

Новые данные о цианобактериях и водорослях Дальнего Востока России

Р. З. Аллагуватова¹, А. Ю. Никулин^{1*}, В. Ю. Никулин¹,
В. Б. Багмет¹, В. В. Шохрина¹,
А. С. Стерлягова², Л. А. Гайсина³, Ш. Р. Абдуллин¹

¹Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН
г. Владивосток, Российская Федерация, 690022

²Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация, 690922

³Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы
г. Уфа, Российская Федерация, 450008

*E-mail: artyrozz@mail.ru

Аннотация. Приводятся данные по четырём новым для российского Дальнего Востока видам: Cyanobacteria – *Stenomitos tremulus*, Chlorophyta – *Bracteacoccus bullatus*, *Chromochloris zofingiensis*, *Tetradesmus bajacalifornicus*, выявленным с применением полифазного подхода в почвах и грунтах вулканов Шивелуч, Мутновский, седловины Авачинского и Корякского вулканов (Камчатский край, Россия). *T. bajacalifornicus* является также новым таксоном для территории РФ.

Ключевые слова: Cyanobacteria, Chlorophyta, новые находки, полифазный подход, Камчатский край, вулканы.

Введение

Вулканическая деятельность — мощный экологический фактор, способный вызывать резкие изменения в окружающих экосистемах. Особенности воздействия вулканических процессов на живые организмы имеют большое теоретическое и практическое значение. Пеплы вулканов представляют собой экстремальные условия местообитания, и среди микроорганизмов, в том числе цианобактерий и водорослей, попадающих в пепел из воздуха, с атмосферными осадками и во время снеготаяния, могут выжить только те, что имеют экономичный метаболизм и адаптированы к такой среде [Штина и др., 1992].

Исследования биоразнообразия цианобактерий и водорослей вулканов проводятся в различных странах [Gomez-Alvarez et al., 2007; Mueller-Dombois, Boehmer, 2013; и др.]. В России состав видов данных организмов анализировался на вулканах Тятя, Головина, Менделеева (остров Кунашир), Мутновский, Горелый, Толбачик (Камчатка) [Штина и др., 1992; Гайсина, 2013; Кунсбаева и др., 2019], в лавовых пещерах Погибшая и Гончарова, располагающихся на юго-восточном склоне вулкана Горелый (Камчатка) [Abdullin, 2013]. Однако биоразнообразие микроскопических фототрофов на

вулканах в России остаётся недостаточно исследованным. Поэтому цель нашей статьи — представить новые данные по видовому разнообразию цианобактерий и водорослей с некоторых вулканов Камчатки с использованием полифазного подхода.

Физико-географическая характеристика района исследования

Шивелуч — самый северный, один из крупнейших и наиболее активных вулканов Камчатки. Вулканический массив Шивелуч высотой 3283 м и площадью основания более 1600 км² расположен на северной оконечности Курило-Камчатской дуги и включает три основных структуры: вулкан Старый Шивелуч, древнюю кальдеру и активный вулкан Молодой Шивелуч. Периодические умеренные извержения (в 1993, 2001, 2004 гг. и др.) сопровождались обрушениями частей купола, пеплопадами, сходом раскалённых лавин и пирокластических потоков. Из-за особенностей морфологии вулкана основные направления схода раскалённых пирокластических потоков и волн ориентированы в направлении южных склонов Шивелуча. Значительная часть изверженных материалов устремляется по долинам «сухих» речек: р. Байдарная в юго-западном секторе вулкана, а также р. Кабеку в юго-восточном секторе. Как следствие, рельеф прирусловых частей долин крайне динамичен, однако нижние террасы были стабильны последние сотни лет, судя по лесной растительности [Действующие ..., 1991а].

Вулкан Мутновский — один из активных вулканов юга Камчатки, расположенный в 70–80 км от г. Петропавловска-Камчатского и в 25–30 км от берега Тихого океана, образован четырьмя слившимися между собой стратовулканами позднеплейстоценового — голоценового возраста. Все они сложены преимущественно низкокальциевыми и известково-щелочными базальтами. Максимальная высота вулкана 2324 м, подножие располагается на отметках 500–1000 м [Действующие ..., 1991б].

Вулкан Авачинский — действующий андезитовый стратовулкан сложной постройки типа Сомма–Везувий, высотой 2751 м. Наряду с Корякским, Авачинский расположен в непосредственной близости от городов Петропавловск-Камчатский и Елизово, представляя реальную угрозу для населения [Действующие ..., 1991б].

Вулкан Корякский является типичным андезибазальтовым стратовулканом правильной формы высотой 3456 м. На его склонах и у подножия отчётливо выражены в рельефе многочисленные мощные глыбовые лавовые потоки и шлаковые конусы побочных извержений. Активность вулкана, как правило, сохраняется длительное время на одном уровне [Действующие ..., 1991б].

