

Мониторинг почвенной альгоцианофлоры на техногенной территории

© 2023. Л. В. Кондакова^{1,2}, д. б. н., профессор,
Е. В. Дабах^{1,2}, 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: ecolab2@gmail.com

Представлены результаты мониторинга высшей растительности и почвенной альгоцианофлоры на территории самозарастающего хранилища жидких отходов после рекультивации. Видовой состав высших растений и альгоцианофлоры на площадках мониторинга зависит от всей совокупности факторов почвообразования: исходной неоднородности субстрата, рельефа, условий увлажнения. Пониженный рельеф и избыточное увлажнение способствуют развитию влаголюбивых видов высших растений, водорослей и цианобактерий; плотность дернины злаков обостряет конкурентные отношения высших растений (монодоминантность) и способствует снижению видового разнообразия микрофототрофов. Доминантами сообществ микрофототрофов на всех площадках являются цианобактерии, составляя 43–47% от видового разнообразия. Отмечено мало видов жёлтозелёных и эустигматофитовых водорослей, чувствительных к техногенному загрязнению. Закономерной связи между загрязнением грунтов, видовым разнообразием растительности и составом альгоцианофлоры не выявлено. Отмечено, что со временем сходство альгоцианофлор на площадках мониторинга возрастает. Максимальные различия видового состава водорослей и цианобактерий, выявленные на площадке под моноассоциацией тростника обыкновенного, обусловлены избыточным увлажнением почв в понижении рельефа.

Ключевые слова: техногенный ландшафт, хранилище отходов, почвы, растительность, цианобактерии, водоросли.

Monitoring of soil algocyanoflora in the technogenic territory

© 2023. L. V. Kondakova^{1,2} ORCID: 0000-0002-2190-686X
E. V. Dabakh^{1,2} ORCID: 0000-0002-6088-4819

¹Institute of Biology of Komi Scientific Centre
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktывkar, Russia, 167982,
²Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
e-mail: ecolab2@gmail.com

The results of monitoring higher vegetation and soil algocyanoflora on the territory of the self-overgrowing liquid waste storage facility after reclamation are presented. The species composition of higher plants and algocyanoflora on monitoring sites depends on the whole complex of soil formation factors: the initial heterogeneity of the substrate, topography, and moisture conditions. Reduced relief and excessive moisture contribute to development of moisture-loving species of higher plants, algae and cyanobacteria; the density of grass sod exacerbates the competitive relations of higher plants (monodominance) and contributes to decrease in the species diversity of microphototrophs. For the entire observation period from 2019 to 2022 66 species were identified on the territory of the backfilled tailing dump including: Cyanobacteria – 29; Chlorophyta – 20; Xanthophyta – 5; Eustigmatophyta – 3; Bacillariophyta – 9. Cyanobacteria (CB) dominate the algocyanoflora communities at all sites accounting for 43–47% of the species diversity. Few species of yellow-green and eustigmatophyte algae sensitive to technogenic pollution have been noted. The research did not reveal any regular relationship between soil pollution, vegetation species diversity and algocyanoflora composition. However, it can be assumed that the increased content of nitrates in soils in the low area under reed thickets may be the reason for the low species diversity of CB. Over time, increasing similarity of algocyanoflora on the monitoring sites was noted. The maximum difference in the species composition of algae and CB identified on the site under the monoassociation of common reed is conditioned by excessive soil moisture in the lowering of the relief.

Keywords: technogenic landscape, waste storage, soils, vegetation, cyanobacteria, algae.

Почвенные фототрофные микроорганизмы являются объектами, чутко реагирующими на изменения окружающей среды, находят широкое применение в целях биомониторинга и биоремедиации почв [1]. Водоросли и цианобактерии (ЦБ) обеспечивают начальные этапы формирования почв на участках суши, вновь образовавшихся в результате природных экзогенных процессов, а также на территориях антропогенного происхождения [2–4]. Первым этапом естественного зарастания золы, шлама, минеральных субстратов является поселение водорослей. Замечено, что на всех изучаемых субстратах группировки водорослей формировались постепенно. Первыми развивались одноклеточные зелёные водоросли-убиквисты и азотфиксирующие ЦБ. В условиях отсутствия органического вещества азотфиксирующие прокариоты, автотрофные по усвоению азота и углерода, имеют особое значение [5–6]. Видовой состав водорослей и ЦБ в почвах зависит от типа почвы и от растительности, имеет значение степень проективного покрытия растений, морфологические и биохимические характеристики растений-доминантов. Снижение видового разнообразия микрфототрофов и изменение таксономической структуры сообществ по сравнению с природным аналогом – показатели загрязнения почвы. Сравнительное изучение видового состава фототрофных микроорганизмов почв природных, урбанизированных и техногенных экосистем выявило общую закономерность: в альго-цианобактериальных комплексах наиболее загрязнённых почв происходит перераспределение таксонов в пользу цианобактерий [1].

