

УДК 582.232 (470.21)

ВОДОРОСЛИ И ЦИАНОПРОКАРИОТЫ НА УЧАСТКАХ САМОЗАРАСТАНИЯ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ ТЭЦ ГОРОДА АПАТИТЫ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Д. А. Давыдов^{1,2}, В. В. Редькина²

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

² Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН,
Апатиты, Россия

Приводится состав водорослей и цианобактерий участков зарастания отвалов ТЭЦ г. Апатиты (центральная часть Мурманской области) в сравнении с оголенными песчаными грунтами природного генезиса. Процесс зарастания техногенных отвалов имеет важное значение, так как свежие складированные отходы производства оказывают негативное воздействие на окружающую среду прилегающих территорий и здоровье населения. Определение видов велось в нативных пробах грунта и с использованием культуральных методов. Выявлено 85 таксонов эукариотических водорослей и 10 цианопрокариот. Данные о находках включены в информационную систему (<http://krabg.ru/cyanopro>). Общее высокое разнообразие определяется большим числом Chlorophyceae и Trebouxiophyceae. Помимо большого числа широко распространенных типичных почвенных видов выявлен ряд редких и новых для региона. Впервые для России отмечены *Excentrochloris fraunhoferiana*, *Sarcinofilum mucosum*, *Podohedra bicaudata*, а также редкие и новые для Европы *Hormidiella parvula* и *Streptosarcina costaricana*. Приводится морфологическая характеристика их штаммов и проанализировано распространение в мире. Флоры трех обследованных участков характеризуются значительной разницей видового состава. Выявлено, что сукцессия на отвалах разного возраста идет по пути сближения с естественной водорослевой микрофлорой лесных северотаежных почв. На первоначальных стадиях сукцессии доминирует *Desmonostoc muscorum*, в дальнейшем при его доминировании формируются почвенные биологические корочки с разнообразным видовым составом. Филаментные формы водорослей и цианобактерий, которые выявлены на всех обследованных участках, потенциально пригодны для ремедиации техногенных субстратов в условиях Мурманской области.

Ключевые слова: водоросли; цианопрокариоты; Хибины; техногенные субстраты; флора; биоразнообразие.

D. A. Davydov, V. V. Redkina. ALGAE AND CYANOPROKARYOTES ON NATURALLY OVERGROWING ASH DUMPS OF THE APATITY THERMAL POWER STATION (MURMANSK REGION)

The article provides information on the diversity of algae and cyanoprokaryotes colonizing the ash dump of the Apatity cogeneration plant. The study area is located in the Belaya River valley in the Khibiny Mountains (Murmansk Region). The species composition of al-

gae was studied by means of culture techniques. The data for all samples were fed into the CYANopro information system (<http://kpabg.ru/cyanopro>). A total of 85 taxa of eukaryotic algae and 10 cyanoprokaryotes were observed. *Excentrochloris fraunhoferiana*, *Sarcinofilum mucosum*, *Podohedra bicaudata*, *Hormidiella parvula*, and *Streptosarcina costaricana* are reported for the first time for Russia. A floristic comparison of the species composition of three different localities is provided. The temporal distribution of algae and cyanoprokaryotes indicates that the late stage of overgrowing of the ash dump is more similar to the natural species composition of north-taiga forest soils. Filamentous green algae and cyanoprokaryotes had a high occurrence. These strains could potentially be used for remediation of the technogenic substrates.

Key words: algae; cyanoprokaryotes; Khibiny Mountains; technogenic substrates; flora; biodiversity.

Введение

Теплоснабжение города Апатиты (Мурманская область) осуществляется крупнейшей в регионе теплоэлектростанцией (ТЭЦ), которая работает на угле. После сгорания топлива остаются золошлаковые отходы – смесь негорючих веществ, которые необходимо складировать. В результате в окрестностях города формируются золошлакоотвалы различного гранулометрического состава. Мелкие фракции легко переносятся ветром, возникает эффект пыления. Заращение техногенных отвалов имеет важное значение, так как свежие складированные отходы производства оказывают негативное воздействие на окружающую среду прилегающих территорий и здоровье населения [Делицын и др., 2012].

Инициальные стадии зарастания техногенных и естественных грунтов начинаются с заселения микроскопических водорослей и цианопрокариот (литература по данному вопросу многочисленна [Голлербах, Штина, 1969; Metting, 1981; Starks et al., 1981; Штина и др., 1985; Hoffmann, 1989; Johansen, Shubert, 2001; Кабиров, 2004; Rahmonov, Piątek, 2007; Rahmonov et al., 2015 и др.]). Микрофототрофы создают условия для накопления органического вещества, обуславливают появление других организмов. Водоросли формируют биологические почвенные корочки, которые закрепляют верхний слой субстрата, повышают его влажность и таким образом эффективно препятствуют эрозии [Evans, Johansen, 1999; Roncero-Ramos et al., 2020].

Состав почвенных водорослей на промышленных отвалах различного происхождения исследовался неоднократно. Работы посвящены изучению зарастаний угольных, буроугольных [Starks, Shubert, 1982; Lukešová, Komárek, 1987; Штина и др., 1989; Дорохова, 1997; Lukešová, 2001; Малахова, Мироничева-Токарева, 2008,

2010; Малахова, 2009; Чайка, Иванова, 2015], золоторудных [Orlekowsky et al., 2013; Иванова и др., 2015; Seiderer et al., 2017; Rana et al., 2020], железорудных [Терехова, 1979; Кабиров, 1989; Мальцева, Баранова, 2014; Нагорная, Головастикова, 2018] и содержащих другие тяжелые металлы [Trzcińska, Pawlik-Skowrońska, 2008; Cabala et al., 2011; Song et al., 2014; Ярыева, Сафиуллина, 2019] отвалов и месторождений глин, песков и асбеста [Штина и др., 1989; Пшенникова, 2011], нефтезагрязнений [Горленко и др., 2006; Сопрунова, 2006]. В районах Крайнего Севера обследовались техногенные местообитания, образующиеся при интенсивной нефте- и угледобыче [Зимонина, 1998, 2010, 2016; Дорохова, 2005; Патова и др., 2016].

Способность водорослевых группировок к быстрому формированию обрастаний на субстратах при отсутствии конкуренции, адаптивность к широкому спектру условий позволяет рассматривать их как перспективные объекты для ремедиации отвалов [Chamizo et al., 2018]. Это требует оценки интенсивности первичных почвообразовательных процессов и изучения возможностей для создания технологий закрепления субстратов с использованием быстрорастущих штаммов водорослей и цианопрокариот.

Разнообразие наземных водорослей Хибинского горного массива изучено неравномерно. Списки видов естественных экосистем, которые бы включали все группы водорослей, единичны [Ройзин, 1960; Штина, Ройзин, 1966]. Наиболее хорошо изучено разнообразие цианопрокариот [Давыдов, Егоров, 2004; Davydov, 2005; Давыдов, 2008, 2012, 2018; Патова, Давыдов, 2015]. Водоросли антропогенных ландшафтов в окрестностях Хибин изучались на хвостохранилищах Апатито-нефелиновой обогатительной фабрики № 2 [Redkina et al., 2020].

Апатитская ТЭЦ запущена в 1959 году и включает 8 энергетических (паровых) котлов и 5 турбоагрегатов. В год на ней расходуются около 303 тысяч тонн угля [Комплексный..., 2014]. В результате сжигания измельченных до порошкообразного состояния каменных углей образуется золошлак, который вместе с технологической водой складировается на отвале.

Цель настоящего исследования – выявление видового состава водорослей и цианобактериот от поверхности золошлакоотвалов Апатитской ТЭЦ разного возраста.

Материалы и методы

Район исследования расположен в центральной части Мурманской области, в подзоне северной тайги. Отвалы ТЭЦ складированы на равнине в предгорьях Хибин в долине реки Белая. Сбор водорослей осуществлялся в трех пунктах (рис. 1). Пробные площадки №№ 1 и 2 расположены на старом отвале, его площадь составляет около 47 га. Пробная площадка № 3 расположена в карьере ОАО «Апатитыводоканал».

Площадка № 1 – отвал новообразованных отходов, слитых в предыдущий год. Площадка № 2 – это законсервированный отвал, который закончили заполнять в 1990 году [Пак, 2008; Пак, Сухорукова, 2017]. На его поверхности идет активное зарастание, в том числе и древесной растительностью.

Площадка № 3 расположена в песчаном карьере, заложенном на флювиогляциальных отложениях. Выбор данной пробной площади обусловлен задачей проследить разницу видового состава водорослей при зарастании естественных и искусственных грунтов. Возраст зарастаний составляет около 5 лет.

Пробы обрастаний взяты с поверхностного слоя (до 3 см) вместе с субстратом на площадках 10×10 см. На участке № 1 отобрано 7 проб, на участках №№ 2 и 3 – по 5 проб. Пробы отбирались ножом в стерильные пакеты из крафт-бумаги и в тот же день доставлялись в лабораторию. Суспензия грунта каждой пробы высевалась на жидкие и агаризованные питательные среды 3N-BBM и Z8 [Kótai, 1972; Гайсина и др., 2008].



Рис. 1. Расположение пробных площадей

Fig. 1. A schematic map of the studied area

Культивирование водорослей осуществлялось на световых установках, оснащенных фитолампами, при соотношении периодов свет/темнота 16/8 ч при комнатной температуре. Идентификация видов проводилась в накопительных и чистых, полученных методом выделения с помощью стеклянных капилляров, культурах.

Определение велось на микроскопах AxioScope A1 (Zeiss), оборудованном системой DI-контраста, и CX41 (Olympus) с камерами ProgRes (Jenoptik).

Для идентификации использовались следующие определители: [Андреева, 1998; Komárek, Anagnostidis, 1998, 2005; Komárek, 2013; Ettl, Gärtner, 2014; Škaloud et al., 2018]. Данные обо всех образцах внесены в информационную систему CYANOpro (<http://krabg.ru/cyanopro>) [Мелехин и др., 2013; Melekhin et al., 2019]. Названия таксонов приводятся по Algaebase [Guiry, 2020]. Для определения флористического сходства использован коэффициент Сьеренсена [Sørensen, 1948] $K_s = 2c / (a + b)$, где a – число видов в первой флоре, b – число видов во второй флоре, c – число видов, общих для первой и второй флор.

Результаты

Выявлено 85 видов эукариотических водорослей, принадлежащих к двум царствам, трем отделам, 8 классам, и 10 видов цианопрокариот (табл.). Наиболее широко представлены водоросли классов Chlorophyceae (32 вида) и Trebouxiophyceae (23 вида).

Обсуждение

Сравнение видового состава площадок

Видовой состав микроводорослей часто зависит от химического состава грунтов. На отвалах ТЭЦ концентрации элементов в субстрате обусловлены минералами используемого топлива. Основную массу в отходах составляют SiO_2 (около 50 %), Al_2O_3 (17–20 %), Fe_2O_3 (8–13 %), CaO (2–2,4 %), значительно участие MgO , K_2O , NaO , TiO_2 [Рекомендации..., 1986; Крашенинников и др., 2007; Кожухова и др., 2015; Пак, Сухорукова, 2017]. Общее высокое видовое богатство, выявленное в результате исследования, вероятно, связано с высокими показателями pH субстрата (8,4) и концентрациями оксидов кальция и магния, содержание которых примерно в два раза выше, чем в естественных подзолистых почвах Мурманской области [Переверзев, 2011].

Участки на площадке № 1 представляют практически не заросший, слабо закрепленный зольный субстрат мелких фракций (менее 0,16 мм). На нем обнаружены несомкнутые биологические корочки. Макроскопические колонии на верхнем поверхностном слое на этой стадии зарастания формирует только *Desmonostoc muscorum*.

На площадке № 2 сформированы участки сомкнутого растительного покрова. Помимо биологических корочек толщиной от 3 до 7 мм, в основе которых также *Desmonostoc muscorum*, здесь встречены мохообразные, лишайники (*Cetraria islandica* (L.) Ach., *Stereocaulon saxatile* H. Magn., *Flavocetraria nivalis* (L.) Kärnefelt et A. Thell), куртины клевера (*Trifolium repens* L.) и подрост березы, осины и сосны.

