



# ЦИАНОПРОКАРИОТЫ ЦИАНОБАКТЕРИИ

*систематика, экология, распространение,  
использование в биотехнологии*

13-16 июня 2023 г.,  
Москва, Россия

УДК 582.26  
ББК 28.591.2  
П78

**Цианопрокариоты/цианобактерии: систематика, экология, распространение, использование в биотехнологии.** Материалы V Международной научной школы-конференции, посвященной 150-летию со дня рождения выдающегося альголога А. А. Еленкина (г. Москва, Россия, 13—16 июня 2023 г.). — Москва: 2023. — 70 с.

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

Для специалистов в области альгологии, микробиологии, гидробиологии, экологии. Материалы конференции печатаются в авторской редакции.

*Научное электронное издание*

УДК 582.26  
ББК 28.591.2

© Коллектив авторов, 2023

© Институт физиологии растений  
им. К. А. Тимирязева, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| <b>Давыдов Д.А.</b><br>Профессор А.А. Еленкин — основатель<br>русской школы<br>по изучению цианобактерий.....   | 5  |
| <b>Аверина С.Г., Колган Н.Р., Полякова Е.Ю.,<br/>Сенатская Е.В., Пиневиц А.В.</b><br>Новые таксоны одноклеточных цианобактерий<br>из коллекции CALU<br>Санкт-Петербургского<br>государственного университета.....                               | 7  |
| <b>Александров С.В., Горбунова Ю.А.</b><br>Воздействие цианобактериальных «цветений»<br>на прибрежную зону<br>в лагунной экосистеме Куршского залива.....   | 8  |
| <b>Андреева Н.А.</b><br>Цианобактерии<br>глубоководного бентоса<br>прибрежной акватории Крыма.....  | 10 |
| <b>Баженова О.П., Молибога Е.А.</b><br>Перспективы использования<br>фитомассы <i>Limnospira fusiformis</i><br>(Cyanoprokaryota) из оз. Солёного (г. Омск)<br>в производстве пищевых продуктов.....  | 12 |
| <b>Батаева Ю.В., Синетова М.А.,<br/>Григорян Л.Н.</b><br>Биотехнологические возможности<br>цианобактерий, выделенных<br>из экосистем Астраханской области.....  | 13 |
| <b>Бачура Ю.М.</b><br>Об изучении почвенных цианобактерий в<br>Беларуси.....  | 15 |
| <b>Бозиева А.М., Хасимов М.Х., Волошин Р.А.,<br/>Синетова М.А., Куприянова Е.В.,<br/>Жармухамедов С.К., Аллахвердиев С.И.</b><br>Исследование механизмов<br>выделения водорода<br>у цианобактерий.....  | 16 |
| <b>Величко Н.В., Смирнова С.В., Райко М.П.</b><br>Культивируемые и некультивируемые<br>антарктические цианобактерии<br>водоемов оазиса Ларсерманн.....  | 17 |
| <b>Воденеева Е.Л., Шарагина Е.М.,<br/>Кулизин П.В.</b><br>Развитие синезеленых водорослей<br>в Чебоксарском водохранилище<br>в зоне влияния Нижегородской ГЭС.....  | 19 |
| <b>Воякина Е.Ю., Чернова Е.Н.</b><br>Распространение цианобактерий и их<br>метаболитов в прибрежной зоне Ладожского<br>озера в районе Валаамского архипелага.....   | 20 |
| <b>Гайсина Л.А., Мальцев Е.И.</b><br>Молекулярно-генетические и экологические<br>особенности штамма <i>Microcoleus</i> , выделенного<br>из почв лесостепной зоны<br>Башкирии (Южный Урал).....  | 21 |
| <b>Гайсина Л.А., Фазлутдинова А.И., Сафиуллина Л.М.,<br/>Хасанова Г.Ф., Гизатуллина А.И., Резванова Е.Р.,<br/>Суханова Н.В.</b><br>Изучение цианобактериально-водорослевых<br>флор Южно-Уральского региона.....                                 | 23 |
| <b>Горелова О.А., Карпова О.В., Баулина О.И.,<br/>Семенова Л.Р., Селях И.О., Соловченко А.Е.,<br/>Лобакова Е.С.</b><br>Аномалии формирования гетероцист <i>Nostoc</i> sp.<br>PCC 7120 при различной доступности<br>неорганического фосфора..... | 25 |
| <b>Горин К.К.</b><br>Новые находки цианобактерий<br>для российской акватории<br>Финского залива Балтийского моря.....   | 26 |
| <b>Дмитриева О.А., Семенова А.С. Казакова Е.Ю.</b><br>Структура и динамика планктонных сообществ<br>в прибрежной зоне Куршского залива<br>Балтийского моря в 2017–2021 гг. в период<br>цианобактериальных «цветений» воды.....                  | 27 |
| <b>Еремкина Т.В., Корбут Д.Е.</b><br>Цианобактериальные «цветения»<br>в водоемах Среднего и Южного Урала.....   | 28 |
| <b>Зыкова Ю.Н., Ковина А.Л., Трефилова Л.В.</b><br>Методы сохранения<br>музейных штаммов цианобактерий<br>в жизнеспособном состоянии.....   | 30 |
| <b>Ицык Т.В., Горин К.К.</b><br>Предварительные сведения о бентосных<br>цианобактериях прибрежной зоны<br>острова Гогланд (Финский залив,<br>Балтийское море).....  | 32 |
| <b>Капустин Д.А., Куликовский М.С.</b><br>П.М. Царенко (1956–2023) и его вклад<br>в альгологию.....   | 33 |
