

Реакция водорослей и цианобактерий лесных и луговых экосистем на техногенное воздействие

© 2026. Л. В. Кондакова^{1,2}, д. б. н., профессор, с. н. с.,
 Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., г. н. с., зав. лабораторией,
 Л. И. Домрачева^{2,3}, д. б. н., профессор, с. н. с.,
 К.А. Безденежных¹, аспирант, И. А. Кондакова¹, к. фил. н., доцент,
¹Вятский государственный университет,
 161000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,
²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
 Российской академии наук,
 167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
³Вятский государственный агротехнологический университет,
 610017, Россия, г. Киров, Октябрьский пр., д. 133,
 e-mail: ecolab2@gmail.com

В статье дана оценка экологического состояния почвенного фототрофного микробного комплекса лесных и луговых экосистем в районе бывшего объекта уничтожения химического оружия (ОУХО) «Марадыковский», где в настоящее время создаётся производственно-технический комплекс (ПТК) Экотехнопарк «Мирный» по утилизации отходов 1 и 2 классов опасности. Природные группировки водорослей и цианобактерий (ЦБ) достаточно широко используются в экологической оценке состояния почвенной среды, что обусловлено рядом их физиолого-биохимических и экологических особенностей. В настоящее время альгоцианофлора района строительства ПТК «Мирный» имеет характерную для широтно-зонального градиента природную структуру сообществ. В лесных почвах по видовому разнообразию преобладают представители отделов Chlorophyta (60,0 %) и Ochrophyta (20,0 %), в луговых – Chlorophyta (44,2 %) и Cyanobacteria (29,5 %). Однако длительный мониторинг водорослей и ЦБ почв лесных и луговых экосистем данной территории показал, что за период функционирования ОУХО в фототрофном комплексе микроорганизмов произошли некоторые изменения. Снизилась процентная доля охрофитовых водорослей, чувствительных к техногенной нагрузке, с 19,2 до 17,0 % и увеличилась доля ЦБ с 24,7 до 26,4 %. При высокой толерантности к меняющимся факторам среды, ЦБ являются надёжными индикаторами в оценке её экологического состояния. В составе доминантов представлены виды из отделов зелёных и охрофитовых водорослей, характерных для почв лесной зоны. В луговых экосистемах доминируют виды родов *Chlamydomonas*, *Chlorococcum* (Chlorophyta), *Phormidium*, *Nostoc*, *Cylindrospermum* (Cyanobacteria). Количественные показатели численности водорослей и ЦБ обусловлены в основном природными факторами. На контрольном участке, находящемся на расстоянии 10 км от объекта, показатели количества водорослей и ЦБ достигали более высоких значений и превышали показатели численности микрофототрофов на участках вблизи объекта в два и более раз. После прекращения функционирования ОУХО «Марадыковский» прошло более 10 лет. Таксономический состав альгоцианофлоры сохраняет исходную зональную структуру.

Ключевые слова: биоиндикация, прокариоты, эукариоты, фототрофные микроорганизмы, загрязнение, мониторинг растительности.

Response of algae and cyanobacteria in forest and meadow ecosystems to man-made impacts

© 2026. L. V. Kondakova^{1,2}, ORCID: 0000-0002-2190-686X, T. Ya. Ashikhmina^{1,2}, ORCID: 0000-0003-4919-0047,
 L. I. Domracheva^{2,3}, ORCID: 0000-0002-7104-3337, K. A. Bezdenezhnykh¹, ORCID: 0000-0003-1030-3219,
 I. A. Kondakova¹, ORCID: 0000-0001-9336-8709,
¹Vyatka State University,

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

²Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch
 of the Russian Academy of Sciences,