Сравнение видового состава водорослей участков свежих отвалов (пл. № 1) и законсервированных в 1990 году (пл. № 2) демонстрирует почти одинаковое число таксонов (41 и 38 видов соответственно), но видовой состав довольно различен – коэффициент сходства Сьеренсена составляет 33 %. Общими для двух стадий сукцессии являются 13 таксонов (*Coelastrella terrestris*, *Desmonostoc muscorum*, *Gloeocapsopsis* cf. *pleurocapsoides*, *Heterococcus* sp., *Leptolyngbya* cf. *gracillima*, *Leptosira* cf. *erumpens*, *Muriella terrestris*, *Neocystis brevis*, *Pseudococcomyxa simplex*, *Phormidesmis* sp., *Stichococcus bacillaris*, *Xanthonema exile*, *X. debile*). Большинство из перечисленных видов эукариотических водорослей достаточно часто встречаются в почвах и техногенных субстратах Мурманской области [Корнейкова и др., 2018; Korneykova et al., 2017; Redkina et al., 2020]. *Stichococcus bacillaris* – один из самых распространенных наземных и аэрофитных видов, наряду с *Pseudococcomyxa simplex* таксон обнаруживается практически при каждом посеве почвенных образцов, взятых в любом районе области.

Наибольший вклад в видовое разнообразие обрастаний на обоих участках вносят представители отдела Chlorophyta – их доля достигает 60 %. Заметная роль принадлежит представителям отдела Ochrophyta, составляющим до 20 % от общего разнообразия. Диатомовые водоросли найдены только на пл. № 2 и представлены единственным видом – *Pinnularia borealis*. На этом же участке обнаружена широко распространенная в почвах водоросль *Vischieria magna*, которой было образовано не менее 20 % всех колоний на чашках с агаризованной средой.

Одноклеточные (*Botrydiopsis* spp.) и нитчатые (*Xanthonema* spp., *Heterococcus* spp.) желто-зеленые водоросли встречаются в обрастани-

Видовой состав водорослей и цианопрокариот на отвалах Апатитской ТЭЦ и в песчаном карьере
Species composition of algae and cyanoprokaryotes on the ash dumps of the Apatity cogeneration plant and in a sandy quarry

Вид Species	Пробные площади ¹ Sampling areas ¹		
	1	2	3
Отдел/Div. Cyanobacteria			
<i>Aphanocapsa</i> sp.	+	-	-
<i>Aphanothece saxicola</i> Näg.	-	+	-
<i>Calothrix</i> sp.	-	+	-
<i>Desmonostoc muscorum</i> (C. Ag. ex Born. et Flah.) Hrouzek et Ventura	+	+	+
<i>Gloeocapsopsis</i> cf. <i>pleurocapsoides</i> (Nováč.) Komárek et Anagn.	+	+	-
<i>Leptolyngbya</i> cf. <i>gracillima</i> (Hansg.) Anagn. et Komárek	+	+	-
<i>Microcoleus autumnalis</i> (Trev. ex Gom.) Strunecky et al.	+	-	-
<i>Phormidesmis</i> sp.	+	+	+
<i>Stenomitos</i> sp.	+	-	-
<i>Synechococcus elongatus</i> (Näg.) Näg.	+	-	-
Отдел/Div. Ochrophyta, класс/class Bacillariophyceae			
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenb.	-	+	-
Отдел/Div. Ochrophyta, класс/class Eustigmatophyceae			
<i>Vischeria magna</i> (J. B. Petersen) Kryvenda et al.	-	+	+
Отдел/Div. Ochrophyta, класс/class Xanthophyceae			
<i>Botrydiopsis arhiza</i> Borzi	+	-	-
<i>B. constricta</i> Broady	-	+	+
<i>B. eriensis</i> J. Snow	-	+	-
<i>Chloridella cystiformis</i> Pascher	+	-	-
<i>Excentrochloris fraunhoferiana</i> Hofbauer et al.	-	+	+
<i>Heterococcus</i> sp.	+	+	-
<i>Tribonema minus</i> (W. Wille) Hazen	+	-	-
<i>Xanthonema debile</i> (Vischer) P. C. Silva	+	+	-
<i>X. exile</i> (G. A. Klebs) P. C. Silva	+	+	-
<i>X. montanum</i> (Vischer) P. C. Silva	+	-	-
Отдел/Div. Chlorophyta, класс/class Chlorophyceae			
<i>Asterococcus superbus</i> (Cienk.) Scherff.	+	-	-
<i>Bracteacoccus</i> cf. <i>aggregatus</i> Tereg	-	+	-
<i>B. giganteus</i> H. W. Bisch. et H. C. Bold	-	-	+
<i>Bracteacoccus</i> cf. <i>minor</i> (Schmidle ex F. Chodat) J. Petrová	+	-	+
<i>Bracteacoccus</i> sp.	-	+	+
<i>Characium strictum</i> A. Braun	-	-	+
<i>Chlamydocapsa</i> cf. <i>lobata</i> Broady	-	+	-
<i>Chlamydomonas</i> sp. 1	-	-	+
<i>Chlamydomonas</i> sp. 2	-	-	+
<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrank) Menegh.	-	-	+
<i>Chlorobion braunii</i> (Näg.) Komárek	+	-	+
<i>Chlorosarcinopsis</i> sp.	+	-	-
<i>Coelastrella</i> cf. <i>rubescens</i> (Vinatzer) Kaufnerová et Eliás	+	-	-
<i>C. terrestris</i> (Reisigl) Hegewald et N. Hanagata	+	+	+
<i>Coenochloris oleifera</i> (Broady) Kostikov et al.	-	-	+
<i>Macrochloris dissecta</i> Korshikov	-	+	-
<i>Monoraphidium</i> sp.	-	+	+
<i>Mychonastes homosphaera</i> (Skuja) Kalina et Puncochárová	+	-	-
<i>Neochloris conjuncta</i> P. A. Archibald	-	-	+
<i>N. cf. pyrenoidosa</i> Arce et H. C. Bold	-	-	+
<i>Neocystis brevis</i> (Vischer) Kostikov et L. Hoffmann	+	+	+

Продолжение табл.

Table (continued)

Вид Species	Пробные площади ¹ Sampling areas ¹		
	1	2	3
<i>N. cf. mucosa</i> Krienitz et al.	-	-	+
<i>Palmellopsis cf. gelatinosa</i> Korshikov	-	-	+
<i>P. cf. texensis</i> (Groover et H. C. Bold) H. Ettl et Gärtner	+	-	-
<i>Pseudomuriella cf. engadinensis</i> (Kol et F. Chodat) Fuciková	+	-	-
<i>Radiosphaera minuta</i> Herndon	-	+	+
<i>Scenedesmus</i> sp.	+	-	-
<i>Spongiococcum cf. tetrasporum</i> Deason	+	-	+
<i>Sporotetras polydermatica</i> (Kütz.) Kostikov et al.	-	+	-
<i>Tetracystis cf. compacta</i> K. Schwarz	-	+	+
<i>T. cf. diplobionticoidea</i> (Chantanachat et H. C. Bold) P. A. Archibald et H. C. Bold	-	-	+
<i>Tetracystis</i> sp.	-	-	+
Отдел/Div. Chlorophyta, класс/class Trebouxiophyceae			
<i>Chloroidium saccharophilum</i> (W. Krüger) Darienko et al.	-	+	+
<i>Desmococcus olivaceus</i> (Pers. ex Ach.) J. R. Laundon	-	+	-
<i>Dictyosphaerium</i> sp.	-	-	+
<i>Diplosphaera cf. chodatii</i> Bialosukniá	+	-	+
<i>Elliptochloris bilobata</i> Tscherm.-Woess	+	-	+
<i>E. subsphaerica</i> (Reisigl) H. Ettl et G. Gärtner	-	+	+
<i>Geminella cf. minor</i> (Näg.) Heering	+	-	-
<i>Koliella sempervirens</i> (Chodat) Hindák	-	-	+
<i>Koliella</i> sp.	-	-	+
<i>Leptosira cf. erumpens</i> (Deason et H. C. Bold) Lukesová	+	+	-
<i>L. cf. polychloris</i> Reisigl	-	-	+
<i>Lobosphaera incisa</i> (Reisigl) Karsten et al.	-	+	+
<i>Muriella cf. australis</i> J. Phillipson	+	-	-
<i>M. terrestris</i> J. B. Petersen	+	+	-
<i>Myrmecia macronucleata</i> (Deason) V. M. Andreeva	-	+	-
<i>Parietochloris alveolaris</i> (H. C. Bold) Shin Watanabe et G. L. Floyd	-	-	+
<i>Podohedra bicaudata</i> Geitl.	-	-	+
<i>Pseudochlorella pringsheimii</i> (Shihar et Krauss) Darienko et al.	-	+	-
<i>Pseudococcomyxa cf. pringsheimii</i> (Jaag) Kostikov et al.	+	-	+
<i>P. simplex</i> (Mainx) Fott	+	+	+
<i>Stichococcus bacillaris</i> Næg.	+	+	+
<i>S. minutus</i> Grintzesco et Peterfi	-	-	+
<i>S. undulatus</i> Vinatzer	+	-	-
Отдел/Div. Chlorophyta, класс/class Ulvophyceae			
<i>Chloroplana terricola</i> Hollerb.	-	+	-
<i>Desmochloris cf. halophila</i> (Guillard, Bold et McEntee) Watanabe et al.	+	-	-
<i>Hazenia cf. prostrata</i> (Tupa) Škaloud et Leliaert	+	-	-
<i>Hormidiopsis crenulata</i> (Kütz.) Heering	-	-	+
<i>Interfilum terricola</i> (J. B. Petersen) Mikhailyuk et al.	-	+	+
<i>Sarcinofilum mucosum</i> (Broady) Darienko et Pröschold	+	-	-
<i>Ulothrix cf. implexa</i> (Kütz.) Kütz.	-	-	+
Отдел/Div. Charophyta, класс/class Conjugatophyceae			
<i>Actinotaenium</i> sp.	-	-	+
<i>Cylindrocystis brebissonii</i> (Ralfs) De Bary	-	-	+
<i>Mesotaenium pyrenoidosum</i> (Broady) Petlovany	-	-	+

Окончание табл.
Table (continued)

Вид Species	Пробные площади ¹ Sampling areas ¹		
	1	2	3
Отдел/Div. Charophyta, класс/class Klebsormidiophyceae			
<i>Hormidiella parvula</i> M. O. P. Iyengar et Kanthamna	-	-	+
<i>Klebsormidium</i> cf. <i>deserticola</i> Mikhailiuk	-	-	+
<i>K. elegans</i> Lokhorst	-	-	+
<i>K. flaccidum</i> (Kütz.) P. C. Silva et al.	-	+	-
<i>K. nitens</i> (Kütz.) Lokhorst	-	+	+
<i>K. pseudostichococcus</i> (Heering) H. Ettl et Gärtner	+	-	+
<i>K. rivulare</i> (Kützing) M. O. Morison et Sheath	-	-	+
<i>Streptosarcina costaricana</i> Mikhailiuk et Lukešová	-	-	+
Всего таксонов Total	41	38	54

Примечание. ¹ – расположение пробных площадей приведено на рис. 1.

Note. ¹ – location of the sampling areas is shown in Fig. 1.

ях как на свежих, так и на законсервированных отвалах. Всего обнаружено 10 видов желтозеленых водорослей (18 % от числа всех эукариотических). Высокое разнообразие группы характерно для почвенных биологических корочек холодных регионов [Büdel et al., 2016; Borchhardt et al., 2017]. Кроме того, присутствие желтозеленых водорослей, особенно одноклеточных, считающихся чувствительными к загрязнению, позволяет предположить, что изучаемый субстрат нетоксичен и пригоден для развития фототрофных организмов [Штина, 1990]. На законсервированном отвале, помимо широко распространенного и характерного для почв области *Botrydiopsis eriensis*, обнаружены 2 вида, имеющих схожую между собой морфологию: *Botrydiopsis constricta* и *Excentrochloris fraunhoferiana*.