Материалы и методы

На вулкане Шивелуч в августе 2018 г. были отобраны пробы грунта и почвы с тепловых пятен и вулканической пустыни (пирокластические отложения) (56°33.763' N, 161°8.34' E), участка погибшего леса каменной берёзы вдоль русла реки Байдарная (56°33.98' N, 161°8.41' E). Отборы проб на вулкане Мутновский (52°31.207' N, 158°09.911' E) и на седловине Авачинского и Корякского вулканов (53°20.096' N, 158°49.554' E) выполнены в августе 2020 г. Отбор проб проводился с использованием классических методов [Голлербах, Штина, 1969].

Для получения накопительных культур на чашки Петри со стерильной модифицированной средой Waris-H [McFadden, Melkonian, 1986] и модифицированной средой Болда с утроенным содержанием азота с добавлением витаминов [Starr, Zeikus, 1993] помещали почвенную пробу массой не более 1 г и осуществляли культивирование. Накопительные культуры регулярно проверяли на рост водорослей с использованием инвертированного микроскопа (СК30, Olympus, Токио, Япония) с максимальным увеличением 400х.

Для более полного выявления видového разнообразия использовали метод «стёкол обрастания» [Голлербах, Штина, 1969]. В стерильные чашки Петри помещали пробы, увлажнённые фильтрованной водой до 80% от полной влагоёмкости. На поверхность субстрата помещали стерильные покровные стекла (2 штуки на чашку).

Чистые культуры были выделены микропипеточным способом [Andersen, 2005] и культивировались в модифицированной жидкой питательной среде Waris-H [McFadden, Melkonian, 1986]. Культуры цианобактерий и зелёных водорослей хранились при освещённости 117–120 люкс, температуре 24.9 °C, влажности 16 % и при чередовании световой и темновой фаз 16 : 8 ч.

Морфологию цианобактерий и водорослей исследовали с использованием светового микроскопа Olympus BX 53 (Japan), оборудованного оптикой Nomarski DIC. Микрофотографии выполняли при помощи фотокамеры Olympus DP27 при увеличении $\times 1000$. Для видовой идентификации по морфологическим признакам использовали сводки и определители [Царенко, 1990; Андреева, 1998; Komárek, Anagnostidis, 2005]. Систематика цианобактерий и водорослей составлена согласно М. Д. и Г. М. Гюри [Guiry, Guiry, 2021].

Для выделения ДНК клеточную биомассу отбирали на экспоненциальной фазе роста и концентрировали центрифугированием. Общая геномная ДНК выделялась согласно методу Ц. С. Эхта с соавт. [Echt et al., 1992] с модификациями К. В. Киселева с соавт. [Kiselev et al., 2015]. Амплификацию маркерных участков проводили методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) в амплификаторе T100 Thermal Cycler (Bio-Rad Laboratories, Inc., USA) с набором Encyclo Plus (Евроген, Москва, Россия). Для генотипирования зелёных водорослей амплифицировался высоко-

вариабельный и информативный маркер – внутренний транскрибируемый спейсер ядерной рибосомной ДНК (ITS-региона ярдНК) с использованием праймеров Bd18SF1 (5'-TTTGTACACACCGCCCGTCGC-3') и ITS4R (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3'). Генотипирование цианобактериального штамма осуществлялось на основании фрагмента гена 16S рРНК, праймеры 27F (5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') и 1492R (5'-GGTTACCTTGTTACGACTT-3'). Процесс осуществлялся в амплификаторе T100 Thermal Cycler (Bio-Rad Laboratories, Inc., USA) с набором Encyclo Plus (Евроген, Москва, Россия). Продукты ПЦР секвенировали в обоих направлениях с использованием генетического анализатора ABI 3500 (Applied Biosystems, USA) с набором для секвенирования BigDye Terminator v. 3.1 (Applied Biosystems, Maryland, USA) и теми же праймерами, которые использовались для ПЦР. Последовательности были собраны с помощью пакета Staden v.1.4 [Bonfield et al., 1995]. Все вновь полученные последовательности сравнивались с другими штаммами, доступными в Национальном центре биотехнологической информации (NCBI, Bethesda, USA) с помощью поиска BLAST [<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>] для определения и подтверждения их видовой принадлежности.

Результаты и обсуждение

В результате предварительных исследований на вулканах Камчатки выявлено 4 новых для российского Дальнего Востока вида цианобактерий и водорослей, относящихся к 4 родам, 4 семействам, 2 порядкам, 2 классам и 2 отделам: Cyanobacteria — 1 вид, Chlorophyta — 3 вида (табл.). *Tetradesmus bajacalifornicus* L. A. Lewis & Flechtner является новым видом для России.