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

The article presents estimation of the ecological state of soil phototrophic microbe complex in forest and meadow ecosystems in the vicinity of the former chemical weapons destruction facility “Maradykovskiy” (CWDF). Currently, a production and technical complex “Ecotechnopark “Mirnyy” (PTK) for the disposal of wastes of the 1st and 2nd hazard classes is being created on its territory. Natural groups of algae and cyanobacteria (CB) has a set of physiological-biochemical and ecological features and are widely used in soil state ecological assessing. Nowadays the algocyanoflora communities’ structure within the site of PTC is typical for the forest zone. As for species diversity in forests soils, representatives of Chlorophyta (60.0 %) and Ochrophyta (20.0 %) prevail, while Chlorophyta (44.2 %) and Cyanobacteria (29.5 %) dominate in meadow soils. Still the long-term monitoring of algae and CB in forest and meadow soil ecosystems indicated that certain changes took place in the phototrophic complex of microorganisms during the CWDF operating period. The share of ochrophyte algae sensitive to technogenic load decrease from 19.2 % to 17.0 %, while the share of CB increase from 24.7 % to 26.4 %. CBs are highly tolerant to the changing factors of the environment, thus they serve as a reliable indicator in assessing its ecological status. The dominant species are represented by green and ochrophyte algae, typical in forest soils. The species of the genera *Chlamydomonas*, *Chlorococcum* (Chlorophyta), *Phormidium*, *Nostoc*, *Cylindrospermum* (Cyanobacteria) are the dominants of the communities in meadow ecosystems. The quantitative indexes of the algae and CB number are conditioned mostly by natural factors. On the control site situated 10 km away from the PTC the indexes of algae and CB number were higher than those near the PTC: they exceeded two or more times. Over 10 years passed from the moment when CWDF stopped functioning. The taxonomic composition of algocyanoflora still keeps its original structure.

Keywords: bioindication, prokaryotes, eukaryotes, phototrophic microorganisms, contamination, plant monitoring.

Почвенные фототрофные микроорганизмы находят достаточно широкое применение в экологической оценке состояния окружающей среды, что обусловлено рядом их физиолого-биохимических особенностей [1–4]. При оценке реакции прокариотных и эукариотных фототрофных микроорганизмов на комплекс факторов природной и антропогенной среды применяется система биоиндикации. Она основана на выявлении видового состава водорослей и цианобактерий (ЦБ), доминирующих и специфических видах сообществ, количественных показателей численности и биомассы клеток, динамики развития фототрофных микробных сообществ в природных и создаваемых техногенной нагрузкой условиях среды. Снижение видового разнообразия микрофототрофов, изменение видовой структуры альгосообществ по сравнению с фоновым аналогом является показателем нарушения почвенного биоценоза.

Цель работы – сравнить видовой и количественный состав водорослей и цианобактерий в районе бывшего объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» до начала действия объекта, в период его работы и после завершения его функционирования для оценки возможного негативного воздействия.

Объекты и методы исследования

В Кировской области с сентября 2006 г. по сентябрь 2015 г. в Оричевском районе Ки-

ровской области функционировал объект по уничтожению химического оружия (ОУХО) «Марадыковский» [5, 6]. По объёму производства, площади занимаемой территории, по уровню загрязнения и токсичности загрязнителей данный объект относился к предприятиям 1-го класса опасности [7]. В настоящее время на базе ликвидированного ОУХО создаётся производственно-технический комплекс (ПТК) Экотехнопарк «Мирный». Территория приурочена ко второй надпойменной террасе р. Вятки. Район исследования входит в состав почвенно-климатической лесной зоны, подзоны южной тайги. Зональная растительность представлена еловыми и елово-пихтовыми лесами кисличного типа. Неустойчивые и малоустойчивые к загрязнению почвы под хвойными лесами достигают 67 % изучаемой территории [8]. Мониторинговые исследования данной территории проводились до строительства объекта «Марадыковский», в период его работы и после завершения уничтожения химического оружия. Для каждой почвенно-климатической зоны характерны специфические альго-цианобактериальные ценозы с определённым набором представителей [9, 10]. Изучение почвенных фототрофных микроорганизмов осуществлялось на участках мониторинга, расположенных на разном удалении от объекта: в непосредственной близости к объекту, а также на расстоянии до 10 км.

Пробы отбирались в лесных и луговых фитоценозах в летне-осенние месяцы с со-

блюдением микробиологических требований к отбору проб [9]. Изучение видового состава водорослей и ЦБ проводили прямым микроскопированием отобранных проб почвы, постановкой водных и чашечных культур со «стёклами обрастания». Определение видов проводили с использованием ряда отечественных и зарубежных определителей и электронной базы водорослей AlgaeBase. Количественные показатели альгоцианофлоры определяли прямым микроскопированием почвы на мазках с девятикратной повторностью для получения достоверных данных [11]. Сравнение альгоцианофлоры участков проводили с помощью коэффициента Жаккара [12]. Математическую обработку данных количественного анализа выполняли по общепринятым методикам с использованием программ Past 3.20 и Microsoft Excel 2010.

