

Мониторинг альго-цианобактериальных сообществ на техногенной территории

© 2022. Л. В. Кондакова^{1,2}, д. б. н., профессор, с. н. с.,
Е. В. Дабах¹, к. б. н., с. н. с.,

¹Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
²Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,
e-mail: kondakova.alga@gmail.com

Изучались сообщества почвенных фототрофных микроорганизмов, развивающиеся на разных по составу и свойствам субстратах, использованных для засыпки хранилища жидких отходов химического производства. Видовой состав альгоцианофлоры зависит от рельефа участка, свойств формирующихся почв, загрязнения субстрата и степени развития высших растений. На площадках мониторинга выявлено 63 вида почвенных микрофототрофов, при этом по числу видов преобладают цианобактерии (ЦБ), второе место занимают зелёные водоросли. Выявлено мало видов жёлтозелёных и эустигматофитовых водорослей. Особенно бедное видовое разнообразие альгоцианофлоры отмечалось на гипсовой корке. По мере выветривания гипса количество видов значительно увеличилось. За три года наблюдений изменилось видовое разнообразие альгоцианофлоры на ровной площадке с супесчаным субстратом и невысоким проективным покрытием высшей растительностью – с 17 до 32 видов. В понижении микрорельефа, при сходном гранулометрическом составе почв, но меньшей щёлочности и большем количестве грубого органического материала, под ассоциацией тростника (*Phragmites communis*) выявлено 27 видов с абсолютным доминированием влаголюбивых видов ЦБ. На двух площадках мониторинга по мере развития злаковой ассоциации (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Agropyron repens* Beauv.) разнообразие видов альгоцианофлоры резко снизилось. В составе доминирующих видов на этих площадках отмечена диатомовая водоросль *Hantzschia amphioxys*, приуроченность которой к дерновинным злакам обусловлена потребностью в достаточном количестве кремния, входящего в состав их панцирей. Слабое загрязнение формирующихся на насыпных грунтах почв проявляется в малом количестве или отсутствии на площадках мониторинга чувствительных к загрязнению видов, в частности одноклеточных жёлтозелёных водорослей.

Ключевые слова: хранилище отходов, водоросли, цианобактерии, почвы, мониторинг.

Monitoring of algocyanobacterial communities on the technogenic territory

© 2022. L. V. Kondakova^{1,2} ORCID: 0000-0002-2190-686X,
E. V. Dabakh¹ ORCID: 0000-0001-7474-7359

¹Institute of Biology of Komi Scientific Centre
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
²Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
e-mail: kondakova.alga@gmail.com

The paper considers soil phototrophic microorganisms communities which develop on substrates different in composition and properties and used for filling the pond of liquid chemical tailings. Algocyanofloral species composition depends on the properties of soils, the site relief, the degree of substrate contamination, and the degree of higher plant development. On the monitoring sites 63 species of soil microphototrophs were found; as for the number of species, cyanobacteria (CB) prevail, green algae species are the second in number. Only a few species of yellow-green and eustigmatophyte algae were found. Especially scarce species diversity is characteristic of gypsum scum. Gypsum weathering leads to growth of the number of species. For three years algocyanofloral species diversity on the level ground with sandy-loam substrate and short projective cover with higher vegetation has changed from 17 to 32 species. In micro-relief lowering with a similar

granulometric soil composition, with lower alkalinity and a greater amount of coarse organic matter under the association of reed (*Phragmites communis*) 27 species were found, with absolute dominance of hydrophilous CB species. On two monitoring sites with gramineous association development (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Agropyron repens* Beauv.) species diversity has drastically reduced. The diatomic alga *Hantzschia amphioxys* was stated among the dominating species, its adherence to sod grasses is conditioned by its need in the sufficient amount of silicon which is a constituent part of diatom frustules. Mild contamination of soils which are being formed on fill-up grounds shows itself in either a small amount or absence of species sensitive to contamination (in particular, of unicellular Xanthophyta) on the monitoring sites.

Keywords: tailings pond, algae, cyanobacteria, soils, monitoring.

Процесс восстановления биоценоза на исходно неоднородном по составу и генезису субстрате – насыпном грунте и отходах производства, не перекрытых плодородным слоем, имеет черты сходства с почвообразованием на отвалах вскрышных пород.