Cyanobacteria

Stenomitos tremulus (J. R. Johansen & Casamatta) Miscoe & J. R. Johansen (рис. А, В).

Нитчатая цианобактерия. Ширина клеток составляет от 1.1 до 1.8 мкм, длина — 1.5–2.8 мкм. Концевые клетки имеют коническую или слегка закруглённую форму. Нити при большом скоплении образуют мат синезелёного цвета.

BLAST-анализ последовательности гена 16S рРНК исследованного штамма показал, что процент сходства с последовательностями *S. tremulus*, доступными в GenBank, довольно высок и варьирует от 99.0 до 99.23 % (EF654082, AF218371 соответственно; табл.).

Впервые вид был описан под названием *Pseudanabaena tremula* J. R. Johansen & Casamatta из пробы бентоса в пресноводном водоеме [Casamatta et al., 2005]. В России штаммы *S. tremulus* были выделены с вертикальной влажной скальной стенки в ущелье Айкуайвенчорр в Хибинах (Мурманская область; КРАВГ-3983) и в пятнистой каменисто-лишайниковой тундре около оз. Грубепендиты на Приполярном Урале (СΥΚΟΑ-С-015-09) [Давыдов и др., 2020].

Табл. Результаты генотипирования новых штаммов водорослей и цианобактерий из грунтов и почв вулканов Шивелуч (SH), Мутновский (MUT) и седловины между Авачинским и Корякским вулканами (А-К) при помощи BLAST-алгоритма.

Tab. Results of genotyping of new algal and cyanobacterial strains from grounds and soils of Shiveluch (SH), Mutnovsky volcanoes (MUT), and the saddle between the Avachinsky and Koryaksky volcanoes (A-K) using the BLAST algorithm.

№ п/п	Таксономическая принадлежность штамма	% идентичности	Референсная последовательность(и) из Genbank	Вулканы Камчатки
	Cyanobacteria Cyanophyceae Synechococcales Leptolyngbyaceae			
1.	<i>Stenomitos tremulus</i> (J. R. Johansen & Casamatta) Miscoe & J. R. Johansen	99.23	AF218371	MUT
	Chlorophyta Chlorophyceae Sphaeropleales Bracteacoccaceae			
2.	<i>Bracteacoccus bullatus</i> Fučíková, Flechtner & Lewis	100	JQ281883	SH
	Chromochloridaceae			
3.	<i>Chromochloris zofingiensis</i> (Dönz) Fuciková & L. A. Lewis	99.21	KJ676123; GU827478; GU827477; MT858358	A-K
	Scenedesmaceae			
4.	<i>Tetradesmus bajacalifornicus</i> L. A. Lewis & Flechtner	99.51	KT778110; KT778111; KT778115; KT778116; KT778119	SH

Chlorophyta

Bracteacoccus bullatus Fučíková, Flechtner & Lewis (рис. С, D).

Сферические клетки диаметром 6.7–31.1 мкм. Оболочка тонкая, утолщается при старении до 1.3 мкм. Хлоропласты от двух до многих, мелкие, пристенные и внутренние. Имеется пузыревидное утолщение стенки (иногда даже 2) и бурые капли масла в клетках старых культур. Бесполое размножение апланоспорами неправильной или сферической формы.

По данным BLAST-анализа ITS-региона ярдНК штамм был идентичен *B. bullatus* SAG 2032 (JQ281883) из почв Германии (табл.). В результате ревизии рода *Bracteacoccus* Tereg Фучиковой с соавт. [Fučíková et al., 2012] данный вид был выделен на основе данных молекулярной филогении (маркеры *cox1*, ITS2 и *rbcL*). Проценты сходства с остальными 8 последовательностями этого вида из разных коллекций варьировали от 98.72

до 99.82 %, что свидетельствует о некоторой полиморфности быстро эволюционирующего участка ярдНК в пределах вида.