Результаты и обсуждение

До строительства объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» в 2004–2006 гг. на данной территории проводились экспедиционные исследования, отбирались пробы для лабораторных анализов [13]. Был проведён качественный и количественный учёт водорослей и ЦБ методом прямой микроскопии в отобранных пробах почв 48 лесных и 59 луговых биогеоценозов [14]. Было установлено, что в лесных подзолистых песчаных и супесчаных почвах по видовому разнообразию преобладали представители отделов Chlorophyta (виды родов *Chlamydomonas*, *Coccomyxa*, *Chlorococcum*, *Chlorella*, *Stichococcus*, *Klebsormidium*) и Xanthophyta (виды родов *Botrydiopsis*, *Characiopsis*, *Eustigmatos*). Цианобактерии представлены небольшим числом видов (*Leptolyngbya foveolarum*).

Исследуемые луговые почвы относятся к нескольким типам: дерново-подзолистые супесчаные, дерново-подзолистые суглинистые, аллювиальные дерновые, дерновые оглеенные. В луговых фитоценозах формируются более сложные синузии водорослей и ЦБ. Среди зелёных водорослей широко распространены виды из порядков Chlamydomonadales, Chlorococcales, Chlorosarcinales, характерно присутствие видов из Desmidiaceae и Mesotaeniales. Из диатомовых обычны виды из родов *Navicula*, *Pinnularia* и *Hantzschia amphioxys*. Всего было выявлено 108 видов микроритотрофов: Cyanobacteria – 27; Chlorophyta – 50; Ochrophyta – 21; Bacillariophyta – 10.

Результаты количественного анализа водорослей и ЦБ почв лесных фитоценозов были получены при изучении тысяч почвенных проб. Это позволило установить численность микроритотрофов в подзолистых песчаных и супесчаных почвах сосновых лесов, в ельниках и березняках, которая выражалась миллионами клеток на 1 грамм почвы. В лесах, сформированных на дерново-подзолистых, болотно-подзолистых и дерново-оглеенных почвах этот показатель был существенно ниже – сотни тысяч клеток на 1 грамм почвы [14].

В период функционирования объекта «Марадыковский» с сентября 2006 по сентябрь 2015 гг. на участках мониторинга ежегодно проводился отбор почвенных проб для последующего таксономического и количественного анализа.

Всего в период функционирования объекта было выявлено 120 видов микроритотрофов: Cyanobacteria – 38 (31,7 %); Chlorophyta – 50 (41,7 %); Ochrophyta – 22 (18,3 %); Bacillariophyta – 10 (8,3 %).

В лесных фитоценозах (берёзово-сосняк вейниково-зеленомошный, елово-березняк черничный, сосняк чернично-кисличный, сосняк вейниково-марьянниковый (почва среднеподзолистая песчаная на водноледниковых песках) на территории ключевых участков в районе ОУХО было выявлено 70 видов водорослей. По видовому разнообразию преобладали одноклеточные зелёные водоросли (виды родов *Chlamydomonas*, *Coccomyxa*, *Chlorococcum*, *Chlorella*), нитчатые водоросли из порядка Ulotrichales (*Stichococcus*, *Klebsormidium*) и охрофитовые водоросли (виды родов *Botrydiopsis*, *Characiopsis*, *Eustigmatos*). Результаты видового состава альгофлоры на исследуемой территории согласуются с опубликованными данными других исследователей [15, 16]. Наибольшим числом видов во всех типах леса представлены зелёные и жёлтозелёные водоросли.

