

Альгологический анализ состояния почв в районе объекта «Марадыковский» после прекращения его функционирования

© 2019. Л. В. Кондакова^{1,2}, д. б. н., профессор,
 К. А. Безденежных¹, аспирант,
 Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., профессор,
¹Вятский государственный университет,
 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,
²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
 167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,
 e-mail: karina.bezdenezhnykh@mail.ru

Проведён анализ результатов мониторинговых исследований почвенной альгофлоры лесных и луговых экосистем в районе объекта «Марадыковский» за период до начала его деятельности и после прекращения функционирования. Видовое разнообразие альгофлоры лесных экосистем, отмеченное до начала деятельности объекта, составляло 71 вид, после прекращения его работы отмечено 60 видов. В луговых экосистемах соответственно выявлено 123 вида до начала функционирования объекта и 95 видов после. Численность микрофототрофов варьирует в лесных экосистемах от 59,3 до 280,5 тысяч клеток на 1 г воздушно-сухой почвы. По численности преобладают зелёные водоросли (от 41,3 до 263,3 тыс. кл./г почвы). На участках мониторинга луговых экосистем количественные показатели альгофлоры варьируют в пределах от 71,6 до 447,1 тыс. кл./г почвы с доминированием зелёных водорослей. Таксономическая структура альгофлоры представлена отделами Chlorophyta, Bacillariophyta, Ochrophyta. Cyanobacteria представлены в хвойных лесных экосистемах незначительным числом видов, в луговых экосистемах они составляют до 29% видового разнообразия. Отмечено некоторое уменьшение видового разнообразия альгофлоры жёлтозелёных водорослей и ЦБ за период деятельности объекта и намечившееся увеличение числа видов после прекращения его деятельности.

Ключевые слова: альгофлора, почвенные водоросли, цианобактерии, жизненные формы почвенных водорослей, численность клеток, биомониторинг.

Algological analysis of soil state in the vicinity of the plant “Maradykovskiy” after it finished functioning

© 2019. L. V. Kondakova^{1,2} ORCID: 0000-0002-2190-686X[?]
 K. A. Bezdenezhnykh¹ ORCID:000-0003-1030-3219[?]
 T. Ya. Ashikhmina^{1,2} ORCID: 0000-0003-4919-0047[?]
¹Vyatka State University,
 36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
²Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS,
 28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
 e-mail: karina.bezdenezhnykh@mail.ru

The article presents the analysis of monitoring research of soil algoflora of forest and meadow ecosystems in the vicinity of the plant “Maradykovskiy” for the period before the start of its operating and till after stopping its functioning. Specious diversity of forest phytocoenoses algoflora before the start of its functioning accounted for 71 species. After the plant stopped functioning there were found out just 60 species. In meadow phytocoenoses the number is 123 and 95 species accordingly. The number of microphototrophs varies in forest ecosystems from 59.3 to 280.5 thousand cells per 1 g of air-dry soil. Green algae prevail in number (41.3 to 263.3 thousand cells per 1 g of soil). At the monitoring sites of meadow phytocoenoses the index of algoflora varies from 71.6 to 447.1 thousand cells per 1 g, green algae prevailing. The structure of algoflora of the monitoring sites is presented by the soil algae groups Chlorophyta, Bacillariophyta, Ochrophyta, as for species diversity, green algae prevail. Cyanobacteria (CB) are represented in coniferous forest ecosystems by a small number of species, they are rare there, and in meadow ecosystems they account for 29% species. Specious diversity of yellow-green algae and CB also decreased during the period of the plant’s functioning, still it is likely to increase after the plant stopped functioning.

Keywords: algoflora, soil algae, cyanobacteria, soil algae life forms, number of cells, biomonitoring.

В настоящее время в шести регионах России, где хранилось и уничтожалось химическое оружие (ХО), проводятся плановые работы по ликвидации последствий деятельности. Создаются полигоны для хранения и захоронения накопленных отходов, выполняются работы по реабилитации территорий в промышленных зонах, где уничтожались запасы ХО. Каждый объект готовится к экологическому аудиту, по результатам которого должна быть сделана оценка пригодности использования данных территорий и промышленной инфраструктуры объектов в мирных целях. С первого дня реализации Федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» и в рамках реализации Федерального закона «Об уничтожении химического оружия» обращалось особое внимание обеспечению безопасности всех осуществляемых процессов на объекте. Были разработаны не только высокоэффективные отечественные технологии, которые позволили обеспечить безопасное уничтожение химических боеприпасов с соблюдением самых жёстких экологических стандартов и требований, но и создана уникальная комплексная система экологического контроля и мониторинга, включающая на системной основе производственный контроль, государственный экологический мониторинг и социально-гигиенический мониторинг [1]. Таким образом обеспечивался контроль за производственным процессом и экологический мониторинг состояния окружающей среды и здоровья населения.