На насыпном материале так же, как и на отвалах, формируются неогенные среды, на которых со временем происходит самовосстановление биоценоза. В первичном зарастании грунтов особую роль играют микроорганизмы, в частности, водоросли и цианобактерии (ЦБ), от функционирования которых зависит скорость и направление почвообразовательных процессов на нарушенных землях [1]. Стадии развития альгоцианофлоры на территориях, образованных разными по химическому составу отвалами, были описаны в ряде работ [2–5].

На территориях Юньягинского месторождения (Воркутинский промышленный район) была изучена количественная структура фототрофных группировок породных отвалов угольной шахты [6]. На суглинистых субстратах доминировали ЦБ, численность клеток которых достигала 1,2 млн/г грунта, величина биомассы – 1,21 г/м². На отвалах фосфогипса Гомельского химического завода (Беларусь) преобладали зелёные водоросли коккоидной морфоструктуры. С увеличением возраста фосфогипсовых отвалов видовое богатство зелёных водорослей увеличивалось [7].

На разновозрастных отвалах медно-колчеданного месторождения (Республика Башкортостан) наибольшее число видов было отмечено в пробах из молодых отвалов (1–10 лет), снижение видового разнообразия наблюдалось в средних (10–20 лет) и старых (более 30 лет) отвалах. Было отмечено низкое видовое разнообразие водорослей и ЦБ по сравнению с зональными почвами, выявлены виды диатомовых водорослей, максимально устойчивые к техногенной нагрузке – *Hantzschia abundans*, *H. amphioxys*, *Pinnularia borealis* [8]. В местах разлива промышленных стоков встречались виды с уродливыми формами.

Таким образом, водоросли и ЦБ обеспечивают начальные этапы формирования почв

при зарастании отвалов, ведущая роль в этом процессе нередко принадлежит ЦБ.

Цель работы – мониторинг развития альго-цианобактериальных сообществ на техногенной территории.

Объекты и методы исследования

Исследуемая территория расположена в долине реки Вятки на северо-востоке Европейской части России в подзоне дерново-подзолистых почв южной тайги, находится в условиях континентального умеренного климата с достаточным увлажнением. В 2012 г. в окрестностях г. Кирово-Чепецка Кировской области было ликвидировано одно из хранилищ жидких отходов предприятий химической промышленности. Осушаемая площадь была засыпана грунтом и твёрдыми отходами производства: песком, глиной, гипсом, известью. В половодье подпор грунтовых вод и таяние снега обуславливают длительное стояние воды на полигоне. Территория засыпанного хвостохранилища имеет слабый общий уклон на север к пойме р. Вятки, кроме того, в её центральной части (наиболее глубокие места бывшего водоёма) наблюдается понижение. Из этой депрессии с запада на восток протянулась ложбина, по которой осуществляется сток воды в ближайшую канаву.

Объектом исследования были почвы, отобранные с 5 площадок мониторинга, 4 из которых были заложены на территории бывшего хранилища жидких отходов химического производства в июле 2019 г., 5-я площадка – в 2021 г. Почвы, формирующиеся на площадках мониторинга, отличались по гранулометрическому составу, поскольку на 1-й площадке субстрат был представлен песком с примесью гальки, на 2-й – суглинком, на 3-й щебнисто-суглинистым карбонатным материалом, на 4-й – гипсовой коркой. 5-я площадка находится в понижении рельефа в центральной части территории, представлена легкосуглинистым материалом, перекрытым слоем слабо разложившихся растительных остатков.

Показатели состава и свойств почв: значения рН в водной и солевой вытяжках, органическое вещество, содержание аммонийного и нитратного азота определяли по общепринятым методикам (ГОСТ 26213-91, ГОСТ 26488-85, ГОСТ 26489-85) в аккредитованной экоаналитической лаборатории Вятского государственного университета. Элементный состав почв определяли методами масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (г. Черноголовка).

Отбор образцов почв осуществлялся в 2019–2021 гг. с глубины 0–5 см, средняя проба составлялась из пяти индивидуальных проб объемом 125 см³ каждая. Видовой состав альго-цианофлоры определяли методом прямого микроскопирования почвы и постановкой чашечных культур со стёклами обрастания [9]. Идентификацию фототрофов проводили по сериям отечественных и зарубежных определителей. Названия видов приведены в соответствии с [10]. Сравнение альго-цианофлоры площадок проводили с использованием коэффициента Жаккара $K_j = c/(a+b-c)$, где c – число общих видов; a , b – число видов первой и второй флоры.