| <b>Кезля Е.М., Куликовский М.С.</b><br>Новая информационная система<br>микроводорослей<br>и цианобактерий России Algabank.....  | 34 |
| <b>Коваль Е.В., Огородникова С.Ю.</b><br>Оценка чувствительности цианобактерий<br>к фосфорорганическим поллютантам.....   | 36 |
| <b>Кокшарова О.А., Сафронова Н.А.</b><br>Биологическая активность<br>и экологическое значение<br>нейротоксичной аминокислоты ВМАА.....  | 37 |
| <b>Корнева Л.Г., Чернова Е.Н.</b><br>Цианобактериальное «цветение» воды<br>в волжских водохранилищах<br>и его токсичность.....  | 39 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Косякова А.И., Самылина О.С.</b><br>Географическое и экологическое распространение цианобактерий рода <i>Sodalinema</i> .....   | <b>41</b> |
| <b>Кривова З.В., Мальцев Е.И., Куликовский М.С.</b><br>Жирнокислотный состав представителей рода <i>Nostoc</i> .....   | <b>42</b> |
| <b>Кузикова И.Л., Зайцева Т.Б., Чернова Е.Н., Сазанова А.Л., Медведева Н.Г.</b><br>Альгицидная активность и деструкция микроцистина-LR новым штаммом <i>Penicillium</i> sp. GF3, выделенным из Финского залива (Балтийское море).....          | <b>44</b> |
| <b>Леусенко А.В., Миронов К.С., Лось Д.А.</b><br>Роль PAS-домена сенсорной гистидинкиназы HIK33 в регуляции стрессовых ответов у <i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803 GT-L.....   | <b>46</b> |
| <b>Леусенко П.А., Миронов К.С., Габриелян Д.А., Синетова М.А., Стариков А.Ю., Волошин Р.А., Лось Д.А.</b><br><i>Synechococcus elongatus</i> PCC7942 с синтетическими оперонами для промышленного получения полиненасыщенных жирных кислот..... | <b>47</b> |
| <b>Мальцев Е.И., Мальцева С.Ю., Куликовский М.С.</b><br>Новый вид <i>Desmonostoc</i> из почв Большого Кавказа.....   | <b>49</b> |
| <b>Мельник А.С., Дмитриева О.Г.</b><br>Пространственное распределение цианобактерий в Юго-Восточной Балтике в летний период 2020 г.....  | <b>50</b> |
| <b>Миронов К.С., Синетова М.А., Лось Д.А.</b><br>Секвенирование геномов цианобактерий коллекции IPPAS.....   | <b>51</b> |
| <b>Патова Е.Н., Новаковская И.В., Гусев Е.С., Шадрин Д.М., Сивков М.Д.</b><br>Разнообразие цианобактерий в биологических почвенных корках северных регионов Урала на основе морфологических и метагеномных подходов.....                       | <b>52</b> |
| <b>Родина О.А., Сазанова К.В., Вильнет А.А., Давыдов Д.А., Шаварда А.Л., Власов Д.Ю.</b><br>Метаболом литобионтных цианобактериальных сообществ горы Айкуайвенчорр (Хибины, Мурманская область).....   | <b>53</b> |
| <b>Родина О.А., Чернышова И.А., Шевченко Б.А., Снарская Д.Д., Франк-Каменецкая О.В.</b><br>Биоминерализация под действием цианобактерий в обогащенных кальцием растворах.....  | <b>54</b> |
| <b>Самылина О.С.</b><br>Меж двух миров: Cyanophyta vs. Cyanobacteriota.....  | <b>56</b> |
| <b>Сиделев С.И.</b><br>Оценка численности микроцистин-продуцирующих <i>Microcystis</i> в мелководном эвтрофном озере с помощью метода количественной ПЦР в реальном времени (qRT-PCR).....   | <b>58</b> |
| <b>Смирнова М.М.</b><br>Влияние цианобактериальных цветений на микробиологические показатели воды прибрежной зоны Куршского залива Балтийского моря.....   | <b>59</b> |
| <b>Темралева А.Д.</b><br>Метагеномное и полногеномное секвенирование цианобактерий наземных экосистем.....   | <b>61</b> |
| <b>Тихонова И.В., Федотов А.П., Краснопеов А.Ю., Ли С., Потапов С.А., Сороковикова Е.Г., Кабилов М.Р., Ломакина А.В., Белых О.И.</b><br>Цветения токсичных цианобактерий в озере Байкал в прошлом и настоящем.....                             | <b>63</b> |
| <b>Шарагина Е.М., Воденеева Е.Л., Кулизин П.В., Старцева Н.А., Журова Д.А., Охапкин А.Г.</b><br>Синезеленые водоросли как компонент альгоценозов уникальных карстовых озер Нижегородской области.....  | <b>64</b> |
| <b>Эйхвальд К.А., Баженова О.П.</b><br>Первые сведения о цианопрокариотах водных объектов национального парка "Красноярские столбы".....   | <b>66</b> |
| <b>Макарёноква Н.Н.</b><br>Состав и структура цианобактериального комплекса во время «цветения» на Белом озере (Вологодская область).....  | <b>68</b> |
| <b>Намсараев З.Б., Мельникова А.А., Комова А.В.</b><br>Ждет ли нас рост числа вспышек массового развития цианобактерий в водоемах России?.....   | <b>69</b> |