В почвах луговых фитоценозов выявлено 119 видов водорослей и ЦБ, в том числе: Cyanobacteria – 37 (31,4 %), Chlorophyta – 49 (41,5 %), Ochrophyta – 22 (18,6%), Bacillariophyta – 10 (8,4 %), Euglenophyta – 1 (0,8 %). Изучались почвы фитоценозов: таволга вязолистная + вербейник монетчатый (почва дерново-глеявая, оподзоленная на водноледниковых отложениях); луговик дернистый + тимopheевка луговая (почва дерново-подзолистая среднесуглинистая на элювии пермских глин). Сравнение полученных результатов с имеющимися данными видового

разнообразия альгоцианофлоры дерново-подзолистых почв [15] показывает близкие в процентном отношении результаты. Согласно данным [17] в луговых экосистемах региона Chlorophyta составляют 37 % видового разнообразия, Cyanobacteria – 33 %, Ochrophyta – 21 %, Bacillariophyta – 8 %, на другие отделы приходится 1 %. Во всех типах луговых почв по разнообразию видов преобладали зелёные водоросли и ЦБ. Изучение состава альгоцианофлоры разных типов почв показало, что максимальное видовое обилие характерно для дерново-подзолистой супесчаной (71 вид) и дерново-подзолистой суглинистой почвы (69 видов). Меньшее видовое разнообразие отмечено для дерновой оглеенной почвы (58 видов).

Количественные показатели развития альгоцианофлоры различаются в зависимости от типа почвы. Так, минимальные показатели численности водорослевых клеток в дерново-подзолистых почвах (суходольные луга) составляли 66 тыс. кл./г, а максимальные – от 500 до 800 тыс. кл./г почвы [14]. В почвах пойменных лугов (аллювиальные дерновые и дерновые оглеенные) показатели численности существенно выше – 400–466 тыс. кл./г и 2000–3000 тыс. кл./г, соответственно.

Сравнение видового разнообразия альгоцианофлоры почв района техногенного воздействия (ОУХО) с фоновой территорией (государственный природный заповедник (ГПЗ) «Нургуш») [18] приведено в таблице 1.

Сравнительный анализ данных (табл. 1) по процентному соотношению альгофлоры почв фоновой территории ГПЗ «Нургуш» и исследуемой территории в районе ОУХО с опубликованными ранее сводными данными по Кировской области [18] позволяет сделать

вывод, что соотношение процентных долей альгоцианофлоры ГПЗ «Нургуш» практически совпадает с региональными данными, а в районе ОУХО проявляется отличие от показателей почвенной альгоцианофлоры фоновых территорий. В почвах с территории ОУХО показатели процентной доли зелёных водорослей составляют 41,7 %, а на территории ГПЗ «Нургуш» – 38,7 %; соответственно ЦБ – 31,7 и 27,7 %. По сравнению с показателем 18,3 % на территории вблизи ОУХО, процентная доля охрофитовых водорослей на территории ГПЗ «Нургуш» составляет 22,7 %. Альгоцианофлора почв луговых фитоценозов района ОУХО, в сравнении с альгоцианофлорой заповедника, имеет некоторые изменения в структуре группировок микрофототрофов: снижение видового разнообразия жёлтозелёных водорослей, чувствительных к техногенной нагрузке, и увеличение разнообразия ЦБ.

Состав доминирующих видов водорослей и ЦБ в почвах фоновой территории и на территории ОУХО приведён в таблице 2.

Сравнение видового разнообразия доминирующих видов альгоцианофлоры на территории в районе ОУХО и фоновой территории позволяет отметить высокое их сходство в лесных фитоценозах (66,6 %) и умеренное сходство (50,0 %) в луговых.

Альгоцианофлора лесных и луговых фитоценозов района ОУХО в целом характерна для широтно-зонального типа почв лесной зоны и по видовому разнообразию имеет отличия от показателей фоновой территории [19].

В постэксплуатационный период 2016–2025 гг. на участках мониторинга ОУХО были продолжены исследования альгоцианофлоры. Было отобрано 72 почвенных образца на 29 площадках мониторинга. В качестве кон-

Таблица 1 / Table 1
Видовой состав водорослей и цианобактерий в почвах ОУХО в сравнении с фоновыми территориями (в среднем за 2006–2015 гг.) / Algae and cyanobacteria species composition in soils of the chemical weapons destruction facility (CWDF) and the reference area (2006–2015)

Объект Object	Cyanobacteria		Chlorophyta		Ochrophyta		Bacillariophyta		Всего видов Total	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	Сводные данные по Кировской области [18] / Total in Kirov region [18]	166	27,7	239	39,9	122	20,4	66	11,0	599*
ГПЗ «Нургуш» [19] / State Natural Reserve “Nurgush” [19]	33	27,7	46	38,7	27	22,7	13	10,9	119	100
ОУХО / CWDP	38	31,7	50	41,7	22	18,3	10	8,3	120	100

Примечание: 1 – число видов, 2 – процент; * – встретились представители других отделов.
Note: 1 – the number of species, 2 – percentage; * – representatives of other taxa were found.