Результаты и обсуждение

Свойства почв и особенности фитоценоза на 4 площадках мониторинга, заложенных в 2019 г., подробно рассматривались ранее [11], на 5-й площадке, заложенной в 2021 г., – определены впервые. Для всех исследованных почв характерна щелочная реакция среды и слабое подкисление верхнего слоя. Наиболее низкие значения рН выявлены в органоминеральной массе (2–10 см) на 5-й площадке (рН в водной вытяжке 6,7). Отмечено невысокое содержание органического вещества. Исключением являются почвы на 3-й и 5-й площадках: количество органического вещества в верхней пятисантиметровой толще на 3-й площадке достигало 4,60%, в органоминеральной массе на 5-й площадке – 5,39%. На 3-й площадке в почвах на карбонатном суглинке выявлены повышенные концентрации нитратного азота (510 мг/кг) и стронция (1150 мг/кг). В корнеобитаемом слое на 4-й площадке содержание стронция (379 мг/кг) также более, чем в 2 раза превышает фоновые показатели (118 мг/кг). В почве на 2-й площадке, отличающейся от

прочих более тяжёлым гранулометрическим составом, выявлено превышающее ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК) содержание мышьяка (10,1 мг/кг), отмечены повышенные по сравнению с региональным фоном, но не превышающие ПДК (ОДК) концентрации меди, цинка, никеля.

В 2021 г. фитоценоз на каждой площадке сохранял свои особенности: на 1-й площадке доминировали *Calamagrostis epigeios*, *Melilotus albus*, на 2-й и 3-й – *Agropyron repens*, на 4-й – *C. epigeios*, *Chamaenerion angustifolium*, *Cirsium setosum*, на 5-й – *Phragmites communis*.

За период наблюдений на участках мониторинга выявлено 63 вида почвенных микрофототрофов, в том числе: Cyanobacteria – 30; Chlorophyta – 18; Xanthophyta – 5; Eustigmatophyta – 3; Bacillariophyta – 7. По числу видов преобладают ЦБ, второе место занимают зелёные водоросли. Отмечено мало видов жёлтозелёных и эустигматофитовых водорослей. Согласно зональному распределению альгофлоры в почвах лесной зоны по видовому разнообразию преобладают представители отдела Chlorophyta. Количество видов водорослей и ЦБ на площадках мониторинга приведено в таблице 1, динамика показателя представлена на рисунке.

Наибольшее видовое разнообразие отмечено на 1-й площадке с супесчаными почвами – 32 вида в 2021 г., а всего за 3 года наблюдений – 46 видов. Заселение данной территории идёт постепенно, за период наблюдений число видов увеличилось в два раза. Разнообразие видового состава микрофототрофов зависит от состава и структуры растительных сообществ, формирующих условия для развития почвенных водорослей. Важны степень проективного покрытия растений, морфологические и биохимические характеристики доминантов [12].

На 1-й площадке проективное покрытие высшей растительности составляет 60–70%, поэтому водоросли и ЦБ развиваются в условиях хорошего освещения и более контрастной влажности поверхностного слоя почвы. По числу видов микрофототрофов преобладают ЦБ (47%). Из гетероцистных ЦБ отмечено 5 видов (*Calothrix elenkinii*, *Nostoc punctiforme*, *N. paludosum*, *N. linckia* f. *muscorum*, *Tolypothrix tenuis*) и 17 видов безгетероцистных ЦБ.

Коэффициент аридности (соотношение представителей Cyanobacteria/Chlorophyta) на данной площадке составляет 1,6, что приближает условия развития альгоцианофлоры к степным экосистемам [13], т. е. к азональным условиям.

