

## Формирование биоценоза на техногенных отходах

© 2020. Л. В. Кондакова<sup>1,2</sup>, д. б. н., профессор, с. н. с.,  
Е. В. Дабах<sup>1,2</sup>, к. б. н., с. н. с., А. П. Кислицына<sup>1,3</sup>, к. с.-х. н., с. н. с.,

<sup>1</sup>Вятский государственный университет,  
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

<sup>2</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,  
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,

<sup>3</sup>Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого,  
610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, д. 166а,  
e-mail: ecolab2@gmail.com

Исследования проводились в Кировской области в долине реки Вятки на территории бывшего хвостохранилища жидких отходов. Целью работы являлось изучение особенностей восстановления биоценоза на разных по составу и свойствам субстратах, используемых для засыпки хранилища техногенных отходов. Изучались почва, альгофлора и растительность на четырёх площадках мониторинга. В почве, по сравнению с региональным фоном, выявлено повышенное содержание стронция, отмечены повышенные концентрации меди, цинка, никеля. Зарастание территории происходит как видами-рудералами, так и луговыми травами. На момент исследования в почвах на данной территории сформировалась группировка фототрофных микроорганизмов, включающая цианобактерии и почвенные водоросли из отделов Chlorophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta. Формирование биоценоза определяется составом грунта, характером микрорельефа, эндогенными сукцессионными процессами и режимом увлажнения.

**Ключевые слова:** техногенные ландшафты, отходы производства, биоценоз, почвы, растительность, альгофлора.

## Biocoenosis formation on technogenic wastes

© 2020. L. V. Kondakova<sup>1,2</sup> ORCID: 0000-0002-2190-686X<sup>2</sup>  
E. V. Dabakh<sup>1,2</sup> ORCID: 0000-0002-6088-4819<sup>2</sup>, A. P. Kislitsina<sup>1,3</sup> ORCID: 0000-0001-7474-7359<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vyatka State University,

36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

<sup>2</sup>Institute of Biology of Komi Scientific Centre

of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,

28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,

<sup>3</sup>Federal Agricultural Research Center of North-East named N. V. Rudnitsky,

166 a, Lenina St., Kirov, Russia, 610007,

e-mail: ecolab2@gmail.com

The research was carried out in the Kirov region, in the valley of the Vyatka River on the territory of a former tailings pond of liquid wastes. The aim of the work was to study the peculiar features of biocoenosis regeneration on the substrates of different content and properties, which were used for filling the technogenic tailings pond. We studied soil, algoflora, and vegetation on the four monitoring sites. The soil of the sites was of different granulometric composition. The substrate of the 1st site contained sand mixed with pebbles, of the 2nd site – clay loam, of the 3rd site – rubble-loam carbonate material, of the 4th site – gypsum crust. All the samples were characterized by alkaline soil reaction and a low content of organic matter. The main tendencies of the soil-forming process consisted in formation of organogenic and organomineral horizons, as well as in soil-structure formation on soft loamy ground and in slight acidification of the surface soil. The soils under research were characterized by high concentration of strontium and high concentration of copper, zinc, and nickel compared with the regional background data. Vegetation pattern structure is explained by the original heterogeneity of the substrate. The territory was overgrown by ruderal plants and meadow grasses. On the territory under research a group of phototrophic organisms was formed including cyanobacteria and soil alga of the divisions Chlorophyta, Bacillariophyta, Xanthophyta. On all the sites the dominants of the microphototrophic communities are cyanobacteria, these are organisms which finish the seasonal succession of microphototrophs and which are tolerant to the negative impact of the environment.

**Keywords:** technogenic landscapes, production wastes, biocoenosis, soils, vegetation, algoflora.

Техногенный ландшафт, сформировавшийся в промышленных зонах многих крупных городов России, характеризуется почти полным преобразованием естественного ландшафта, нарушением связей между его компонентами. Такая ситуация наблюдается в окрестностях г. Кирово-Чепецка Кировской области, где сосредоточено несколько предприятий химической промышленности. В долине р. Вятки расположены хвостохранилища твёрдых и жидких отходов предприятий. В 2012 г. было ликвидировано одно из хранилищ жидких отходов. Отходы были перемещены на другие объекты, а площадка засыпана грунтом и твёрдыми отходами производства: песком, глиной, гипсом, известью. Насыпной материал не перекрывался плодородным слоем почвы, и процесс восстановления биоценоза происходил на исходно неоднородном по составу и происхождению субстрате, в основном на изъятых осадочных породах, что придаёт ему черты сходства с почвообразованием на отвалах вскрышных пород [1–3].