Цель работы – мониторинг видового состава альгоцианофлоры для выявления особенностей её развития в почвах на разных по составу и свойствам субстратах, использованных для засыпки хранилища жидких отходов химического производства.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили на северо-востоке Европейской части России в подзоне дерново-подзолистых почв южной тайги в долине реки Вятки. На окраине г. Кирово-Чепецка (Кировская область) сосредоточено несколько предприятий химической промышленности и расположены хвостохранилища твёрдых и жидких отходов. Одно из хранилищ жидких отходов было ликвидировано в 2012 г., котлован был засыпан

грунтом и твёрдыми отходами производства: песком, глиной, гипсом, известью. В 2019 г. на этой территории были заложены 4 площадки мониторинга, в 2021 г. – 5-я площадка. В течение 4 лет на площадках мониторинга описывали растительность, отбирали образцы почв и растений.

Почвы на площадках 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. Пятая площадка покрыта песком, находится в понижении рельефа, испытывает переувлажнение (табл. 1). Объектом исследования были смешанные почвенные образцы, составленные из 5 индивидуальных проб, отобранных на площадках мониторинга. В почвах определяли следующие показатели – рН в водной и солевой вытяжках, обменный аммоний, нитратный азот, органическое вещество, подвижные соединения фосфора и калия по общепринятым методикам.

Отбор почвенных проб для альгологического анализа осуществляли в 2019–2022 гг. Пробы отбирали с глубины 0–5 см, средняя проба составлялась из пяти индивидуальных проб. Видовой состав альгофлоры определяли методом прямого микроскопирования почвы и постановкой чашечных культур со стёклами обрастания [7].

Идентификацию водорослей и цианобактерий проводили по сериям отечественных и зарубежных определителей. Названия видов приведены в соответствии с [8]. Сравнение альгоцианофлоры на площадках мониторинга проводили с использованием коэффициента Жаккара ($K_j = c/a + b - c$, где c – число общих видов, a , b – число видов первой и второй флоры) [9].

Результаты и обсуждение

Наиболее значимые отличия морфологических свойств почв, отмеченные на площадках мониторинга, особенности их химического состава представлены в таблице 1. Более подробно характеристика почв приведена в [10, 11]. Почвы на площадках мониторинга отличаются от окружающих луговых почв нейтральной и щелочной реакцией, наиболее низкие значения рН (6,2) отмечаются в солевой вытяжке из мелкозёма органоминерального слоя на площадке 5, характеризующейся избыточным увлажнением. Содержание органического вещества в почвах невысокое, за исключением органогенных горизонтов на

Таблица 1 / Table 1

Особенности почв и растительности на площадках мониторинга
Properties of soils and vegetation at monitoring sites

Особенности компонентов биоценоза Features of the components of the biocenosis	Площадки мониторинга почв и растительности / Soil and vegetation monitoring sites				
	1	2	3	4	5
Морфологические особенности почв Morphological features of soils	супесь	красно-бурый суглинок	супесь, подстилаемая карбонатным суглинком	гипсовая корка	супесь
	сухая, бесструктурная	мелкокомковатая структура	глубина подстилания сильно варьирует	на поверхности рыхлый светло-бурый слой выветрелой части корки	на поверхности слой слабозложившихся органических остатков, ниже минеральная толща серосизого цвета
Особенности химического состава почв Features of the chemical composition of soils	щелочная реакция pH_{H_2O} от 6,7 до 8,2, слабое подкисление верхних органогенных слоёв				
	C – 0,81%	C – 1,65%	C – 4,6%	C – 1,56%	C – 5%
	–	As – 10,1 мг/кг	Sr – 397–1150 мг/кг, NO_3^- – 520 мг/кг	Sr – 379 мг/кг	–
Особенности растительного покрова Vegetation features	ПП 60–70%	ПП 85%	ПП 100%	ПП 40%	ПП 100%
	неустойчивая растительная ассоциация		устойчивая пырейная ассоциация	пионерная группировка, неустойчивая	устойчивая гидрофильная группировка тростника обыкновенного

Примечание: ПП – проективное покрытие; «–» – превышений ПДК или фоновых концентраций не выявлено.
Note: ПП – projective cover, “–” – no excess of MPC or background concentrations was detected.