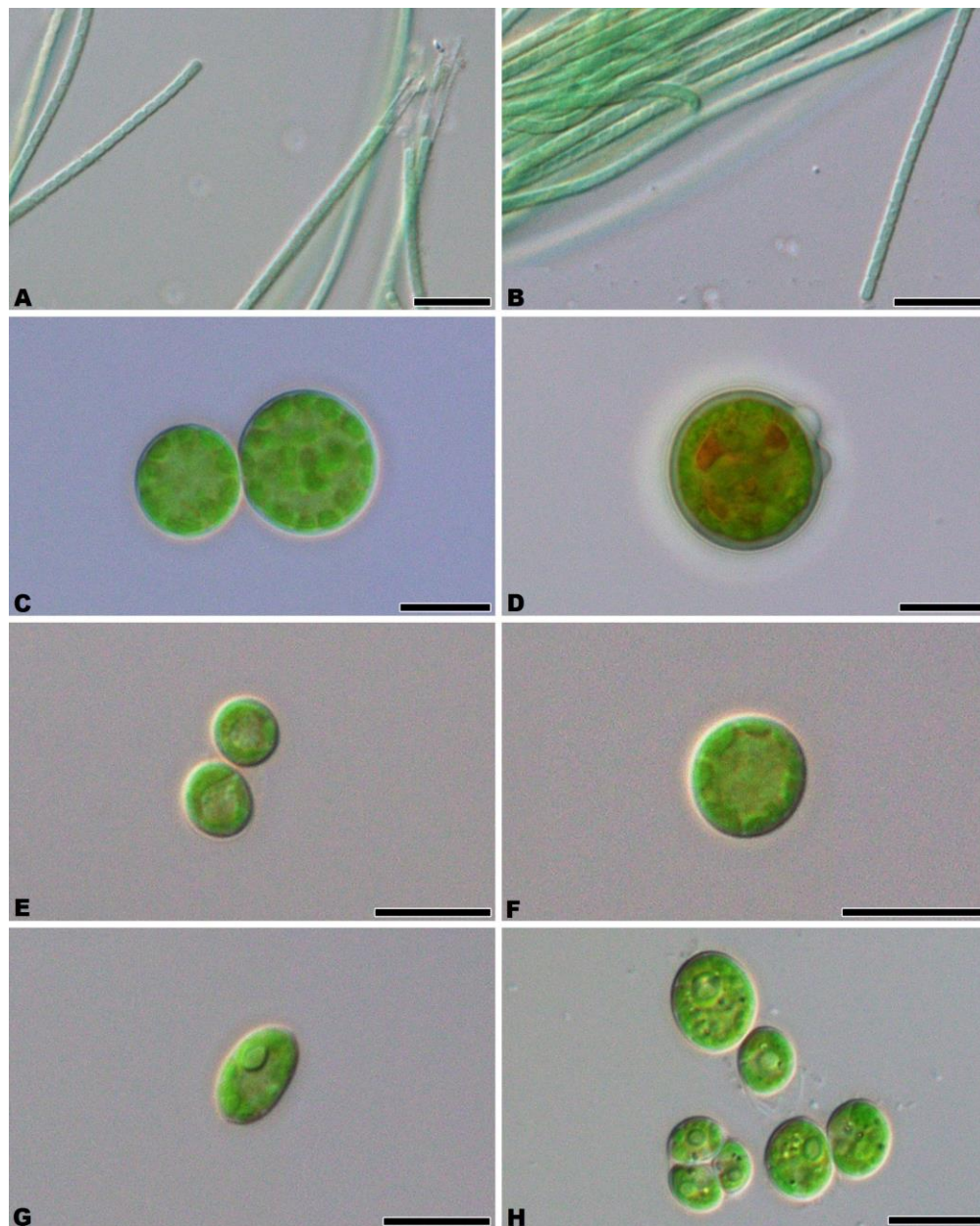


Рис. Микрофотографии выявленных видов цианобактерий и водорослей: А, В — *Stenomitos tremulus*; С, D — *Bracteacoccus bullatus*; Е, F — *Chromochloris zofingiensis*; G, H — *Tetradesmus bajacalifornicus*. Масштабные линейки — 10 мкм.

Fig. Light micrographs of cyanobacteria and microalgae general morphology: А, В — *Stenomitos tremulus*; С, D — *Bracteacoccus bullatus*; Е, F — *Chromochloris zofingiensis*; G, H — *Tetradesmus bajacalifornicus*. Scale bars — 10 μ m.

Вид *B. bullatus* отмечен на территории России в каштановых почвах Волгоградской области [Темралеева, 2018]; на Украине в лесной подстилке посадки *Robinia pseudoacacia* L. (МК843972, КУ066480), в почвенной биокорке, и на побережье Чёрного моря в Дунайском биосферном заповеднике (МТ901378); в Чили в почвенной биокорке в Национальном парке Ла Кампана (МТ735205).

Chromochloris zofingiensis (Dönn) Fucíková & L. A. Lewis (рис. E, F).

Одиночные клетки имеют в основном сферическую форму. Диаметр молодых клеток — 4.9–6.1 мкм, зрелых — 7.1–8.5 мкм. Имеются многочисленные пристенные хлоропласты без пиреноида. Бесполое размножение автоспорами (от 2 до 12). Автоспоры чаще треугольной, четырёхугольной или неправильной формы.

Принадлежность штамма к виду *Ch. zofingiensis* подтверждена высокой степенью сходства с целым рядом (11) конспецифичных последовательностей (98.93–99.21 % идентичности), для 4-х из которых отмечено наиболее высокое сходство 99.21 % (табл.).