Процесс биологического освоения свежих безжизненных отвалов начинается с поселения водорослей. Первыми поселенцами нарушенных местообитаний являются зелёные и жёлтозелёные водоросли, затем появляются азотфиксирующие цианобактерии (ЦБ) и, позднее – нитчатые зелёные водоросли и диатомовые [4]. Например, зелёные, жёлтозелёные водоросли и ЦБ *Nostoc* начинают развиваться даже на свежей чистой золе ТЭЦ [5], зарастание поверхности свежего шлама алюминиевых заводов также начинается с поселения зелёных и жёлтозелёных водорослей-убиквистов, иногда сопровождаемых мелкоклеточными видами ЦБ рода *Phormidium*, на асбестовом отвале развиваются ЦБ родов *Nostoc* и *Plectonema* [6].

Пионерами зарастания промышленных отвалов являются экологически пластичные виды растений, способные переносить экстремальные условия техногенной среды [4].

Стадиям сукцессии растительного покрова сингенетична эволюция восстанавливающихся почв. Со временем верхняя часть породы трансформируется в почвоподобное тело – образование, которое имеет почвенные признаки, в том числе биогенные. В литературе обсуждается множество названий подобных образований [7]. Согласно классификации [8] они названы эмбриозёмами, в [9] такие почвы отнесены к техногенным поверхностным образованиям, в соответствии с международной классификацией [10] почвы на техногенных отходах называют Technosols.

Достижение климаксовой стадии развития почв и почвенного покрова в техногенных ландшафтах не приводит к восстановлению исходных параметров естественного почвенного покрова [3]. Техногенный ландшафт практически навсегда остаётся экоклинном.

Цель настоящей работы – изучить особенности восстановления биоценоза на разных по составу и свойствам субстратах, используемых для засыпки хранилища жидких отходов.

### Объекты и методы исследования

Исследования проводились в Кировской области в долине р. Вятки на территории бывшего хранилища жидких отходов. Изучаемая территория расположена на северо-востоке Европейской части России в подзоне дерново-подзолистых почв южной тайги. Климат континентальный умеренный, среднегодовая температура составляет +2,4 °С. Территория относится к зоне достаточного увлажнения: среднегодовое количество осадков – 580 мм, 60–70% выпадает в тёплое время года. Поскольку хвостохранилище находится в долине р. Вятки, специфическим природным фактором, определяющим состояние биоты, является пойменный водный режим, характеризующийся ежегодным весенним половодьем, пик которого на р. Вятке приходится на конец апреля – первую декаду мая. В половодье подпор грунтовых вод и таяние снега обуславливают длительное стояние воды на обследуемой территории бывшего хвостохранилища.

Объектом исследования был биоценоз, формирующийся на 4 площадках мониторинга, заложенных в июле 2019 г. на территории засыпанного хранилища жидких отходов химических предприятий. Почвы на площадках мониторинга отличались по гранулометрическому составу: 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. Описание растительности, отбор проб почв и растений осуществляли в 2019 и 2020 гг. Показатели свойств почв: значения рН в водной и солевой вытяжках, содержание органического вещества (ОВ), аммонийного и нитратного азота – определяли по общепринятым методикам (ГОСТ 26213-91, ГОСТ 26488-85, ГОСТ 26489-85) в экоаналитической лаборатории Вятского государственного университета. Химический состав почв и растений определялся 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 почвенных проб для изучения альгофлоры в 2019 и 2020 гг. проведён с глубины 0–5 и 10–15 см, среднюю пробу составляли из пяти индивидуальных проб объёмом 125 см<sup>3</sup> каждая. Видовой состав альгофлоры определяли методом прямого микроскопирования почвы и постановкой чашечных культур со стёклами обрастания.