3-й и 5-й площадках. На почвообразование оказывают влияние близко залегающие к поверхности загрязнённые подземные воды, в составе которых отмечались повышенные концентрации ионов азотной группы, стронция, натрия, магния, марганца, брома [12]. В почвах на 3-й площадке 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), на 5-й площадке – оно составляет 190 мг/кг. В почве на 2-й площадке, отличающейся более тяжёлым гранулометрическим составом, выявлено превышающее ОДК содержание мышьяка (10,1 мг/кг), отмечены повышенные по сравнению с региональным фоном, но не превышающие ПДК (ОДК) концентрации меди, цинка, никеля [12].

За четырёхлетний период мониторинга доминирующие виды высших растений на площадках сохранялись с небольшими изменениями.

Особенности растительного покрова представлены в таблице 1. В 2022 г. проективное покрытие (ПП) составляло от 40% на 4-й площадке с гипсовой коркой, до 100% – на 3-ей и 5-й площадках. В составе фитоценоза на 1-й площадке, как и в прошлые годы, доминировал вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), однако впервые в составе доминантов отмечен бедренец-камнеломка (*Pimpinella saxifraga* L.) (табл. 2). На 2-й и 3-й площадках доминирует пырей ползучий (*Agropyron repens*), на 4-й – *C. epigeios*, на 5-й – тростник обыкновенный (*Phragmites communis*). Если на 3-й площадке сформировалась устойчивая моноассоциация пырея ползучего, то на 2 площадке состав доминантов резко изменил-

Таблица 2 / Table 2

Доминирующие виды растений на площадках мониторинга
Dominant plant species on monitoring sites

№ площадки Site number	Год Year	Виды-доминанты растительного сообщества Dominant species of the plant community
1	2019	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth
	2020	<i>C. epigeios</i> (L.) Roth, <i>Melilotus albus</i> Desr.
	2021	<i>C. epigeios</i> (L.) Roth
	2022	<i>C. epigeios</i> (L.) Roth, <i>Pimpinella saxifrage</i> L.
2	2019	<i>Melilotus albus</i> Desr., <i>M. officinalis</i> (L.) Lam., <i>Agropyron repens</i> Beauv.
	2020	<i>A. repens</i> Beauv.
	2021	
	2022	<i>A. repens</i> Beauv., <i>Lathyrus pratensis</i> L.
3	2019	<i>A. repens</i> Beauv.
	2020	
	2021	
	2022	
4	2019	<i>A. repens</i> Beauv., <i>C. epigeios</i> (L.) Roth
	2020	<i>C. epigeios</i> (L.) Roth
	2021	
	2022	
5	2021	<i>Phragmites communis</i> Trin.
	2022	

Таблица 3 / Table 3

Видовое разнообразие водорослей и ЦБ на площадках мониторинга в 2019–2022 гг.
Number of algae and CB species at monitoring sites in 2019–2022

Отделы Divisions	Год Year	Количество видов / Number of species						
		№ площадки мониторинга site number					всего видов total 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
	2022	14	6	9	9	11	23	43
Chlorophyta	2019	3	6	11	5	–	12	33
	2020	5	5	5	3	–	9	29
	2021	9	3	4	10	4	18	28
	2022	6	4	4	8	6	14	26
Xanthophyta+Eystigmatophyta	2019	0	1	2	0	–	3	8
	2020	1	1	0	0	–	2	6
	2021	4	0	0	0	3	8	12
	2022	1	4	5	3	1	7	13
Bacillariophyta	2019	2	4	2	0	–	5	13
	2020	4	5	1	0	–	5	16
	2021	4	3	2	0	6	7	11
	2022	3	4	3	0	8	9	17
Всего видов на участке Total 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
	2022	24	18	21	20	26	53	100