Вид описан на основе штамма SAG 211-14a (HQ902929; почва; Рамусвальд, Швейцария) [Fucíková, Lewis, 2012]. В России вид встречен в почвах на территории промышленного предприятия ОАО «Сода» в Предуральском степном районе Республики Башкортостан [Чумак, Сафиуллина, 2020], в тундровых сообществах окрестностей г. Воркуты [Патова, Новаковская, 2018] и в почвах можжевельново-дубового редколесья природного заповедника «Мыс Мартьян» [Костиков, 2014]. Также *Ch. zofingiensis* отмечен в Китае (MN317389), Иране (МК765018) и Малайзии (КХ029131).

Tetradesmus bajacalifornicus L. A. Lewis & Flechtner (рис. G, H).

Сферические (диаметр — 4–6 мкм) или эллипсоидные (5–10 × 3–5 мкм) одиночные клетки, иногда образуют диады. Хлоропласт париетальный, чашевидный или лопастной с пиреноидом, имеющим крахмальную обвёртку. Также в клетке заметны включения — капли масла, крахмальные зерна. Бесполое размножение автоспорами.

T. bajacalifornicus выделен и описан из гранитно-песчаного грунта в Мексике (AY510469) [Lewis, Flechtner, 2019]. Вид имеет широкое распространение (как минимум, на трёх континентах), отмечен в различных пресноводных и наземных экосистемах Китая (КТ778119), Южной Африки (HQ246357), Бразилии (КУ303744), Индии (КХ034555); в России отмечен впервые.

BLAST-анализ позволил выявить высокое сходство последовательностей нашего изолята и пяти штаммов *T. bajacalifornicus*, идентичных по данному маркеру (99.51 %; табл.). Другие представители рода *Tetradesmus* G. M. Smith характеризовались более дивергентными последовательностями ITS-региона ярдНК (< 98 %).

Заключение. Таким образом, список цианобактерий и водорослей РДВ дополнен 4 новыми для территории видами (Cyanobacteria — 1, Chlorophyta — 3) с некоторых вулканов Камчатки, причём один из них является новым для России. Во всех предыдущих исследованиях данного района [Штина и др., 1992; Abdullin, 2013; Гайсина, 2013; Кунсбаева и др., 2019] эти виды отсутствовали. Все выявленные нами таксоны были описаны для науки недавно с применением полифазного подхода. Вероятно, они ранее не обнаруживались на исследованной территории в связи с относительной редкостью применения полифазного подхода при исследованиях биоразнообразия цианобактерий и водорослей или слабой изученностью данных местообитаний.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-00814 А, «Исследование биоразнообразия водорослей и цианобактерий вулканических почв и грунтов полуострова Камчатка с использованием полифазного метода».

Литература

- Андреева В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales). — СПб : Наука, 1998. 351 с.
- Гайсина Л. А. Анализ экологических закономерностей наземных цианобактериально-водорослевых флор с использованием традиционных и молекулярно-генетических методов : автореф. дис.... д-ра биол. наук. — Уфа : БашГУ, 2013. 39 с.
- Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. — Ленинград : Наука, 1969. 228 с.
- Давыдов Д. А., Патова Е. Н., Шалыгин С. С., Вильнет А. А., Новаковская И. В. Проблема скрытого разнообразия цианопрокариот арктических территорий // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 110–116. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-110-116>
- Действующие вулканы Камчатки. В 2-х т. Т. 1 / отв. ред. Федотов С. А., Масуренков Ю. П. — Москва : Наука, 1991а. 302 с.
- Действующие вулканы Камчатки. В 2-х т. Т. 2 / отв. ред. Федотов С. А., Масуренков Ю. П. — Москва : Наука, 1991б. 415 с.
- Костиков И. Ю. Почвенные водоросли заповедника "Мыс Мартьян": Список видов можжевельно-дубового редколесья // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». 2014. Вып. 5. Флора и растительность. С. 73–77.
- Кунсбаева Д. Ф., Аллагуватова Р. З., Гришин С. Ю., Абдуллин Ш. Р., Гайсина Л. А. Изучение биоразнообразия цианобактерий и водорослей некоторых вулканов Камчатки // «ЭкоБиоТех 2019» : Материалы VI Всероссийской конференции с международным участием. Уфа, 1–4 октября 2019 г. — Уфа : Уфимский институт биологии. С. 205–206.

