa salina*. В составе фитоперифитона преобладали *Spirulina tenuissima*, *Aphanocapsa salina*, *Synechocystis salina*, *Oscillatoria tenuis*.

В гипергалинном оз. Тус выявлено 27 видов цианопрокариот. В планктоне доминировали *Synechococcus salinarum* Komárek и *Aphanothece salina*, в бентосе и

перифитоне – *Coleofasciculus chthonoplastes* (Thur. ex Gom.)
M. Siegesm. et al. и *Lyngbya aestuarii*.

ЦИАНОБАКТЕРИИ ЭПИЛИТОНА ЛИТОРАЛИ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Мирошниченко Е. С.

ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный
технический университет», Мурманск, Мурманская
область, Россия; e-mail: inerlim@gmail.com.

Кольский залив Баренцева моря – это незамерзающий рыбохозяйственный водоем эстуарного типа, функционирующий в условиях полярного климата. В последние десятилетия антропогенная нагрузка является важным фактором, меняющим экосистему Кольского залива и приводящим к изменению естественного ландшафта его побережья, гидрологического режима, а также биоценозов, включая микроорганизмы. В полярных местообитаниях, подобных Кольскому заливу, температура среды низкая, экстремальный световой режим, на литорали субстраты замерзают и оттаивают, меняется соленость воды и доступность биогенов. В таких экосистемах доминирующей группой фототрофных микроорганизмов становятся цианобактерии. В настоящее время цианобактерии каменисто-валунной литорали Кольского залива изучены недостаточно, и, в связи с вышесказанным, целью работы явился анализ структуры их сообществ.

Отбор проб эпилимниона совершали на трех станциях, расположенных на западном берегу южного (ст. 1 и 2) и среднего (ст. 3) колен Кольского залива. С сентября 2010 по апрель 2012 года и с января по май 2014 года проводили

сбор материала скальпелем с поверхностей камней, валунов и скал со всех горизонтов литорали и исследование видового состава эпилинтонных цианобактерий в соответствии со специализированными определителями (Голлербах, 1953; Косинская, 1943; Komárek, 1995, 2005). Определение количественных характеристик их сообщества проводили с октября 2012 по октябрь 2013 года. Пробы эпилинтонна для количественного учета цианобактерий отбирали с помощью оригинальной методики, которая сводилась к отбору материала скальпелем и ватной палочкой с одного участка субстрата площадью 10 см². Определение количества клеток цианобактерий проводили методом люминесцентной микроскопии. Биомассу цианобактерий определяли по объемам клеток, рассчитанным методом геометрического подобия.

В результате исследований на литорали трех станций Кольского залива выявлен 51 вид эпилинтонных цианобактерий, принадлежащий 3 порядкам, 12 семействам и 31 роду. Количество видов цианобактерий, обнаруженных на каждой из станций, различалось незначительно, уменьшаясь в направлении от наиболее опресненной и мелководной станции 1 до мористой станции 3: на станции 1 – 38 видов; на станции 2 – 34 вида; на станции 3 – 30 видов. Доминирующими видами в эпилинтоне литорали всех станций были *Leibleinia nordgaardii* (Wille) Anagn. et Komárek и *Leibleinia epiphytica* (Hieron.) Comp. Субдоминантными видами на станциях южного колена были *Calothrix scopulorum* (Web. et Mohr) C. Ag. (ст. 1), *Gloeocapsopsis crepidinum* (Thur.) Geitl. ex Komárek (ст. 2), *Chroococcus microscopicus* Kom.-Legn. et Cron. (ст. 2), *Nostoc minutissimum* Kutz. ex Born. et Flah. (ст. 1 и 2), *Chroococcus cohaerens* (Brebisson) Näg. (ст. 1). На станции

среднего колена (ст. 3) субдоминантами были *Gloeocapsopsis crepidinum* (Thur.) Geitl. ex Komárek и *Cyanocystis olivacea* (Reinsch) Komárek et Anagn.

Высокие среднегодовые значения (2012–2013 гг.) численности и биомассы цианобактерий эпилимнона также были приурочены к станциям южного колена, где в течение года биоценозы не испытывают недостатка в биогенных элементах. На станции 3 установлена низкая численность цианобактерий эпилимнона, при этом биомасса сообщества достаточно высокая вследствие преобладания представителей с крупными клетками. В сезонной динамике в мае-июне 2013 года отмечена перестройка размерной структуры сообщества эпилимнонных цианобактерий, в результате которой доминирующими стали формы с крупными клетками. Обратная перестройка структуры произошла в июле-августе.

КОММЕРЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ

Намсараев З. Б.

НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия; e-mail: zorigto@gmail.com

В докладе рассматриваются основные области коммерческого применения фотосинтезирующих микроорганизмов, включая производство продуктов питания, кормов, косметики, биологически активных добавок, медикаментов, сырья для химической промышленности, биотоплива, очистки сточных вод.

К ЭКОЛОГИИ ЦИАНОПРОКАРИОТ (ЦИАНОБАКТЕРИЙ) НЕКОТОРЫХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Николаева Е. В., Никитина В. Н., Пономарева З. А.

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия; e-mail: botsadspbgu@yandex.ru

Урбанизированные экосистемы испытывают большую антропогенную нагрузку, и формирование альгоценозов, происходит под влиянием целевой научно-практической деятельности человека. В качестве объектов исследований были выбраны цианопрокариоты пяти ботанических садов из разных природных зон России и Украины. Основное внимание уделено изучению цианоценозов оранжерейных биотопов как термостабильных экосистем. Как альтернативный вариант нами рассмотрены цианоценозы различных биотопов санаторно-курортной зоны Черноморского побережья Кавказа, где антропогенная нагрузка постоянно возрастает вследствие активного развития его в хозяйственном отношении. Во всех обследованных биотопах развивалась флора цианопрокариот, насчитывающая 165 видов и внутривидовых таксонов. В оранжереях пяти ботанических садов обнаружено 92 вида и внутривидовых таксона. По отношению к субстрату доминируют бентосные водоросли (эпилиты, эпипелиты, эпифиты), а также группа водорослей перифитона, геофитона и аэрофитона. Наиболее слабо представлены цианопрокариоты планктона, что связано с отсутствием достаточно глубоких водоемов в оранжереях. Основными особенностями флоры цианопрокариот оранжерейных комплексов являются доминирование видов аэрофитона, наличие видов со смешанной экологией, что

связано с особенностями технологического режима оранжерей. В оранжерейных цианоценозах развиваются умеренно термотолерантные виды, характерные для природных термальных биотопов. Выявлена группа видов-индикаторов сапробности, в которую входят преимущественно олигосапробионты, ксеноолигосапробионты, ксеносапробионты. Доминирование олигосапробионтов свидетельствует об отсутствии органического загрязнения оранжерейных биотопов. Экологический состав в целом соответствует характеру биотопов такой специфической экосистемы, как оранжереи. Обследование биотопов открытого грунта Субтропического ботанического сада Кубани, имеющих искусственное происхождение, позволило выявить флору цианопрокариот из 47 видов и внутривидовых таксонов. Гидрофитный комплекс составлен бентосными видами, преимущественно эпилитами и эпипелитами. Планктонные сообщества практически отсутствуют, что связано с небольшой глубиной и малыми размерами водоемов. По отношению к органическому загрязнению преобладает группа олигосапробионтов, что объясняется особенностями гидрологического режима (постоянная смена воды в бассейнах), на основании чего можно позиционировать эту экосистему как чистую, незагрязненную органикой.

Цианоценозы санаторно-курортной зоны Черноморского побережья Кавказа сформированы 116 видами и внутривидовыми таксонами. Гидрофитные комплексы представлены планктонными и бентосными формами. В бентосе доминируют эпилиты, эпипелиты. Самой многочисленной оказалась группа цианопрокариот, развивающихся в перифитонных сообществах. Существенным элементом флоры цианопрокариот данного региона является широкое представительство умеренно

термофильных форм. Значительную часть флоры составляют виды-индикаторы органического загрязнения. Преобладают альфамезосапробионты, что позволяет характеризовать большинство биотопов как среднезагрязненные органикой (дренажные канавы, бытовые сточные воды). При сравнении экологических параметров цианопрокариот обследованных урбанизированных биотопов наблюдаются как общие черты, так и некоторые различия. По экологическому разнообразию цианопрокариот доминирует санаторно-курортный район, характеризующийся наиболее широким спектром типов биотопов. Виды со смешанной экологией развиваются преимущественно в оранжерейных биотопах. Относительная термостабильность изученных экосистем (отсутствие отрицательных температур) определяет наличие термофильного элемента во всех изученных объектах с явным доминированием их в оранжерейных цианоценозах. По сапробионтным показателям наиболее загрязнёнными биотопами характеризуется санаторно-курортная зона в силу наибольшего техногенного давления.

ЦИАНОПРОКАРИОТЫ В КОЛЛЕКЦИИ ЖИВЫХ КУЛЬТУР ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ КОМИ НЦ УРО РАН (СΥΚΟΑ)

Новаковская И. В., Патова Е. Н.