Важной группой водорослей, принимающих непосредственное участие в закреплении техногенного субстрата, являются организмы, имеющие нитчатую организацию таллома. Помимо общих для обеих стадий зарастания видов из родов *Xanthonema*, *Heterococcus*, *Leptosira* и *Phormidesmis* на свежих отвалах эту функцию выполняют *Tribonema minus*, *Xanthonema* cf. *montanum*, *Klebsormidium* cf. *pseudostichococcus*, *Geminella* cf. *minor*, *Stichococcus undulatus*, *Hazenia* cf. *prostrata* и *Sarcinofilum mucosum*. При этом *Hazenia* cf. *prostrata* и *Sarcinofilum mucosum*, относящиеся к классу ульвофициевых, впервые найдены на территории России. На старых отвалах нитчатые водоросли представлены широко распространенными почвенными видами *Desmococcus olivaceus*, *Klebsormidium flaccidum* и *K. nitens*.

Всего на поверхности отвалов найдено 66 видов водорослей и цианобактерий. Около

60 % из них – виды, встречающиеся в естественных наземных местообитаниях Мурманской области. Однако возрастание доли таких видов с течением времени (от 56 % на свежих отвалах до 82 % на законсервированных) свидетельствует о том, что сукцессия идет по пути сближения с естественной водорослевой микрофлорой лесных северотаежных почв.

Видовой состав водорослей, участвующих в зарастании песчаного карьера, заметно отличается от состава почвенных биологических корочек на золошлаках – коэффициент сходства Сьеренсена составляет 42 %. При этом альгофлора законсервированного золошлакоотвала имеет большее сходство (39 %) с альгофлорой песчаного карьера, чем альгофлора свежих золошлаков (27 %). В зарастании естественного песчаного субстрата выявлено 54 таксона, 29 из них не выявлены на отвалах. Доля зеленых водорослей здесь несколько выше (72 %), в основном за счет представителей класса Chlorophyceae родов *Chlamydomonas*, *Tetracystis*, *Bracteacoccus*, *Neocystis*.

Второй по числу видов класс Trebouxiophyceae представлен в основном распространенными видами родов *Chloroidium*, *Elliptochloris*, *Lobosphaera*, *Parietochloris*, *Pseudococcomyxa*, *Stichococcus*.

К нехарактерным для почв региона водорослям следует отнести *Podohedra bicaudata* и представителей рода *Koliella*. Виды рода *Koliella* известны как криофилы, обитающие в высокогорных и арктических районах на поверхности снега и льда [Komárek, Nedbalová, 2007], некоторые встречаются в пресных водоемах, реже – на влажных скалах и почве, в том числе на территории России [Патова, Новаковская,

2018], участвуют в формировании почвенных корочек полярных регионов [Borchhardt et al., 2017]. В Мурманской области представители этого рода найдены впервые.

В формировании почвенных биологических корочек песчаного карьера заметное участие принимают водоросли отдела Charophyta. На исследуемой площадке обнаружено 3 вида зигнемовых: *Actinotaenium* sp., *Cylindrocystis brebissonii*, *Mesotaenium pyrenoidosum*. Известно, что водоросли этой группы могут образовывать значительные слизистые скопления на почве [Косинская, 1952]. Обилие зигнемовых водорослей отмечено нами ранее для обрастаний хвостов обогащения апатит-нефелиновых руд [Redkina et al., 2020]. Еще большим разнообразием в обрастаниях песчаного карьера отличается вторая группа харовых – водоросли класса Klebsormidiophyceae. Здесь найдено 5 видов, принадлежащих к роду *Klebsormidium*, и 2 редких и новых для Европы вида этого класса – *Horridiella parvula* и *Streptosarcina costaricana*.

Кроме перечисленных особенностей альгофлора песчаного карьера отличается от альгофлоры золоотвалов полным отсутствием диатомей и слабым развитием желтозеленых водорослей (2 вида). *Vischeria magna* хоть и найдена на этом участке, ее колонии на агаризованной среде были единичны. Цианопрокарियोты, которые бы росли только на песчаном карьере, отсутствуют.

В целом альгофлора пл. № 3 лишь на 60 % состоит из видов, характерных для обследованных к настоящему времени наземных местообитаний региона.

Набор видов цианопрокарисов техногенных ландшафтов Апатитской ТЭЦ беден, но типичен и не отличается от наземных обрастаний естественных биотопов, выявленных в других районах Мурманской области. Мелкие формы *Leptolyngbya* s. l. (*Leptolyngbya* cf. *gracillima*, *Phormidesmis* sp., *Stenomitos* sp.) регулярно встречаются в различных наземных местообитаниях в Арктике и хорошо проявляются при культивировании [Давыдов и др., 2020]. *Aphanothece saxicola* и *Microcoleus autumnalis* являются одними из самых распространенных видов, встречающихся повсеместно [Давыдов, 2010]. *Desmonostoc muscorum* ранее был отмечен в лесной почве под Апатитами [Евдокимова, Мозгова, 2001], но в Арктике и Субарктике распространен широко [Davydov, Patova, 2018]. *Gloeocapsopsis* cf. *pleurocapsoides* не является обыденным таксоном для обрастаний техногенных субстратов, но в естественных условиях он встречается в пяти различных местонахождениях Мурманской области.

Интересные находки

В обрастаниях отвалов и песчаного карьера обнаружен ряд редких и новых для региона таксонов.

Excentrochloris fraunhoferiana (рис. 2.1). Отдел Ochrophyta, класс Xanthophyceae, порядок Mischoococcales, семейство Botrydiopsidaceae.

Вегетативные клетки неправильной формы, редко сферические, размером до 55 мкм в длину и 42 мкм в ширину. Хлоропласты многочисленны, линзовидные, без пиреноидов, иногда образуют стопки из нескольких штук. Клеточная стенка часто с неравномерными слоистыми утолщениями. Размножение зооспорами и автоспорами.

Вид был описан из образцов биопленки, образовавшейся на поверхности здания в Германии [Hofbauer et al., 2011]. Сообщения о других находках этого вида в мире отсутствуют.

Вид ранее не приводился для территории России, обнаружен на законсервированных отвалах и в песчаном карьере.

Hazenia* cf. *prostrata (*Pseudendoconium prostratum* Turpa) (рис. 2.2). Отдел Chlorophyta, класс Ulvophyceae, порядок Ulotrichales, семейство Hazeniaceae.

Колонии крупные, диаметром до 270 мкм, состоящие из обильно разветвленных простирающихся нитей и вертикальных филаментов, окруженных тонким слоем слизи. Конечные клетки вытянуты, сужаются к концу. Клетки диаметром 6–9 мкм, вытянутые – 5–8 мкм шириной, в длину до 2,5 раза больше. Хлоропласт пристеночный, массивный, с одним отчетливым пиреноидом. Бесполое размножение зооспорами.

Распространение в мире: Дания, Великобритания, Япония, США. Обнаруживается в пресной воде.

Новый для флоры России вид, выявлен на свежих отвалах.

Sarcinofilum mucosum (*Pseudoschizomeris mucosa* Broady, *Trichosarcina mucosa* (Broady) D. F. Chappell & C. J. O'Kelly) (рис. 2.3). Отдел Chlorophyta, класс Ulvophyceae, порядок Ulotrichales, семейство Sarcinofilaceae.

Молодые талломы состоят из однорядных неразветвленных нитей 6–8 мкм шириной, клетки в нитях сужены у поперечных перегородок. Многорядные нити возникают при продольном делении клеток. Нити могут быть окружены слоем слизи. В более старых талломах нити превращаются в сарциноидные пакеты. Клетки содержат один пристеночный хлоропласт с одним пиреноидом. Бесполое размножение зооспорами и фрагментацией таллома.

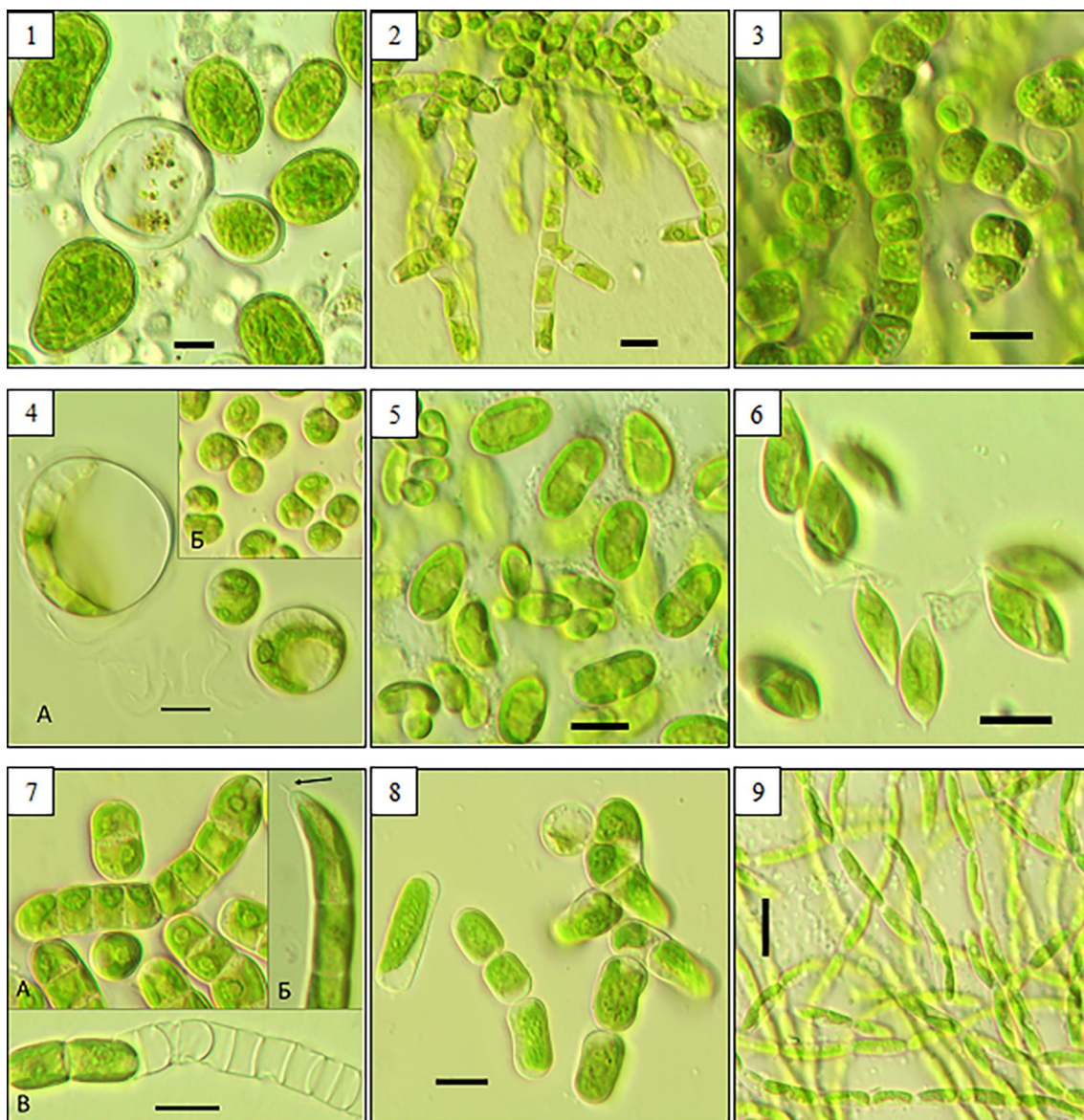


Рис. 2. Водоросли в биологических корочках на поверхности золоотвалов и песчаного карьера:

1 – *Excentrochloris fraunhoferiana*; 2 – *Hazenia* cf. *prostrata*; 3 – *Sarcinofilum mucosum*; 4 – *Desmochloris* cf. *halophila* (А – гигантские клетки, Б – молодые клетки в сарциноидных пакетах); 5 – *Neocystis* cf. *mucosa*; 6 – *Podohedra bicaudata*; 7 – *Hormidiella parvula* (А – нити в стареющей культуре, Б – стебелек (показан стрелкой), В – пустые зооспорангии); 8 – *Streptosarcina costaricana*; 9 – *Koliella* sp. Размер шкалы 10 мкм

Fig. 2. Algae in biological crusts on the surface of ash dumps and sand quarry:

1 – *Excentrochloris fraunhoferiana*; 2 – *Hazenia* cf. *prostrata*; 3 – *Sarcinofilum mucosum*; 4 – *Desmochloris* cf. *halophila* (A – giant cells, Б – young cells in sarcinoid packets); 5 – *Neocystis* cf. *mucosa*; 6 – *Podohedra bicaudata*; 7 – *Hormidiella parvula* (A – filaments in an old culture, Б – stalk (shown by the arrow), В – empty zoosporangia); 8 – *Streptosarcina costaricana*; 9 – *Koliella* sp. The scale size is 10 microns

Распространение в мире: Португалия, Украина, Антарктида, Мексика, США. Обнаруживается в пресной воде, на влажной почве и в моховых подушках.