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

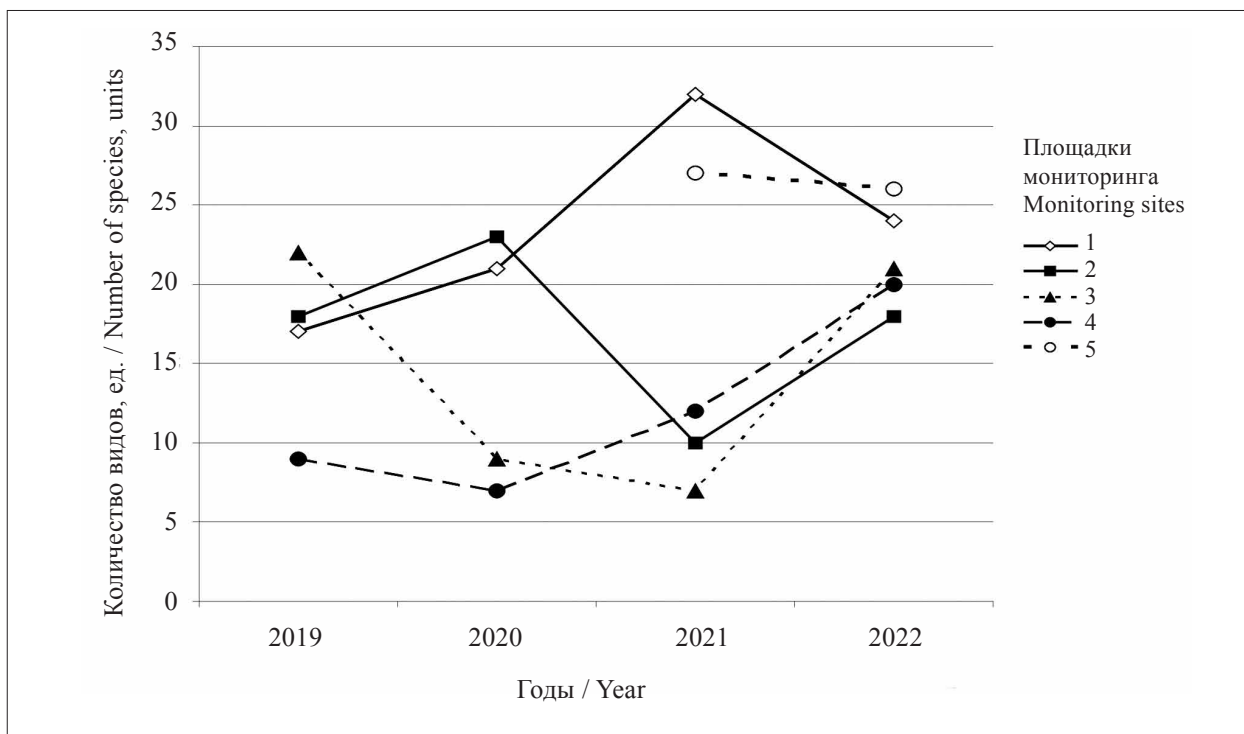


Рис. 1. Динамика видового разнообразия почвенной альгоцианофлоры по годам наблюдений
 Fig. 1. Changes in species diversity of soil algacyanoflora over the years of observation

ся в 2020 г., а в 2022 г. рядом с ассоциацией пырея ползучего (*Agropyron repens*) развилась куртина чины луговой (*Lathyrus pratensis* L.). Тростник обыкновенный на 5-ой площадке также сформировал моноассоциацию, которая наблюдается с 2020 г. (табл. 2).

За период наблюдений на участках мониторинга выявлено 66 видов почвенных микрофототрофов, в том числе: Cyanobacteria – 29; Chlorophyta – 20; Xanthophyta – 5; Eustigmatophyta – 3; Bacillariophyta – 9 (табл. 3, рис. 1). По видовому разнообразию преобладают ЦБ: от 15 видов в 2019 г. до 30 – в 2021 г., составляя 43–47% от видового разнообразия. ЦБ и водоросли обеспечивают начальные этапы формирования почв при зарастании отвалов, при этом ведущая роль в этом процессе принадлежит ЦБ.

Альгофлора представителей отдела Chlorophyta составляла 26–33% видового разнообразия. Согласно зональному распределению альгофлоры, зелёные водоросли в природных экосистемах лесной зоны по числу видов являются преобладающими [13]. В антропогенных экосистемах они проявляют устойчивость к подкислению почвы, загрязнению её тяжёлыми металлами, нефтью, некоторыми нефтепродуктами, поверхностно-активными веществами [14].

Отмечено мало видов жёлтозелёных (8,4%) и эустигматофитовых водорослей

(4,2%), чувствительных к техногенному загрязнению.

За всё время наблюдений с 2019 по 2022 гг. наибольшее число видов отмечено на площадке № 1 на бедном по составу супесчаном субстрате – 49 видов (табл. 4). Заселение данной территории идёт постепенно, за период наблюдений число видов увеличилось более чем в два раза. По числу видов преобладают ЦБ (43,9%). Из гетероцистных ЦБ отмечены 5 видов, 17 видов – безгетероцистные ЦБ, в основном представители родов *Phormidium* и *Leptolyngbya*.