Таблица 1 / Table 1

Количество видов цианобактерий и водорослей на площадках мониторинга в 2019–2021 гг.
The number of cyanobacteria and algae species on the monitoring sites in 2019–2021

Группы фототрофов Phototroph group	Год Year	Количество видов / The total number of species found						
		№ площадки мониторинга Monitoring site No.					Всего видов The total number of species	
		1	2	3	4	5	ед. / units	%
Cyanobacteria	2019	12	7	8	4	–	16	44
	2020	11	12	3	4	–	15	48
	2021	15	4	1	2	14	30	47
Chlorophyta	2019	3	6	11	5	–	12	33
	2020	5	5	5	3	–	9	29
	2021	9	3	4	10	4	18	28
Xanthophyta + Eystigmatophyta	2019	0	1	2	0	–	3	8
	2020	1	1	0	0	–	2	6
	2021	4	0	0	0	3	8	12
Bacillariophyta	2019	2	4	2	0	–	5	13
	2020	4	5	1	0	–	5	16
	2021	4	3	2	0	6	7	11
Всего видов на площадке The total number of species on the site	2019	17	18	22	9	–	36	100
	2020	21	23	9	7	–	31	100
	2021	32	10	7	12	27	63	100

Примечание / Note: «–» – отсутствие данных / “–” – no data.

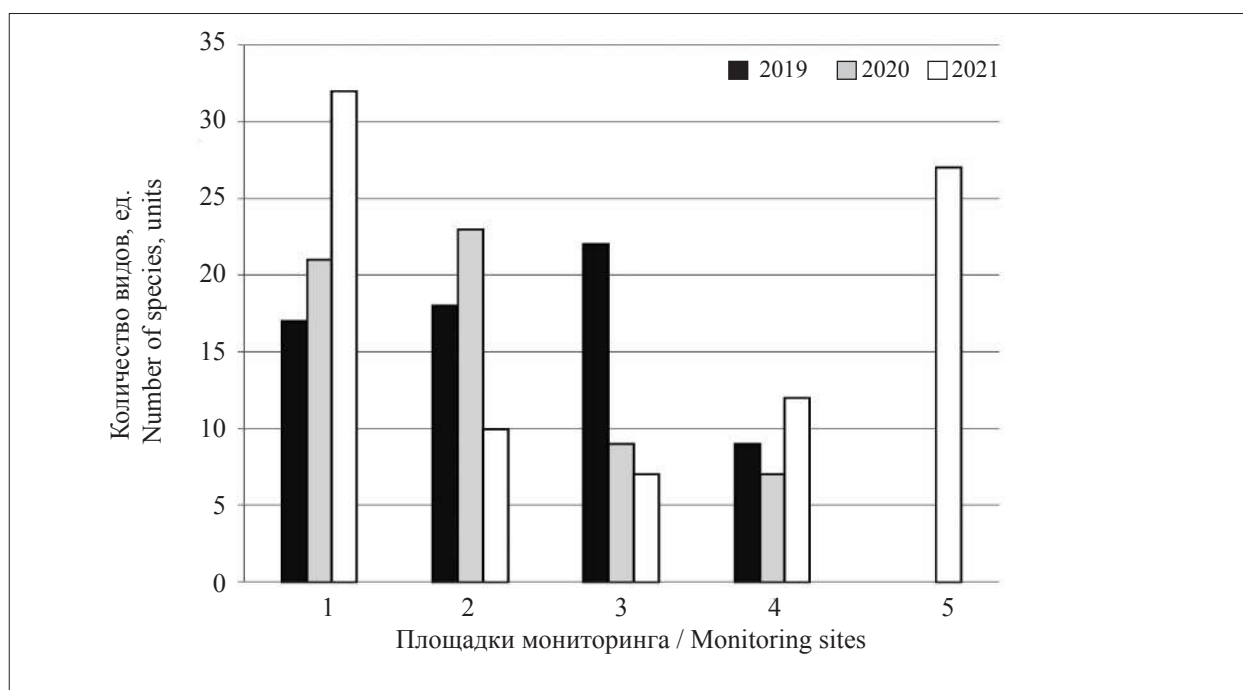


Рис. Изменение видового разнообразия почвенной альгоцианофлоры в 2019–2021 гг.
Fig. The change in species diversity of soil algaecyanoflora in 2019–2021

В процессе сукцессии на видовой состав альгоцианогруппировок оказывает влияние загрязнение субстрата. В отношении различных токсикантов у водорослей и ЦБ существует индивидуальная чувствительность, независимо от их таксономической принадлежности: чувствительные, индифферентные

и толерантные [14]. Чувствительные погибают при невысоких концентрациях токсиканта, в данном случае это одноклеточные жёлтозелёные водоросли. Число их видов невелико на всех площадках, за три года наблюдений они не отмечены на 4-й площадке, но на 1-й площадке их количество в 2021 г. увеличилось.