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар,
Республика Коми, Россия; e-mail:
novakovskaya@ib.komisc.ru; patova@ib.komisc.ru

Коллекция живых культур цианопрокариот и водорослей (СΥΚΟΑ) из наземных и водных местообитаний

арктических регионов России создана в 2010 г. под эгидой гербария SYKO Института биологии (ИБ) Коми НЦ УрО РАН. Основная задача коллекции – пополнение фонда штаммами цианопрокариот и эукариотных водорослей, выделенных из арктических регионов России с целью дальнейшего их использования при проведении флористических, систематических, эволюционных, молекулярно-генетических исследований. Всего в коллекционном фонде представлено 240 альгологически чистых штаммов. Приблизительно 140 штаммов (из них 113 аутентичные штаммы) получены от д.б.н. И.Ю. Костикова из коллекции культур (АСКУ) Киевского национального университета им. Тараса Шевченко (<http://biology.univ.kiev.ua/kafedra-botaniki-botanichna-kolektsiya/kafedra-botaniki-kolektsiya-shtamiv-vodorostej.html>). Около 100 штаммов изолировано сотрудниками Института биологии из почвенно-альгологических проб, собранных на Полярном и Приполярном Урале (крайний северо-восток Европейской части России) и из почв южной части архипелага Шпицберген.

Основу коллекционного фонда составляют зеленые водоросли. Цианопрокариоты представлены 25 таксонами, из двух классов, двух порядков, четырех семейств и семи родов. Выделенные штаммы хранятся в стеклянных пробирках на 20 мл с притертыми пробками на агаризованной среде Вg 11 (рН 7.06). Культуры поддерживаются в холодильной установке при температуре +10-14° С оснащенной дополнительной лампой дневного освещения – ЛБ-40 (ФАР 15 мкмоль м-2с-1) с соблюдением соотношения периодов свет/темнота – 12/12 часов. Пересевы культур проводятся один раз в 6-12 месяцев. Основная часть культур, содержащихся в коллекции,

относится к роду *Nostoc* (*Nostoc commune* Vauch. ex Born. et Flah. (8 штаммов), *Nostoc muscorum* Kütz. ex Born. et Flah. (1), *Nostoc pruniforme* C. Ag. ex Born. et Flah. (3), *Nostoc punctiforme* (Kütz.) Hariot (1)). Род *Phormidium* представлен пятью штаммами (*Phormidium aerugineo-caeruleum* (Gom.) Anagn. et Komárek, *Phormidium ambiguum* Gom., *Phormidium autumnale* (C. Ag.) Gom., *Phormidium corium* (C. Ag.) Gom.). А также культивируются *Leptolyngbya voronichiniana* Anagn. et Komárek и *Leptolyngbya foveolarum* (Rabenh. et Gom.) Anagn. et Komárek (3 штамма), *Pseudanabaena frigida* (Fritsch) Anagn., *Pseudophormidium hollerbachianum* (Elenk.) Anagn. и *Tolypothrix tenuis* Kütz. Большинство выше перечисленных штаммов являются доминантами в альгогруппировках почв арктических регионов. В коллекции поддерживается штамм *Porphyrosiphon lomniczensis* (Kol) Anagn. et Komárek, впервые отмеченный для России и Арктики.

На сайте Института биологии Коми НЦ УрО РАН создан электронный каталог коллекции (<http://ib.komisc.ru/sykoa>). Коллекция SYKOA зарегистрирована во Всемирном каталоге коллекций культур микроорганизмов GCM (Global Catalogue of Microorganisms) под номером 1125 (<http://gcm.wfcc.info/>).

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ «Исследование роли цианопрокариот криптогамных корок и моховых ассоциаций в циклах углерода и азота наземных экосистем Российской Арктики в условиях меняющегося климата» № 15-04-06346, ГР 115012130014 и РФФИ-Коми «Оценка состояния и динамики популяций редких видов растений, грибов и животных, занесенных в Красные книги Республики Коми и Российской Федерации» № 16-44-110167.

НИТРОГЕНАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ЦИАНОПРОКАРИОТНЫХ ПОЧВЕННЫХ КОРОЧЕК В ТУНДРОВЫХ И ГОРНО-ТУНДРОВЫХ РАЙОНАХ (ЕВРОПЕЙСКИЙ СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

Патова Е. Н., Сивков М. Д.

ФГБУН Институт биологии Коми НЦ Уральского
отделения РАН, Сыктывкар; e-mail: patova@ib.komisc.ru

В высокоширотных регионах значительную роль в сложении растительного покрова играют криптогамные корки, которые состоят из цианопрокариот, водорослей, грибов, лишайников и мхов. Цианопрокариоты благодаря уникальной способности к автотрофии по углероду и азоту, являются важным функциональным компонентом таких сообществ. Проведение оценки вклада цианопрокариотных корок в балансы углерода и азота необходимо для моделирования глобальных процессов происходящих в высокоширотных и горных регионах при изменении климата Земли. Цель работы получение новых данных об азотфиксирующей активности цианопрокариот в криптогамных корках различных типов равнинных и горных тундр европейской части Российской Арктики.

Для реализации поставленной цели проведены полевые измерения суточной динамики нитрогеназной активности методом ацетиленовой редукции. Расчет сезонных показателей накопления азота корочками выполнен с учетом температурной зависимости азотфиксации на основании сезонных измерений температуры верхних горизонтах почвы. Исследования проведены в пятнистых мохово-кустарничковых тундрах в равнинных условиях (Малоземельская тундра, территория Ненецкого заказника, 68°25' N, 53°13' E) и в горных

условиях (Приполярный Урал, Национальный парк «Югид ва», 65°11' N, 60°18' E). Измерения нитрогеназной активности выполнены для двух вариантов криптогамных корочек, сформированных преимущественно цианопрокариотами: с участков со слабым увлажнением с доминированием видов рода *Stigonema* (*S. ocellatum*, *S. minutum* и *S. ocellatum*), корочки из более сырых местообитаний, постоянно подпитываемых талыми водами ледников или водами заболоченных участков с доминированием видов рода *Nostoc* и *Scytonema* (*Nostoc commune* и *Scytonema ocellatum*).

Сравнительные исследования показали, что при температуре 15 ± 1 °C нитрогеназная активность корочек Приполярного Урала с доминированием *Stigonema* составляла 0.53 ± 0.21 мг C_2H_4 м⁻²ч⁻¹ (n=6), с доминированием *Scytonema* и *Nostoc* - 1.76 ± 0.49 (n=6) мг C_2H_4 м⁻²ч⁻¹. При тех же условиях нитрогеназная активность корочек Малоземельской тундры с доминированием *Stigonema* составила 0.66 ± 0.09 (n=6) мг C_2H_4 м⁻²ч⁻¹. **Суточные** значения нитрогеназной активности корочек Приполярного Урала с доминированием *Stigonema* в среднем достигали 12.3 ± 1.8 (n=3) мг C_2H_4 м⁻²сут⁻¹, с доминированием *Scytonema* и *Nostoc* 32.7 ± 6.2 (n=4) мг C_2H_4 м⁻²сут⁻¹, для корочек Малоземельской тундры - 11.8 ± 2.1 (n=6) мг C_2H_4 м⁻²сут⁻¹. На основе сезонной динамики температуры корочек, измеренной с помощью автономных температурных логгеров, для корочек Приполярного Урала получены **сезонные значения** азотфиксации 1.10 г C_2H_4 м⁻² 120 дней (за вегетационный сезон) с доминированием видов рода *Stigonema*, и 4.10 г C_2H_4 м⁻² за 120 дн. с доминированием родов *Scytonema*, *Nostoc*. С учетом конверсионного коэффициента 3:1 в пересчете на азот азотфиксирующая активность двух разных типов корочек

составляет около 0.3 и 1.3 г N м⁻² за 120 дн. соответственно. Для корочек Малоземельской тундры, с доминированием видов рода *Stigonema*, значения составили 1.01-1.28 г C₂H₄ м⁻² 120 дн. или 0.3-0.4 г N м⁻² 120 дн. Учитывая, что площади участков, занимаемых корочками в пятнистых вариантах горных и равнинных тундр составляют от 5 до 50% от общей площади растительного сообщества, а на нарушенных участках (места выпаса оленей и проезда гусеничного транспорта в Малоземельской тундре) до 90%, вклад цианопрокариотных корок в азотный баланс равнинных и горных тундр может быть довольно существенным.

*Исследования выполнены при поддержке гранта
РФФИ № 15-04-06346.*

ЦИАНОПРОКАРИОТЫ В РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМАХ БАССЕЙНА РЕКИ КОСЬЮ (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Патова Е. Н., Стерлягова И. Н.

ФГБУН Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
Сыктывкар, Республика Коми, Россия; e-mail:
patova@ib.komisc.ru, sterlyagova@ib.komisc.ru,

Цель работы – изучение видового разнообразия цианопрокариот в разнотипных горных водоемах в бассейне реки Косью (Приполярный Урал). Альгологические сборы были проведены авторами в июле-августе 2006-2015 гг. в разнотипных водоемах включая реки Кожим, Балбанью, Лимбекою, большие озера Верхнее, Малое и Большое Балбанты, оз. Грубепендиты, оз. в подножье горы Варсанофьевой, а также 10 безымянных озер в долине р. Балбанью, ручьи Санавож, Пальникшор,

многочисленные безымянные ручьи, мелкие заболоченные озера и лужи в болотных комплексах.

Всего было собрано и обработано 450 проб планктона, перифитона и бентоса. Отбор проб проводили общепринятыми в альгологических исследованиях методами (Методика изучения..., 1975; Руководство..., 1983; Водоросли..., 1989). Пробы были зафиксированы 4% раствором формальдегида. При идентификации водорослей использованы отечественные и зарубежные определители.