Д.А. Давыдов

**ПРОФЕССОР А.А. ЕЛЕНКИН — ОСНОВАТЕЛЬ РОССИЙСКОЙ ШКОЛЫ  
ПО ИЗУЧЕНИЮ ЦИАНОПРОКАРИОТ**

D.A. Davydov

**PROFESSOR A.A. ELENKIN — THE FOUNDER  
OF RUSSIAN CYANOBACTERIAL SCIENCE SCHOOL**

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина ФИЦ КНЦ РАН,  
Апатиты, Россия, d.davydov@ksc.ru

17 ноября 2023 г. исполняется 150 лет со дня рождения выдающегося российского альголога Александра Александровича Еленкина [4(17).11.1873, Варшава, — 19.4.1942, Казань]. За свою 50-летнюю научную деятельность он успел сделать чрезвычайно много: основал гербарий низших растений Ботанического института в Санкт-Петербурге, явился основоположником российской лихенологии (Титов, 2008) и основателем отечественной школы по изучению цианобактериот. Выпустил фундаментальные сводки по флоре лишайников Средней России (1906-1911), флоре мхов Средней России, (1909), пресноводным водорослям Камчатки (1914) и 3-х томную монографию «Синезеленые водоросли СССР» (1936, 1938, 1949), но кажется главным достижением Александра Александровича стала целая плеяда подготовленных им учеников, определившая развитие отечественной криптогамной ботаники. Именно усилиями А.А. Еленкина был запущен процесс развития отдельных ветвей российской ботанической науки — альгологии, лихенологии, бриологии, который распространился по многим научным центрам нашей страны.

А.А. Еленкин родился в семье военного инженера, дворянин по происхождению. Окончил 1-ю Варшавскую гимназию (1893) и поступил на естественное отделение физико-математического факультета Варшавского университета. В годы учебы с 1893 по 1897 под руководством В.И. Беляева занимался изучением анатомии и физиологии растений. Одновременно (1893-1896) под руководством А.А. Фишера фон Вальдгейма Еленкин изучает флору споровых и цветковых растений Ойцовской долины Келецкой губернии (Польша), богатую редкими и реликтовыми растениями. Его конкурсное сочинение «Флора Ойцовской долины» (опубл. 1901) удостоено золотой медали Варшавского университета. В работе даны список грибов (266 видов), высших споровых (21), голосеменных (5), покрытосеменных (724), геоботанический очерк. В современных реалиях трудно представить себе кандидатскую диссертацию, которая была бы столь детальна и всеобъемлюща. По окончании университета Еленкин остаётся ассистентом на кафедре систематики и морфологии растений (до 1898 г.) (Липшиц, 1950). В 1896 г. А.А. Фишер фон Вальдгейм становится директором Ботанического сада в Санкт-Петербурге. Вступив в должность, он «был огорчен состоянием гербария споровых растений, выписал талантливого студента (Еленкина) на заведывание гербарием» (Штина, Гецен, 1997). В 1899 г. Еленкин приступает к работе в Ботаническом саду в должности младшего консерватора и заведующего споровым гербарием. Вся его дальнейшая трудовая деятельность связана с Ботаническим садом, который был в 1931 году преобразован в Ботанический институт. В начале 1900-х годов А.А. Еленкин совершает многочисленные экспедиции на Кавказ, в Крым, в Саяны, по Средней России, в Мурманскую область, на оз. Селигер, Черноморское побережье, в Московскую область.