Вид впервые указывается для России, найден на свежих золошлакоотвалах.

Desmochloris* cf. *halophila (*Chlorosarcinopsis halophila* Guillard, Bold & McEntee) (рис. 2.4).

Отдел Chlorophyta, класс Ulvophyceae, порядок Chlorocystidales, семейство Chlorocystidaceae.

Образует пакеты из 2–4 клеток. Клетки в пакетах 8,5–11 мкм в диаметре. Хлоропласт чашевидный, с одним, реже двумя пиреноидами. Для клеток характерно наличие больших вакуолей, занимающих до половины клеточного объема. Некоторые клетки в культуре мно-

гоядерные, содержат много вакуолей, имеют сетчатую цитоплазму и губчатый хлоропласт, достигают размеров 70×40 мкм. Старые клетки часто окружены остатками ослизненной клеточной стенки. Размножение зооспорами.

Вид описан из солоноватоводного пруда Массачусетса (США) [Darienکو et al., 2009]. Сообщения о других находках этого вида отсутствуют.

Новый вид для флоры России, встречен на свежих золошлакоотвалах.

Neocystis cf. mucosa (рис. 2.5). Отдел Chlorophyta, класс Chlorophyceae, порядок Sphaeropleales, семейство Radiococcaceae.

Клетки фасолевидные или яйцевидные, 10–16 × 5,5–13 мкм, одиночные или в многоклеточных колониях, окруженные слоем слизи. Хлоропласты – два и более, пристеночные, без пиреноидов. Бесполое размножение 2–16 автоспорами.

Распространение в мире: описан из озера в Германии [Krienitz et al., 2011], сообщения о других находках этого вида отсутствуют.

Штамм морфологически соответствует *Neocystis mucosa*, находки которого в России ранее не отмечались. Обнаружен только в песчаном карьере.

Podohedra bicaudata (рис. 2.6). Отдел Chlorophyta, класс Trebouxiophyceae, порядок Chlorellales, семейство Chlorellaceae.

Клетки веретенообразные, прямые или слегка изогнутые, сужающиеся к вершине с коротким кончиком, прикрепляются коротким стебельком. Хлоропласт пристеночный, с отчетливым пиреноидом. Клетки длиной 16–23 мкм, шириной 4–6 (7) мкм. Размножение 2–4 автоспорами.

Распространение в мире: данные о находках *Podohedra* приводятся в основном для территории Средней Европы [Klemenčič et al., 2009; Škaloud, 2009; Schulz et al., 2016]. Обнаруживается в наземных местообитаниях.

Новый вид для флоры России, обнаружен в песчаном карьере.

Hormidiella parvula (рис. 2.7). Отдел Charophyta, класс Klebsormidiophyceae, порядок Klebsormidiales, семейство Klebsormidiaceae.

Нити однорядные, простые, прямые или изогнутые, прикрепляющиеся к субстрату с помощью дермоида (стебелек со «стопой» на конце). Клетки бочонковидные, перетянутые у поперечных перегородок, верхушечная и базальная клетки конусовидные. Хлоропласт пристеночный, с пиреноидом. Клетки 7–9 мкм шириной, 4–12 мкм длиной. Размножение зооспорами, апланоспорами.

Вид описан из почв Индии [Iyengar, Kanthamma, 1940], встречается на территории США [Patrick, 1994; Mikhailyuk et al., 2018], Бразилии [Freitas, 2013], Египта [Shanab, 2006; Baykal, 2009], а также Польши [Paczuska, 2015]. Обнаружен в почве, пресной воде, горячем источнике.

Первое указание для территории России, вид обнаружен в песчаном карьере.

Streptosarcina costaricana (рис. 2.8). Отдел Charophyta, класс Klebsormidiophyceae, порядок Klebsormidiales, семейство Klebsormidiaceae.

Таллом в виде коротких нитей, клеточных диад или одиночных клеток. Наблюдается истинное ветвление. Вегетативные клетки от эллипсоидных до цилиндрических и удлиненно цилиндрических, 7,7–8,6 мкм шириной, 9,5–32 мкм длиной. Хлоропласт пристеночный, пластинчатый, с волнообразным или рассеченным краем. Пиреноид одиночный в молодых клетках, в старых вытянутых клетках часто образуются серии из нескольких пиреноидов. Пиреноид окружен слоем мелких крахмальных зерен. Вегетативное размножение путем деления клеток и фрагментации талломов.

Распространение в мире: описан из почв США [Mikhailyuk et al., 2018]; сообщения о других находках этого вида отсутствуют.

Вид ранее не был отмечен в России, найден в обрастаниях в песчаном карьере.

Кроме указанных находок из обрастаний песчаного карьера выделен штамм, нуждающийся в более подробном изучении с привлечением методов молекулярно-генетического анализа, – *Koliella* sp. По морфологии клеток штамм подходит под описание рода, но клетки соединены в достаточно длинные нити (рис. 2.9), что больше характерно для другого, схожего рода *Raphidonema*. Идентификация видов в комплексе *Koliella/Raphidonema* затруднена из-за высокого уровня плейоморфизма по отношению к факторам окружающей среды.

Заключение

Водоросли и цианопрокариоты активно заселяют отвалы ТЭЦ уже с первоначальных стадий сукцессии, где доминирует *Desmonostoc muscorum*, в дальнейшем при доминировании этого вида формируются почвенные биологические корочки, широкое распространение которых приводит к закреплению мелкодисперсного субстрата. Активное внедрение в такие обрастания лишайников и мохообразных формирует устойчивый растительных покров.

На небольшой по площади территории и в небольшом числе проб выявлено высокое разнообразие водорослей, что обусловлено как наличием большого числа широко распространенных типичных почвенных видов, так и рядом редких и новых для региона таксонов. Впервые для России приводятся *Excentrochloris fraunhoferiana*, *Desmochloris* cf. *halophila*, *Hazenia* cf. *prostrata*, *Sarcinofilum mucosum*. Присутствие видов, нетипичных для естественных экосистем, можно объяснить низкой конкуренцией и специфическими условиями (особый химизм субстрата, его обогащение кальцием или микроэлементами). Сукцессия на отвалах разного возраста идет по пути сближения с естественной водорослевой микрофлорой лесных североазиатских почв. Сравнение отвалов разных лет и оголенных песчаных грунтов природного генезиса показало, что зарастание природных песчаных отложений характеризуется чуть меньшим разнообразием видов водорослей (54 вида против 66 на отвалах). Впервые для территории России приводятся *Excentrochloris fraunhoferiana*, *Neocystis* cf. *mucosa*, *Podohedra bicaudata*, а также редкие и новые для Европы *Hormidiella parvula* и *Streptosarcina costaricana*.

Исследование выполнено в рамках тем НИР №№ АААА-А18-118021490070-5 и АААА-А18-118050490088-0, при частичной поддержке грантов РФФИ №№ 18-04-00171_а, 18-04-00643_а.

Литература

- Андреева В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли. М.: Наука, 1998. 348 с.
- Гайсина Л. А., Фазлутдинова А. И., Кабиров Р. Р. Современные методы выделения и культивирования водорослей: Учеб. пособие. Уфа: Изд-во БГПУ, 2008. 152 с.
- Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.
- Горленко В. М., Сопрунова О. Б., Шадрин О. И., Терехов А. С. Комплексная оценка эффективности ремедиации нефтезагрязненных почв интродуцированным цианобактериальным сообществом // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2006. № 1. С. 38–44.
- Давыдов Д. А. Наземные цианопрокариоты на территории Полярно-альпийского ботанического сада-института (Хибины, Кольский полуостров) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2008. Т. 113, вып. 1. С. 72–75.
- Давыдов Д. А. Цианопрокариоты и их роль в процессе азотфиксации в наземных экосистемах Мурманской области. М.: ГЕОС, 2010. 184 с.
- Давыдов Д. А. Наземные цианопрокариоты западной части Хибин // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2012. Т. 117, вып. 5. С. 72–77.
- Давыдов Д. А. Находки новых видов цианопрокариот в ущелье Айкуайвенчорр (Хибины, Мурманская область) // Труды КарНЦ РАН. 2018. № 8. С. 132–140. doi: 10.17076/bg734
- Давыдов Д. А., Егоров В. И. Сообщества эпифитных цианобактерий в синузиях мохообразных горных и предгорных районов Хибин (Кольский п-ов) // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Ч. 2: Матер. междунар. конф. Апатиты, 2004. С. 8–9.
- 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: 10.25750/1995-4301-2020-1-110-116
- Делицын Л. М., Ежова Н. Н., Власов А. С., Сударева С. В. Золотоотвалы твердотопливных тепловых электростанций как угроза экологической безопасности // Экология промышленного производства. 2012. № 4. С. 15–26.
- Дорохова М. Ф. Почвенные водоросли как агенты рекультивации земель, нарушенных при угледобыче // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Екатеринбург: Наука, 1997. С. 77–86.
- Дорохова М. Ф. Почвенные водоросли // Природная среда тундры в условиях открытой разработки угля (на примере Юньягинского месторождения). Сыктывкар, 2005. 246 с.
- Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П. Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 2001. 184 с.
- Зимонина Н. М. Почвенные водоросли нефтесырых земель. Киров: ВГПУ, 1998. 170 с.
- Зимонина Н. М. Первичная сукцессия альгогруппировок на отвалах разработок Печорского угольного бассейна // Бот. журн. 2010. Т. 95, № 7. С. 956–969.
- Зимонина Н. М. Роль почвенных водорослей в восстановлении нарушенного почвенно-растительного покрова районов нефте-угледобычи Республики Коми // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 2(26). С. 44–52.
- Иванова А. П., Сафиуллина Л. М., Мансурова Г. Р., Петухова А. П., Суханова Н. В., Закирова М. Б., Муратова К. Р. Первые сведения о видовом составе почвенных водорослей и цианобактерий с месторождения Муртыкты ЗАО НПФ «Башкирская золотодобывающая компания» (Учалинский район, Республика Башкортостан) // Вестник ОГУ. 2015. № 10(185). С. 20–23.
- Кабиров Р. Р. Роль почвенных водорослей в антропогенных экосистемах // Фундаментальные исследования. 2004. № 6. С. 22–24.
- Кабиров Р. Р. Почвенные водоросли железнорудных отвалов Южного Урала // Бот. журн. 1989. Т. 74, № 2. С. 208–216.
- Кожухова Н. И., Жерновский И. В., Фомина Е. В. Фазаобразование в геополлимерных системах на основе золы-уноса Апатитской ТЭЦ // Строительные материалы. 2015. № 12. С. 85–88.
- Комплексный инвестиционный проект модернизация системы теплоснабжения Мурманской об-

ласти на 2015–2030 годы / ФГБУ «РЭА» Минэнерго России. Государственный контракт от 01 декабря 2014 г. № 20.

Корнейкова М. В., Редькина В. В., Шалыгина Р. Р. Альго-микологическая характеристика почв в сосновом и березовом лесах на территории заповедника «Пасвик» // Почвоведение. 2018. № 2. С. 211–220. doi: 10.7868/S0032180X18020090

Косинская Е. К. Мезотениевые и гонатозиговые водоросли. Конъюгаты, или сцеплянки (1) // Флора споровых растений СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1952. Т. 2. С. 163.