В обследованных водоемах обнаружено 125 видов цианопрокариот с разновидностями и формами, относящихся к 43 родам, 17 семействам, трем порядкам, трем классам. Восемь таксонов впервые приводится для водоемов Приполярного Урала (Биоразнообразие..., 2010), два вида (*Fortiea striatula* и *Stigonema mamillosum*) отмечены впервые для европейского Северо-Востока (Биоразнообразие..., 2007; Биоразнообразие..., 2010). Выявленное для бассейна р. Косью разнообразие видов немного выше, чем для водорослей Полярного Урала, где было отмечено 114 таксонов (Биоразнообразие..., 2007), что, вероятно, связано с большим объемом исследованных проб и разнообразием охваченных исследованиями водных объектов. Полученные значения близки к результатам исследования видового разнообразия цианопрокариот отмеченных в водоемах Южного Урала 129 и 134 видов (Снитыко, Сергеева, 2003; Ярушина и др., 2004).

Основу таксономической структуры исследуемой альгофлоры цианопрокариот формируют пять семейств: *Nostocaceae* (19 видов с внутривидовыми таксонами), *Phormidiaceae* (18), *Pseudanabaenaceae* (12), *Synechococcaceae* (11), *Merismopediaceae* и *Rivulariaceae* (по 9). К ведущим родам относятся: *Phormidium* (17 видов с внутривидовыми таксонами), *Nostoc* (10), *Chroococcus* (7),

Calothrix (6), *Aphanothece*, *Chamaesiphon*, *Leptolyngbya* и *Tolypothrix* (по 5), которые в сумме составляют 48% от выявленного видового разнообразия. Семейственные и родовые спектры цианопрокариот обнаруживают высокое сходство с таковыми других горных регионов (Порядина, 1973; Сафонова, 1997; Снитко, Сергеева, 2003; Патова, 2004; Ярушина и др., 2004; Биоразнообразие..., 2007).

Среди экологических групп ведущее положение занимают планктонно-бентосные и бентосные формы, по разнообразию им незначительно уступают планктонные и заметно меньше разнообразие эпифитов. Распределение экологических групп по разным водоемам в общих чертах сохраняется. Однако, в стоячих водоемах немного возрастает доля планктонных видов, а в текучих — бентосных. По отношению к солености и кислотности среды большая часть видов, для которых найдены экологические характеристики, относится к индифферентам. Экологическая структура цианофлоры отражает особенности водной среды исследованных водоемов с низкой минерализацией и небольшим содержанием основных ионов, нейтральной или слабощелочной реакцией среды. Географический анализ показал, что большая часть видов относится к космополитам, группы арктомонтанных и бореальных видов занимают подчиненное положение, но подчеркивают северный облик флоры.

Для региона исследований отмечены редкие водоросли с макроскопическими талломами: *Nostoc zetterstedtii*, *N. parmelioides*, *Tolypothrix saviczii* и *Fortiea striatula*. В бассейне р. Косью выявлены новые местонахождения *Nostoc pruniforme*, занесенного в Красную книгу Республики Коми (2009).

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ №16-34-00080 мол_а.

СИСТЕМАТИКА ЦИАНОБАКТЕРИЙ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Пиневи́ч А. В.

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия; email: Pinevich.A@mail.ru

Компромиссный несистематический термин «цианопрокариоты» (Komárek, Golubić, 1990) отражает искусственно сложившийся двойственный статус фотосинтетических представителей филы *Cyanobacteria* как объектов альгологии и микробиологии. Незнание истинной природы «синезеленых водорослей», исходно описываемых и классифицируемых с помощью ботанических подходов, благотворно сказалось на описании богатого природного разнообразия этих объектов, обеспечило приоритет в выборе названий и использование гербарных образцов в качестве типового материала. Формулировка прокариотной концепции бактерий (Stanier, van Niel, 1962) и инициированный Стениером в 1960-х годах анализ лабораторных штаммов цианобактерий привели не только к смене парадигмы: произошло размежевание на два неравноценных по объему и неизоморфных пула объектов. С начала 2000-х годов, в результате метагеномного анализа, различие углубилось. Консенсус невозможен, и поэтому ботаники и микробиологи применяют по отношению к одним и тем же объектам разные систематические критерии, таксономические системы и кодексы номенклатуры. Выбор в пользу бактериологической системы, подчиняющейся кодексу номенклатуры прокариотов – ICNP (Pinevich, 2015) ждет контраргументации или одобрения.

Бактериологическая система цианобактерий, приведенная в Bergey's Manual (1989; 2001), уходит корнями в классическую компиляцию (Geitler, 1932) и учитывает базовые морфофизиологические признаки (одноклеточные или трихомные формы, способность к клеточной дифференциации и т. д.). Морфологический критерий последовательно применен по отношению к типовым штаммам, прежде всего из коллекций АТСС и РСС, с привлечением таких генетических критериев, как мол. % оснований ДНК и размер генома (Rippka et al., 1979). Элементами этой системы служат рабочие таксономические единицы (operational taxonomic units, OTUs), в данном случае названные формальными родами (form-genus), имена которых в основном позаимствованы из ботанической системы синезеленых водорослей. Отсутствие филогенетического анализа допустило существование требующих ревизии сборных формальных родов, например *Leptolyngbya*.

Использование формальных родов влечет за собой беспрецедентный (при немногих исключениях) пропуск видовых эпитетов. Однако более глубокой причиной является фактическое отсутствие концепции вида у прокариотов в отличие от биологического линнеева вида. Линнеон – закрытая, репродуктивно и эко-географически изолированная система, обособленная на основе *различия* с аналогичными системами (Mayr, 1942). Вид у прокариотов (назовем его симилоном) обособлен на основе *внутреннего сходства* элементов открытой системы, способных к промискуитету и космополитизму. Так называемый полифазный подход (не «полифазная таксономия», как ошибочно говорят) в систематике прокариотов учитывает сходство по желательной широкой совокупности фенотипических признаков в сочетании со сходством

индикатора филогении (16S рРНК). Применительно к цианобактериям рекомендуется анализ 16S рРНК исторического гербария (Palinska, Surosz, 2014) или корректно идентифицированного типового штамма.

По нашему мнению, проблема вида у цианобактерий пока еще не имеет решения, как и в целом для прокариотов. Для формальных родов с простым строением, например хроококковых или осцилляториевых цианобактерий, рекомендуется разграничивать рода, используя «двухфазный» подход: морфологию/морфометрию и сходство 16S рРНК с широким привлечением референс-последовательностей. Следующим шагом должно стать обособление кластеров на основе мультилокусного картирования и выявление, с соблюдением правил ICNP, «кандидатов» (*Candidatus* sp.) среди типовых штаммов.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 16-04-00174.

ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫЕ ТОКСИНЫ СНИЖАЮТ ВЫЖИВАЕМОСТЬ ПЛАНКТОННЫХ РАЧКОВ- ФИЛЬТРАТОРОВ

Плигин Д. Н.¹, Сиделев С. И.², Семенова А. С.^{1,2}

¹Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия; e-mail: Sidelev@mail.ru

²Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Калининград, Россия.

Изучение взаимоотношений цианобактерий и зоопланктона остается одной из центральных тем водной экологии уже несколько десятилетий (Ger et al., 2014). Очевиден тот факт, что цианобактерии плохо потребляются

планктонными животными, что показано как в экспериментах, так и в результате натуральных наблюдений. В качестве объяснений этого явления существует масса гипотез - от морфологических особенностей колоний цианобактерий и неполноценности их как питательных субстратов (мало полиненасыщенных жиров и стеролов) до токсигенности. До настоящего времени накоплены экспериментальные наблюдения о токсическом воздействии химических веществ, выделяемых цианобактериями, на рост, воспроизводство и выживаемость зоопланктона. Однако эксперименты с цианобактериальными экстрактами и вытяжками не позволяют вычлнить роль цианотоксинов в угнетающем влиянии цианобактерий на зоопланктеров. Цианобактерии способны синтезировать разные типы токсинов, среди которых наиболее известны так называемый «фактор быстрой смерти» (микроцистины), цилиндроспермопсин и нейротоксины. Нами были проведены лабораторные эксперименты по выявлению влияния очищенных форм микроцистина-LR и цилиндроспермопсина на выживаемость некоторых видов планктонных рачков-фильтраторов, взятых из естественных водоемов Ярославской области.

Мы предполагали, что, если цианотоксины действительно могут использоваться цианобактериями как химическая защита от выедания зоопланктоном в природных условиях, то в лабораторных экспериментах чистые формы токсинов должны, по меньшей мере, приводить к снижению выживаемости планктонных животных. Так, были проведены эксперименты с очищенной формой микроцистина-LR в концентрации 2.5 мг/л, моделирующей ситуацию цианобактериального гиперцветения воды. В качестве тест-объекта была выбрана

Daphnia pulex, популяция которой была отобрана из не цветущего пруда с отсутствием цианобактерий. Добавление микроцистина-LR привело к статистически значимому снижению выживаемости дафний в сравнении с таковой в контроле на 5-е сутки эксперимента. Целая серия экспериментов с другим цианотоксином – цилиндропермопсином, была проведена на примере разных видов планктонных кладоцер как из цветущих, так и из не цветущих водоемов. Во всех экспериментах, чистая форма цилиндропермопсина при высокой концентрации (5 мг/л) уже на 2 сутки приводила к гибели особей *Simocephalus vetulus* и *Chydorus sphaericus* из озер Неро и Белёвское. Также было показано, что влияние цилиндропермопсина на выживаемость природной популяции *Chydorus sphaericus* зависело от концентрации цианотоксина в воде. Выраженный летальный эффект имели лишь высокие концентрации цианотоксина, имитирующие условия цветения воды цианобактериями. Выживаемость *Chydorus sphaericus* из озера Неро при добавке более низких концентраций цилиндропермопсина (0.5 и 0.05 мг/л) статистически значимо не отличалась от контроля без добавки токсина, по крайней мере, в пределах той продолжительности воздействия, которая была выбрана в эксперименте (1 неделя). Таким образом, пока не ясно могут ли разные типы цианотоксинов быть эффективным механизмом защиты не только на стадии цветения воды, но и на начальных этапах развития цианобактерий, когда концентрация синтезируемых токсинов в воде невысока.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-04-04030а.