С 1906 по 1913 гг. Еленкин заведует фитопатологической станцией. В этот период он публикует работы по болезням крыжовника, хвойных пород, луковиц тюльпанов, совместно со своим учеником и мужем своей сестры И.А. Олем.

За плодотворный труд и совокупность работ по споровым растениям в 1908 г. А.А. Еленкин награжден золотой медалью им. Великого князя Александра Михайловича Императорским обществом естествоиспытателей.

В 1913 г. гербарий был преобразован в Институт споровых растений и с этого года А.А. Еленкин работает здесь вначале в должности заведующего, а с 1932 г. и до конца своих дней — старшего ученого-специалиста.

В 1919 г. Еленкин становится преподавателем Петроградского университета, где он организовал специальный альгологический практикум, читал курс альгологии, а в дальнейшем вел большой практикум и семинар по мхам и лишайникам. Став сотрудником университета А.А.

Еленкин привлек к работе ряд студентов. Одним из первых был Афанасий Николаевич Данилов, который выпустил цикл работ по пигментам и клеточным включениям у водорослей, по биологии водорослей — компонентов лишайников. После университета А.Н. Данилов продолжил работать с Еленкиным и занимался экспериментальной физиологией водорослей и лишайников. Также учениками Еленкина становятся участники студенческого кружка Всеволод Павлович Савич и Леонтий Григорьевич Раменский. Савич посвятил себя изучению лишайников, Раменский — геоботанике и экологии растений.

В 1920-х параллельно с научной деятельностью А.А. Еленкин работает в Гидрологическом институте, занимает должность профессора кафедры при сельскохозяйственных Камменноостровских курсах (1919-1921), руководит экскурсиями Павловской экскурсионной станции (1919-1930). В этот период у А.А. Еленкина появилось несколько учеников. Одной из них стала Лидия Ивановна Савич-Любицкая. Начав работать как препаратор по разбору коллекции Камчатской экспедиции она освоила определение мхов и стала ведущим специалистом по этой группе в России. Впоследствии Лидия Ивановна воспитала плеяду российских бриологов, которые явились основателями региональных школ.

Впервые свое пристальное внимание водорослям А.А. Еленкин уделяет в работе по изучению морских экосистем (1906), но поворотным моментом к углубленному изучению пресноводных и наземных водорослей стала обработка коллекции, собранная в Камчатской экспедиции (1908-1909) и опубликованная в 1914 г. В ней А.А. Еленкин уделил особое внимание термофильным видам. Заинтересовавшись всеми группами водорослей, в дальнейшем он сосредотачивает свое внимание на синезеленых и посвятил все силы их изучению. Одной из учениц Еленкина, связавших свою профессиональную деятельность с альгологией, была Екатерина Константиновна Косинская. Она начала работать под руководством Еленкина в 1918 году, пройдя у него большой практикум в университете. Е.К. Косинская внесла большой вклад в обработку Scytonemataceae для монографии «Синезеленые водоросли СССР».

С изучения синезеленых водорослей началась научная карьера двух учеников Еленкина — Владимира Ивановича Полянского и Максимилиана Максимилиановича Голлербаха, которые вступили на трудовой путь в 1920 г. на Павловской экскурсионной станции, будучи 14-летними школьниками. Оба стали работать с Еленкиным и выросли в прекрасных известнейших ученых, внесших огромный вклад в альгологию. М.М. Голлербах рассказывал, что налета водорослей, который он соскоблil с железной крыши во время совместной с Еленкиным экскурсии в Павловском парке оказалось достаточным, чтобы на всю жизнь приковать его к водорослям (Штина, Гецен, 1997).

В 1934 г. Еленкину присуждают степень доктора биологических наук без защиты диссертации, в 1939 — утверждают в звании профессора по специальности «Ботаника».

Работая в Ботаническом саду и Ботаническом институте, Александр Александрович выступал редактором многочисленных периодических изданий, издал 279 научных работ.

В 1942 г. Еленкин вместе с большинством сотрудников БИНа был эвакуирован из Ленинграда в Казань. 19 апреля 1942 г. на 69 году Александр Александрович ушел из жизни. В некрологе В.П. Савич пишет: «Лета, здоровье и жизненные привычки А.А. не дали ему сил перенести временные невзгоды беженца... ушел от нас большой человек, всесторонне образованный, одержимый жаждой научного труда и научной деятельности» (Савич, 1944).

Влияние Еленкина на дальнейшее развитие отечественной альгологии не прекратилась, и его ученики сумели довести до издания третий том монографии по синезеленым водорослям, а также издать на ее основе «Определитель пресноводных водорослей СССР» (1953).