Таблица 2 / Table 2

Доминирующие виды водорослей и цианобактерий в почвах фитоценозов ОУХО и фоновой территории (в среднем за период 2006–2015 гг.)
Algae and cyanobacteria dominating species in soils of phytocoenoses within the CWDF and the reference area (2006–2015)

Объект Objetc	Фитоценоз Phytocoenosis	Виды водорослей / Algae species
ГПЗ «Нургуш» State Natural Reserve “Nurgush”	Лес / Forest	<i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Bracteococcus minor</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i> (Chlorophyta), <i>Eustigmatos magnus</i> , <i>Pleurochloris lobata</i> , <i>Xanthonema exile</i> (Ochrophyta)
	Луг / Meadow	<i>Phormidium autumnale</i> , <i>Ph. boryanum</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> , <i>N. paludosum</i> (Cyanobacteria), <i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Ch. gelatinosa</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Bracteococcus minor</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i> (Chlorophyta), <i>Pleurochloris commutata</i> , <i>Botrydiopsis eriensis</i> , <i>Eustigmatos magnus</i> (Ochrophyta), <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Luticola mutica</i> (Bacillariophyta)
ОУХО / CWDF	Лес / Forest	<i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Coccomyxa solorinae</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i> (Chlorophyta), <i>Eustigmatos magnus</i> (Ochrophyta)
	Луг / Meadow	<i>Cylindrospermum muscicola</i> , <i>C. licheniforme</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> , <i>N. paludosum</i> , <i>Phormidium formosum</i> , (Cyanobacteria), <i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i> (Chlorophyta), <i>Eustigmatos magnus</i> , <i>Botrydiopsis eriensis</i> , <i>Characiopsis minima</i> , <i>Xanthonema bristolianum</i> (Ochrophyta), <i>Hantzschia amphioxys</i> (Bacillariophyta)

трольного фона оставались ранее выбранные луговые и лесные участки, находящиеся в удалении от объекта на расстоянии до 10 км. В изученных луговых и лесных фитоценозах выявлено 106 видов микрофототрофов. Таксономический состав представлен основными отделами почвенных фототрофных микроорганизмов – Cyanobacteria, Chlorophyta, Ochrophyta, Bacillariophyta.

В альгоцианофлоре лесных экосистем выявлено 60 видов микрофототрофов, по видовому разнообразию преобладают Chlorophyta (60,0 %) и Ochrophyta (20,0 %) [20, 21]. Состав доминирующих видов представлен зелёными и охрофитовыми водорослями, характерными для почв лесной зоны.

В луговых экосистемах отмечено 95 видов, в том числе: Chlorophyta (44,2 %), Cyanobacteria (29,5 %), Ochrophyta (16,8 %), Bacillariophyta (9,5 %) [20, 21]. Доминантами сообществ являются Chlorophyta (виды родов *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*), Cyanobacteria (виды родов *Phormidium*, *Nostoc*, *Cylindrospermum*). Количественные показатели численности водорослей и ЦБ обусловлены в основном природными факторами. На контрольном участке, находящемся на расстоянии 10 км от объекта, показатели численности водорослей и ЦБ были более высокими.

Полученные данные фонового обследования альгоцианофлоры до начала деятельности ОУХО (2004–2006 гг.), за период функционирования данного объекта (2006–2015 гг.) и в постэксплуатационный период (2016–2025 гг.) приведены в таблице 3.

Анализ видового состава альгоцианофлоры в пробах, отобранных в разные периоды функционирования объекта «Марадыковский», показал, что широтно-зональная структура водорослей и ЦБ сохранялась во все периоды отбора проб (табл. 3). Общее число отмеченных видов микрофототрофов до начала работы объекта составляло 108, в период функционирования – 120, после завершения – 106. Сравнение альгоцианофлоры периодов во время функционирования объекта «Марадыковский» и после завершения работ с помощью коэффициента флористического сходства Жаккара показывает умеренное сходство флор – 41,8 %. Сравнение видового состава микрофототрофов данных периодов по таксономическим группам подтверждает эту закономерность: Cyanobacteria – 43,5 %, Chlorophyta – 42,3 %, Bacillariophyta – 53,8 %, Ochrophyta – 37,9 %.