На 2-й площадке с суглинистыми почвами за период наблюдений разнообразие видов альгоцианофлоры сначала возросло с 18 до 23, а затем уменьшилось до 10 видов. В 2021 г. было выявлено только 4 вида ЦБ против 12 видов в 2020 г., из зелёных и диатомовых водорослей – по 3 вида. Это может быть связано со слабым загрязнением почвы на 2-й площадке, но, вероятнее всего, с развитием плотной злаковой ассоциации (*Calamagrostis epigeios*, *Agropyron repens*), оказавшей влияние на условия светового режима и влажности. В 2019 г. на этом участке преобладал *Melilotus albus*, *M. officinalis*, в 2020 г. – *C. epigeios*, *A. repens*. Доминантами альгоцианофлоры в первый и второй годы наблюдений являлись ЦБ *Phormidium autumnale* и диатомовые водоросли *Nitzschia palea*, в 2021 г. – *H. amphioxys* и *N. pelliculosa*.

Плотная дернина *A. repens* оказала негативное влияние на развитие водорослей на

3-й площадке, представленной супесью, подстилаемой карбонатным суглинком, на которой в 2021 г. было выявлено только 7 видов микрофототрофов. Доминантом из высших растений являлся *A. repens*, из альгосообщества – *H. amphioxys*. Приуроченность диатомовых водорослей к дерновинным злакам взаимно обусловлена потребностью в достаточном количестве кремния. В листьях злаков для механического укрепления листовой пластинки в нижнем эпидермисе присутствуют парные или одиночные окременелые образования, а панцирь клеток диатомовых водорослей образован гидратом окиси кремния [12].

На 4-й площадке (гипсовой корке) наблюдалось медленное увеличение видового разнообразия микрофототрофов. Видовой состав ЦБ в течение двух лет наблюдений был стабильным, представлен 4 видами. В 2021 г. выявлено только 2 вида ЦБ, однако в два раза возросло число видов зелёных водорослей.

Таблица 2 / Table 2

Доминирующие виды альгоцианофлоры на площадках мониторинга
Dominant species of algocyanoflora on the monitoring sites

№ площадки Site No.	Доминирующие виды альгоцианофлоры / Dominant species of algocyanoflora		
	2019 год / year	2020 год / year	2021 год / year
1	<i>Nostoc punctiforme</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i> , <i>L. angustissima</i> , <i>Klebsormidium rivulare</i>	<i>Microcoleus vaginatus</i> <i>Phormidium autumnale</i> , <i>P. formosum</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i> , <i>Luticola mutica</i>	<i>Nostoc punctiforme</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i> , <i>Phormidium autumnale</i> , <i>Luticola mutica</i>
2	<i>Phormidium autumnale</i> , <i>Nitzschia palea</i>	<i>Leptolyngbya angustissima</i> , <i>Nitzschia palea</i> , <i>Navicula pelliculosa</i>	<i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Navicula pelliculosa</i>
3	<i>Phormidium autumnale</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Stichococcus minor</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i>	<i>Hantzschia amphioxys</i>	<i>Hantzschia amphioxys</i>
4	<i>Leptolyngbya angustissima</i> , <i>Nostoc punctiforme</i>	<i>Nostoc punctiforme</i> , <i>N. paludosum</i> , <i>Leptolyngbya angustissima</i>	<i>Leptolyngbya angustissima</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> , <i>Klebsormidium rivulare</i>
5	–	–	<i>Phormidium uncinatum</i> , <i>P. inundatum</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i>

Примечание / Note: «–» – отсутствие данных / “–” – no data.

Таблица 3 / Table 3

Коэффициенты Жаккара на площадках мониторинга (в %)
Jaccard coefficients at the monitoring sites (%)

Номера площадок / Site No.	1	2	3	4	5
1		48,1	41,2	36,2	31,4
2			46,2	32,4	20,9
3				41,9	14,6
4					14,7
5					

Известно, что ЦБ устойчивы к засолению и гипсовому загрязнению [14]. По мере выветривания гипсовой корки (растрескивания, увеличения мелкозёма, а в его составе силикатных глинистых частиц, органического вещества) уменьшается количество ЦБ, увеличивается видовое разнообразие зелёных водорослей.