### Результаты и обсуждение

Все образцы характеризовались щелочной реакцией, низким содержанием ОВ, лишь на 3-ей площадке, где морфологически начал проявляться слой накопления ОВ, количество его в верхней пятисантиметровой толще достигало 4,6% (табл. 1). Несомненно, накоплению ОВ в почве способствует растительность (проективное покрытие 100%, моногруппировка пырея ползучего), а также наличие на небольшой глубине (20–25 см) карбонатного слоя. Вероятно, значительный вклад в общее содержание ОВ вносят растительные остатки, но слабое тёмное прокрашивание верхнего минерального слоя свидетельствует о формировании специфических компонентов. Особенностью гумусообразования в почвах на отвалах является преобладание в составе молекул гумусовых кислот периферических цепочек, что указывает на «молодость» гу-

мусовых веществ [11]. Подкисление верхней толщи субстрата также весьма характерно для почвообразования на отвалах и является следствием влияния продуктов жизнедеятельности организмов, формирующейся системы гумусовых кислот, а также зависит от свойств породы [12].

Наиболее отчётливо подкисление проявляется на участке 3, где ему способствуют значительная масса ежегодно поступающих в почву растительных остатков и лёгкий гранулометрический состав поверхностного слоя. Анализ элементного состава показал, что в изученных почвах выявлено повышенное содержание стронция в карбонатном суглинке на площадке 3 (1150 мг/кг), почти на порядок превышающее региональный фон (118 мг/кг) [13]. В корнеобитаемом слое на площадках 3 и 4 содержание стронция (397 и 379 мг/кг соответственно) более чем в 2 раза превышает фоновые показатели, однако в растениях пырея ползучего с этих площадок стронций не накапливается. В почве на площадке 2 выявлено превышающее ОДК содержание мышьяка (10,1 мг/кг). Подобные концентрации элемента характерны для незагрязнённых суглинистых почв окружающих ландшафтов и для почв Кировской области в целом. Отмечены повышенные по сравнению с региональным фоном, но не превышающие ПДК (ОДК) концентрации меди, цинка, никеля в почве на площадке 2, обусловленные суглинистым составом субстрата.

Самозаращение площади хвостохранилища жидких отходов началось уже на следую-

Таблица 1 / Table 1  
Свойства почв, формирующихся на площадках мониторинга  
Properties of the soils forming at the monitoring sites

№ участка Site No.	Субстрат Substrate	Глубина, см Depth, sm	pH <sub>вод.</sub> pH <sub>water</sub>	pH <sub>сол.</sub> pH <sub>KCl</sub>	C, %	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/кг mg/kg	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/кг mg/kg
1	Супесь Sandy loam	0–5	7,9±0,1	7,5±0,1	0,81±0,16	0,90±0,14	1,30±0,4
		5–10	8,1±0,1	7,9±0,1	0,36±0,07	1,50±0,23	2,3±0,7
2	Красновато-бурый суглинок Reddish-brown clay loam	0–5	7,2±0,1	7,7±0,1	1,65±0,33	2,10±0,32	5,4±3,0
		5–10	8,0±0,1	7,4±0,1	0,68±0,14	1,80±0,27	4,7±1,4
3	Супесь, подстилаемая карбонатным суглинком Sandy loam with underlying carbonate clay loam	0–5	7,3±0,1	7,4±0,1	4,6±0,7	5,1±0,8	260±50
		10–15	8,1±0,1	8,3±0,1	0,79±0,16		
		20–25	8,2±0,1	8,5±0,1	0,81±0,16	1,50±0,23	510±100
4	Гипсовая корка Gypsum crust	0–5	7,4±0,1	7,3±0,1	1,56±0,31	1,80±0,27	6,6±2,0

Доминирующие виды растений на участках мониторинга  
Dominant plant species at the monitoring sites

Вид растений Plant species	№ площадки мониторинга / Monitoring site No.							
	1		2		3		4	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	++	+	+	++	+	+	+	++
<i>Agropyron repens</i> Beauv.	+	–	–	–	++	++	+	+
<i>Melilotus albus</i> Desr.	–	++	++	–	–	–	–	–
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Lam.	–	–	++	–	–	–	–	–
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	–	–	–	–	–	–	+	++

Примечание: «++» – доминантные виды растений, «+» – субдоминантные виды, «–» – вид отсутствовал.  
Note: “++” – dominant plant species, “+” – subdominant species, “–” – the species was absent.