Таким образом, в период после прекращения функционирования ОУХО «Марадыковский» таксономический состав альго-

Таблица 3 / Table 3

Видовой состав альгоцианофлоры в районе объекта «Марадыковский» в разные сроки исследования
Species composition of algocyanoflora within the “Maradykoskiy” facility at different research periods

Таксоны Taxa	Периоды наблюдений, гг. / Periods of research					
	2004–2006		2006–2015		2016–2025	
	Число видов Species number	Доля, % Share, %	Число видов Species number	Доля, % Share, %	Число видов Species number	Доля, % Share, %
Cyanobacteria	27	24,7	38	25,9	28	26,4
Chlorophyta	50	45,8	50	45,6	51	48,1
Bacillariophyta	10	9,1	10	8,9	9	8,5
Ochrophyta	21	19,2	22	18,75	18	17,0
Всего / Total	108	100	120	100	106	100

Примечание: в течение каждого из периодов пробы отбирались примерно в одни и те же сроки.
Note: the samples were taken at approximately the same time during each of the period.

цианофлоры сохраняет исходную широтно-зональную структуру лесной зоны.

В работе [22] приведён сравнительный анализ альгоценозов, находящихся на разном расстоянии от металлургического комбината «Североникель». Показано, что ярко выраженного влияния техногенного загрязнения на состав и структуру альгоценозов не выявлено, на обследованной территории обнаружена мозаика альгоценозов.

Заключение

Анализ видового состава альго-цианофлоры в пробах, отобранных в разные периоды функционирования объекта «Марадыковский», свидетельствует о том, что видовое разнообразие водорослей и ЦБ с 2004 по 2025 гг. на данной территории сохраняется. Общее число видов микрофототрофов до начала работы объекта составляло 108 видов, в период функционирования ОУХО – 120, после завершения работ на объекте – 106. Сравнение данных по видовому разнообразию альгоцианофлоры в период функционирования объекта «Марадыковский» и после завершения работ с помощью коэффициента флористического сходства Жаккара показывает умеренное сходство флор – 41,8 %. На различия между сообществами микрофототрофов, в таком случае, приходится больше 50 % и, в первую очередь, это происходит за счёт не отмеченных на третьем этапе наблюдений микрофототрофов: *Anabaena cylindrica*, *A. sphaerica*, *Cylindrospermum catenatum*, *C. majus*, *Calotrix gracilis*, *Nostoc commune*, *N. linckia* f. *muscorum*, *Leptolyngbya hollerbachiana*, *L. fragilis*, *L. notate*, *Microco-*

leus vaginatus, *Oscillatoria limosa*, *O. sancta*, *Phormidium amoenum*, *Ph. animale* (Cyanobacteria), *Bumilleria klebsiana*, *Bumilleriopsis brevis*, *Characiopsis minima*, *Chlorocloster raphidioides*, *Heterococcus viridis*, *Monodus chodatii*, *Tibonema angustissimum* (Ochrophyta), *Caloneis molaris*, *Eunotia tenella*, *Pinnularia gracillima* (Bacillariophyta). Вероятно, их отсутствие в этот период можно рассматривать как отклик на возможное техногенное воздействие и, соответственно, эти виды могут быть использованы в качестве биоиндикаторов на техногенное загрязнение.

Сохранение видового разнообразия и количественных показателей почвенной альгоцианофлоры фитоценозов в природном комплексе на территории в районе функционирования ОУХО «Марадыковский» является подтверждением использования уникальных отечественных технологий обезвреживания и уничтожения боевых отравляющих веществ в период эксплуатации объекта, создания системы промышленной и экологической безопасности, обеспечения штатной безаварийной работы химически опасного предприятия, действующего на данной территории около 10 лет.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 125021402208-5).