Крашенинников О. Н., Пак А. А., Бастрьгина С. В. Использование золоотходов для получения бетонов // Экология промышленного производства. 2007. № 2. С. 48–56.

Малахова Н. А. Фитоценотическая организация альгогруппировок естественных фитоценозов отвалов Кузбасса // Сиб. экол. журн. 2009. Т. 16, № 1. С. 113–117.

Малахова Н. А., Мироничева-Токарева Н. П. Сингенетический этап зарастания отвалов Кузбасса // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2008. Т. 3, № 2. С. 42–46.

Малахова Н. А., Мироничева-Токарева Н. П. Участие водорослей в рекультивации отвалов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2010. Т. 4, № 2. С. 140–143.

Мальцева И. А., Баранова О. А. Водоросли техногенных экотопов железорудного производства // Альгология. 2014. № 24(3). С. 350–353.

Мелехин А. В., Давыдов Д. А., Шалыгин С. С., Боровичев Е. А. Общедоступная информационная система по биоразнообразию цианопрокариот и лишайников CRIS (Cryptogamic Russian Information System) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2013. Т. 118, вып. 6. С. 51–56.

Нагорная О. В., Головастикова А. В. Участие почвенных водорослей и мхов в формировании биоценозов отвалов Михайловского горно-обогательного комбината Курской магнитной аномалии // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7, № 1(22). С. 87–91.

Пак А. А. К вопросу использования техногенных отходов предприятий Мурманской области в ячеистых бетонах // Гелион [Электронный ресурс]. 2008. URL: <https://helion-ltd.ru/use-of-tech-waste> (дата обращения: 23.05.2020).

Пак А. А., Сухорукова Н. Р. Использование техногенных отходов Мурманской области в ячеистом бетоне // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. № 14. С. 254–257.

Патова Е. Н., Новаковская И. В. Почвенные водоросли северо-востока европейской части России // Новости сист. низш. раст. 2018. Т. 52, № 2. С. 311–354. doi: 10.31111/nsnr/2018.52.2.311

Патова Е. Н., Давыдов Д. А. Сравнительная характеристика наземных цианопрокариот в горно-тундровых местообитаниях Хибин и Полярного Урала // Проблемы изучения и сохранения растительного мира Восточной Фенноскандии: Тезисы докл. междунар. совещ., посвящ. 100-летию со дня рождения М. Л. Раменской, Апатиты, Мурманская область, 15–19 июня 2015 г. Апатиты, 2015. С. 71–72.

Патова Е. Н., Кулюгина Е. Е., Денева С. В. Процессы естественного восстановления почв и растительного покрова на отработанном угольном карьере (Большеземельская тундра) // Экология. 2016. № 3. С. 173–179. doi: 10.7868/S0367059716020116

Переверзев В. Н. Почвообразование в лесной зоне Кольского полуострова // Вестник КНЦ РАН. 2011. Т. 2. С. 74–82.

Пшенинкова Е. В. Изучение почвенных водорослей Якутии // Водоросли: таксономия, экология, использование в мониторинге. Екатеринбург, 2011. С. 110–116.

Рекомендации по проектированию золошлакоотвалов тепловых электрических станций. Л.: ВНИИГ, 1986. 128 с.

Ройзин М. Б. Микрофлора скал и примитивных почв высокогорной арктической пустыни // Бот. журн. 1960. Т. 45, № 7. С. 997–1007.

Сопрунова О. Б. Функционирование цианобактериальных сообществ в условиях техногенных экосистем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. 2006. № 2. С. 24–29.

Терехова Э. Б. Начальные этапы почвообразовательного процесса на железорудных отвалах Северного Казахстана // Растения и промышленная среда. Вып. 6. Свердловск, 1979. С. 102–126.

Чайка Н. И., Иванова Н. А. Формирование водорослевых группировок на отвалах угольных шахт Донбасса // Вестник Курской ГСХА. 2015. № 8. С. 230–235.

Штина Э. А. Почвенные водоросли как экологические индикаторы // Бот. журн. 1990. Т. 75, № 4. С. 441–453.

Штина Э. А., Неганова Л. Б., Ельшина Т. А. Особенности почвенной альгофлоры в условиях техногенного загрязнения // Почвоведение. 1985. № 10. С. 97–107.

Штина Э. А., Махонина Г. И., Кондратьева Т. П., Шабардина Т. А. Альгофлора старых промышленных отвалов Урала и ее роль в биологической рекультивации // Растения и промышленная среда. Вып. 12. Свердловск, 1989. С. 56–66.

Штина Э. А., Ройзин М. Б. Водоросли подзолистых почв Хибин // Бот. журн. 1966. Т. 51, № 4. С. 509–519.

Ярыева М. В., Сафиуллина Л. М. Анализ альгоцианобактериальной флоры отвалов ООО «Башкирская медь», Хайбуллинский район Республики Башкортостан // Студенческий форум. 2019. № 22–1(73). С. 10–14.

Baykal T., Akbulut A., Açıkgöz I., Udoh A. U., Yildiz K., Sen B. New records for the freshwater algae of Turkey // Turk. J. Bot. 2009. Vol. 33(2). P. 141–152. doi: 10.3906/bot-0705-10

Borchhardt N., Baum C., Mikhailyuk T., Karsten U. Biological soil crusts of Arctic Svalbard – Water availability as potential controlling factor for microalgal biodiversity // Front. Microbiol. 2017. Vol. 8. 1485. doi: 10.3389/fmicb.2017.01485

Büdel B., Dulić T., Darienko T., Rybalka N., Friedl T. Cyanobacteria and algae of biological soil crusts // Biol. Soil Crusts: An Organizing Principle in Drylands. B. Weber, B. Büdel, J. Belnap (eds). Berlin: Springer, 2016. P. 55–80. doi: 10.1007/978-3-319-30214-0_4

- Cabala J., Rahmonov O., Jablonska M., Teper E.* Soil algal colonization and its ecological role in an environment polluted by past Zn – Pb mining and smelting activity // *Water Air Soil Pollut.* 2011. Vol. 215, no. 1–4. P. 339–348. doi: 10.1007/s11270-010-0482-1
- Chamizo S., Mugnai G., Rossi F., Certini G., De Philippis R.* Cyanobacteria inoculation improves soil stability and fertility on different textured soils: gaining insights for applicability in soil restoration // *Front. Environ. Sci.* 2018. Vol. 6. P. 49–62. doi: 10.3389/fenvs.2018.00049
- Darienko T., Friedl T., Pröschold T.* *Desmochloris mollenhaueri* – a new terrestrial ulvophycean alga from south – west African soils. Molecular phylogeny and systematics of terrestrial Ulvophyceae I // *Algol. Studies.* 2009. Vol. 129. P. 25–40. doi: 10.1127/1864-1318/2009/0129-0025
- Davydov D.* Terrestrial Cyanoprokaryota of the Khibiny Mountains // *Algae in terrestrial ecosystems: International Conference Kaniv Reserve (Kaniv, Ukraine, September 27–30, 2005). Program and Abstracts.* Nizhyn, 2005. P. 24.
- Davydov D., Patova E.* The diversity of Cyanoprokaryota from freshwater and terrestrial habitats in the Eurasian Arctic and Hypoarctic // *Hydrobiologia.* 2018. Vol. 811, iss. 1. P. 119–138. doi: 10.1007/s10750-017-3400-3
- Ettl H., Gärtner G.* Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. 2., ergänzte Auflage. Berlin; Heidelberg: Springer, 2014. 773 p. doi: 10.1007/978-3-642-39462-1
- Evans R. D., Johansen J. R.* Microbiotic crusts and ecosystem processes // *Crit. Rev. Plant Sci.* 1999. Vol. 18(2). P. 183–225. doi: 10.1080/07352689991309199
- Freitas L., Loverde-Oliveira S.* Checklist of green algae (Chlorophyta) for the state of Mato Grosso, Central Brazil // *Check List.* 2013. Vol. 9. P. 1471. doi: 10.15560/9.6.1471
- Guillard R. R. L., Bold H. C., MacEntee F. J.* Four new unicellular chlorophycean algae from mixohaline habitats // *Phycologia.* 1975. Vol. 14(1). P. 13–24. doi: 10.2216/i0031-8884-14-1-13.1
- Guiry M. D., Guiry G. M.* AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 23.05.2020).
- Hodač L., Brinkmann N., Mohr K. I., Arp G., Hallmann C., Ramm J., Spitzer K., Friedl T.* Diversity of microscopic green algae (Chlorophyta) in calcifying biofilms of two karstic streams in Germany // *Geomicrobiol. J.* 2015. Vol. 32. P. 275–290. doi: 10.1080/01490451.2013.878418
- Hofbauer W., Gaertner G., Rennebarth T., Sedlbauer K., Mayer F., Breuer K.* *Excentrochloris fraunhoferiana* sp. nov. (Botrydiopsidaceae, Xanthophyceae), a new aerophytic species from the surfaces of modern buildings // *Fottea.* 2011. Vol. 11(2). P. 279–291. doi: 10.5507/fot.2011.027
- Hoffmann L.* Algae of terrestrial habitats // *Bot. Rev.* 1989. Vol. 55. P. 77–105. doi: 10.1007/bf02858529
- Iyengar M. O. P., Kanthamma S.* On Hormidiella, a new member of the Ulotrichaceae // *J. Ind. Bot. Soc.* 1940. Vol. 19. P. 157–166.
- Johansen J. R., Shubert E.* Algae in soils // *Nova Hedwigia.* 2001. Vol. 123. P. 297–306.
- Klemenčič A. K., Toman M. J., Balabanič D.* Records of new algal taxa within various aquatic and aerophytic habitats in Slovenia // *Natura Sloveniae.* 2009. Vol. 11(2). P. 5–26.
- Komárek J.* Cyanoprokaryota. Teil 3: Heterocytous genera // *Süßwasserflora von Mitteleuropa.* Bd 19/3. Berlin; Heidelberg, 2013. 1133 p. doi: 10.1007/978-3-8274-2737-3
- Komárek J., Anagnostidis K.* Cyanoprokaryota. Teil 1: Chroococcales // *Süßwasserflora von Mitteleuropa.* Bd 19/1. Jena, etc., 1998. 548 p.
- Komárek J., Anagnostidis K.* Cyanoprokaryota. Teil 2: Oscillatoriales // *Süßwasserflora von Mitteleuropa.* Bd 19/2. Heidelberg, 2005. 759 p.
- Komárek J., Nedbalová L.* Green cryosestic algae // *Algae and cyanobacteria in extreme environments.* Dordrecht: Springer, 2007. P. 321–342. doi: 10.1007/978-1-4020-6112-7_17
- Korneykova M., Redkina V., Shalygina R.* Algae, cyanobacteria, and microscopic fungi complexes in the Rybachy Peninsula soils, Russia // *Czech Polar Reports.* 2017. Vol. 7(2). P. 181–194. doi: 10.5817/cpr2017-2-18
- Kotai J.* Instructions for preparation of modified nutrient solution Z8 for algae / Norwegian Institute for Water Research. Blindern, Oslo, 1972. Vol. 11/69. 5 p.
- Krienitz L., Bock C., Nozaki H., Wolf M.* SSU rRNA gene phylogeny of morphospecies affiliated to the bioassay alga *Selenastrum capricornutum* recovered the polyphyletic origin of crescent-shaped Chlorophyta // *J. Phycol.* 2011. Vol. 47, no. 4. P. 880–893. doi: 10.1111/j.1529-8817.2011.01010.x
- Lukešová A.* Soil algae in brown coal and lignite post-mining areas in central Europe (Czech Republic and Germany) // *Restor. Ecol.* 2001. Vol. 9(4). P. 341–350. doi: 10.1046/j.1526-100x.2001.94002.x
- Lukešová A., Komárek J.* Succession of soil algae on dumps from strip coal-mining in the most region (Czechoslovakia) // *Folia Geobot. Phytotax.* 1987. Vol. 22(4). P. 355–362. doi: 10.1007/bf02853232
- Melekhin A. V., Davydov D. A., Borovichev E. A., Shalygin S. S., Konstantinova N. A.* CRIS – service for input, storage and analysis of the biodiversity data of the cryptogams // *Folia Cryptogamica Estonica.* 2019. Vol. 56. P. 99–108. doi: 10.12697/fce.2019.56.10
- Metting B.* The systematics and ecology of soil algae // *Bot. Rev.* 1981. Vol. 47, no. 2. P. 195–312. doi: 10.1007/bf02868854
- Mikhailyuk T., Lukešová A., Glaser K., Holzinger A., Obwegeser S., Nyporko S., Karsten U.* New taxa of streptophyte algae (Streptophyta) from terrestrial habitats revealed using an integrative approach // *Protist.* 2018. Vol. 169(3). P. 406–431. doi: 10.1016/j.protis.2018.03.002
- Orlekowsky T., Venter A., Van Wyk F., Levanets A.* Cyanobacteria and algae of gold mine tailings in the Northwest Province of South Africa // *Nova Hedwigia.* 2013. Vol. 97, no. 3–4. P. 281–294. doi: 10.1127/0029-5035/2013/0117
- Paczuska B., Paczuski R.* Small water ponds as reservoirs of algae biodiversity // *Oceanol. Hydrobiol. St.* 2015. Vol. 44(4). P. 480. doi: 10.1515/ohs-2015-0045

Patrick R. Rivers of the United States, Volume III: The Eastern and Southeastern States. – John Wiley & Sons, 1994. 829 p.