На 5-й площадке, заложенной в понижении на богатом органическим веществом лёгком суглинке, наблюдения проводились в 2021 г. Здесь сформировалась плотная ассоциация тростника (*Phragmites communis*). Доминантами сообществ являлись ЦБ, представленные безгетероцистными (*P. inundatum*, *P. uncinatum*, *P. autumnale*, *P. aerugineo-coerulea*, *Leptolyngbya foveolarum*, *L. angustissima*) и гетероцистными формами (*Anabaena sphaerica*, *Calothrix elenkinii*, *Scytonema ocellatum*). Вид *P. inundatum* является индикатором повышенной влажности почвы, характерен для болотных и пойменных почв. Повсеместно распространённым и обильным видом во влажных почвах является *P. uncinatum*. Из видов-индикаторов повышенной влажности на 5-й площадке отмечены: *Oscillatoria limosa*, *Gloeocapsa* sp. (ЦБ), *Cosmarium cucumis*, *Microthamnion kuetzingianum* (Chlorophyta), *Nitzschia palea* (Bacillariophyta).

В составе доминирующих видов, как и в составе всей альгоцианофлоры участков мониторинга, преобладали ЦБ (табл. 3). Доминирующими видами ЦБ на 1–3-м участках являются безгетероцистные формы, представители родов *Phormidium* и *Leptolyngbya*. На 1-м участке в состав доминантов входит *N. punctiforme*. Диатомовая водоросль *H. amphioxys* отмечена в числе доминантов на 2-м и 3-м участках.

На основании анализа коэффициентов флористической связи Жаккара установлено умеренное сходство альгофлор первого, второго и третьего участков ($K_j = 40\%$), меньшее сходство – с альгофлорой четвёртого участка. Наиболее близки по составу микрофототрофов первая и вторая площадки ($K_j = 48,1\%$). Аналогичную закономерность выявили и в 2020 г. [11], однако K_j был выше – 55,3%. По-видимому, такое снижение показателя обусловлено сменой растительных ассоциаций на этих площадках. Альгоцианофлора почв на 5-й площадке существенно отличается от других местообитаний, имеет слабое сходство с 1-й площадкой.

Заключение

Установлено, что на территории засыпанного хвостохранилища жидких отходов про-

исходит естественное восстановление альгоцианофлоры. Исходная неоднородность состава и свойств субстрата, выраженный микрорельеф, неустойчивое состояние растительных сообществ обуславливают различия видового состава почвенных водорослей и ЦБ на площадках мониторинга и изменение его со временем.

В целом видовой состав микрофототрофов характерен для почв региона. Доминантами сообществ являются ЦБ – организмы, завершающие сезонную сукцессию микрофототрофов и являющиеся толерантными к негативным факторам среды.

Плотность породы (гипсовая корка), её бедный химический состав обуславливают малое видовое разнообразие альгоцианофлоры, постепенно возрастающее по мере выветривания гипса, обогащения субстрата мелкозёмом и органическим веществом, при этом состав доминантов в течение трёх лет наблюдений остаётся неизменным. На выровненных участках, представленных рыхлым, лёгким по гранулометрическому составу субстратом со щелочной реакцией и низким содержанием органического вещества, при невысоком проективном покрытии высшей растительностью, видовое разнообразие альгоцианофлоры за 3 года увеличилось с 17 до 32 видов. Аналогичное видовое разнообразие (27 видов) отмечено и на пониженном участке бывшего хвостохранилища. При слабом сходстве альгоцианофлор на этих участках ($K_j = 31,4$) в понижении абсолютно доминируют виды ЦБ, индицирующие повышенное увлажнение.

Развитие плотной злаковой ассоциации на благоприятных по составу и свойствам субстратах привело к снижению видового разнообразия вследствие изменения светового режима и влажности, в составе доминирующих видов отмечена диатомея *H. amphioxys*. Слабое загрязнение формирующихся на насыпных грунтах почв проявляется в малом количестве (или отсутствии) на площадках мониторинга чувствительных к загрязнению видов, в частности, одноклеточных жёлтозелёных водорослей.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги» рег. № 1021051202042-2-1.6.19.