Важными компонентами комплексного экологического мониторинга являлись природные объекты, проведение биомониторинговых исследований – биоиндикации и биотестирования. Основной задачей биомониторинга на территориях санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и зоны защитных мероприятий (ЗЗМ) объекта по хранению и уничтожению ХО являлась оценка состояния и выявление отклика, тенденций изменения биологического компонента окружающей среды на техногенное воздействие в ходе уничтожения ХО [2].

На объекте уничтожения ХО «Марадыковский» (Кировская область) к проведению экологического мониторинга окружающей природной среды были привлечены ведущие специалисты – экологи, учёные научной лаборатории биомониторинга ВятГУ [2]. Особое внимание уделялось биомониторингу природных сред и объектов, в особенности, почвы – основного накопителя загрязняющих веществ. Почва является средой обитания для многих организмов. Изменение состояния поч-

венной среды при техногенном воздействии неизбежно оказывает влияние на педобионтов.

В ходе биологического мониторинга почв в районе объекта по хранению и уничтожению химического оружия (ОХУХО) «Марадыковский» исследовались ферментативная активность почв [3, 4], комплексы микромицетов [5, 6] и актиномицетов [7, 8], проводились микологические исследования [4, 6]. Широко применялись альгологические методы оценки состояния почвенной среды [9–14], так как реакция почвенных водорослей сходна с реакцией высших растений, они быстро реагируют на почвенное загрязнение [15–17].

Было установлено, что в почвах в районе объекта «Марадыковский» в период его эксплуатации произошли перестройки в структуре актиномицетных комплексов, выявлено увеличение доли представителей рода *Streptomyces*, актиномицетные комплексы приобрели характерную для почв таёжной зоны структуру, что не отмечалось ранее при строительстве объекта [8]. Ферментативная активность почв сохраняла стабильное состояние [4]. Отмечено влияние техногенной нагрузки на альго-цианобактериальный комплекс почв, проявляющееся в трансформации водорослевых группировок, обеднении видового состава альгофлоры, снижении количественных показателей. Полученные данные по диагностике состояния почв и динамике её изменения особенно ценны на этапе вывода из эксплуатации объекта и проведении работ по реабилитации территории в районе эксплуатируемого 9 лет ОХУХО «Марадыковский».

Цель данной работы – провести сравнительную альгологическую оценку состояния почв в районе объекта «Марадыковский» после прекращения его функционирования для выявления отсроченного действия.

Объекты и методы

Для альгологических исследований использованы почвенные образцы, отобранные в 2015–2018 гг. на участках мониторинга луговых и лесных фитоценозов, расположенных на разном удалении от ОХУХО «Марадыковский». Отбор проб проводили в летне-осенний период с глубины 0–5 см, объёмом 125 см³. Средний образец составляли из 5 индивидуальных проб.

Видовой состав альгофлоры изучали постановкой чашечных культур со стёклами обрастания [18]. Количественные показатели альгофлоры определяли прямым микроскопированием

на мазках [19]. Жизненные формы (биоморфы) почвенных водорослей приведены по [18].

Результаты и обсуждение

Ранее в лесных экосистемах участков мониторинга в районе объекта «Марадыковский» был выявлен 71 вид водорослей и цианобактерий (ЦБ), в луговых экосистемах было отмечено 123 вида почвенных микрорототрофов [9, 10].

По результатам исследований, проведённых после прекращения функционирования объекта, в почвах лесных экосистем участков мониторинга выявлено 60 видов почвенных водорослей и ЦБ, в почвах луговых фитоценозов – 95 видов. Доля общих видов для лесных и луговых участков фитоценозов составляет 36%. Таксономический состав альгофлоры участков мониторинга до начала функционирования объекта и после его прекращения представлен в таблице 1.

В почвах лесных и луговых экосистем участков мониторинга до начала функционирования объекта отмечено более богатое видовое разнообразие. После прекращения функционирования объекта в данных экосистемах отмечено меньше видов ЦБ и жёлтозелёных водорослей, чувствительных к техногенной нагрузке. По видовому разнообразию преобладают водоросли из отдела Chlorophyta. Доминирующие виды микрорототрофов представлены в таблице 2.

Экологический анализ альгофлоры лесных экосистем представлен на рисунке 1.

Формула экобиоморф для сосновых фитоценозов – $C_{16}Ch_{14}X_{11}H_5B_4hydr_3P_2$, для еловых – $Ch_9X_7B_7C_5H_2P_2hydr_1$ (рис. 1).

Среди спектра жизненных форм преобладают толерантные к техногенной нагрузке виды С- и Ch-формы, теневыносливые виды Х-формы.