щий год после его ликвидации в 2012 г. Зарастание происходило как видами-рудералами (*Calamagrostis epigeios*, *Tanacetum vulgare*, *Artemisia vulgaris*, *Pastinaca sativa*, *Cirsium setosum*, *Arctium tomentosum*, *Melilotus albus*, *Erysimum cheiranthoides*), так и луговыми травами (*Dactylis glomerata*, *Poa trivialis*, *Festuca pratensis*, *Trifolium pratense*, *Vicia cracca*, *Chamaenerion angustifolium*), семена и зачатки корневищ которых находились в насыпном материале или были привнесены из окружающих растительных сообществ. На поверхности почвы, свободной от высших растений, произрастали мхи [14].

По результатам исследований 2019–2020 гг. на площадках мониторинга было отмечено 36 видов высших растений. Все виды встреченных растений входят в состав местной флоры или принадлежат к сорно-луговым и рудеральным растениям, характерным для окружающей антропогенной территории. В соответствии с неоднородностью корнеобитаемого субстрата и местоположением в рельефе (уклон к центру рекультивируемой площади) отмечалась ярко выраженная мозаичность растительных группировок. На первой площадке, заложенной в более высокой южной части хвостохранилища на супеси, сформировался полидоминантный фитоценоз, по составу растительности близкий к суходольному лугу таёжно-лесной зоны. Растительный покров не сомкнут, растительность невысокая и угнетённая.

На второй площадке, расположенной ближе к центру хвостохранилища на суглинистом субстрате, растительный покров сомкнут, но также формирует ещё неустойчивую простую группировку без чётко выраженного ярусно-синузального строения. В 2019 г. в травостое преобладали *Melilotus albus*, *M. officinalis* и *Calamagrostis epigeios*.

В полидоминантных фитоценозах изменения метеорологических и гидрологических

условий от года к году приводят к перегруппировке доминантов [15]. Обилие осадков в начале вегетационного периода (165% к норме), растянутый во времени паводок в 2020 г. и соответственно смена экологических условий способствовали смене доминантов (табл. 2). На 1-й площадке эдификатором сообщества в 2019 г. являлся *Calamagrostis epigeios*, в 2020 г. – *Melilotus albus*.

Длительное переувлажнение привело к полному выпадению менее влаголюбивых донников, для которых оптимальная влажность должна быть в пределах 60–80% полной полевой влагоёмкости, и формированию моноассоциации *Calamagrostis epigeios*. Такая сукцессия при зарастании пустоши объясняется следующим образом: «После пионерных стадий в результате ценобиотического отбора, обусловленного влиянием растений более приспособленных к «крайним условиям» на виды, к ним менее приспособленные, в максимальной степени моноассоциация проявляется там, где растения хорошо обеспечены влагой и элементами питания, и где ничто не ограничивает пышное развитие наиболее приспособленных к данным условиям видов» [15].

Третья площадка расположена в северной части хвостохранилища, имеет небольшой уклон к северу. На ней формируется злаковая ассоциация из корневищных видов – пырея ползучего и вейника наземного с явным доминированием *Agropyron repens*.

На 4-й площадке (гипсовая корка) зарастание идёт медленно. Проективное покрытие в 2019 г. составляло 5–10%, площадка зарастала мхом, местами прорастал *Chamaenerion angustifolium*, в 2020 г. увеличилось обилие *Tanacetum vulgare*, но проективное покрытие изменилось незначительно.

Таким образом, флористический состав и структура сообществ, формирующихся на техногенных насыпных грунтах быв-

шего хвостохранилища, разнообразны и обусловлены составом грунта, характером микрорельефа поверхности, эндогенными сукцессионными процессами, а также режимом увлажнения. Резкая смена доминантов в годы наблюдений на трёх площадках мо-

ниторинга отражает неустойчивое состояние этих сообществ.