- Патова Е. Н., Новаковская И. В. Почвенные водоросли северо-востока европейской части России // *Новости систематики низших растений*. 2018. Т. 52. № 2. С. 311–353. DOI: <https://doi.org/10.31111/nsnr/2018.52.2.311>
- Темралеева А. Д. Новые для почвенной альгофлоры России виды зеленых водорослей *Bracteacoccus bullatus* и *B. occidentalis* (Sphaeropleales, Chlorophyta) // *Вопросы современной альгологии*. 2018. № 1 (16). С. 14–15.
- Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. — Киев : Наук. думка, 1990. 208 с.
- Чумак В. А., Сафиуллина Л. М. Расширенные сведения о видовом составе микроскопических водорослей и цианобактерий техногенно-засоленных территорий АО "Сырьевая компания", Республика Башкортостан // *Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы*. 2020. № 1 (53). С. 93–97.
- Штина Э. А., Андреева В. М., Кузякина Т. И. Заселение водорослями вулканических субстратов // *Ботанический журнал*. 1992. Т. 77. № 8. С. 33–41.
- Abdullin Sh. R. Cyanobacteriae and algae of lava tubes in Kamchatka, Russia // *Cave and Karst Science*. 2013. Vol. 40. No. 3. P. 141–144.
- Andersen R. A. *Algal Culturing Techniques*. — New York: Elsevier Academic Press, 2005. 578 p.
- BLAST (Basic Local Alignment Search Tool), National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine // URL: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (accessed 14.03.2021).
- Bonfield J. K., Smith K. F., Staden R. A new DNA sequence assembly program // *Nucleic Acids Research*. 1995. No. 23. P. 4992–4999. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/23.24.4992>
- Casamatta D. A., Johansen J. R., Vis M. L., Broadwater S. T. Molecular and morphological characterization of ten polar and near-polar strains within the Oscillatoriales (Cyanobacteria) // *Journal of Phycology*. 2005. Vol. 41 (2). P. 421–438. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.04062.x>
- Echt C. S., Erdahl L. A., McCoy T. J. Genetic segregation of random amplified polymorphic DNA in diploid cultivated alfalfa // *Genome*. 1992. Vol. 35. P. 84–87. DOI: <https://doi.org/10.1139/g92-014>
- Fučíková K., Flechtner V. R., Lewis L. A. Revision of the genus *Bracteacoccus* Tereg. (Chlorophyceae, Chlorophyta) based on a phylogenetic approach // *Nova Hedwigia*. 2012. Vol. 96 (1–2). P. 15–59. DOI: <https://doi.org/10.1127/0029-5035/2012/0067>
- Fučíková C. & Lewis L. E. Intersection of *Chlorella*, *Muriella* and *Bracteacoccus*: Resurrecting the genus *Chromochloris* Kol et Chodat. (Chlorophyceae, Chlorophyta) // *Fottea*. 2012. Vol. 12 (1). P. 83–93. DOI: <https://doi.org/10.5507/fot.2012.007>
- Gomez-Alvarez V., King G. M., Nüsslein K. Comparative bacterial diversity in recent Hawaiian volcanic deposits of different ages // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2007. Vol. 60. P. 60–73. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2006.00253.x>
- Guiry M. D., Guiry G. M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2021. <http://www.algaebase.org>. (05 March 2021).
- Kiselev K. V., Dubrovina A. S., Tyunin A. P. The methylation status of plant genomic DNA influences PCR efficiency // *Journal of Plant Physiology*. 2015. Vol. 175. P. 59–67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.10.017>
- Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 2. Teil: Oscillatoriales. In: Büdel, B., Gärtner, G., Krienitz, L. and Schagerl, M., Eds., *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Bd. 19 (2). — München : Elsevier GmbH, 2005. 759 p.

- Lewis L. A., Flechtner V. R. *Tetrademus bajacalifornicus* L. A. Lewis & Flechtner, sp. nov. and *Tetrademus deserticola* L. A. Lewis & Flechtner, sp. nov. (Scenedesmaaceae, Chlorophyta) // *Notulae Algarum*. 2019. Vol. 88. P. 1–2.
- McFadden G. I., Melkonian M. Use of Hepes buffer for microalgal culture media and fixation for electron microscopy // *Phycologia*. 1986. Vol. 25 (4). P. 551–557. DOI: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-25-4-551.1>
- Mueller-Dombois D., Boehmer H. J. Origin of the Hawaiian rainforest and its transition states in long-term primary succession // *Biogeosciences*. 2013. Vol. 10. P. 5171–5182. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-10-5171-2013>
- Starr R. C., Zeikus J. A. UTEX — the culture collection of algae at the University of Texas at Austin. 1993 list of cultures / *Journal of Phycology*. 1993. Vol. 29. P. 1–106. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1993.00001.x>

New data on cyanobacteria and algae in the Russian Far East

R. Z. Allaguvatova¹, A. Yu. Nikulin^{1*}, V. Yu. Nikulin¹, V. B. Bagmet¹,
V. V. Shokhrina¹, A. S. Sterlyagova², L. A. Gaysina³, Sh. R. Abdullin¹

¹*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity,*

*Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
Vladivostok, Russian Federation, 690022*

²*Far Eastern Federal University*

Vladivostok, Russian Federation, 690922

³*M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University*

Ufa, Russian Federation, 450008

**E-mail: artyrozz@mail.ru*

Abstract. This paper presents four new species for the Russian Far East identified using a polyphasic approach in soils and grounds of the Shiveluch, Mutnovsky and in the saddle of Avachinsky and Koryaksky volcanoes (Kamchatka, Russia): Cyanobacteria — *Stenomitus tremulus*, Chlorophyta — *Bracteacoccus bullatus*, *Chromochloris zofingiensis*, *Tetrademus bajacalifornicus*. *T. bajacalifornicus* is also a new taxon for the Russian Federation.