Экологический анализ альгофлоры луговых экосистем представлен на рисунке 2. Формула

Таблица 1 / Table 1

Таксономическая структура альгофлоры на участках мониторинга в районе объекта «Марадыковский» до и после прекращения его функционирования
Taxonomic structure of algoflora at the monitoring sites in the vicinity of the plant “Maradykovskiy” before and after the stop of its functioning

Группы микрорототрофов Microphototrophic groups	Фитоценоз / Phytocoenosis							
	лесные экосистемы forest ecosystems				луговые экосистемы meadow ecosystems			
	количество видов / number of species		процент % percentage %		количество видов / number of species		процент % percentage %	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2
Cyanobacteria	16	4	22,5	16,7	36	28	29,3	29,5
Chlorophyta	32	36	45,1	60,0	47	42	38,2	44,2
Ochrophyta	15	12	21,1	20,0	27	16	21,9	16,8
Bacillariophyta	8	8	11,3	13,3	12	9	9,8	9,5
Euglenophyta	–	–	–	–	1	–	0,8	–
Всего/ Total	71	60	100	100	123	95	100	100

Примечание: * данные 2004–2006 гг. [10], ** данные 2016–2017 гг. [12], «–» – вид не выявлен.
Note: * data for 2004–2006 [10], ** data for 2016–2017 [12], “–” – species not identified.

Таблица 2 / Table 2

Доминирующий комплекс микрорототрофов лесных и луговых фитоценозов объекта «Марадыковский» после прекращения его функционирования
Dominating complex of microphototrophs of forest and meadow coenoses of the plant “Maradykovskiy” after the stop of its functioning

Доминирующие виды / Dominating species	
В лесных фитоценозах In forest phytocoenoses	<i>Coccomyxa solorinae</i> , <i>Pseudococcomyxa simplex</i> , <i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i> , <i>Pleurochloris commutata</i> , <i>Vischeria helvetica</i>
В луговых фитоценозах In meadow phytocoenoses	<i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Phormidium jadinianum</i> , <i>Ph. formosum</i> , <i>Cylindrospermum michailovscoense</i> , <i>Nostoc linckia</i> , <i>Leptolyngbya angustissima</i> , <i>Characiopsis minima</i> , <i>Pleurochloris commutata</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Pinnularia borealis</i> , <i>Nitzschia palea</i> .

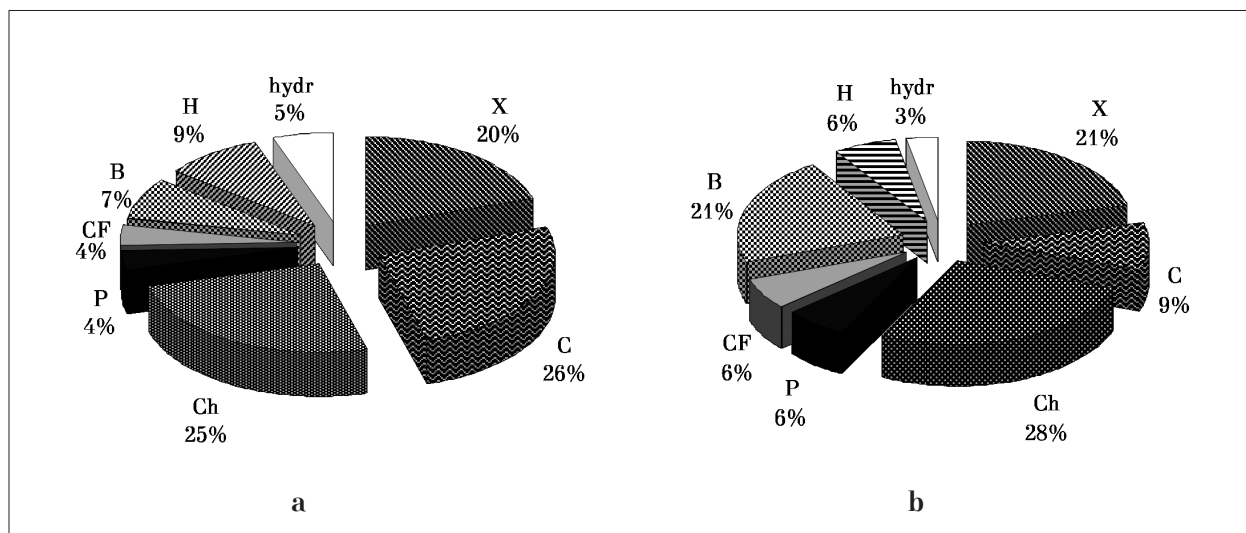


Рис. 1. Спектр жизненных форм почвенных водорослей лесных фитоценозов:
 а) сосновые леса; б) еловые леса
Fig. 1. The range of soil algae life forms in forest phytocoenoses:
 а) pine forests; б) spruce forests