В почвах, формирующихся на техногенных отходах, отмечено 43 вида почвенных микрорототрофов (табл. 3). Альгофлора на участках мониторинга включает представите-

Таблица 3 / Table 3

Видовое разнообразие альгофлоры / Species diversity of algoflora

Отделы Divisions	Общее количество видов, выявленных в 2019 и 2020 гг. The total number of species found in 2019 and 2020					
	№ площадки мониторинга monitoring site No.				всего видов total species	
	1	2	3	4	ед. / units	%
Cyanobacteria	17	14	8	5	19	44
Chlorophyta	6	9	11	5	14	33
Xanthophyta	1	3	2	0	4	9
Bacillariophyta	4	5	2	0	6	14
Всего видов на участке The total number of species on the site	28	31	23	10	43	100

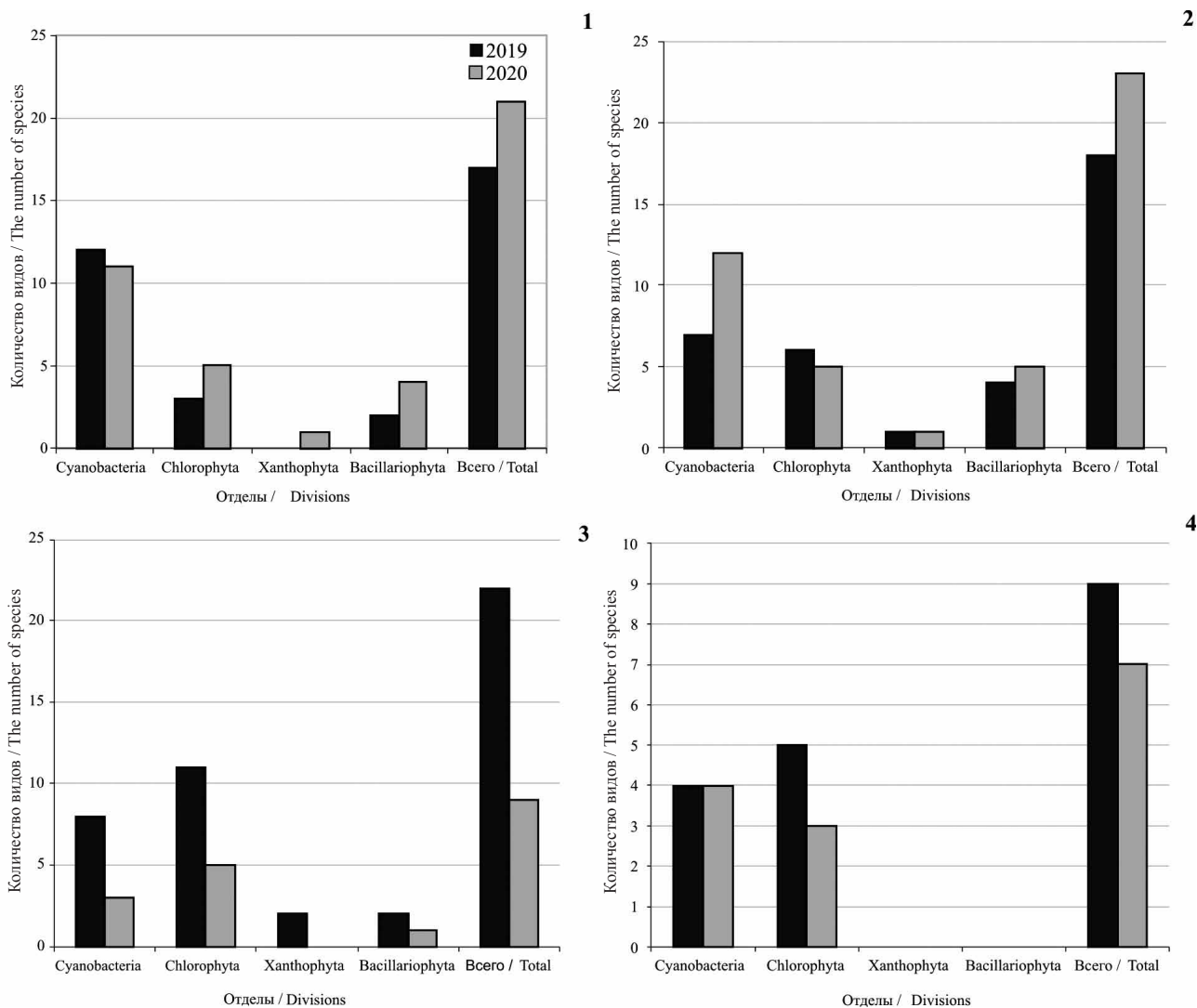


Рис. Количество видов водорослей на площадках мониторинга (1–4) в 2019 и 2020 гг.  
Fig. The number of alga species at the monitoring sites (1–4) in 2019 and 2020