Как мы видим сегодня — творчество Еленкина продолжает быть востребованным и приносить пользу все новым и новым поколениям альгологов, а это лучший «знак качества» трудов большого ученого.

Липшиц С.Ю. (1950): *Русские ботаники. Биографо-библиографический словарь.* — М. — Т. 3. — С. 244–256.

Титов А. Н. (2008): Профессор А. А. Еленкин — основатель лихенологической школы России — Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: Материалы всероссийской конференции (Петрозаводск, 22—27 сентября 2008 г.). Часть 2: Альгология. Микология. Лихенология. Бриология. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. — С. 246-249.

Савич В. П. (1944): Памяти проф. А. А. Еленкина (1873—1942). *Советская ботаника*. 1: 60-63.  
Штина Э.А., Гецен М.В. (1997): *Максимилиан Максимилианович Голлербах (к 90-летию со дня рождения)*. — Киров-Воркута, 1997. — 38 с.

С.Г. Аверина<sup>1</sup>, Н.Р. Колган<sup>1</sup>, Е.Ю. Полякова<sup>2</sup>,  
Е.В. Сенатская<sup>1</sup>, А.В. Пиневиц<sup>1</sup>

## НОВЫЕ ТАКСОНЫ ОДНОКЛЕТОЧНЫХ ЦИАНОБАКТЕРИЙ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ CALU САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

S.G. Averina<sup>1</sup>, N.R. Kolgan<sup>1</sup>, E.Yu. Polyakova<sup>2</sup>,  
E.V. Senatskaya<sup>1</sup>, A.V. Pinevich<sup>1</sup>

## NEW TAXA OF UNICELLULAR CYANOBACTERIA FROM THE CALU COLLECTION OF ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, s.averina@spbu.ru

<sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия, polyakova.e.yu@gmail.com

Род *Synechocystis* (Sauvageau, 1892) представлен мелкими одиночными одноклеточными цианобактериями сферической формы, лишенными чехлов или капсул, встречающимися в различных местообитаниях, осуществляющими размножение бинарным делением со сменой двух последовательных перпендикулярных плоскостей. Типовым видом рода является *S. aquatilis*; в составе рода описано 24 вида, отличающихся по размерам клеток и экологии (Komárek, Anagnostidis, 1998; Guiry, Guiry, 2023). Ограниченный набор морфологических признаков, мелкие размеры клеток затрудняют работу с данными объектами. Форма-род *Synechocystis*, рассматривающийся в «Руководстве Берги по систематике прокариот» (Castenholz, 2001), был разделен на три кластера, в соответствии с размерами клеток, физиологическими свойствами и особенностями генома. По результатам полифазного анализа представители кластера 1 позже были выделены в новый род *Geminocystis* (Korelusova et al., 2009), в составе которого описаны два вида: *G. herdmanii* и *G. papuanica*. Анализ последовательностей гена 16S рРНК и ITS рибосомного оперона для выборки из одиннадцати культивируемых штаммов, относящихся к различным видам рода *Synechocystis* (Juteršek et al., 2017), указывал на полифилетичность этого рода. Согласно современным геномным данным представители родов *Synechocystis* и *Geminocystis* входят в состав различных семейств (Microcystaceae и Geminocystaceae, соответственно) пор. Chroococcales (Strunecký et al., 2023). На основе анализа штаммов из коллекции CALU, морфологически сходных с представителями р. *Synechocystis*, нами был описан новый род *Altericista*, включающий три новых вида: *A. lacusladogae*, *A. violacea* и *A. variichlora* (Averina et al., 2021).

В результате работы с накопительными культурами из проб обрастаний и воды водоемов нами были выделены новые штаммы одноклеточных цианобактерий, относящиеся к родам *Geminocystis* и *Altericista*. Штаммы поддерживаются на жидкой и агаризованной (1,2%) минеральной среде BG11 при температуре 20-22°C и освещении лампами белого света интенсивностью 10 мкмоль·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>. Новые штаммы депонированы в коллекции CALU ресурсного центра «Культивирование микроорганизмов» (<https://researchpark.spbu.ru/collection-ссем-рус/1628-ссем-коллекция-calu-рус>) Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета как *Altericista* sp. CALU 1939, CALU 1940, CALU 1942 и CALU 1943 и *Geminocystis* sp. CALU 1946.