ЦИАНОБАКТЕРИИ ПОЧВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Редькина В. В.¹, Шалыгина Р. Р.¹, Шалыгин С. С.^{2,3},
Давыдов Д. А.²**

¹Институт проблем промышленной экологии Севера
КНЦ РАН, Апатиты, Мурманская область, Россия; email:
kalmykova@iner.ksc.ru;

²Полярно-альпийский ботанический сад-институт им.
Н.А. Аврорина, Апатиты, Мурманская область, Россия; e-
mail: d_disa@mail.ru

³John Carroll University, Cleveland, USA; e-mail:
sshalygin18@jcu.edu

Цианобактерии являются общими компонентами водных и наземных экосистем. Многие цианобактерии способны к фиксации азота, что способствует обогащению почв азотистыми соединениями. Биоразнообразие почвенных цианобактерий Мурманской области остается в значительной степени неисследованным. Целью данной работы является изучение почвенных цианобактерий на территории Мурманской области в зоне тундры и в подзоне северной тайги. Почвы здесь представлены в основном Al-Fe-гумусовыми подзолами. Образцы почв для сравнительного изучения флористического состава цианобактерий были собраны в заповеднике «Пасвик», на полуострове Рыбачий (подбуры, криогенные, примитивные, подзолистые, торфяные и болотные почвы), а также в зонах антропогенного влияния, где основными загрязняющими веществами являются тяжелые металлы (комбинат «Печенганикель»), соединения фтора (Кандалакшский алюминиевый завод) и нефтепродукты (гора Каскама).

В результате проведенных исследований нами выявлено 34 вида цианобактерий из порядков Synechococcales (12 видов), Oscillatoriales (9), Chroococcales (8), Nostocales (5). Наибольшим видовым разнообразием характеризуется семейство Microcoleaceae (6). Высокую частоту встречаемости имели роды *Nostoc*, *Leptolyngbya*, *Aphanocapsa*. Среднее число видов в пробах составляло примерно 2,5 вида, максимальное число видов обнаружено в болотной почве полуострова Рыбачий – 17 видов. Кроме того, исследования участков генов 16S рРНК выделенных штаммов на базе лаборатории университета Джона Кэрролла (США) позволили получить молекулярное подтверждение родов *Nostoc* и *Microcoleus*. Методом полифазного подхода мы обнаружили предположительно новый вид недавно описанного рода *Stenomitos*. В ближайшее время планируется выполнение анализа нуклеотидных последовательностей ITS-локуса генов 16S и 23S рРНК штаммов цианобактерий для их видовой идентификации.

АЛЬГОФЛОРА МОРСКОЙ КАМЕНИСТОЙ СУПРАЛИТОРАЛИ КРЫМА

Садогурская С. А., Белич Т. В., Садогурский С. Е.

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, Ялта, Крым, Россия; e-mail: sadogurska@yandex.ua

В береговой зоне океанов и морей бенталь имеет хорошо выраженную экологическую зональность. Самой верхней зоной, расположенной выше уровня полной воды при средних сизигийных приливах и обычно лишь увлажняемой брызгами волн, является супралитораль. Л.В.

Арнольди показал, что в бесприливных Чёрном и Азовском морях существование литорали обусловлено сгонно-нагонными явлениями, поэтому она получила название псевдолитораль, а выше этой зоны располагается супралитораль. К.А. Виноградов и О.Б. Мокиевский также выделяют две чётко разграниченные зоны: псевдолиторальную и супралиторальную.

Верхнюю границу супралиторали провести сложно, поскольку она подвержена значительным колебаниям, в первую очередь сезонным (во время зимних штормов она может подниматься до пяти метров н.у.м). Для большинства живых организмов условия существования в прибрежной зоне моря являются экстремальными (высокая инсоляция, резкие и значительные сезонные и суточные перепады температуры, совокупное влияние солёной и пресной воды и т.п.). Цианопрокариоты и некоторые виды лишайников представляют собой своеобразную визитную карточку этого биотопа. Зона распространения Цианопрокариоты обычно и определяет границы супралиторали. Благодаря их массовому развитию на твёрдом субстрате визуально хорошо выделяется каменистая супралитораль, получившая название "чёрной зоны" ("black zone"). Следует отметить, что на побережьях северных морей доля лишайников в формировании супралиторальной растительности несколько выше, чем в морях более низких широт, в том числе в Чёрном и Азовском. Вместе с тем в супралиторали, отмечаются представители других таксонов: Chlorophyta, Ochrophyta, Rhodophyta (*Urospora penicilliformis* (Roth) Aresch., *Ulothrix implexa* (Kütz.) Kütz., *Rhizoclonium riparium* (Roth) Harv., представители родов *Cladophora* Kütz., *Ulva* L., *Feldmannia irregularis* (Kütz.) Hamel, *Ectocarpus siliculosus* (Dillwyn) Lyngb., *Bangia fuscopurpurea* (Dillwyn) Lyngb., *Erythrotrichia carnea* (Dillwyn) J. Agardh и др.). В нижней

части супралиторали в большом количестве отмечаются Bacillariophyta.

В ходе наших исследований супралиторальной зоны крымского побережья Азовского и Чёрного морей отмечены представители всех классов Cyanoprokaryota, относящиеся к 7 порядкам, 18 семействам, 32 родам и 115 видам, представленных 131 формой (включая номенклатурный тип вида). Это составляет около половины (47,3%) всей флоры Cyanoprokaryota Крымского полуострова. 85 видов и форм Cyanoprokaryota – новые для морской каменистой супралиторали Крыма. В ранге класса в регионе доминируют представители Hormogoniophyceae. Ведущими семейства являются – Oscillatoriaceae (30,4% от общего количества видов), Gloeocapsaceae (15,7%), Rivulariaceae (13,0%), а также Microcystidaceae, Pleurocapsaceae (по 7,0%) и Schizotrichaceae (6,1%). В супралиторали зарегистрированы редкие виды: *Gloeocapsa lithophila* (Erceg.) Hollerb., *Lyngbya epiphytica* f. *calotrichicola* (Cop.) Kondrat., *Lyngbya gardnerii* (Setch. et Gardn.) Geitl., *Schizothrix septentrionalis* Gom., *Microcoleus confluentis* Setch. et Gardn., *Microcoleus tenerrimus* f. *minor* Elenk., *Gloeotheca coerulea* Geitl.

Проведённые нами исследования показали, что видовой состав Cyanoprokaryota каменистой супралиторали Крыма богат и разнообразен, его изменение во времени и в пространстве имеет ряд специфических черт. Следует продолжать изучение Cyanoprokaryota, проводить мониторинг для дальнейшей разработки рекомендаций по сохранению уникального биотопа.

ЦИАНОПРОКАРИОТЫ БОЛЬШОГО АРАЛЬСКОГО МОРЯ НА ЭТАПЕ УЛЬТРАГАЛИНИЗАЦИИ ВОД

**Сапожников Ф. В.¹, Калинина О. Ю.², Чернова Н. И.²,
Никитин М. А.³**

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Москва, Россия; e-mail: fil_aralsky@mail.ru

²Лаборатория возобновляемых источников энергии,
Географический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва,
Россия; e-mail: bio-energysu@mail.ru

³Научно-исследовательский институт физико-
химической биологии им. А.Н. Белозерского, МГУ им. М.В.
Ломоносова, Москва, Россия; e-mail: nikitin.fbb@gmail.com

Ультрагалинизация вод Большого Аральского моря началась в 2001 году, после того, как общая концентрация солей в этом водоёме превысила 75 ppt. На фоне постепенного снижения абсолютного уровня Арала в последующие годы, общая минерализация его бассейнов – Западного (глубоководного, желобовидного) и Восточного (мелководного, обширно-котловинного) продолжала расти с разной скоростью. Наши исследования цианопрокариот, выполненные в период 2002-2015 гг., относятся в основном к флоре Западного бассейна, изученной в 2002-2009 гг., а также в 2011 и 2013-2015 гг (в 2002-2014 гг. материал отбирали в центральной части бассейна, в районе мыса Киим-Чияк, в 2014 также в заливе Чернышова, в 2015 только в заливе). Флору пролива, соединяющего Западный и Восточный бассейны в северной части водной системы, изучали в 2004-2005 гг., а Восточного бассейна - в 2004-2005 и 2008 гг. Разнообразие цианопрокариот изучали, в основном, на мелководьях, на глубинах 0-1 м, где их видовое богатство было максимальным. В центральной

части Западного бассейна отмечали тенденцию к постепенному росту общей минерализации воды в этом слое (в ppt (месяц.год)): 81,66 (11.2002) → 85,46 (10.2003) → 91,4 (8.2004) → 98 (10.2005) → 109,41 (9-10.2006) → 116,66 (11.2007) → 114,5 (5-6.2008) → 114 (8.2009) → 117 (11.2011) → 114,39 (11.2013) → 115,36 (9.2014).