Доминирующие виды альгофлоры / Dominant species of algoflora

№ площадки Site No.	Доминирующие виды альгофлоры / Dominant species of algoflora	
	в 2019 г. / in 2019	в 2020 г. / in 2020
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>Ph. formosum</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</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>
3	<i>Phormidium autumnale</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Stichococcus minor</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i>	<i>Hantzschia amphioxys</i>
4	<i>L. angustissima</i> , <i>Nostoc punctiforme</i>	<i>Nostoc punctiforme</i> , <i>N. paludosum</i> , <i>Leptolyngbya angustissima</i>

лей Cyanobacteria, Chlorophyta, Xanthophyta, Bacillariophyta. По числу видов преобладают ЦБ и зелёные водоросли (44 и 33% соответственно), мало диатомовых и почти отсутствуют жёлтозелёные водоросли.

На участках мониторинга в 2019 г. было выявлено 36 видов почвенных микрофототрофов, в 2020 г. – 31 вид (рис.). Сравнение видового состава альгофлоры данных участков и альгофлоры пойменного луга в окрестностях бывшего хвостохранилища показало умеренное сходство флор, общими оказались 23 вида из 43 [16]. При сравнении с альгофлорой на фоновой территории – пойменном лугу в заповеднике «Нургуш» – отмечено 28 общих видов.

Наибольшее число видов было отмечено в 2019 г. на третьей площадке (рис.), наименьшее – на четвёртой (на гипсовой корке). Такое соотношение соответствует значительно более продвинутой стадии выветривания и почвообразования на рыхлом известково-глинистом субстрате площадки 3 в отличие от начальной стадии почвообразования, проявляющейся на плотной гипсовой корке на площадке 4. Сравнение альгофлор участков в 2019 и 2020 гг. показывает неустойчивость группировок микрофототрофов, что характерно для начальных этапов сингенеза. На формирование альгогруппировки помимо абиотических факторов влияют конкурентные отношения. Уменьшение видового разнообразия микрофототрофов на третьей площадке, возможно, связано с плотной дерниной *Agropyron repens*, затеняющей поверхность почвы.

На первых трёх площадках отмечено развитие водорослей и ЦБ не только в поверхностном слое почвы, но и на глубине 10–15 см.

В составе доминирующих видов, как и в составе всей альгофлоры участков, преобладают ЦБ (табл. 4). Доминирующими видами ЦБ

на 1–3 площадках являются безгетероцистные формы, представители родов *Phormidium* и *Leptolyngbya*. На первой площадке в состав доминантов входит *Microcoleus vaginatus*. Интенсивное развитие диатомовых водорослей отмечено на второй и третьей площадках. Состав доминирующих видов по годам наблюдений имеет слабое сходство, за исключением четвёртой площадки, где данная группировка сохранилась.

На основании анализа коэффициентов флористической связи Жаккара установлено умеренное сходство альгофлор первой, второй и третьей площадок (коэффициент Жаккара более 40%) и слабое сходство их с альгофлорой четвёртой площадки. Наиболее близки по составу альгофлоры первая и вторая площадки (коэффициент Жаккара 55,3%).

### Заключение

Таким образом, после ликвидации хвостохранилища жидких отходов на насыпных грунтах происходит формирование биоценоза. Исходная неоднородность субстрата обуславливает мозаичность растительности и различия альгофлоры. Основные тенденции, выявленные в почвообразовательном процессе, это формирование органогенных и органоминеральных горизонтов, образование почвенной структуры на рыхлых суглинистых породах, слабое подкисление верхнего слоя. Наличие в насыпном субстрате отходов производства (известки и гипса) проявляется и морфологически, и по данным химического анализа.