Key words: Cyanobacteria, Chlorophyta, new findings, polyphasic approach, Kamchatka Territory, volcanoes

References

- Abdullin Sh. R., 2013, Cyanobacteriae and algae of lava tubes in Kamchatka, Russia, *Cave and karst science*, vol. 40, no. 3, pp. 141–144.
- Andersen R. A., 2005, *Algal Culturing Techniques*, 578 p., Elsevier Academic Press, New York.
- Andreeva V. M., 1998, *Pochvennye i aerofil'nye zelenye vodorosli (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales)* [Soil and aerophilic green algae (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales)], 351 p., Nauka, Sankt-Peterburg. [In Russian].
- BLAST (Basic Local Alignment Search Tool)*, 2021, National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine, URL: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>, searched on 14 March 2021.

- Bonfield J. K., Smith K. F., Staden R., 1995, A new DNA sequence assembly program // *Nucleic Acids Research*, vol. 23, pp. 4992–4999. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/23.24.4992>
- Casamatta D. A., Johansen J. R., Vis M. L., Broadwater S. T., 2005, Molecular and morphological characterization of ten polar and near-polar strains within the Oscillatoriales (Cyanobacteria), *Journal of Phycology*, vol. 41 (2), pp. 421–438. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.04062.x>
- Chumak V. A., Safiullina L. M., 2020, Rasshirennyye svedeniya o vidovom sostave mikroskopicheskikh vodorosley i tsianobakteriy tekhnogenno-zasolennykh territoriy AO "Syr'yevaya kompaniya", Respublika Bashkortostan [Extended information on the species composition of microscopic algae and cyanobacteria of technogenically saline territories of JSC Raw Company, Republic of Bashkortostan], *Bulletin of the Bashkir State Pedagogical University. named after M. Akmulla*, no. 1 (53), pp. 93–93. [In Russian].
- Davydov D. A., Patova E. N., Shalygin S. S., Vil'net A. A., Novakovskaya I. V., 2020, Problema skrytogo raznoobraziya cianoprokariot arkticheskikh territorij [The problem of the hidden diversity of cyanoprokaryotes in the Arctic territories], *Theoretical and Applied Ecology*, no.1, pp. 110–106. [In Russian]. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-1-110-116>
- Echt C. S., Erdahl L. A. & McCoy T. J., 1992, Genetic segregation of random amplified polymorphic DNA in diploid cultivated alfalfa, *Genome*, vol. 35, pp. 84–87. DOI: <https://doi.org/10.1139/g92-014>
- Fedotov S. A. (responsible ed.), Masurenkov Yu. P., 1991a, *Deystvuyushchiye vulkany Kamchatki* [Active volcanoes of Kamchatka], In 2 volumes, vol. 1, 302 p., Nauka, Moscow. [In Russian].
- Fedotov S. A. (responsible ed.), Masurenkov Yu. P., 1991b, *Deystvuyushchiye vulkany Kamchatk* [Active volcanoes of Kamchatka], In 2 volumes, vol. 2, 415 p., Nauka, Moscow. [In Russian].
- Fucikova K., Flechtner V. R. & Lewis L. A., 2012, Revision of the genus *Bracteacoccus* Tereg (Chlorophyceae, Chlorophyta) based on a phylogenetic approach. *Nova Hedwigia*, vol. 96 (1–2), pp. 15–59. DOI: <https://doi.org/10.1127/0029-5035/2012/0067>
- Fuciková C. & Lewis L. E., 2012, Intersection of *Chlorella*, *Muriella* and *Bracteacoccus*: Resurrecting the genus *Chromochloris* Kol et Chodat (Chlorophyceae, Chlorophyta). *Fottea*, vol. 12 (1), pp. 83–93. DOI: <https://doi.org/10.5507/fot.2012.007>
- Gaisina L. A., 2013, *Analiz ekologicheskikh zakonomernostey nazemnykh tsianobakterial'no-vodoroslevykh flor s ispol'zovaniyem traditsionnykh i molekulyarno-gene'ticheskikh metodov*: Avtoref. diss.... d-ra biol. nauk [Analysis of ecological patterns of terrestrial cyanobacteria-algae floras using traditional and molecular genetic methods, Doctor of Biological Sciences thesis], 39 p., Bashkir State University, Ufa. [In Russian].
- Gollerbah M. M., Shtina E. A., 1969, *Pochvennye vodorosli* [Soil algae], 228 p., Nauka, Leningrad. [In Russian].
- Gomez-Alvarez V., King G. M., Nüsslein K., 2007, Comparative bacterial diversity in recent Hawaiian volcanic deposits of different ages, *FEMS Microbiol Ecol*, vol. 60, pp. 60–73. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2006.00253.x>
- Guiry M. D., Guiry G. M., 2021, *AlgaeBase, World-wide electronic publication*, National University of Ireland, Galway, <http://www.algaebase.org>, searched on 05 March 2021.