В заливе Чернышова концентрация солей на мелководьях была уже существенно выше: 130,1 (10.2014) → 132,14 (10.2015). В ручье, текущем по покрытому соляной коркой берегу залива, солей было свыше 150 ppt (10.2015). В проливе на этапах отбора проб минерализация составляла 102,28 (8.2004) → 130,89 (10.2005); в Северной части Восточного бассейна – 109 (8.2004) → 134,06 (10.2005), в центральной части, в июне 2008 г. – 211 ppt.

В общей сложности, на разных этапах, были отмечены 21 вид цианобактерий, относимых к классу Cyanophyceae, 3-м подклассам (10-Synechococcomorphycidae, 9-Oscillatoriomorphycidae, 3-Nostocophycidae), 6-ти порядкам (6-Synechococcales, 4-Oscillatoriales, 4-Pseudanabaenales, 3-Chroococcales, 2-Nostocales, 2-Spirulinales), 9-ти семействам (6-Pseudanabaenaceae, 4-Oscillatoriaceae, 3-Merismopediaceae, 2-Spirulinaceae, 2-Nostocaceae, по одному из Gomphosphaeriaceae, Chroococcaceae, Microcystaceae и Leptolyngbyaceae) и 15-ти родам (4-*Phormidium*, по 2 - *Anabaena*, *Spirulina* и *Planktolyngbya*, а также *Chroococcus*, *Coleomorona*, *Merismopedia*, *Microcystis*, *Synechocystis*, *Heteroleibleinia*, *Jaaginema*, *Leibleinia*, *Leptolyngbya*, *Lyngbya*, *Gomphosphaeria* – по 1-му).

Широкой галотолерантностью отличались *Heteroleibleinia epiphytica* (81,66-134,06 ppt (далее все интервалы минерализации в ppt), массовый эпифит *Cladophora* spp. повсеместно, рос группами вокруг клеток диатомеи *Cocconeis placentula*); *Leptolyngbya perelegans* (98-

117, как отдельными трихомами, так и густыми сплетениями на поверхности скал в зоне прибоя, служившие экзокаркасом для колоний диатомеи *Brachysira styriaca* при 98-114); *Anabaena* sp. 2 (98-114); *Planktolynghya limnetica* (85,46-132,14(211), отдельными трихомами и столоновидными сплетениями, поднимающимися над субстратом); *Planktolynghya minor* (98->150, массовый при минерализации до 132,14 ppt, рос «оплетающей сетью» на комочках из гипсовых кристаллов, на которых развивался диатомовый оброст в полосе прибоя в заливе Чернышова при 130,1 ppt; *Jaaginema geminatum* (114-211); *Chroococcus turgidus* (98-211); *Gomphosphaeria lacustris* (91,4-134,06); *Synechocystis salina* (109,41-211); *Phormidium irriguum* f. *minor* (114-211); *Anabaena* sp. 1 (114,5-211); *Microcystis aeruginosa* (91,4-134,06). При более узких диапазонах осолонения жили: *Coelomoron pusillum* (91-109), *Merismopedia glauca* (отмечена при 134,89 ppt в море, а также около 140 ppt в пересыхающей мелководной лагуне, как основа альго-бактериального мата), *Lynghya* sp. 3 (при 114), *Spirulina subtilissima* (109,41-115,36), *Spirulina subsalsa* (115,36-132,14), *Phormidium caeruleus* (при 115,36), *Phormidium chlorinum* (114,39-115,36) и *Phormidium grunovianum* (>150 ppt, в ручьях среди соляной корки). Ионный баланс в разных частях акватории Арала менялся не равномерно, поэтому мы можем говорить о толерантных диапазонах видов только по отношению к общей минерализации вод.

При изучении цианофитов Арала два вида были выделены в чистые культуры из накопительных (*Phormidium chlorinum* KU855377 и *Phormidium irriguum* KU855378) с целью исследования свойств этих видов для получения биодизеля.

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-02596.

ЗООПЛАНКТОН И ТОКСИГЕННЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ: СОГЛАСУЮТСЯ ЛИ ПОЛЕВЫЕ ДАННЫЕ С ЗАЩИТНОЙ ГИПОТЕЗОЙ?

**Сиделев С. И.¹, Семенова А. С.^{1,2}, Бабаназарова О. В.¹,
Жданова С. М.³**

¹Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия; e-mail: Sidelev@mail.ru

²Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Калининград, Россия;

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

Биологическая роль токсинов, синтезируемых цианобактериями, до сих пор остается не понятной. Предложено множество гипотез, одной из самых дискутируемых является защитная гипотеза. Согласно ей, синтезируемые цианобактериями токсины используются как «химическая защита» от выедания планктонными животными. Для проверки данной гипотезы мы собрали данные о составе зоопланктона, обилии токсигенных цианобактерий и концентрации в воде самых распространенных цианотоксинов – микроцистинов, из 15 эвтрофных водоемов Ярославской и Калининградской областей. Методика данного анализа существенно отличалась от традиционного подхода. Известно, что при массовом развитии цианобактерий могут доминировать нетоксигенные популяции, морфологически не отличимые от токсигенных того же вида. Поэтому в проведенном корреляционном анализе учитывались только биомассы тех видов и родов цианобактерий, для которых было установлено присутствие генов синтеза тех или иных классов цианотоксинов в соответствующих водоемах.

Проверяемые следствия из защитной гипотезы были следующими: 1. если защитная гипотеза состоятельна, то вероятно выявить отрицательные корреляции между видовым богатством, показателями обилия зоопланктона и биомассой токсигенных цианобактерий (или концентрациями микроцистинов) в водоемах; 2. экспериментально доказана большая устойчивость к присутствию в среде токсичных цианобактерий у копепод по сравнению с таковой у кладоцер, особенно видов рода *Daphnia* (Lampert, 1981; DeMott et al., 1991; Dao et al., 2010). Если это так, то более вероятно обнаружение отрицательных корреляций между концентрациями микроцистинов и обилием кладоцер, а не копепод.

На основе полученной базы данных по разным водоемам нами были выявлены статистически значимые обратные связи между биомассой токсигенных цианобактерий, концентрациями микроцистинов и обилием разных групп и видов зоопланктона. Подобная же корреляция была обнаружена между биомассой токсигенных цианобактерий, концентрациями микроцистинов и числом видов зоопланктеров в пробе в разных водоемах. Также результаты корреляционного анализа подтвердили и второе наше предположение: в большинстве случаев отрицательные статистически значимые корреляции были получены между показателями токсичных цианобактерий и биомассами разных видов кладоцер. Так, статистически значимые обратные связи были обнаружены между обилием токсигенных цианобактерий и биомассами следующих видов кладоцер: *Daphnia cucullata*, *Daphnia galeata* (молодь дафний и, в целом, все виды рода *Daphnia*), *Limnospira frontosa*, *Diaphanosoma mongolianum*, *Ceriodaphnia pulchella*, *Bosmina coregoni*, *Bosmina longispina*. Напротив, биомасса

коловраток и, особенно копепод, в большинстве случаев оказалась статистически незначимо связана с концентрациями микроцистинов, что указывает на их большую устойчивость к действию цианотоксинов. В условиях повышенных концентраций микроцистинов снижение биомасс зафиксировано лишь у *Eudiatomus graciloides* среди копепод и у *Keratella quadrata* среди коловраток.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-04-04030а.

ВИДЫ РОДА *STICHOSIPHON* (CYANOPROKARYOTA) В ВОДОЕМАХ СЕВЕРО- ЗАПАДА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Смирнова С. В., Белякова Р. Н.

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

Род *Stichosiphon* Geitler (Chroococcales, Stichosiphonaceae Hoffmann, Komárek et Kaštovský) был описан на основе пресноводного вида *S. regularis* Geitler L. Geitler (Geitler, 1932). В настоящее время род включает 11 видов (Gardner, 1927; Geitler, 1932; Geitler, Ruttner, 1935; Rao, 1935; Desikachary, 1959; Komárek, 1989; Branko *et al.*, 1994; Montejano *et al.*, 1997; и др.).

Виды этого рода обитают преимущественно в пресных водоёмах (за исключением двух морских представителей *S. mangle* Branco, Silva et Sant'Anna и *S. sansibaricus* var. *marinus* L. Hoffmann) и ведут эпифитный, изредка эпилитный (*S. pseudopolymorphus* (F.E. Fritsch) Komárek) образ жизни.

Большая часть представителей рода зарегистрирована в тропических регионах (Африка, Индонезия, Индия, Пуэрто Рико, Куба, Бразилия, Мексика). Два вида встречаются исключительно в странах Европы: *S. hansgirgii* Geitler — в пресноводных водоёмах Чехии, термальном источнике в Германии (Geitler, 1932) и в водоёмах в горах Румынии (Caraus, 2002; 2012) и *S. pseudopolymorphus* (F.E. Fritsch) Komárek — в горных ручьях в Великобритании (Fritsch, 1929; Whitton *et al.* 2003; John, Whitton, Brook, 2011), Австрии (Pfister, 1992; Pagitz, 2009), Болгарии, Греции (Komarek, Anagnostidis, 1998), Чехии (Uher *et al.*, 2001). Некоторые тропические виды (*S. regularis* Geitler, *S. willei* (N.L. Gardner) Komárek et Anagnostidis) так же были встречены на территории Европы, но в водоёмах с тёплой водой и тропической растительностью. Один вид — *S. himalayensis* C.C. Jao et H.Z. Zhu описан из горных ручьёв Тибета (Jao *et al.*, 1974).