Формирование фитоценозов на техногенных насыпных грунтах определяется экотопом, наличием семян в насыпном грунте и заносом семян с окружающих территорий. Резкая смена доминантов на трёх площадках мониторинга

отражает неустойчивое состояние сообществ. Однако абсолютное доминирование пырея ползучего в течение двух лет на почвах, формирующихся на рыхлом, богатом азотом и карбонатами субстрате, позволяет предположить, что пырейная моноассоциация – наиболее устойчивое из всех описанных сообществ. Поскольку корневища распространены в поверхностном десятисантиметровом слое почвы, нижележащие техногенные отходы, богатые стронцием и ТМ, не влияют на растения.

Через 8 лет после ликвидации хвостохранилища на его территории сформировалась полночленная группировка фототрофных микроорганизмов, включающая основные отделы почвенных водорослей; исключением является площадка с гипсовой коркой, на которой не выявлены жёлтозелёные и диатомовые водоросли. Видовой состав микрофототрофов характерен для почв региона. Доминантами сообществ являются цианобактерии – организмы, завершающие сезонную сукцессию микрофототрофов и являющиеся толерантными к негативным факторам среды.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2018-0003.*

## References

1. Polokhin O.V. Peculiar features of soil and plant cover formation on technogenic landscapes of the Perm Krai // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. No. 1. P. 307 (in Russian).
2. Androkhanov V.A., Kurachev V.M. Soil ecological state of technogenic landscapes: dynamics and evaluation. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2010. 224 p. (in Russian).
3. Makhonina G.I. Ecological aspects of soil formation in technogenic ecosystems of the Ural. *Ecology of the Ural // Izvestiya UrGU*. 2002. No. 23. P. 145–153 (in Russian).
4. Shtina E.A., Gollerbakh M.M. Ecology of soil alga. Moskva: Nauka, 1976. 144 p. (in Russian).
5. Brown R.M.Jr., Larson D.A., Bold H.C. Airborne algae: their abundance and heterogeneity // *Science*. 1964. V. 143. No. 3606. P. 583–585. doi: 10.1126/science.143.3606.583
6. Tarchevskiy V.V., Shtina E.A. Alga development on industrial waste discharges // *Contemporary state and perspectives of soil alga research in the USSR: tezisy dokladov mezhvuzovskoy konferentsii*. Kirov: Kirovskiy selskokhozyaystvennyy institut, 1967. P. 146–150 (in Russian).
7. Artamonova V.S., Bortnikova S.B. Soil-like formations of technogenic landscapes, contemporary view (review) // *Theoretical and Applied Ecology*. 2017. No. 1. P. 4–13 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2017-1-004-013
8. Kurachev V.M., Androkhanov V.A. Classification of soils of technogenic landscapes // *Sybirskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2002. No. 3. P. 255–261 (in Russian).
9. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. Classifications and diagnostics of soils in Russia. Smolensk: Oykumena, 2004. 342 p. (in Russian).
10. IUSS Working Group WRB (2014). World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World soil resources reports. No. 106. FAO, Rome. 192 p.
11. Makhonina G.I. The composition of humus of soils formed on brown coal dumps during natural overgrowth // *Problems of land reclamation in the USSR*. Novosibirsk: Nauka, 1974. P. 205–209 (in Russian).
12. Maksimova E.Yu., Abakumov E.V. Characteristic features of soil formation on carbonate substrates in post-technogenic ecosystems of northern taiga and forest-steppe // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2011. V. 13. No. 5. P. 42–47 (in Russian).
13. Dabakh E.V. Soil formation on technogenic territories after recultivation // *Biogeochemical innovations in conditions of biosphere technogenesis correction: Trudy Mezhdunarodnogo biogeochemicheskogo simpoziuma*. V. 2. Tiraspol: PGU im. T.G. Shevchenko, 2020. P. 71–75.
14. Kondakova L.V., Dabakh E.V. Special features of biota development on technogenic grounds // *Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems: Materialy XVI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem*. Kirov: Vyatskiy gosudarstvennyy universitet, 2018. P. 186–188 (in Russian).
15. Rabotnov T.A. Grassland science. Moskva: Izd-vo MGU, 1984. 319 p. (in Russian).
16. Kondakova L.V., Dabakh E.V. Algosynusia of flood meadows on the technogenic territory // *Theoretical and Applied Ecology*. 2017. No. 3. P. 73–84 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2017-3-073-084