Rahmonov O., Piątek J. Sand colonization and initiation of soil development by cyanobacteria and algae // *Ekológia* (Bratislava). 2007. Vol. 26(1). P. 52–63.

Rahmonov O., Cabala J., Bednarek R., Rozek D., Florkeiwicz A. Role of soil algae on the initial stages of soil formation in sandy polluted areas // *Ecol. Chem. Eng. S.* 2015. Vol. 22, no. 4. P. 675–690. doi: 10.1515/eces-2015-0041

Rana S., Mishra P., ab Wahid Z., Thakur S., Pant D., Singh L. Microbe-mediated sustainable bio-recovery of gold from low-grade precious solid waste: A microbiological overview // *J. Environ. Sci.* 2020. Vol. 89. P. 47–64. doi: 10.1016/j.jes.2019.09.023

Redkina V. V., Korneykova M. V., Shalygina R. R. Microorganisms of the technogenic landscapes: The Case of nepheline-containing sands, the Murmansk Region // *Processes and Phenomena on the Boundary Between Biogenic and Abiogenic Nature*. Cham: Springer, 2020. P. 561–579. doi: 10.1007/978-3-030-21614-6_30

Roncero-Ramos B., Muñoz-Martín M. A., Cantón Y., Chamizo S., Rodríguez-Caballero E., Mateo P. Land degradation effects on composition of pioneering soil communities: An alternative successional sequence for dryland cyanobacterial biocrusts // *Soil Biol. Biochem.* 2020. Vol. 146. 107824. doi: 10.1016/j.soilbio.2020.107824.

Seiderer T., Venter A., Van Wyk F., Levanets A., Jordaan A. Growth of soil algae and cyanobacteria on gold mine tailings material // *S. Afr. J. Sci.* 2017. Vol. 113(11/12). 2016–0384. doi: 10.17159/sajs.2017/20160384

Schulz K., Mikhailyuk T., Dreßler M., Leinweber P., Karsten U. Biological soil crusts from coastal dunes at the Baltic Sea: cyanobacterial and algal biodiver-

sity and related soil properties // *Microbial Ecol.* 2016. Vol. 71(1). P. 178–193. doi: 10.1007/s00248-015-0691-7

Shanab S. M. M. Algal flora of Ain Helwan. I. Algae of the warm spring // *Egypt. J. Phycol.* 2006. Vol. 7. P. 209–231.

Škaloud P. Species composition and diversity of ae-ro-terrestrial algae and cyanobacteria of the Boreč Hill ventaroles // *Fottea*. 2009. Vol. 9. P. 65–80. doi: 10.5507/fot.2009.006

Škaloud P., Rindi F., Boedeker C., Leliaert F. Fresh-water flora of Central Europe. Chlorophyta: Ulvophyceae (Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 13: Chlorophyta: Ulvophyceae). Springer-Verlag, 2018. 289 p. doi: 10.1007/978-3-662-55495-1

Song Y., Shu W., Wang A., Liu W. Characters of soil algae during primary succession on copper mine dumps // *J. Soils Sediments*. 2014. Vol. 14(3). P. 577–583. doi: 10.1007/s11368-013-0815-y

Sørensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content // *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Biol. krifter*. 1948. Bd. V, no. 4. P. 1–34.

Starks T. L., Shubert L. E. Colonization and succes-sion of algae and soil-algal interactions associated with disturbed areas // *J. Phycol.* 1982. Vol. 18(1). P. 99–107. doi: 10.1111/j.1529-8817.1982.tb03162.x

Starks T. L., Shubert L. E., Trainor F. R. Ecology of soil algae: a review // *Phycologia*. 1981. Vol. 20(1). P. 65–80. doi: 10.2216/i0031-8884-20-1-65.1

Trzcińska M., Pawlik-Skowrońska B. Soil algal com-munities inhabiting zinc and lead mine spoils // *J. Appl. Phycol.* 2008. Vol. 20(4). P. 341–348. doi: 10.1007/s10811-007-9259-3

Поступила в редакцию 26.06.2020

References

Andreeva V. M. Pochvennye i aerofil'nye zelenye vodorosli [Soil and aerophilic green algae]. Moscow: Nauka, 1998. 348 p.

Chaika N. I., Ivanova N. A. Formirovanie vodoroslevykh gruppirovok na otvalakh ugol'nykh shakht Donbassa [Formation of algal groups on the dumps of the coal mines of Donbass]. *Vestnik Kurskoi GSKhA* [Bull. Kursk St. Agricultural Acad.]. 2015. No. 8. P. 230–235.

Davydov D. A. Nazemnye tsianoprokarioty na territorii Polyarno-al'piiskogo botanicheskogo sada-instituta (Khibiny, Kol'skii poluostrov) [Terrestrial cyanoprokaryotes on the territory of the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute (Khibiny, Kola Peninsula)]. *Byul. MOIP. Otd. biol.* [Bull. of Moscow Society of Naturalists. Dep. Biol.]. 2008. Vol. 113, no. 1. P. 72–75.

Davydov D. A. Tsianoprokarioty i ikh rol' v protsesse azotifikatsii v nazemnykh ekosistemakh Murmanskoi oblasti [Cyanoprokaryota and their role in the process of nitrogen fixation in terrestrial ecosystems of the Murmansk Region]. Moscow: GEOS, 2010. 184 p.

Davydov D. A. Nazemnye tsianoprokarioty zapadnoi chasti Khibin [Terrestrial cyanoprokaryotes of the western part of the Khibiny Mountains]. *Byul. MOIP. Otd.*

biol. [Bull. of Moscow Society of Naturalists. Dep. Biol.]. 2012. Vol. 117, no. 5. P. 72–77.

Davydov D. A. Nakhodki novykh vidov tsianoprokariot v uschel'e Aikuaivenchorr (Khibiny, Murmanskaya oblast') [New records of some cyanoprokaryotes in the Aykuivenchorr Ravi (Khibiny mountains (Murmansk Region)]. *Trudy KarNTs RAN [Trans. KarRC RAS]*. 2018. No. 8. P. 132–140. doi: 10.17076/bg734

Davydov D. A., Egorov V. I. Soobshchestva epifitnykh tsianobakterii v sinuziyakh mokhoobraznykh gornyykh i predgornyykh raionov Khibin (Kol'skii p-ov) [Communities of epiphytic cyanobacteria in the synusia of bryophyte mountain and foothill regions of the Khibiny (Kola Peninsula)]. *Ekol. probl. severnykh regionov i puti ikh resheniya*. Ch. 2: Mat. mezhdunar. konf. [Ecol. probl. of the northern regions and ways to solve them. Part 2. Proceed. int. conf.]. Apatity, 2004. P. 8–9.

Davydov D. A., Patova E. N., Shalygin S. S., Vil'net A. A., Novakovskaya I. V. Problema skrytogo raznoobraziya tsianoprokariot arkticheskikh territorii [The problem of Cyanobacteria cryptic speciation in the Arctic region]. *Teor. i priklad. ekol.* [Theor. and Appl. Ecol.]. 2020. No. 1. P. 110–116. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-110-116