Виды *Stichosiphon* сложны для определения, поскольку разные стадии развития одного и того же вида морфологически существенно отличаются друг от друга и ювенильные экземпляры одного вида могут быть похожи на другие виды рода *Stichosiphon* или представителей других родов – *Chamaesiphon* A. Braun, *Heteroleibleinia* (Geitler) L. Hoffmann. Для корректной идентификации необходимо рассматривать зрелые псевдониты. G. Montejano *с соавт.* (Montejano *et al.*, 1997) предлагают использовать вскрытие чехлов и готовность к высвобождению или уже идущий процесс высвобождения экзоцитов как признак зрелости псевдониты.

При изучении проб микрофитобентоса (включая эпифитон) водоёмов северо-запада Европейской части России выявлены три новых для науки вида обсуждаемого рода: *S. tenerum* S. V. Smirnova et Beljakova sp. nov. и *S.*

longus S. V. Smirnova et Beljakova sp. nov. из рек, ручьёв и озёр национального парка «Валдайский» (Новгородская область) и *S. borealis* Beljakova et S. V. Smirnova sp. nov. из родников и ручьёв Ленинградской области. Характерной особенностью для всех трёх видов являются небольшая, по сравнению с тропическими представителями, ширина базальных клеток и экзоцитов (1–2 – (5.5) мкм); 1-, 2- и многорядность псевдонитей; выраженная длина псевдонитей у второго и третьего видов, достигающая до 1200–1300 мкм, против 20–100–450 мкм в других регионах.

Это первые находки рода *Stichosiphon* в России, примечательные тем, что являются самыми северными местонахождениями рода, имеющего преимущественно тропическое распространение.

Работа выполнена в рамках плановой темы № 0120125605 Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН.

ЦИАНОПРОКАРИОТЫ ЭПИФИТОНА РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА

Станиславская Е. В.

ФГБУН Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: stanlen@mail.ru

В течение летнего периода 2009-20015 гг. исследовались разнотипные озера, расположенные в различных геоморфологических районах Карельского перешейка Ленинградской области. В рамках этих работ изучались прикрепленные водорослевые сообщества. Целью данной работы было определение таксономического

состава, количественного развития и особенностей распространения цианопрокариот эпифитона в исследованных озерах. Озера различались по морфометрии, гидрологии, гидрохимии, трофическому статусу и степени зарастания. Большинство озер относились к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Цветность воды в них изменялась от 8° Pt/Co до 70° Pt/Co и доходила до 600° Pt/Co в гумифицированных; рН воды изменялся от 6,5 до 9,3, в гумифицированных озерах от 4,2 до 5,5. Уровень содержания Р_{общ.} в исследуемых озерах изменялся от 0,020 до 0,070 мг Р л⁻¹ и повышался до 0,240 мг Р л⁻¹ в гиперэвтрофных водоемах (Афанасьева, Трифонова, 2011; Трифонова, 2014).

В большинстве озер Северо-Запада в составе обрастаний преобладают диатомовые и зеленые водоросли. Разнообразие и количественное развитие цианопрокариот, как правило, ниже. Всего в составе летнего эпифитона 60 исследованных разнотипных озер было выявлено 75 видовых таксонов цианопрокариот относящихся к 2 классам, 5 порядкам, 16 семействам и 40 родам. Состав встреченных цианопрокариот в озерах разного трофического уровня и геоморфологических районов имел свои особенности. В эпифитоне олиготрофных и слабomezотрофных озер сельгового района, Приладожья и Центральной возвышенности было отмечено максимальное таксономическое разнообразие, здесь развивались типичные обрастатели порядка Nostocales из родов *Hapalosiphon*, *Tolypothrix*, *Calothrix*, *Rivularia*, *Stigonema*, *Nostoc*, *Microchaete*. Среди них наиболее распространенными были *Hapalosiphon fontinalis*, *Tolypothrix pennicilata*, *Calothrix stellaris*, *Rivularia aquatica*. В эпифитоне мезотрофных и эвтрофных озер, расположенных на Центральной возвышенности

таксономическое разнообразие снижалось, в них чаще встречались цианопрокариоты из порядков *Oscillatoriales* и *Pseudoanabaenales* из родов *Heteroleibleinia*, *Phormidium*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*. Среди них наиболее обычны *Heteroleibleinia kuetzingii*, *H.kossinskajae*, *Phormidium autumnale*, *P. terebriforme*, *Oscillatoria limosa*, *Lyngbya aestuarii*. В эвтрофных и гиперэвтрофных озерах Привуоксинского и Приморского ландшафтных районов видовое разнообразие цианопрокариот была еще более низким. В озерах этого типа в составе эпифитона отмечались широко распространенные планктонные виды из порядков *Chroococcales*, *Nostocales*, *Oscillatoriales*, *Pseudoanabaenales*, *Synechococcales* из родов *Microcystis*, *Dolichospermum*, *Aphanizomenon*, *Planktolyngbya*, *Planktothrix*, *Merismopedia*. Наиболее часто встречались *Microcystis aeruginosa*, *Dolichospermum lemmermanii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktolyngbya limnetica*, *Merismopedia tenuissima*, *Planktothrix agardhii*. Строгой закономерности количественного развития цианопрокариот от трофического типа озер и их географического положения выявлено не было. Вклад этой группы в структуру биомассы изменялся в широких пределах, изменяясь от 1% до 70% общей биомассы. В целом их биомасса изменялась от 0,3 мг/г субстр. до 150 мг/г субстр. Однако можно отметить, что наиболее низкие величины биомассы цианопрокариот были характерны для дистрофных полигуменных озер, в некоторых из них они полностью отсутствовали. Максимальные биомассы были выявлены в озерах различного трофического уровня, где преобладали виды родов *Rivularia* и *Gloeotrichia*.

Таким образом, на территории Карельского перешейка выявлена достаточно разнообразная флора цианопрокариот, распространение и развитие которых

связано с трофическим типом озер и их географическим положением. Количественное развитие этой группы в меньшей степени связано с этими факторами.

СИНЕЗЕЛЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ И «ЦВЕТЕНИЕ» ВОДЫ ОЗЕР КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА

Трифонова И. С., Афанасьева А. Л.

Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург,
Россия; e-mail: itrifonova@mail.ru

Комплексные исследования 60 разнотипных озер Карельского перешейка в 2010-2015 гг. выявили существенные изменения их состояния, связанные с антропогенным эвтрофированием. Наиболее очевидным негативным последствием эвтрофирования является «цветение воды», вызываемое массовым развитием фитопланктона, прежде всего, синезеленых водорослей. В озерах Северо-Запада России эвтрофирование носит более медленный характер, чем в более южных регионах страны, и «цветение» воды, как правило, достаточно умеренное или слабо выражено. Тем не менее, все усиливающееся антропогенное воздействие вызывает необходимость мониторинга состояния озерных экосистем и в том числе развития в них синезеленых водорослей. Для оценки экологического состояния водоемов по фитопланктону рекомендованы такие показатели, как видовой состав, численность видов, биомасса, а также частота и интенсивность «цветения» воды. При этом необходимо оценивать степень интенсивности «цветения». Наиболее достоверной является количественная оценка по биомассе водорослей в поверхностном слое воды. По существующим

классификациям различают 5 степеней «цветения» с биомассой от 1 до 500 г/м³ и выше.

В составе планктонных Cyanophyta в озерах Карельского перешейка идентифицировано более 40 таксонов (Chroococcales -18, Oscillatoriales - 8, Nostocales - 14) - около 10% всего состава фитопланктона. Независимо от района наиболее низкое разнообразие и обилие синезеленых характерно для озер с высокой цветностью и пониженной рН воды, расположенных в заболоченных ландшафтах или принимающих притоки из болот. В дистрофных озерах, как в северной части перешейка, так и на юге синезеленые водоросли отсутствуют совсем или представлены единичными видами из родов *Woronichinia* и *Coelosphaerium*.

В олиготрофных озерах северных ландшафтов - Сельгового и Приладожья, планктонные синезеленые водоросли наименее разнообразны - 1-6 видов, преимущественно виды из родов *Anabaena* и *Woronichinia*, редко *Aphanizomenon*. Численность отдельных видов, как правило, не превышает 150-200 тыс. кл./л. В более эвтрофированных, слабо-мезотрофных и мезотрофных озерах она иногда достигает 1-млн.кл./л. В олиготрофных и мезотрофных озерах биомасса фитопланктона не превышала 1-3 мг/л, синезеленые составляли менее 2% биомассы. В этих озерах иногда отмечаются редкие колонии синезеленых в толще воды, т. е. имеет место начальное, экологически безвредное цветение.

Наиболее разнообразны планктонные синезеленые водоросли в планктоне озер Приморского района и Центральной возвышенности - 15-20 видов. В мелководных эвтрофных озерах численность отдельных видов достигала 50-100 млн.кл./л. В эвтрофных озерах Приморского ландшафта цветение воды определялось массовым

развитием видов рода *Microcystis*, *Aphanizomenon flos-aquae*, численность которых достигала 200-800 млн.кл./л и выше. В гипертрофных озерах биомасса достигала 70 мг/л, и 80-90% составляли синезеленые, преимущественно *M. aeruginosa*, *M. wesenbergii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena spiroides* и *A. lemmermanii*. В более глубоких озерах преобладала *Planktothrix agardhii*.