References

1. Kondakova L.V., Domracheva L.I. Algae as a means of biocontrol over the state of chemically polluted soil //

Seaweed: taxonomy, ecology, use in monitoring / Eds. E.N. Patova, M.V. Getsen, S.S. Barinova, L.N. Voloshko, L.G. Korneva, S.F. Komulainen, L.E. Sigareva, A.S. Ste-nina, M.I. Yarushina. Yekaterinburg: UrO RAN, 2011. 344 p. (in Russian).

2. Tarchevskiy V.V., Shtina E.A. Algae growth on industrial waste discharges // The contemporary state and prospects of soil algae research in the USSR. Kirov: izdatelstvo Kirovskogo selskokhozyaystvennogo instituta, 1967. P. 146–150 (in Russian).

3. Shushuyeva M.G. Algae at coal-mining tailings in the Kuzbas and their role in soil formation // The contemporary state and prospects of soil algae research in the USSR. Kirov: izdatelstvo Kirovskogo selskokhozyaystvennogo instituta, 1967. P. 52–53 (in Russian).

4. Lanina R.I. Algoflora of Ackermann rock waste disposal area // The contemporary state and prospects of soil algae research in the USSR. Kirov: izdatelstvo Kirovskogo selskokhozyaystvennogo instituta, 1967. P. 42–43 (in Russian).

5. Shtina E.A., Andronova M.F. The role of soil algae in restoration of damaged tundra ecosystems // Flora protection in the North regions. V. 2. Vegetation resistance to anthropogenic factors and biorecultivation in the North conditions. Syktyvkar: Komi filial AN SSSR, 1984. P. 67–70 (in Russian).

6. Zimonina N.M. Soil algae of oil-polluted territories. Kirov: VGPU, 1998. 171 p. (in Russian).

7. Bachura Yu.M. Features of composition of green algae in anthropogenically transformed soils of the Gomel region (Byelorussia) // Algae and cyanobacteria in natural and agricultural ecosystems: Materialy vtoroy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letiyu so dnya rozhdeniya E.A. Shtinoy. Kirov: Vyatskaya GSHA, 2015. P. 48–52 (in Russian).

8. Fazlutdinova A.I., Sukhanov N.V., Safiullina L.M. Comparative analysis of the species composition of soil diatoms of different age dumps Uchalinsky mining and Processing Plant (Republic of Bashkortostan) // Algae: issues of their taxonomy and use in monitoring: Materialy dokladov 4 Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Sankt-Peterburg: Renome, 2018. 512 p. (in Russian).

9. Shtina E.A., Gollerbach M.M. Ecology of soil algae. Moskva: Nauka, 1976. 143 p. (in Russian).

10. Kostikov I.Yu., Romanenko P.O., Demchenko E.M., Daryenko T.M., Mikhayluk T.I., Ribchinskiy O.V., Solonenko A.M. Soil algae of the Ukraine (history of research and methods, system and flora concept). Kiev: Fitosotsiotsentr, 2001. 300 p. (in Ukrainian).

11. Kondakova L.V., Dabakh E.V., Kislitsina A.P. Biocoenosis formation on technogenic wastes // Theoretical and Applied Ecology. 2020. No. 4. P. 129–135 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-129-135

12. Novichkova-Ivanova L.N. Soil algae of Mongolia steppes. Botanic-geographical analysis of flora // Obshchestvo. Sreda. Razvitiye. 2017. No. 4. P. 157–163 (in Russian).

13. Kuzyakhmetov G.G. Algae of zonal soils of steppe and forest-steppe: Monograph / Ed. B.M. Mirkin. Ufa: RIO BashGU, 2006. 286 p. (in Russian).

14. Kabirov R.R., Gaysina L.A., Safiullina L.M., Bakiyeva G.R., Safiullin S.Yu. Models of transformation of soil algae communities in conditions of anthropogenic contamination // Algae and cyanobacteria in natural and agricultural ecosystems: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora E.A. Shtinoy. Kirov: Vyatskaya GSHA, 2010. P. 140–145 (in Russian).