На площадке № 2 за период наблюдений разнообразие видов альгофлоры сначала несколько возросло с 18 до 23 видов, а затем уменьшилось до 10. Вероятно, это связано с развитием плотной злаковой ассоциации (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Agropyron repens* Beauv.), оказавшей влияние на условия среды: световой режим и влажность. Доминантами альгофлоры в 2022 г. были *Hantzschia amphioxys*, *Nitzschia palea* и *Navicula pelliculosa* (табл. 5).

Плотная дернина, созданная *Agropyron repens* на площадке № 3, негативно отразилась на развитии водорослей. В 2021 г. было выявлено всего 7 видов микрофототрофов, доминировала диатомовая водоросль *Hantzschia amphioxys*. В 2022 г. на периферии площадки № 3 сформировалась вторая ассоциация выс-

Таблица 4 / Table 4

Количество видов водорослей и цианобактерий на площадках мониторинга за весь период наблюдений с 2019 по 2022 гг.
The number of algae and cyanobacteria species on monitoring sites for the entire observation period from 2019 to 2022

Отделы Divisions	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	%
Суанобактерия	24	15	10	7	14	29	43,9
Chlorophyta	15	13	13	14	7	20	30,3
Xanthophyta+Eydstigmatophyta	5	4	4	3	3	8	12,1
Bacillariophyta	5	5	4	0	7	9	13,7
Всего видов на участке The total number of species on the site	49	37	31	24	31	66	100

Таблица 5 / Table 5

Доминирующие виды альгоцианофлоры
Dominant species of algaecyanoflora

№ площадки Site No.	Доминирующие виды альгофлоры в 2019 г. Dominant species of algaeflora in 2019	Доминирующие виды альгофлоры в 2020 г. Dominant species of algaeflora in 2020	Доминирующие виды альгофлоры в 2021 г. Dominant species of algaeflora in 2021	Доминирующие виды альгофлоры в 2022 г. Dominant species of algaeflora in 2022
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>	<i>Leptolyngbya foveolarum</i> , <i>L. angustissima</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> , <i>N. paludosum</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>	<i>Leptolyngbya angustissima</i> , <i>Nitzschia palea</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>	<i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Luticola mutica</i> , <i>Phormidium autumnale</i>
4	<i>L. angustissima</i> , <i>Nostoc punctiforme</i>	<i>Nostoc punctiforme</i> , <i>N. paludosum</i> , <i>Leptolyngbya angustissima</i>	<i>L. angustissima</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> , <i>Klebsormidium rivulare</i>	<i>Phormidium autumnale</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> , <i>N. paludosum</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i>
5	нет данных <i>no data</i>	нет данных / <i>no data</i>	<i>Phormidium uncinatum</i> , <i>P. inundatum</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i>	<i>Nitzschia palea</i> , <i>Phormidium uncinatum</i> , <i>P. inundatum</i>

Таблица 6 / Table 6

Коэффициенты Жаккара (%) в 2019 и 2022 гг.
Jaccard coefficients (%) in 2019 and 2022

№ площадки / Site No.	1	2	3	4	5
1		40	30	24	–
2	51		32	23	–
3	51	58		41	–
4	41	42	57		–
5	36	33	32	20	

Примечание «–» – отсутствие данных; жирным шрифтом выделены данные 2022 г.
Note: “–” – no data; data of 2022 is highlighted in bold.