По мере возрастания трофности увеличивается не только общая биомасса водорослей, но и доля в ней синезеленых водорослей. Тем не менее, в большинстве исследованных озер «цветение» воды по существующей классификации можно отнести только ко 2-ой степени (биомасса до 50 г/м³) – концентрация водорослей, которая считается экологически безвредной. И только некоторые озера Приморского района, расположенные в курортной зоне, где отмечается образование слоя всплывающих водорослей, соответствуют 3-ей степени цветения (биомасса выше 50 г/м³) - экологически опасные концентрации, вызывающие заморные явления и значительное биологическое загрязнение.

ТЕТРАЗОЛЬНО-ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ ГЛУТАТИОНА

Фокина А. И.¹, Зыкова Ю. Н.², Лялина Е. И.¹

¹Вятский государственный университет, Киров, Кировская область, Россия; e-mail: annushka-fokina@mail.ru

²Вятская государственная сельскохозяйственная академия, Киров, Кировская область, Россия; e-mail: orewek7@rambler.ru

Большой интерес представляет исследование особенностей протекания реакций, используемых в биотестировании. Одной из таких реакций является микрокристаллоскопическая реакция, в которой аналитический эффект – это появление в клетках кристаллов формазама красного цвета из 2, 3, 5-трифенилтетразолия хлорида (ТТХ) под действием фермента дегидрогеназы. Успешность протекания данной аналитической реакции зависит от активности фермента в клетках организмов. При увеличении токсичности среды изменяется дегидрогеназная активность, что отражается на аналитическом эффекте реакции образования формазама, из этого следует, что данную микрокристаллоскопическую реакцию можно использовать для биотестирования. Методика биотестирования разрабатывается на базе лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ.

Целью работы было установить оптимальные параметры проведения реакции образования формазама в клетках почвенных цианобактерий для создания методики биотестирования.

В опыте использованы следующие культуры цианобактерий (ЦБ) *Nostoc linckia*, *N. paludosum*, *Fischerella muscicola*.

Установлено, что самой чувствительной культурой является *N. paludosum* с титром $2 \cdot 10^6$ и $2 \cdot 10^7$ кл/см³.

Далее культуру *N. paludosum* с титром $2 \cdot 10^7$ кл/см³ использовали для исследования токсичности растворов сульфата меди (II) с концентрацией действующего вещества 0,1; 1 и 2 ПДК (ПДК для меди составляет 1 мг/дм³) в виде растворов индивидуальных веществ и аналогичных растворов, но с добавлением сильного биопротектора – восстановленного глутатиона (GSH) в концентрациях $2 \cdot 10^$

³; $2 \cdot 10^{-2}$; 0,04 мг/дм³ соответственно. Культуру выдерживали сутки в растворах токсикантов, отмывали дистиллированной водой и заливали 0,1 % раствором ТТХ. Суспензию ЦБ, залитую раствором ТТХ, помещали в камеру, где поддерживается постоянная температура 27 °С и освещенность 4500 лк. Каждые 20 минут с начала экспозиции методом микроскопирования в мазках контрольного варианта устанавливали степень образованности кристаллов формазана. Кристаллы формазана начинали образовываться уже через 20 минут, однако представляли из себя едва заметные вкрапления в клетках культуры. Хорошо фиксируемые визуально кристаллы образуются к 40-й минуте. Формирование кристаллов в том виде, в котором они крупные, хорошо видны и в дальнейшем не происходит значительного увеличения их размеров наблюдали к 60-й минуте. Освещенность в камере играет важную роль в протекании реакции, так как при обычном освещении (1500–2000 лк) реакция проходит не менее трех часов, а зачастую и более, что значительно снижает экспрессность методики.

При увеличении концентрации токсиканта уменьшается жизнеспособность культуры. Методика позволяет фиксировать токсичность растворов, в которых концентрация ионов меди 0,1 ПДК. Присутствие GSH положительно сказывается на жизнеспособности – повышает ее. Если сравнивать результаты, полученные методом прямого счета под микроскопом и спектрофотометрическим определением количества, образующегося формазана, то следует отметить наличие зависимости между значениями жизнеспособности и количеством, образующегося в клетках формазана. Следует отметить одну очень важную для методики биотестирования особенность – по результатам

спектрофотометрического определения для вариантов с солями меди не удастся выявить токсичность ни в одном из вариантов.

Недостатком методики является достаточно большое время экспозиции культуры ЦБ с растворами токсикантов, что в дальнейшем требует исследования и корректировки методики.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых № МК-3964.2015.5.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ СИНЕ-ЗЕЛЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА в 2015 г.

Халиуллина Л. Ю.

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань, Республика Татарстан, Россия; e-mail: Liliya-
kh@yandex.ru

В вегетационный период (май-сентябрь) 2015 г. были проведены исследования сезонной динамики и пространственного распределения планктонных водорослей Куйбышевского водохранилища (Республика Татарстан). Куйбышевское водохранилище, образованное в результате перекрытия р. Волги плотиной Волжской ГЭС, имеет резко выраженную асимметрию берегов. Вдоль правого берега тянется Приволжская возвышенность и скалистые Жигулевские горы. Левый берег преимущественно пологий и низменный. Из-за большой разницы правого и левого берегов складываются

различающиеся гидрологические условия вдоль водохранилища, которые сказываются на условиях существования гидробионтов, и в первую очередь планктонных водорослей – фитопланктона.

Отбор проб фитопланктона был произведен еженедельно у правого берега Волжского плеса (ст. 1), на противоположном левом берегу (ст. 2) и ниже по течению в месте слияния рек Волга и Кама (ст. 3), где Куйбышевское водохранилище образывает озеровидное расширение - Волжско-Камский плес.

Сезонная динамика фитопланктона в 2015 г. была несколько необычна для этого водохранилища (Халиуллина, 2015), чему способствовали особенности погодных условий этого года и динамика уровня режима в водохранилище. Весенние процессы начались активно и быстротечно. Май и июнь выдались очень теплыми и сухими, что привело «цветению» воды сине-зелеными водорослями по всему водохранилищу уже к концу июня. На ст. 3 процессы массового размножения сине-зеленых водорослей начались почти на месяц раньше, чем на станциях 1 и 2, и первые максимальные значения численности и биомассы наблюдались уже во второй декаде июня. На ст. 2 первый пик пришелся на границу первой и второй декады июля - на неделю раньше, чем на ст. 1 и 3, что обусловлено мелководностью данного участка, который быстрее прогревается и имеет более медленное течение. Второй пик пришелся на вторую декаду августа и наблюдался во всех рассматриваемых участках.

Если первые максимумы развития фитопланктона были связаны с массовым развитием в основном сине-зеленых водорослей (70-99%), то для второго пика был характерен комплекс фитопланктона из сине-зеленых, диатомовых и зеленых водорослей. Июль и август были

чрезвычайно дождливыми (150 и 120% от нормы). Также динамика уровня воды в водохранилище оказалась высокой и стабильной, близкой к отметке нормального подпорного уровня - 53 м, вследствие чего явления «цветения» воды были кратковременными и не такими интенсивными, какие обычно можно наблюдать в летний и летне-осенние периоды в Куйбышевском водохранилище.

В ходе работы были рассчитаны коэффициенты корреляции Спирмена между показателями фитопланктона, температурой воздуха, температурой воды и колебаниями уровня воды и найдены некоторые зависимости. Отрицательная корреляция ($r = -0,65$ при $p < 0,05$) наблюдалась между количественными показателями фитопланктона (общая численность и биомасса) и уровнем воды. Со снижением уровня воды наблюдалось возрастание содержания сине-зеленых водорослей ($r = -0,7$ при $p < 0,05$). Значимых корреляционных зависимостей между температурой воздуха и воды, показателями водорослевого сообщества не отмечено.

Общая численность и биомасса планктонных водорослей колебались в пределах 0,45-1661,09 млн.кл./л и 0,41-125,35 мг/л. Минимальные и максимальные значения содержания фитопланктона рассматриваемых участков водохранилища различались не значительно, и расхождение значений наблюдалось больше во времени. В фитопланктоне доминировали водоросли *Microcystis aeruginosa* f. *flos-aquae* (Wittr.) Elenk., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., *Anabaena flos-aquae* Breb., *Anabaena scheremetievi* Elenk., *Oscillatoria planctonica* Wotosz.

Полученные в данной работе результаты будут детально проанализированы и продолжены с дополнительными станциями и в 2016 г.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЛОГЕНИЯ КЛОНОВЫХ КУЛЬТУР *ARTHROSPIRA PLATENSIS* (NORDST.) GEITL.