Литература

1. Патова Е.Н., Новаковская И.В., Сивков М.Д., Новаковский А.Б. Влияние экологических факторов на формирование альгогруппировок горнотундровых почв (Приполярный Урал) // Теоретическая и прикладная

экология. 2012. № 2. С. 89–98. doi: 10.25750/1995-4301-2012-2-089-098

2. Дорохова М.Ф., Кошелева Н.Е., Терская Е.В. Экологическое состояние городских почв в условиях антропогенного засоления и загрязнения (на примере Северо-Западного округа Москвы) // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 4. С. 16–24. doi: 10.25750/1995-4301-2015-4-016-024

3. Пивоварова Ж.Ф., Багаутдинова З.З., Благодатнова А.Г. Возможности использования водорослей в экологической оценке городских почв // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 68–77. doi: 10.21685/2307-9150-2022-4-7

4. Sukhanova N.V., Fazlutdinova A.I., Radygina A.V., Gaysina L.A. Transformation of soil cyanobacterial-algal cenoses affected by urbanization in the South Ural urban areas // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 1. С. 92–104. doi: 10.25750/1995-4301-2024-4-092-104

5. Капашин В.П., Поляков А.И., Круглов В.А. Обеспечение экологической и промышленной безопасности объектов по уничтожению химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 4. С. 10–18. doi: 10.25750/1995-4301-2013-4-010-019

6. Мачехин Н.Г. Уничтожение химического оружия в Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 4. С. 19–20. doi: 10.25750/1995-4301-2013-4-019-020

7. Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. Киров: Вятка, 2002. 544 с.

8. Олькова А.С., Дабах Е.В. Оценка устойчивости почв и прогноз их состояния в районе уничтожения химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 1. С. 73–76. doi: 10.25750/1995-4301-2010-1-073-076

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

10. Кузяхметов Г.Г. Водоросли зональных почв степи и лесостепи. Уфа: РИО БашГУ, 2006. 286 с.

11. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2005. 336 с.

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

13. Домрачева Л.И., Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В., Дабах Е.В., Елькина Т.С. Сравнительный анализ специфики альго-микологических комплексов в зоне действия объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский» // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 4. С. 73–78. doi: 10.25750/1995-4301-2012-4-086-091

14. Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Флора Вятского края. Часть 2. Водоросли (Видовой состав, специфика водных и почвенных биоценозов). Киров: ОАО «Кировская областная типография», 2007. 192 с.

15. Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 148 с.

16. Новаковская И.В., Патова Е.Н. Почвенные водоросли еловых лесов и их изменения в условиях аэротехногенного загрязнения. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН. 2012. 128 с.

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

18. Штина Э.А. Флора водорослей бассейна реки Вятки. Киров: Кир. обл. тип., 1997. 96 с.

19. Кондакова Л.В., Пирогова О.С. Почвенные водоросли и цианобактерии государственного природного заповедника «Нургуш» // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 94–101. doi: 10.25750/1995-4301-2014-3-094-101

20. Безденежных К.А., Кондакова Л.В., Дабах Е.В., Ашихмина Т.Я. Альгологический мониторинг почв в районе объекта «Марадыковский» // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 81–88. doi: 10.25750/1995-4301-2021-2-081-088

21. Безденежных К.А., Кондакова Л.В. Количественные показатели и анализ структуры фототрофных микробных сообществ // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы 19 Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров, 25 ноября 2021 г. Киров: Вятский государственный университет, 2021. С. 207–210.

22. Кабиров Р.Р., Черненко Т.В., Суханова Н.В., Шмелев Н.А. Состав и структура альгоценозов северо-таёжных экосистем на различных элементах рельефа в условиях техногенной нагрузки // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 1. С. 94–100. doi: 10.25750/1995-4301-2013-1-094-100

References

1. Patova E.N., Novakovskaya I.V., Sivkov M.D., Novakovskiy A.B. Influence of ecological factors on algal communities development of mountain tundra soils (Subpolar Urals) // Theoretical and Applied Ecology. 2012. No. 2. P. 89–98. doi: 10.25750/1995-4301-2012-2-089-098

2. Dorokhova M.F., Kosheleva N.E., Terskaya E.V. Ecological state of urban soils subject to anthropogenic salinization and pollution (the North-Western District of Moscow as a study case) // Theoretical and Applied Ecology. 2015. No. 4. P. 16–24. doi: 10.25750/1995-4301-2015-4-016-024

3. Pivovarova Zh.F., Bagautdinova Z.Z., Blagodatnova A.G. Possibilities of using algae in the ecological assessment of urban soils // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2022. No. 4. P. 68-77 (in Russian). doi: 10.21685/2307-9150-2022-4-7