Уровень сходства последовательности гена 16S рРНК штамма *Altericista* sp. CALU 1939 с последовательностями *A. lacusladogae* составляет 99,8%. Морфологические характеристики данного штамма, его пигментный состав и характер роста в лабораторных условиях в совокупности с результатами молекулярно-филогенетического анализа позволяют отнести штамм CALU 1939 к виду *A. lacusladogae*. Штаммы CALU 1940, CALU 1942 и CALU 1943 имели сходные морфологические характеристики с известными видами рода *Altericista*, однако уровень сходства их последовательностей 16S с данными из GenBank составлял 96,6–98,1%, что свидетельствует о возможной принадлежности этих штаммов к новым видам. При этом штаммы CALU 1940 и CALU 1942 имеют уровень взаимного сходства последовательностей, равный 99,5%, и могут рассматриваться как различные штаммы одного нового вида, а штамм CALU 1943, вероятно, относится к другому виду. Выделение двух новых предполагаемых видов в составе р. *Altericista*

часто сопутствуют выделяемой ДНК и могут ингибировать основные ферменты, используемые для приготовления библиотек ДНК, необходимых для секвенирования.

Современные методы высокопроизводительного секвенирования включают различные технологии, принципиально разделяемые на секвенирование II-го, в ходе которого получают относительно короткие прочтения, 100-600 п.н. с низким количеством ошибок, а также III поколения, которое позволяет читать достаточно длинные участки ДНК (2,3 млн п.н. документально подтвержденный рекорд, Payne *et al.*; 4,2 млн п.н. — согласно сайту nanoporetech.com, ссылающемуся на заявления в Twitter), сопоставимые по длине с размерами прокариотических геномов. При этом наиболее качественные «сборки» геномов получаются при комбинировании этих двух технологий.

Нами было проведено секвенирование нескольких штаммов цианобактерий из коллекции IPPAS Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева с использованием комбинаций методов Illumina, полупроводникового секвенирования, а также Oxford Nanopore. В настоящее время «закольцованы» геномы и плазмидные ДНК штаммов IPPAS B-1200, IPPAS B-1201, IPPAS B-1204, IPPAS B-1220, проведен их сравнительный анализ с геномами родственных цианобактерий.

Payne, A., Holmes, N., Rakyar, V. & Loose, M. BulkVis: a graphical viewer for Oxford nanopore bulk FAST5 files. *Bioinformatics* (2018) doi:10.1093/bioinformatics/bty841

<https://nanoporetech.com/about-us/news/blog-kilobases-whales-short-history-ultra-long-reads-and-high-throughput-genome>

Е.Н. Патова<sup>1</sup>, И.В. Новаковская<sup>1</sup>, Е.С. Гусев<sup>2</sup>, Д.М. Шадрин<sup>1</sup>, М.Д. Сивков<sup>1</sup>

## **РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОЧВЕННЫХ КОРКАХ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ УРАЛА НА ОСНОВЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И МЕТАГЕНОМНЫХ ПОДХОДОВ**

E.N. Patova<sup>1</sup>, I.V. Novakovskaya<sup>1</sup>, E.S. Gusev<sup>2</sup>, D.M. Shadrin<sup>1</sup>, M.D. Sivkov<sup>1</sup>

## **DIVERSITY OF CYANOBACTERIA IN BIOLOGICAL SOIL CRUSTS OF THE NORTHERN REGIONS OF THE URALS ON THE BASIS OF MORPHOLOGICAL AND METAGENOMIC APPROACHES**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия  
patova@ib.komisc.ru

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

В горных регионах биологические почвенные корки (Biological soil crust — BSC), сформированные широким спектром прокариотных и эукариотных организмов, являются доминирующими первичными продуцентами на оголенных криогенных субстратах. Цианобактерии — важный функциональный компонент таких криптогамных сообществ. Цель исследования — обобщение сведений по таксономическому и структурному разнообразию сообществ цианобактерий BSC с применением традиционных морфологических подходов и подходов ДНК-метабаркодинга. Видовое разнообразие цианобактерий выявлено методами прямой микроскопии свежесобранных образцов, культуральными методами и методами анализа тотальной ДНК с использованием ДНК-метабаркодинга. Впервые на основе морфологических и метагеномных подходов получены сведения о таксономическом разнообразии сообществ фототрофных микроорганизмов различных вариантов биологических почвенных корок горных на криогенных пятнах в разнообразных горно-тундровых сообществах северных районов Урала. На основе морфологических подходов в BSC, собранных в разных вариантах горно-тундровых сообществ на территории северных регионов Урала обнаружено 135 видов цианобактерий. На основе высокопроизводительного секвенирования ампликонов 16S рДНК прокариот для 8 разных вариантов BSC, собранных на экологическом профиле в горных тундрах Урала, было идентифицировано 1704 нуклеотидных последовательностей (н.п.) различных эукариотических организмов. Для Cyanobacteria было выявлено 196 н.п., из которых идентифицировано 29 таксонов, остальные последовательности возможно представляют новые для науки виды, что требует тщательного дальнейшего анализа полученных данных. К ведущим по числу видов относятся роды *Aphanothece*, *Calothrix*, *Chroococcus*, *Gloeocapsa*, *Leptolyngbya*, *Phormidium*, *Stigonema*, *Nostoc*, *Tolypothri*. Необходимо отметить, что в списке лидирующих таксонов в основном отмечены представители родов, формирующих



доминантные комплексы BSC. Число таксономических единиц различалось для разных типов BSC и составляло от 9 до 22 видов.