- Delitsyn L. M., Ezhova N. N., Vlasov A. S., Sudareva S. V. Zolootvaly tverdotoplivnykh teplovykh elektrostantsii kak ugroza ekologicheskoi bezopasnosti [Ash dumps of solid fuel thermal power plants as a threat to environmental safety]. *Ekol. promyshlennogo proizvodstva* [Ecol. of Industrial Production]. 2012. No. 4. P. 15–26.
- Dorokhova M. F. Pochvennye vodorosli [Soil algae]. *Biol. rekul'tivatsiya narushennykh zemel'* [Biol. reclamation of disturbed lands]. Syktyvkar, 2005. 246 p.
- Dorokhova M. F. Pochvennye vodorosli kak agenty rekul'tivatsii zemel', narushennykh pri ugledobyche [Soil algae as agents of land reclamation disturbed during coal mining]. *Prirod. sreda tundry v usloviyakh otkrytoi razrabotki uglya (na primere Yun'yaginskogo mestorozhdeniya)* [The natural environment of the tundra under open coal mining (for example, Yunyaginsky deposits)]. Ekaterinburg: Nauka, 1997. P. 77–86.
- Evdokimova G. A., Mozgova N. P. Mikroorganizmy tundrovyykh i lesnykh podzolov Kol'skogo Severa [Microorganisms of the tundra and forest podzols of the Kola North]. Apatity: KSC RAS, 2001. 184 p.
- Gaisina L. A., Fazlutdinova A. I., Kabirov R. R. Sovremennyye metody vydeleniya i kul'tivirovaniya vodoroslei: uchebnoe posobie [Modern methods of isolation and cultivation of algae: a training manual]. Ufa: IZD-VO BGPU, 2008. 152 p.
- Gollerbach M. M., Shtina E. A. Pochvennye vodorosli [Soil algae]. Leningrad: Nauka, 1969. 228 p.
- Gorlenko V. M., Soprunova O. B., Shadrina O. I., Terekhov A. S. Kompleksnaya otsenka effektivnosti remediatsii neftezagryaznennykh pochv introdutsirovannym tsianobakterial'nym soobshchestvom [A comprehensive assessment of the effectiveness of remediation of oil-contaminated soils by an introduced cyanobacterial community]. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 17. Pochvovedenie* [Moscow St. Univ. J. Ser. 17. Soil Sci.]. 2006. No. 1. P. 38–44.
- Ivanova A. P., Safiullina L. M., Mansurova G. R., Petukhova A. P., Sukhanova N. V., Zakirova M. B., Muratova K. R. Pervye svedeniya o vidovom sostave pochvennykh vodoroslei i tsianobakterii s mestorozhdeniya Murtykty ZAO NPF "Bashkirskaya zolotodobyvayushchaya kompaniya" (Uchalinskii raion, Respublika Bashkortostan) [The first information on the species composition of soil algae and cyanobacteria from the Murtykty deposit of CJSC NPF Bashkir Gold Mining Company (Uchalinsky District, Republic of Bashkortostan)]. *Vestnik OGU* [Bull. Orenburg St. Univ.]. 2015. No. 10(185). P. 20–23.
- Kabirov R. R. Pochvennye vodorosli zheleznorudnykh otvalov Yuzhnogo Urala [Soil algae of iron ore dumps in the Southern Urals]. *Bot. zhurn.* [Bot. J.]. 1989. Vol. 74, no. 2. P. 208–216.
- Kabirov R. R. Rol' pochvennykh vodoroslei v antropogennykh ekosistemakh [Role of soil algae in anthropogenic ecosystems]. *Fund. issled.* [Fund. Research]. 2004. No. 6. P. 22–24.
- Kompleksnyi investitsionnyi proekt modernizatsii sistemy teplosnabzheniya Murmanskoi oblasti na 2015–2030 gody [Integrated investment project, modernization of the heat supply system of the Murmansk Region for 2015–2030]. FGBU «REA» Minenergo Ros-
- sii. Gos. kontrakt ot 01 dek. 2014 g. № 20 [Federal State Budgetary Institution REA of the Ministry of Energy of Russia State contract No. 20 dated Dec. 01, 2014].
- Korneikova M. V., Redkina V. V., Shalygina R. R. Al'go-mikologicheskaya kharakteristika pochv v sosnovom i berezovom lesakh na territorii zapovednika "Pasvik" [Algo-mycological characteristics of soils in pine and birch forests on the territory of the Pasvik Reserve]. *Pochvovedenie* [Soil Sci.]. 2018. No. 2. P. 211–220. doi: 10.7868/S0032180X18020090
- Kosinskaya E. K. Mezotenievye i gonatozigovyye vodorosli. Kon'yugaty, ili stseplyanki (1) [Mesotenia and gonatozig algae. Conjugates, or couplings (1)]. *Flora sporovykh rastenii SSSR* [Flora of spore plants of the USSR]. Moscow: USSR Acad. of Sci., 1952. Vol. 2. P. 163.
- Kozhukhova N. I., Zhernovskii I. V., Fomina E. V. Fazoobrazovanie v geopolimernyykh sistemakh na osnovе zoly-unosa Apatitskoi TETs [Phase formation in geopolymer systems based on fly ash of the Apatitskaya TPP]. *Stroitel'nye mat.* [Construction Mat.]. 2015. No. 12. P. 85–88.
- Krashennnikov O. N., Pak A. A., Bastrygina S. V. Ispol'zovanie zolootkhodov dlya polucheniya betonov [Use of ash waste for concrete production]. *Ekol. promyshlennogo proizvodstva* [Ecol. of Industrial Production]. 2007. No. 2. P. 48–56.
- Malakhova N. A. Fitotsenoticheskaya organizatsiya al'gogrupperovok estestvennykh fitotsenozov otvalov Kuzbassa [Phytocenotic organization of algal groups of natural phytocenoses of Kuzbass dumps]. *Sib. ekol. zhurn.* [Siberian J. Ecol.]. 2009. Vol. 16, no. 1. P. 113–117.
- Malakhova N. A., Mironicheva-Tokareva N. P. Uchastie vodoroslei v rekul'tivatsii otvalov [The participation of algae in the reclamation of dumps]. *Interespo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia]. 2010. Vol. 4, no. 2. P. 140–143.
- Malakhova N. A., Mironycheva-Tokareva N. P. Sin-geneticheskii etap zarastaniya otvalov Kuzbassa [Syngenetic stage of overgrowing of the Kuzbass dumps]. *Interespo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia]. 2008. Vol. 3, no. 2. P. 42–46.
- Maltseva I. A., Baranova O. A. Vodorosli tekhnogennykh ekotopov zhelezorudnogo proizvodstva [Algae of technogenic ecotopes of iron ore production]. *Al'gologiya* [Algology]. 2014. No. 24(3). P. 350–353.
- Melekhin A. V., Davydov D. A., Shalygin S. S., Borovichev E. A. Obshchedostupnaya informatsionnaya sistema po bioraznoobraziyu tsianoprokariot i lishainikov CRIS (Cryptogamic Russian Information System) [CRIS (Cryptogamic Russian Information System): an open information system on biodiversity of Cyanoprokaryotes and lichens]. *Byull. MOIP. Otd. biol.* [Bull. of Moscow Society of Naturalists. Dep. Biol.]. 2013. Vol. 118, no. 6. P. 51–56.
- Nagornaya O. V., Golovastikova A. V. Uchastie pochvennykh vodoroslei i mkhov v formirovani biotsenozov otvalov Mikhailovskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata Kurskoi magnitnoi anomalii [The participation of soil algae and mosses in the formation of biocenoses of the dumps of the Mikhailovsky mining and processing plant of the Kursk magnetic anomaly]. *Samarskii nauch.*

vestnik [Samara Sci. Herald]. 2018. Vol. 7, no. 1(22). P. 87–91.

Pak A. A. K voprosu ispol'zovaniya tekhnogennykh otkhodov predpriyatii Murmanskoi oblasti v yacheistyykh betonakh [On the use of industrial wastes of enterprises of the Murmansk Region in cellular concrete]. 2008. URL: <https://helion-ltd.ru/use-of-tech-waste> (accessed: 23.05.2020).

Pak A. A., Sukhorukova N. R. Ispol'zovanie tekhnogennykh otkhodov Murmanskoi oblasti v yacheistom betone [Use of technogenic wastes of the Murmansk Region in cellular concrete]. *Trudy Fersmanovskoi nauch. sessii GI KNTs RAN* [Trans. Fersman Sci. Session IG KSC RAS]. 2017. No. 14. P. 254–257.

Patova E. N., Davydov D. A. Sravnitel'naya kharakteristika nazemnykh tsianoprokariot v gorno-tundrovyykh mestoobitaniyakh Khibin i Polyarnogo Urala [Comparative characteristics of terrestrial cyanoprokaryotes in the mountain-tundra habitats of the Khibiny and the Polar Urals]. *Probl. izuch. i sokhr. rastitel'nogo mira Vostochnoi Fennoskandii: Tezisy dokl. mezhdunar. soveshch., posvyashch. 100-letiyu so dnya rozhdeniya M. L. Ramenskoi, Apatity, Murmanskaya obl., 15–19 iyunya 2015 g.* [Int. meeting Problems of Studying and Preserving the Flora of East Fennoscandia dedicated to the centenary of M. L. Ramenskaya, Apatity, Murmansk Region, June 15–19, 2015: Abs.]. Apatity, 2015. P. 71–72.

Patova E. N., Novakovskaya I. V. Pochvennyye vodorosli severo-vostoka evropeiskoi chasti Rossii [Soil algae of the northeast of the European part of Russia]. *Novosti sist. nizsh. rast.* [Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium]. 2018. Vol. 52, no. 2. P. 311–354. doi: 10.31111/nsnr/2018.52.2.311

Patova E. N., Kulugina E. E., Deneva S. V. Protsessy estestvennogo vosstanovleniya pochv i rastitel'nogo pokrova na otrabotannom ugol'nom kar'ere (Bol'shezemel'skaya tundra) [The processes of natural restoration of soils and vegetation on the spent coal mine (Bol'shezemel'skaya tundra)]. *Ekol.* [Russ. J. Ecol.]. 2016. No. 3. P. 173–179. doi: 10.7868/S0367059716020116

Pereverzev V. N. Pochvoobrazovanie v lesnoi zone Kol'skogo poluostrova [Soil formation in the forest zone of the Kola Peninsula]. *Vestnik KNTs RAN* [Bull. KSC RAS]. 2011. Vol. 2. P. 74–82.

Pshennikova E. V. Izuchenie pochvennykh vodoroslei Yakutii [Study of soil algae in Yakutia]. *Vodorosli: taksonomiya, ekol., ispol'zovaniye v monitoringe* [Algae: taxonomy, ecol., and use in monitoring]. Ekaterinburg, 2011. P. 110–116.

Rekomendatsii po proektirovaniyu zoloshlakootvalov teplovykh elektricheskikh stantsii [Recommendations for the design of ash dumps of thermal power plants]. Leningrad: VNIIG, 1986. 128 p.

Roizin M. B. Mikroflora skal i primitivnykh pochv vysokogornoj arkticheskoi pustyni [Microflora of rocks and primitive soils of the high altitude Arctic desert]. *Bot. zhurn.* [Bot. J.]. 1960. Vol. 45, no. 7. P. 997–1007.

Shtina E. A. Pochvennyye vodorosli kak ekologicheskiye indikatoriy [Soil algae as environmental indicators]. *Bot. zhurn.* [Bot. J.]. 1990. Vol. 75, no. 4. P. 441–453.

Shtina E. A., Makhonina G. I., Kondrat'eva T. P., Shabardina T. A. Al'goflora starykh promyshlennykh

otvalov Urala i ee rol' v biologicheskoi rekul'tivatsii [Algoflora of old industrial dumps of the Urals and its role in biological reclamation]. *Rasteniya i promyshlennaya sreda* [Plants and Industrial Environ.]. Iss. 12. Sverdlovsk, 1989. P. 56–66.

Shtina E. A., Neganova L. B., El'shina T. A. Osobennosti pochvennoy al'goflory v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya [Features of soil algoflora under conditions of technogenic pollution]. *Pochvovedenie* [Soil Sci.]. 1985. No. 10. P. 97–107.

Soprunova O. B. Funktsionirovanie tsianobakterial'nykh soobshchestv v usloviyakh tekhnogennykh ekosistem [Functioning of cyanobacterial communities in technogenic ecosystems]. *Vestn. Mosk. un-ta* [Bull. Moscow Univ. Ser. 16. Biol.]. 2006. No. 2. P. 24–29.

Stina E. A., Roizin M. B. Vodorosli podzolistykh pochv Khibin [Algae of the Khibiny podzolic soils]. *Bot. zhurn.* [Bot. J.]. 1966. Vol. 51, no. 4. P. 509–519.

Terekhova E. B. Nachal'nye etapy pochvoobrazovatel'nogo protsessa na zhelezorudnykh otvalakh Severnogo Kazakhstana [Initial stages of the soil formation process on iron ore dumps of Northern Kazakhstan]. *Rasteniya i promyshlennaya sreda* [Plants and Industrial Environ.]. Iss. 6. Sverdlovsk, 1979. P. 102–126.

Yaryeva M. V., Safullina L. M. Analiz al'go-tsianobakterial'noi flory otvalov OOO "Bashkirskaya med", Khaibullinskii raion Respubliki Bashkortostan [Analysis of the algo-cyanobacterial flora of dumps of Bashkir Copper LLC, Khaibullinsky district of the Republic of Bashkortostan]. *Studencheskii forum* [Student Forum]. 2019. No. 22–1(73). P. 10–14.

Zimonina N. M. Pervichnaya suksessiya al'gogrupperovok na otvalakh razrabotok Pechorskogo ugol'nogo basseina [Primary succession of algogroups on the dumps of the development of the Pechora coal basin]. *Bot. zhurn.* [Russ. J. Bot.]. 2010. Vol. 95, no. 7. P. 956–969.

Zimonina N. M. Pochvennyye vodorosli neftezagryaznennykh zemel' [Soil algae of oil-contaminated lands]. Kirov: Voronezh State Ped. Un-ty, 1998. 170 p.

Zimonina N. M. Rol' pochvennykh vodoroslei v vosstanovlenii narushennogo pochvenno-rastitel'nogo pokrova raionov nefte-ugledobychi Respubliki Komi [The role of soil algae in the restoration of disturbed soil and vegetation cover in the oil and coal mining regions of the Komi Republic]. *Izvestiya Komi NTs UrO RAN* [Bull. KSC, Ural Branch RAS]. 2016. No. 2(26). P. 44–52.