Чернова Н. И.¹, Калинина О. Ю.¹, Никитин М. А.²

¹НИЛ возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия; e-mail: chernova_nadegda@mail.ru

²Институт физико-химической биологии им.А.Н.Белозерского МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия; e-mail: nikitin.fbb@gmail.com

Геометрия спирали в видовой дифференциации рода *Arthrospira* остается одним из основных таксономических признаков в рамках ботанической номенклатуры. Для трёх клоновых культур артроспир, выделенных в НИЛ ВИЭ при длительном культивировании в лабораторных условиях и отличавшихся морфологией трихома (спиральные - шт. 1/02; слабо спиральные утолщенные - шт.1/02–Т и прямые - шт. 1/02–П), была произведена идентификация филогенетического положения. Выделение геномной ДНК производили с использованием набора DiatomDNAprep 100 (Изоген). Фрагмент гена малой субъединицы 16SpРНК и внутреннего транскрибируемого спейсера ITS был амплифицирован с помощью стандартных олигонуклеотидных затравок 16S378F(*) 23S30R(*) и набора реактивов для полимеразной цепной реакции (ПЦР) Encyclo PCR kit (Евроген). Использовали следующую программу амплификации: 95°С – 3 мин; 38 циклов (93°С – 20 с, 56°С – 30 с, 72°С – 1,5 мин), 72°С – 5 мин. Продукты ПЦР были очищены препаративным электрофорезом в агарозном геле и секвенированы на капиллярном секвенаторе в ЦКП «Геном» (Москва). Отдельные чтения

были собраны в контиги в программе SeqMan. Для сравнения с известными последовательностями других штаммов цианобактерий был проведен поиск по базе данных GenBank при помощи программы BLAST. Для построения филогенетического дерева использовали 22 последовательности из альгобаз данных, включая 18 определенных до вида представителей рода *Arthrospira* и 3-х представителей других таксонов (*Lyngbya*, *Oscillatoriales* и *Phormidiaceae*). Выравнивание нуклеотидных последовательностей генов 16SpРНК различных штаммов производили в программе MEGA 5.1 (Tamura et al., 2011) при помощи алгоритма MUSCLE (Edgar, Robert, 2004). Филогенетические деревья были построены также в программе MEGA 5.1 алгоритмами Neighbor-Joining (Saitou, Nei, 1987). Для оценки статистической достоверности деревьев было проведено 100 реплик бутстрэпа, т.е. дерево построено алгоритмом максимального правдоподобия (ML) со 100 репликами бутстрэпа.

Таким образом, нами был амплифицирован фрагмент гена малой субъединицы рибосомной РНК и внутреннего транскрибируемого спейсера общей длиной 1600 нуклеотидов. Уровень сходства с депонированными в мировых базах данных последовательностями этого участка других видов *Arthrospira* оказался весьма высоким - 97-99%, т. е. нуклеотидные последовательности трех штаммов *A. platensis* оказались полностью идентичны друг с другом и с частью штаммов *A. platensis* из Генбанка микроводорослей. Другие виды артроспир, например, *A. fusiformis*, на построенном филогенетическом дереве, достоверно отличаются от наших штаммов. Не обнаружено связи между родством и географическим местоположением выделения этого штамма: штаммы Центрально-азиатского происхождения раскиданы по дереву. Наивысшее сходство

наших трех штаммов наблюдалось со штаммами *A. platensis*_BY, выделенными из прибрежных соленых озер Внутренней Монголии Китая, американским штаммом PCC_9108 и штаммом AICB_49 - из Египта. Последовательности ДНК и РНК этих штаммов были зарегистрированы в GenBank (США). Полученные результаты ставят вопрос о валидности формы спирали в качестве таксономического критерия для видовой дифференциации рода *Arthrospira*.

Исследования проводили при поддержке гранта РФФИ № 15-08-02596.

ЦИАНОБАКТЕРИИ *ARTHROSPIRA PLATENSIS* (NORDST.) GEITL. КАК МОДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИНДУКЦИИ ЛИПИДОВ

Чернова Н. И., Киселева С. В.

НИЛ возобновляемых источников энергии
географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова,
Москва, Россия; e-mail: chernova_nadegda@mail.ru

Интерес к липидам микроводорослей (МКВ) в последние годы обусловлен их высоким потенциалом в качестве сырья для производства моторных топлив. Определяющим фактором является высокое содержание в них неполярных липидов, в основном триацилглицеринов (ТАГ), являющихся лучшим источником для получения биодизеля, а также возможность управлять накоплением их путем изменения условий культивирования. Известно, что в силу невозможности одновременного достижения высокой продуктивности по биомассе и по липидам при культивировании МКВ, широко применяется метод

двухстадийного культивирования с применением различных физиологических стрессов.

Предложены новые подходы в реализации потенциала цианобактерий на примере артроспиры/спирулины. Биомасса *Arthrospira platensis* рассмотрена в качестве нетрадиционного сырья для производства биотоплива третьего поколения и сопутствующих продуктов с высокой добавленной стоимостью. Экспериментально изучалось воздействие следующих видов результативных стрессоров на содержание липидов в клетках клоновых культур *A. platensis*, отличающихся морфологией трихома (шт. rsemsu 1/02 (спиральный), шт. rsemsu 1/02-Т (слабо спиральный утолщенный) и шт. rsemsu 1/02-П (прямой)):

- повышенная и пониженная инсоляция (от $(2\div 4) \mu\text{E}/(\text{m}^2 \times \text{c})$ до $(450 \pm 25) \mu\text{E}/(\text{m}^2 \times \text{c})$);
- субоптимальные температуры (от $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$ до $(9 \pm 1)^\circ\text{C}$);
- голодание по азоту и фосфору;
- барботаж воздухом, содержащим 2% CO_2 (об.).

Установлено, что исследуемые культуры под влиянием подобранных стрессоров могут аккумулировать в клетках нейтральные липиды до промышленно значимых количеств (шт. rsemsu 1/02-П - до 32,0%; шт. rsemsu 1/02-Т – до 47,1%), а реакция на созданный стресс, по-видимому, является видо- и штаммоспецифичной. При этом варианты и параметры стресса требуют тщательного экспериментального подбора для каждой культуры. Таким образом, экспериментально было показано, что биомасса артроспиры/спирулины может быть не только источником белка, биологически активных веществ и сопутствующих продуктов, но и продуцентом нейтральных липидов - сырья для производства биодизеля.

Представлены результаты апробации метода скрининга липидсодержащих артроспир на основе окрашивания клеток флуоресцентным красителем Нильским красным. Выявлена корреляция результатов, полученных методом окрашивания красителем Нильским красным органического экстракта из клеток артроспир (количественный метод определения на спектрофлуориметре) и окрашиванием липидов в клетках (качественный метод регистрации с помощью люминесцентного микроскопа), что говорит о возможности использования данного качественного метода в альгологической практике при скрининге продуцентов липидов. Показано, что определение оптимальных условий накопления нейтральных липидов в разных штаммах МКВ можно также проводить на основе окрашивания клеток Нильским красным. Поскольку артроспира массово культивируется дешевым открытым способом без контаминации другими видами, отличается легкостью сбора урожая, ее можно рекомендовать как удобный модельный объект при разработке технологий получения биомассы с повышенным содержанием липидов, в том числе способом двухстадийного культивирования.

Исследования проводили при поддержке гранта РФФИ № 15-08-02596.

TAXONOMIC CHARACTERIZATION OF A NEW SPECIES OF *NOSTOC* USING POLYPHASIC APPROACH

**Singh P.¹, Shaikh Z. M.¹, Gaysina L. A.^{2,3},
Suradkar A.¹, Samanta U.¹, Shouche Y. S.¹**

¹Microbial Culture Collection (MCC), National Centre for Cell Science (NCCS), India; e-mail: sps.bhu@gmail.com

²Department of Bioecology and Biological Education, M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University, Ufa, Russian Federation; e-mail: lira.gaisina@mail.ru;

³All-Russian Research Institute of Phytopathology, B. Vyazyomy, Odintsovo district, Moscow Region, Russian Federation

The genus *Nostoc* is one of the earliest described cyanobacterial genera. About 250-300 species of *Nostoc* have been described till now, which evidently indicates the huge diversity and the heterogeneity of this genus. Thus, the taxonomic resolution of the genus *Nostoc*, which consists of many different genotypes, is still exciting and complex enough to be worked out in detail. The present study reported the characterization of a new *Nostoc* strain, using phenotypic, ecological, molecular and phylogenetic methods.

Strain NE-PS isolated from a fresh water body in Pune, India is being described as new species of the polyphyletic genus *Nostoc*. Phenotypic and molecular characterizations were performed and the combined results validated the strain as a new species. Careful observations of the filaments showed the presence of a distinct sheath around the trichomes, valuable differences in the shape and dimensions of the vegetative cells, heterocytes and the akinetes. These features provided reliable morphological differences of NE-PS from other closely related species.

The results of phylogenetic analysis revealed that NE-PS showed 98.66% sequence similarity with *Nostoc linckia* strain IAM M-30, 98.31% similarity with *Desmonostoc muscorum* and 98.10% similarity with *Nostoc entophytum* strain IAM M-267. For *rbcl* gene sequence, the closest similarity was found to be

97% with *Nostoc* sp. PCC 7906. The *psbA* gene sequence similarity was closest with *Nostoc punctiforme* PCC 73102 (pairwise similarity was 94%), the *nifD* gene sequence similarity was found to be 96% with *Nostoc punctiforme* Ind35 and *Desmonostoc muscorum*. For PC-IGS region, the closest similarity was with *Nostoc linckia* PACC 5085 at 96%. Thus, phylogenetic inferences using all the markers show typical separate clustering of the strain with distinct nodes from the rest of the closely related species.

To our knowledge, this work is one of the first study that describes a new species of *Nostoc* from India using all morphological, ecological and molecular attributes. Results of this work allow to conclude, that the strain NE-PS is a new species in the genus *Nostoc* with the name proposed being *Nostoc punensis*, sp. nov.

Международная научная школа-конференция
«Цианопрокариоты (цианобактерии): систематика,
экология, распространение»

Тезисы докладов

Оригинал-макет: Д.А. Давыдов

Подписано в печать 10.06.2016.
Формат бумаги 60x84 1/16. 7.5 усл.-изд. л.
Печать офсетная с оригинала заказчика.
Заказ № 181. Тираж 100 экз.

Отпечатано в Типографии ООО «КаэМ»
Мурманская область, город Апатиты
ул. Ферсмана 17А, тел. (81555) 77329
www.km-print.ru