Сочетание двух подходов классического, основанного на морфологических признаках, и ДНК-метабаркодирования с выделением тотальной ДНК из почвы с последующим ее анализом позволило расширить представления о разнообразии основных функциональных групп фотосинтезирующих организмов, формирующих основу сообществ пионерной растительности в горных тундрах. Всего в биологических почвенных корках из разных горных сообществ северных регионов Урала выявлено 158 таксонов (рангом ниже рода). Среди цианобактерий выделены доминантные и индикаторные таксоны, формирующих горную микробиоту BSC.

*Финансирование. Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ № 22-24-00673 (<https://rscf.ru/project/22-24-00673/>) и № 21-14-00029 (<https://rscf.ru/project/21-14-00029/>).*

О.А. Родина<sup>1</sup>, К.В. Сазанова<sup>2</sup>, А.А. Вильнет<sup>1</sup>, Д.А. Давыдов<sup>1</sup>,  
А.Л. Шаварда<sup>2</sup>, Д.Ю. Власов<sup>2</sup>

### **МЕТАБОЛОМ ЛИТОБИОНТНЫХ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ГОРЫ АЙКУАЙВЕНЧОРР (ХИБИНЫ, МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

O.A. Rodina<sup>1</sup>, K.V. Sazanova<sup>2</sup>, A.A. Vilnet<sup>1</sup>, D.A. Davydov<sup>1</sup>, A.L. Shavardra<sup>2</sup>, D.Yu. Vlasov<sup>2</sup>

### **METABOLOM OF LITOBIONT CYANOBACTERIAL COMMUNITIES OF AIKUAIVENCHORR MOUNTAIN (KHIBINY, MURMANSK REGION)**

<sup>1</sup>Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия,  
o.rodina@ksc.ru, a.vilnet@ksc.ru, d.davydov@ksc.ru

<sup>2</sup>Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия,  
KSazanova@binran.ru, shavarda@binran.ru, dmitry.vlasov@mail.ru

Литобионтные сообщества интересны своей геохимической активностью, так как вовлечены в такие значимые процессы, как выветривание горных пород и первичное почвообразование. Литобионтные организмы обеспечивают рециркуляцию основных органических элементов, таких как углерод и азот (Rousk, Bengtson, 2014). Рост микроорганизмов на поверхности горных пород, как правило, происходит в биоплёнках. В их состав, кроме самих микроорганизмов (водоросли, бактерии, грибы, лишайники, простейшие), входят внеклеточные вещества — продукты жизнедеятельности микробного сообщества (Berdoulay, Salvado, 2009). Надорганизменные системы (сообщества организмов) остаются практически неизученными на уровне метаболома. Системный анализ метаболитной сети является ключевым для исследования процессов адаптации организма к условиям окружающей среды. Актуальность изучения состава цианобактерий и их метаболизма связана с тем, что они являются одним из основных компонентов литобионтных биопленок и способны первыми колонизировать открытые поверхности горных пород в различных условиях.

Целью данной работы является выявление видового состава и пространственного распределения метаболитов цианобактериальных обрастаний на поверхности обнажений горных пород горы Айкуайвенчорр.

Всего было отобрано и изучено 10 проб различных литобионтных биопленок с поверхности каменистого субстрата на горе Айкуайвенчорр в двух точках: ущелье «Городская щель» (67°37'11.9432", 33°42'20.8530") — склон западной экспозиции и на склоне северо-западной экспозиции близ ул. Кольская (67°37'38.2592", 33°41'51.1026"). Пробы отбирали в стерильные полиэтиленовые пакеты. Идентификация видов проводилась с использованием световой микроскопии по морфологическим признакам по классическим определителям (Голлербах и др., 1953; Komárek, Anagnostidis and Komárek, 2008a; 2008b; Komárek and Komárek 2013). Состав прокариот некоторых проб был изучен с помощью метагеномного анализа по 16S рРНК. Для анализа метаболома пробы биопленок экстрагировали метанолом. Экстракты выпаривали до сухого остатка, растворяли в пиридине и получали ТМС (триметил-силил-производные) соединений. Анализ выполняли методом газовой хроматографии / масс — спектрометрии (ГХ-МС) на приборе Maestro instrument (Interlab, Russia) с детектором Agilent 5975. Колонка HP-5MS, 30 m X 0.25 mm X 0.25 µm. Хроматограммы были записаны по полному ионному току. Статистический

анализ был выполнен в программе MetaboAnalyst ([https:// www.metaboanalyst.ca](https://www.metaboanalyst.ca)).