4. Sukhanova N.V., Fazlutdinova A.I., Radygina A.V., Gaysina L.A. Transformation of soil cyanobacterial-algal cenoses affected by urbanization in the South Ural urban areas // *Theoretical and Applied Ecology*. 2025. No. 1. P. 92–104. doi: 10.25750/1995-4301-2024-4-092-104
5. Kapashin V.P., Polyakov A.I., Kruglov V.A. Providing industrial and ecological safety of chemical weapons decommission plants // *Theoretical and Applied Ecology*. 2013. No. 4. P. 10–18 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2013-4-010-019
6. Machekhin G.N. Chemical weapons decommission in Kirov region // *Theoretical and Applied Ecology*. 2013. No. 4. P. 19–20 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2013-4-019-020
7. Ashikhmina T.Ya. Complex ecological monitoring of chemical weapons storage and decommission plants. Kirov: Vyatka, 2002. 544 p. (in Russian).
8. Olkova A.S., Dabakh E.V. Evaluating Soils Sustainability and the Project of their State within the area of Chemical Weapons Decommission // *Theoretical and Applied Ecology*. 2010. No. 1. P. 73–76 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2010-1-073-076
9. Shtina E.A., Gollerbach M.M. Ecology of soil algae. Moskva: Nauka, 1976. 143 p. (in Russian).
10. Kuzyakhmetov G.G. Algae of steppe and forest-steppe soils. Ufa: RIO BashGU, 2006. 286 p. (in Russian).
11. Domracheva L.I. Soil blooming and the patterns of its development. Syktyvkar, 2005. 336 p. (in Russian).
12. Shmidt V.M. Methods of Mathematics in Botany. Leningrad: Izdatelstvo GLU, 1989. 287 p. (in Russian).
13. Domracheva L.I., Ashikhmina T.Ya., Kondakova L.V., Dabakh E.V., El'kina T.S. Comparative analysis of peculiar features of soil alga-mycological complexes near the chemical weapons storage and decommission plant “Maradykovky” // *Theoretical and Applied Ecology*. 2012. No. 4. P. 73–78 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2012-4-086-091
14. Kondakova L.V., Domracheva L.I. Flora of the Vyatka region. Part 2. Algae (Species composition, specific features water and soil biocoenoses). Kirov: OAO “Kirovskaya oblastnaya tipographya”; 2007. 192 p. (in Russian).
15. Aleksakhina T.I., Shtina E.A. Soil algae of biogeocoenoses. Moskva: Nauka, 1984. 148 p. (in Russian).
16. Novakovskaya I.V., Patova E.N. Soil algae of spruce forests and their change in conditions of aerotechnogenic pollution. Syktyvkar. Institut Biologii Komi NTs URO RAN. 2012. 128 p. (in Russian).
17. Shtina E.A., Zenova G.M., Manucharova N.A. Algological soil monitoring // *Soil Studies*. 1998. No. 12. P. 1449–1461 (in Russian).
18. Shtina E.A. Flora of algae of the Vyatka region. Kirov: Kirov obl. tip., 1997. 96 p. (in Russian).
19. Kondakova L.V., Pirogova O.S. Soil algae and cyanobacteria of the State Nature Reserve “Nurgush” // *Theoretical and Applied Ecology*. 2014. No. 3. P. 94–101 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2014-3-094-101
20. Bezdenezhnykh K.A., Kondakova L.V., Dabakh E.V., Ashikhmina T.Ya. Algological monitoring of soils in the vicinity of the plant “Maradykovskiy” // *Theoretical and Applied Ecology*. 2021. No. 2. P. 81–88 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2021-2-081-088
21. Bezdenezhnykh K.A., Kondakova L.V. Quantitative indicators and the analysis of the structure of phototrophic microbial communities // *Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems / Materialy 19 Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem*. Kirov, 25 Nov. 2021. Kirov: Vyatskiy gosudarstvennyy universitet, 2021. P. 207–210 (in Russian).
22. Kabirov R.R., Chernen`kova T.V., Sukhanova N.V., Shmelev N.A. Composition and structure of algocenoses of north boreal ecosystems in different relief parts in conditions of technogenic pressure // *Theoretical and Applied Ecology*. 2013. No. 1. P. 94–100 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2013-1-094-100