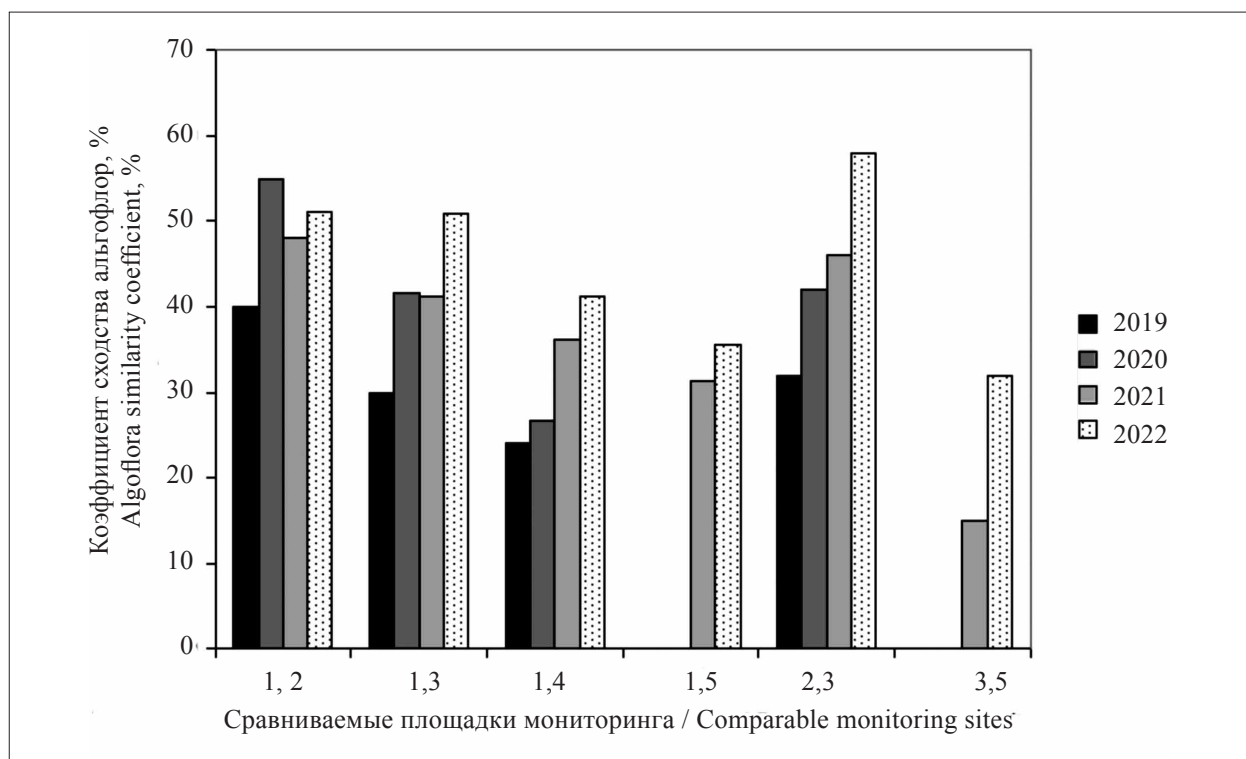


Рис. 2. Коэффициенты сходства альгоцианофлор по годам наблюдений
Fig. 2. Coefficients of similarity of algal cyanofloras by years of observation

ших растений – *Lathyrus pratensis* L., под которой видовое разнообразие микрофототрофов увеличилось до 21 вида, а доминантами являлись *Hantzschia amphioxys*, *Luticola mutica*, *Phormidium autumnale*. Приуроченность диатомовых водорослей к дерновинам злаков взаимно обусловлена потребностью в достаточном количестве кремния [15]. За всё время наблюдений на этой площадке выявлено наименьшее количество видов ЦБ по сравнению с другими площадками, заложенными на рыхлых грунтах (1, 2 и 5), что, возможно, обусловлено повышенным содержанием нитратного азота в почвах. Известно, что с увеличением концентрации в почве доступных форм азота уменьшается конкурентоспособность ЦБ, для

которых при нормальном ходе сезонной сукцессии в конце лета и осенью характерно доминирование в сообществе микрофототрофов [16].

На площадке № 4 (гипсовая корка) наблюдается медленное увеличение видового разнообразия микрофототрофов. Видовой состав ЦБ за период наблюдений стабилен, в два раза возросло число видов зелёных водорослей.

На 5-й площадке сформировалась плотная ассоциация тростника (*Phragmites communis*). Доминантами сообществ альгоцианофлоры являлись ЦБ, представленные безгетероцистными и гетероцистными формами. Из видов индикаторов повышенной влажности также отмечены: *Oscillatoria limosa*, *Gloeocapsa* sp. (ЦБ),

Cosmarium sp., *Microthamnion kuetzingianum* (Chlorophyta), *Nitzschia palea* (Bacillariophyta).

В составе доминирующих видов (табл. 5), как и в составе всей альгоцианофлоры участков, преобладают ЦБ.

Коэффициенты флористической связи (коэффициенты Жаккара) свидетельствуют о высоком и возрастающем с годами сходстве альгофлор на 2-й и 3-ей площадках мониторинга, в 2022 г. он достигал 58% (табл. 6).

Значения коэффициентов сходства альгоцианофлор на некоторых площадках и их изменение за 4 года наблюдений графически представлено на рисунке 2.