По морфологическим признакам всего было выявлено 15 таксонов цианобактерий ранга ниже рода: *Aphanocapsa cf. muscicola*, *Aphanocapsa cf. reinboldii*, *Aphanocapsa sp.*, *Aphanothece sp.*, *Chalicogloea sp.*, *Chlorogloea sp.*, *Gloeocapsa kuetzingiana*, *Gloeocapsopsis magma*, *Leptolyngbya sp.*, *Microcoleus cf. autumnalis*, *Nostoc commune*, *Nostoc sp.*, *Oscillatoria tenuis*, *Stigonema minutum*, *Tolypothrix tenuis*. Данные метагеномных исследований показывают доминирование цианобактерий в изученных сообществах от 48 до 75 % от числа всех прокариот. Выявлено 19 родовых таксонов. При этом некоторые таксоны, которые были определены классическими методами, не были выявлены метагеномным анализом. Это может быть связано с методическими сложностями на разных этапах исследования: от момента выделения ДНК до сравнения с референсной базой, в которой может оказаться недостаточное количество данных. Тем не менее, сочетание различных методов дает возможность наиболее объективно оценить разнообразие прокариот в литобионтном сообществе.

Результаты ГХ-МС анализа образцов показали присутствие во всех пробах моно-, ди- и трисахаров, гликозидов, полиолов, сахарокислот, жирных кислот, кислот цикла Кребса, терпенов (фитол и неофитадиен), фенольных соединений (бензойная кислота, токоферол, 1,3-дигидроксиантрахинон, бензальдегид, гидроксихинон), стеринов и алкалоидов (оксид кариофиллена). В большинстве проб содержалось азотистое основание уридин. Ряд соединений не был идентифицирован. В целом пробы характеризовались высоким содержанием сахаров, сахарокислот и гликозидов. Доминирующими моносахарами были глюкоза, фруктоза и манноза. Среди дисахаров были идентифицированы сахароза, трегалоза и генциобиоза, преобладала среди выявленных дисахаридов сахароза. Трисахариды не были идентифицированы с точностью до соединения. Главным образом пробы отличаются по количественному составу сахаров и их соотношению. Как правило, в темноокрашенных биопленках преобладает трегалоза и сахароза.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 21-14-00029.*

- Голлебах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. (1953): Синезеленые водоросли/Определитель пресноводных водорослей СССР. — М., Вып. 2. — 653 с.
- Berdoulay, M. & Salvado J. C. (2009): *Genetic Characterization of Microbial Communities Living at the Surface of Building Stones*. — *Letters in Applied Microbiology* 49 (3): 311–16.
- Komárek, J., Anagnostidis, K., & Komárek, J. (2008a): *Chroococcales*. — Unaltered repr. Cyanoprokaryota, Heidelberg, Spektrum Akad. Verl., 548 pp.
- Komárek, J., Anagnostidis, K., & Komárek, J. (2008b): *Oscillatoriales*. — Unaltered repr. Cyanoprokaryota, Heidelberg, Spektrum Akad. Verl., 759 pp.
- Komárek, J. & Komárek, J. (2013): *Heterocytous Genera*. — Cyanoprokaryota, Teil 3. Berlin Heidelberg, Springer-Spektrum, 1130pp.
- Rousk, J.; Bengtson, P. (2014): *Microbial regulation of global biogeochemical cycles*. — *Frontiers in Microbiology* 5(225):103.

О.А. Родина, И.А. Чернышова, Б.А. Шевченко,  
Д.Д. Снарская, О.В. Франк-Каменецкая

### **БИОМИНЕРАЛИЗАЦИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЦИАНОБАКТЕРИЙ В ОБОГАЩЕННЫХ КАЛЬЦИЕМ РАСТВОРАХ**

O.A. Rodina, I.A. Chernyshova, B.A. Shevchenko,  
D.D. Snarskaya, O.V. Frank-Kamenetskaya

### **BIOMINERALIZATION WITH CYANOBACTERIA IN CALCIUM ENRICHED SOLUTIONS**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,  
oksid93@bk.ru, i.a.chernyshova@yandex.ru, vvku2761@gmail.com,  
dina.snarskaya@spbu.ru, ofrank-kam@mail.ru

Цианобактерии — это группа бактерий, способных фиксировать углекислый газ и использовать его в процессе фотосинтеза с дальнейшим выделением кислорода (Whitton, Potts, 2012). Известно, что цианобактериальные сообщества способствуют образованию карбонатов кальция (в первую очередь, кальцита и арагонита), а также фосфатов (Астафьева и др., 2021) и ряда других минералов. Карбонатообразование под действием цианобактериальных сообществ является значимым процессом в биогеохимическом цикле углерода в экосистемах (Kamennaya