Baykal T., Akbulut A., Açıkgöz I., Udoh A. U., Yıldız K., Sen B. New records for the freshwater algae of Turkey. *Turk. J. Bot.* 2009. Vol. 33(2). P. 141–152. doi: 10.3906/bot-0705-10

Borchhardt N., Baum C., Mikhailiyuk T., Karsten U. Biological soil crusts of Arctic Svalbard – Water availability as potential controlling factor for microalgal biodiversity. *Front. Microbiol.* 2017. Vol. 8. 1485. doi: 10.3389/fmicb.2017.01485

Büdel B., Dulić T., Darienko T., Rybalka N., Friedl T. Cyanobacteria and algae of biological soil crusts. B. Weber, B. Büdel, J. Belnap (eds). *Biol. Soil Crusts: An Organizing Principle in Drylands*. Berlin: Springer, 2016. P. 55–80. doi: 10.1007/978-3-319-30214-0_4

Cabala J., Rahmonov O., Jablonska M., Teper E. Soil algal colonization and its ecological role in an envi-

- ronment polluted by past Zn – Pb mining and smelting activity. *Water Air Soil Pollut.* 2011. Vol. 215, no. 1–4. P. 339–348. doi: 10.1007/s11270-010-0482-1
- Chamizo S., Mugnai G., Rossi F., Certini G., De Philip-pis R. Cyanobacteria inoculation improves soil stability and fertility on different textured soils: gaining insights for applicability in soil restoration. *Front. Environ. Sci.* 2018. Vol. 6. P. 49–62. doi: 10.3389/fenvs.2018.00049
- Darienko T., Friedl T., Pröschold T. *Desmochloris mollenhaueri* – a new terrestrial ulvophycean alga from south – west African soils. Molecular phylogeny and systematics of terrestrial Ulvophyceae I. *Algol. Studies.* 2009. Vol. 129. P. 25–40. doi: 10.1127/1864-1318/2009/0129-0025
- Davydov D. Terrestrial Cyanoprokaryota of the Khibiny Mountains. *Algae in terrestrial ecosystems: International Conference Kaniv Reserve (Kaniv, Ukraine, September 27–30, 2005)*. Program and Abstracts. Nizhyn, 2005. P. 24.
- Davydov D., Patova E. The diversity of Cyanoprokaryota from freshwater and terrestrial habitats in the Eurasian Arctic and Hypoarctic. *Hydrobiologia.* 2018. Vol. 811, iss. 1. P. 119–138. doi: 10.1007/s10750-017-3400-3
- Ettl H., Gärtner G. Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. 2., ergänzte Auflage. Berlin; Heidelberg: Springer, 2014. 773 p. doi: 10.1007/978-3-642-39462-1
- Evans R. D., Johansen J. R. Microbiotic crusts and ecosystem processes. *Crit. Rev. Plant Sci.* 1999. Vol. 18(2). P. 183–225. doi: 10.1080/07352689991309199
- Freitas L., Loverde-Oliveira S. Checklist of green algae (Chlorophyta) for the state of Mato Grosso, Central Brazil. *Check List.* 2013. Vol. 9. P. 1471. doi: 10.15560/9.6.1471
- Guillard R. R. L., Bold H. C., MacEntee F. J. Four new unicellular chlorophycean algae from mixohaline habitats. *Phycologia.* 1975. Vol. 14(1). P. 13–24. doi: 10.2216/i0031-8884-14-1-13.1
- Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org> (accessed: 23.05.2020).
- Hodač L., Brinkmann N., Mohr K. I., Arp G., Hallmann C., Ramm J., Spitzer K., Friedl T. Diversity of microscopic green algae (Chlorophyta) in calcifying biofilms of two karstic streams in Germany. *Geomicrobiol. J.* 2015. Vol. 32. P. 275–290. doi: 10.1080/01490451.2013.878418
- Hofbauer W., Gaertner G., Rennebarth T., Sedlbauer K., Mayer F., Breuer K. *Excentrochloris fraunhoferiana* sp. nov. (Botrydiopsidaceae, Xanthophyceae), a new aerophytic species from the surfaces of modern buildings. *Fottea.* 2011. Vol. 11(2). P. 279–291. doi: 10.5507/fot.2011.027
- Hoffmann L. Algae of terrestrial habitats. *Bot. Rev.* 1989. Vol. 55. P. 77–105. doi: 10.1007/bf02858529
- Iyengar M. O. P., Kanthamma S. On Hormidiella, a new member of the Ulotracheaceae. *J. Ind. Bot. Soc.* 1940. Vol. 19. P. 157–166.
- Johansen J. R., Shubert E. Algae in soils. *Nova Hedwigia.* 2001. Vol. 123. P. 297–306.
- Klemenčič A. K., Toman M. J., Balabanič D. Records of new algal taxa within various aquatic and aerophytic habitats in Slovenia. *Natura Sloveniae.* 2009. Vol. 11(2). P. 5–26.
- Komárek J. Cyanoprokaryota. Teil 3: Heterocytous genera. *Süsswasserflora von Mitteleuropa.* Bd 19/3. Berlin; Heidelberg, 2013. 1133 p. doi: 10.1007/978-3-8274-2737-3
- Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. Teil 1: Chroococcales. *Süsswasserflora von Mitteleuropa.* Bd 19/1. Jena, etc., 1998. 548 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. Teil 2: Oscillatoriales. *Süsswasserflora von Mitteleuropa.* Bd 19/2. Heidelberg, 2005. 759 p.
- Komárek J., Nedbalová L. Green cryosestic algae. *Algae and cyanobacteria in extreme environments.* Dordrecht: Springer, 2007. P. 321–342. doi: 10.1007/978-1-4020-6112-7_17
- Korneykova M., Redkina V., Shalygina R. Algae, cyanobacteria, and microscopic fungi complexes in the Rybachy Peninsula soils, Russia. *Czech Polar Reports.* 2017. Vol. 7(2). P. 181–194. doi: 10.5817/cpr2017-2-18
- Kotai J. Instructions for preparation of modified nutrient solution Z8 for algae. Norwegian Institute for Water Research. Blindern, Oslo, 1972. Vol. 11/69. 5 p.
- Krienitz L., Bock C., Nozaki H., Wolf M. SSU rRNA gene phylogeny of morphospecies affiliated to the bioassay alga *Selenastrum capricornutum* recovered the polyphyletic origin of crescent-shaped Chlorophyta. *J. Phycol.* 2011. Vol. 47, no. 4. P. 880–893. doi: 10.1111/j.1529-8817.2011.01010.x
- Lukešová A. Soil algae in brown coal and lignite post-mining areas in central Europe (Czech Republic and Germany). *Restor. Ecol.* 2001. Vol. 9(4). P. 341–350. doi: 10.1046/j.1526-100x.2001.94002.x
- Lukešová A., Komárek J. Succession of soil algae on dumps from strip coal-mining in the most region (Czechoslovakia). *Folia Geobot. Phytotax.* 1987. Vol. 22(4). P. 355–362. doi: 10.1007/bf02853232
- Melekhin A. V., Davydov D. A., Borovichev E. A., Shalygin S. S., Konstantinova N. A. CRIS – service for input, storage and analysis of the biodiversity data of the cryptogams. *Folia Cryptogamica Estonica.* 2019. Vol. 56. P. 99–108. doi: 10.12697/fce.2019.56.10
- Metting B. The systematics and ecology of soil algae. *Bot. Rev.* 1981. Vol. 47, no. 2. P. 195–312. doi: 10.1007/bf02868854
- Mikhailyuk T., Lukešová A., Glaser K., Holzinger A., Obwegeser S., Nyporko S., Karsten U. New taxa of streptophyte algae (Streptophyta) from terrestrial habitats revealed using an integrative approach. *Protist.* 2018. Vol. 169(3). P. 406–431. doi: 10.1016/j.protis.2018.03.002
- Orlekowsky T., Venter A., Van Wyk F., Levanets A. Cyanobacteria and algae of gold mine tailings in the North-west Province of South Africa. *Nova Hedwigia.* 2013. Vol. 97, no. 3–4. P. 281–294. doi: 10.1127/0029-5035/2013/0117
- Paczuska B., Paczuski R. Small water ponds as reservoirs of algae biodiversity. *Oceanol. Hydrobiol. St.* 2015. Vol. 44(4). P. 480. doi: 10.1515/ohs-2015-0045
- Patrick R. Rivers of the United States, Volume III: The Eastern and Southeastern States. – John Wiley & Sons, 1994. 829 p.

Rahmonov O., Piątek J. Sand colonization and initiation of soil development by cyanobacteria and algae. *Ecológia (Bratislava)*. 2007. Vol. 26(1). P. 52–63.

Rahmonov O., Cabala J., Bednarek R., Rozek D., Florkiewicz A. Role of soil algae on the initial stages of soil formation in sandy polluted areas. *Ecol. Chem. Eng. S.* 2015. Vol. 22, no. 4. P. 675–690. doi: 10.1515/eces-2015-0041

Rana S., Mishra P., ab Wahid Z., Thakur S., Pant D., Singh L. Microbe-mediated sustainable bio-recovery of gold from low-grade precious solid waste: A microbiological overview. *J. Environ. Sci.* 2020. Vol. 89. P. 47–64. doi: 10.1016/j.jes.2019.09.023

Redkina V. V., Korneykova M. V., Shalygina R. R. Microorganisms of the technogenic landscapes: The Case of nepheline-containing sands, the Murmansk Region. *Processes and Phenomena on the Boundary Between Biogenic and Abiogenic Nature*. Cham: Springer, 2020. P. 561–579. doi: 10.1007/978-3-030-21614-6_30

Roncero-Ramos B., Muñoz-Martín M. A., Cantón Y., Chamizo S., Rodríguez-Caballero E., Mateo P. Land degradation effects on composition of pioneering soil communities: An alternative successional sequence for dryland cyanobacterial biocrusts. *Soil Biol. Biochem.* 2020. Vol. 146. 107824. doi: 10.1016/j.soilbio.2020.107824.

Seiderer T., Venter A., Van Wyk F., Levants A., Jordaan A. Growth of soil algae and cyanobacteria on gold mine tailings material. *S. Afr. J. Sci.* 2017. Vol. 113(11/12). 2016–0384. doi: 10.17159/sajs.2017/20160384

Schulz K., Mikhailuyuk T., Dreßler M., Leinweber P., Karsten U. Biological soil crusts from coastal dunes at the Baltic Sea: cyanobacterial and algal biodiver-

sity and related soil properties. *Microbial Ecol.* 2016. Vol. 71(1). P. 178–193. doi: 10.1007/s00248-015-0691-7

Shanab S. M. M. Algal flora of Ain Helwan. I. Algae of the warm spring. *Egypt. J. Phycol.* 2006. Vol. 7. P. 209–231.

Škaloud P. Species composition and diversity of aero-terrestrial algae and cyanobacteria of the Boreč Hill ventaroles. *Fottea*. 2009. Vol. 9. P. 65–80. doi: 10.5507/fot.2009.006

Škaloud P., Rindi F., Boedeker C., Leliaert F. Freshwater flora of Central Europe. Chlorophyta: Ulvophyceae (Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 13: Chlorophyta: Ulvophyceae). Springer-Verlag, 2018. 289 p. doi: 10.1007/978-3-662-55495-1

Song Y., Shu W., Wang A., Liu W. Characters of soil algae during primary succession on copper mine dumps. *J. Soils Sediments*. 2014. Vol. 14(3). P. 577–583. doi: 10.1007/s11368-013-0815-y

Sørensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. *Biol. kriter.* 1948. Bd. V, no. 4. P. 1–34.

Starks T. L., Shubert L. E. Colonization and succession of algae and soil-algal interactions associated with disturbed areas. *J. Phycol.* 1982. Vol. 18(1). P. 99–107. doi: 10.1111/j.1529-8817.1982.tb03162.x

Starks T. L., Shubert L. E., Trainor F. R. Ecology of soil algae: a review. *Phycologia*. 1981. Vol. 20(1). P. 65–80. doi: 10.2216/i0031-8884-20-1-65.1

Trzcińska M., Pawlik-Skowrońska B. Soil algal communities inhabiting zinc and lead mine spoils. *J. Appl. Phycol.* 2008. Vol. 20(4). P. 341–348. doi: 10.1007/s10811-007-9259-3

Received June 26, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Давыдов Денис Александрович

заместитель директора по научной работе, к. б. н. Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра РАН ул. Ферсмана, 18а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209
эл. почта: d_disa@mail.ru
тел.: +79211758820

Редькина Вера Вячеславовна

старший научный сотрудник, к. б. н. Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение ФИЦ «Кольский научный центр РАН» Академгородок, 14а, Апатиты, Мурманская область, Россия, 184209
эл. почта: kalmykova_v_v@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Davydov, Denis

Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences 18a Fersman St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia
e-mail: d_disa@mail.ru
tel.: +79211758820

Redkina, Vera

Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Centre, Russian Academy of Sciences 14a Akademgorodok, 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia
e-mail: kalmykova_v_v@mail.ru