В 2022 г. этот показатель составляет 51% для 1-й и 2-й, а также 1-й и 3-й площадок, что позволяет сделать вывод о сближении видового разнообразия альгоцианофлор со временем независимо от растительности и характера почвообразующего субстрата. Причём по мере выветривания гипсовой корки альгоцианофлора на площадке № 4 становится всё более сходной с альгоцианофлорой на 3-й площадке. Наиболее отличается от остальных видовой состав альгоцианофлоры на 5-й площадке. По-видимому, избыточное увлажнение и дефицит света в зарослях тростника – главные факторы, определяющие состав водорослей и ЦБ на этом участке.

Таким образом, на территории хвостохранилища жидких отходов после рекультивации происходит формирование альгогруппировок микрофототрофов в соответствии с условиями среды. Исходная неоднородность субстрата и растительности обуславливает различия видового состава водорослей и ЦБ. По результатам мониторинга выявлены следующие особенности в распространении почвенных водорослей и цианобактерий:

– доминантами сообществ на всех площадках являются цианобактерии – организмы, завершающие сезонную сукцессию микрофототрофов и являющиеся толерантными к техногенному воздействию;

– состав доминирующих видов альгоцианофлоры зависит от всей совокупности факторов почвообразования. Пониженный рельеф и избыточное увлажнение способствуют развитию влаголюбивых видов высших растений, водорослей и ЦБ; плотность дернины злаков обостряет конкурентные отношения высших растений, приводит к монодоминантности и способствует снижению видового разнообразия микрофототрофов;

– развитие злаковых ассоциаций на площадках 2 и 3 сопровождается доминировани-

ем диатомовых водорослей, использующих кремний, которым богаты растения семейства злаковых;

– чёткой закономерной связи между загрязнением грунтов и видовым разнообразием, а также составом альгоцианофлоры не выявлено, что, по-видимому, обусловлено невысоким содержанием загрязняющих веществ в верхнем слое почв, так как источником загрязнения являются подземные воды. Повышенные концентрации биогенных элементов (2ПДК нитратов в поверхностном слое почвы на площадке № 3) благоприятно влияют на развитие высших растений, формируя в большей степени зависимость почвенной альгоцианофлоры от проективного покрытия растений (света) и химического состава отмирающей растительной массы, чем от загрязнённых грунтов. При этом возможно, что именно высокое содержание доступного азота обуславливает относительно малое количество видов ЦБ в почвах.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 1220401000325.

Литература

1. Микроорганизмы как агенты биомониторинга и биоремедиации загрязнённых почв / Под ред. Т.Я. Ашихминой, Л.И. Домрачевой. Киров: Науч. изд-во ВятГУ, 2018. 254 с.
2. Штина Э.А., Андропова М.Ф. Роль почвенных водорослей в восстановлении нарушенных экосистем тундры // Материалы Всесоюз. совещ. «Охрана растительного мира в Северных регионах». Т. 2. Устойчивость растительности к антропогенным факторам и биорекультивация в условиях Севера. Сыктывкар, 1984. С. 67–70.
3. Зимонина Н.М. Почвенные водоросли нефтезагрязнённых земель. Киров: ВГПУ, 1998. 170 с.
4. Фазлутдинова А.И., Суханова Н.В., Сафиуллина Л.М. Сравнительный анализ видового состава почвенных диатомовых водорослей разновозрастных отвалов Учалинского горно-обогатительного комбината (Республика Башкортостан) // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге: Материалы докладов 4 Всероссийской научной конференции с международным участием. СПб.: Реноме, 2018. 512 с.
5. Тарчевский В.В., Штина Э.А. Развитие водорослей на промышленных отвалах // Современное состояние и перспективы изучения почвенных водорослей в СССР. Киров: Издательство Кировского сельскохозяйственного института, 1967. С. 146–150.

6. Штина Э.А., Неганова Л.Б., Третьякова А.Н. Роль азотфиксирующих водорослей в зарастании промышленных отвалов. Новосибирск: Наука, 1970. С. 117–123.

7. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.

8. Костиков И.Ю., Романенко П.О., Демченко Е.М., Даринко Т.М., Михайлюк Т.І., Рибчинський О.В., Солоненко А.М. Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори). Київ: Фітосоціоцентр, 2001. 300 с.

9. Шмидт В.М. Математические методы в ботанике Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. 287 с.

10. Кондакова Л.В., Дабах Е.В. Мониторинг альго-цианобактериальных сообществ на техногенной территории // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 84–90.

11. Кондакова Л.В., Дабах Е.В. Особенности формирования альгоцианофлоры на техногенной территории // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. Материалы XX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров: Вятский государственный университет, 2022. С. 207–213.