- Kiselev K. V., Dubrovina A. S. & Tyunin A. P., 2015, The methylation status of plant genomic DNA influences PCR efficiency, *Journal of Plant Physiology*, vol. 175, pp. 59–67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.10.017>
- Komárek J., Anagnostidis K., 2005, *Cyanoprokaryota. II. Oscillatoriales, Süßwasserflora von Mitteleuropa*, vol. 19 (2), 759 p., Jena, Stuttgart, Lübeck, Ulm.
- Kostikov I. Yu., 2014, Pochvennye vodorosli zapovednika "Mys Mart'yan": Spisok vidov mozhzhevelovo-dubovogo redkoles'ya [Soil algae of the Cape Martyan Reserve: List of species of juniper-oak woodland], *Scientific notes of the natural reserve Cape Martyan, Flora and vegetation*, Issue 5, pp. 73–77
- Kunsbaeva D. F., Allaguvatova R. Z., Grishin S. Yu., Abdullin Sh. R., Gajsina L. A., 2019, Izucheniye bioraznoobraziya tsianobakteriy i vodorosley nekotorykh vulkanov Kamchatki [Study of the biodiversity of cyanobacteria and algae of some volcanoes in Kamchatka] in *EkoBiotekh 2019: Materialy VI Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Ufa, 1–4 oktyabrya 2019 g.* [Proceedings of the VI All-Russian conference with international participation EcoBioTech, Ufa, October 1–4, 2019], pp. 205–206, Ufa Institute of Biology, Ufa: [In Russian].
- Lewis L. A., Flechtner V. R., 2019, *Tetrademus bajacalifornicus* L.A. Lewis & Flechtner, sp. nov. and *Tetrademus deserticola* L.A. Lewis & Flechtner, sp. nov. (Scenedesmeceae, Chlorophyta). *Notulae Algarum*, vol. 88, no. 1–2, no figs.
- McFadden G. I., Melkonian M., 1986, Use of Hepes buffer for microalgal culture media and fixation for electron microscopy, *Phycologia*, vol. 25 (4), pp. 551–557. DOI: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-25-4-551.1>
- Mueller-Dombois D., Boehmer H. J., 2013, Origin of the Hawaiian rainforest and its transition states in long-term primary succession, *Biogeosciences*, vol. 10, pp. 5171–5182. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-10-5171-2013>
- Patova E. N., Novakovskaya I. V., 2018, Pochvennye vodorosli severo-vostoka evropejskoj chasti Rossii [Soil algae in the north-east of the European part of Russia], *Novitates Systematicae Plantarum Vascularium*, vol. 52 (2), pp. 311–353. [In Russian]. DOI: <https://doi.org/10.31111/nsnr/2018.52.2.311>
- Shtina T. I., Andreeva V. M., Kuzyakina T. I., 1992, Zaselenie vodoroslyami vulkanicheskikh substratov [Algae colonization of volcanic substrates], *Botanicheskii Zhurnal*, vol. 77, no 8, pp. 33–41. [In Russian].
- Starr R. C., Zeikus J. A., 1993, UTEX — the culture collection of algae at the University of Texas at Austin. 1993 list of cultures, *Journal of Phycology*, Sup.29, pp.1–106. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.1993.00001.x>
- Temraleeva A. D., 2018, Novyye dlya pochvennoy al'goflory Rossii vidy zelenykh vodorosley *Bracteacoccus bullatus* i *B. occidentalis* (Sphaeropleales, Chlorophyta) [*Bracteacoccus bullatus* и *B. occidentalis* (Sphaeropleales, Chlorophyta), new species for the Russian soil algal flora], *Issues of modern algology*, no. 1 (16), pp. 14–15. [In Russian].
- Tsarenko P. M. Kratkiy opredelitel' khlorokokkovykh vodorosley Ukrainskoy SSR [Brief guide to chlorococcal algae of the Ukrainian SSR], 208 p., Naukova dumka, Kiev. [In Russian].