12. Дабах Е.В. Формирование почв на техногенных отходах после рекультивации // Биохимические инновации в условиях коррекции техногенеза биосферы. Труды Междунар. биогеохимического симпозиума, посвященного 125-летию со дня рождения академика А.П. Виноградова и 90-летию Приднестровского ун-та. Тирасполь: Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, 2020. Т. 2. С. 71–75.

13. Штина Э.А., Зенова Г.М., Манучарова Н.А. Альгологический мониторинг почв // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1449–1461.

14. Кабиров Р.Р., Гайсина Л.А., Сафиуллина Л.М., Бакиева Г.З., Сафиуллин С.Ю. Модели трансформации сообществ почвенных водорослей в условиях антропогенного загрязнения // Водоросли и цианобактерии в природных и сельскохозяйственных экосистемах: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Эмилии Адриановны Штиной. Киров: Вятская ВГСХА, 2010. С. 140–145.

15. Новичкова-Иванова Л.Н. Почвенные водоросли степей Монголии. Ботанико-географический анализ флор // Общество. Среда. Развитие. 2017. № 4. С. 157–163.

16. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2005. 336 с.

References

1. Microorganisms as agents of biomonitoring and bioremediation in polluted soil / Eds. T.Ya. Ashikhmina, L.I. Domracheva. Kirov: Nauch. izd-vo VyatSU, 2018. 254 p. (in Russian).

2. Shtina E.A., Andronova M.F. The role of soil algae in remediation of damaged tundra ecosystems // Materialy Vsesoyuz. soveshch. "Protection of Flora in the North regions". V. 2. Vegetative resistance to anthropogenic factors and bioreclamation in the conditions of the North. Syktyvkar, 1984. P. 67–70 (in Russian).

3. Zimonina N.M. Soil algae of oil-contaminated soils. Kirov: VGPU, 1998. 170 p. (in Russian).

4. Fazlutdinova A.I., Sukhanova N.V., Safiullina L.M. Comparative analysis of soil Diatom species composition of heterochronous tailings in the Uchalinsk mining and processing integrated plant (the Republic of Bashkortostan) // Algae: taxonomy and ecology issues and their use in monitoring: Materialy dokladov 4 Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. 2018. 512 p. (in Russian).

5. Tarchevskiy V.V., Shtina E.A. Algae growth on industrial waste discharges // The contemporary state and perspectives of researching soil algae in the USSR. Kirov: Izd-vo Kirovskogo selskokhozyaystvennogo instituta, 1967. P. 146–150 (in Russian).

6. Shtina E.A., Neganova L.B., Tretyakova A.N. The role of nitrogen-fixing algae in overgrowing of industrial waste discharges. Novosibirsk: Nauka, 1970. P. 117–123 (in Russian).

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

8. Kostikov I.Yu., Romanenko P.O., Demchenko E.M., Darienko T.M., Mikhailyuk T.I., Ribchinsky O.V., Solonenko A.M. Algae of the lands of the Ukraine (the history and methods of research, system, flora). Kiev: Fitosotsiotsentr, 2001. 300 p. (in Ukrainian).

9. Shmidt V.M. Mathematic methods in botany. Leningrad: Izd-vo LGU, 1989. 287 p. (in Russian).

10. Kondakova L.V., Dabakh E.V. Monitoring of alga-cyanobacterial communities on technogenic territories // Theoretical and Applied Ecology. 2022. No. 1. P. 84–90 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-084-090

11. Kondakova L.V., Dabakh E.V. The peculiar ways of alga-cyanoflora formation on the technogenic territory // Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems. Materialy XX Vserossiyskoy nauchno-parkticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. 2022. P. 207–213 (in Russian).

12. Dabakh E.V. Soil formation on technogenic wastes after reclamation // Biochemical innovations in conditions of correcting biosphere technogenesis. Trudy Mezhdunar. Biogeokhimeskogo Simpoziuma, posvyashchennogo 125-letiyu so dnya rozhdeniya akademika A.P. Vinogradova i 90-letiyu Pridnestrovskogo un-ta. 2020. V. 2. P. 71–75 (in Russian).

13. Shtina E.A., Zenova G.M., Manucharova N.A. Algalogical soil monitoring // Pochvovedeniye. 1998. No. 12. P. 1449–1461 (in Russian).

14. Kabirov R.R., Gaisina L.A., Safiullina L.M., Bakiyeva G.Z., 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. 2010. P. 140–145 (in Russian).

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

16. Domracheva L.I. Soil "blooming" and the laws of its development. Syktykar: Komi NTs UrO RAN, 2005. 336 p. (in Russian).