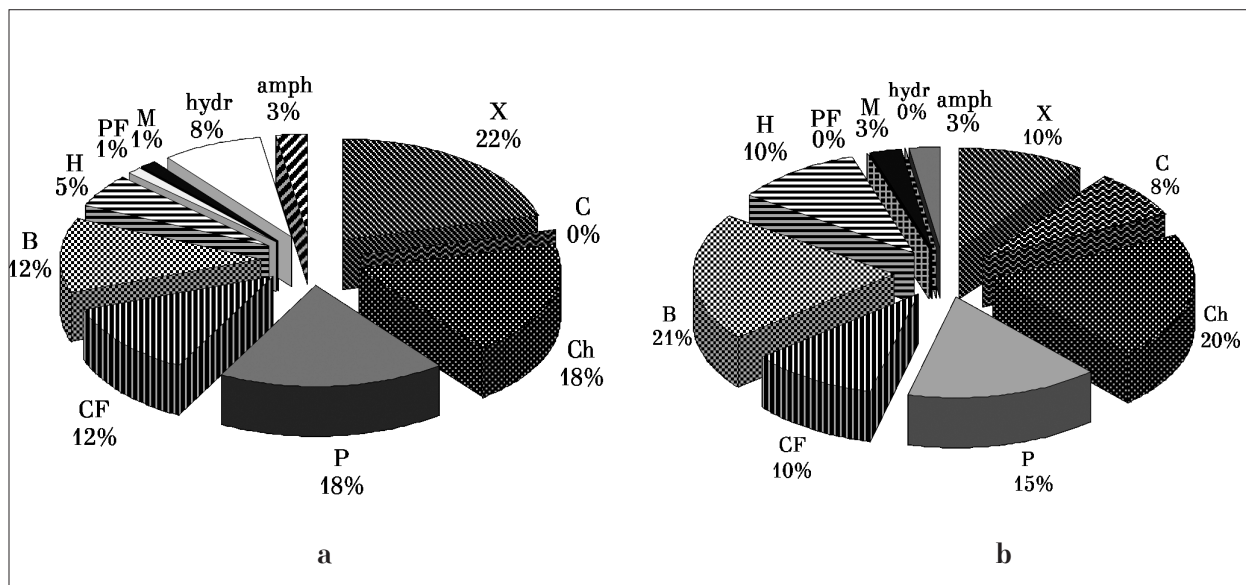


Рис. 2. Спектр жизненных форм почвенных водорослей луговых экосистем:
 а) суходольные луга; б) пойменные луга
Fig. 2. The range of soil algae life forms in meadow phytocoenoses:
 а) dry meadows; б) flood plain meadows

экобиоморф участков мониторинга суходольных лугов: $X_{16}C_{16}(CF_9)Ch_{14}P_{14}B_9hydr_6H_4amph_2PF_1M_1$, преобладают представители X-, C-, Ch-, P- форм (теневыносливые, устойчивые к высыханию, толерантные к нагрузке виды), пойменных лугов: $B_8Ch_8P_6H_4X_4C_3(CF_4)amph_1M_1$. В пойменных лугах доминируют представители B-, Ch- и P-форм (влаголюбивые, устойчивые к нагрузке, развивающиеся на поверхности почвы виды).

Количественные показатели почвенной альгофлоры лесных и луговых экосистем представлены на рисунках 3 и 4.

На участках мониторинга лесных фитоценозов (рис. 3) общая численность почвенных водорослей и ЦБ в 2016 г. варьировала от 59,3 до 243,1 тыс. кл./г почвы.

Наименьшая численность водорослей была отмечена на участке соснового леса № 18 – 59,3 тыс. кл./г почвы, который расположен в непосредственной близости от объекта, на расстоянии 1,5 км. Более высокая численность водорослей отмечена на контрольных участках (№ 112 и № 157): 224,2–243,1 тыс. кл./г почвы соответственно.

В 2017–2018 гг. наибольшая численность водорослей также была отмечена на участке № 112: 280,5–296,0 тыс. кл./г почвы. В лесных фитоценозах по численности клеток преобладали зелёные водоросли. В еловых лесах, по сравнению с сосновыми, численность диатомовых водорослей была выше (14,5–67,2 тыс. кл./г почвы против 7,7–26,5 тыс. кл./г почвы в 2017 и 25,0–31,5 тыс. кл. и 9,5–22,1 тыс. кл. в 2018 г.). Численность ЦБ в почвах сосновых фитоценозов составляла до 24,3 тыс. кл./г, в еловых – до

8,8 тыс. кл./г. В целом, на половине участков мониторинга лесных фитоценозов численность почвенных водорослей в 2017–2018 гг. возросла в сравнении с 2016 г. При этом на ряде участков, с активным развитием травостоя, отмечено снижение общей численности водорослей и ЦБ, что, возможно, связано с изменениями светового и водного режима.

В почвах луговых участков мониторинга в районе объекта «Марадыковский» общая численность почвенных водорослей и ЦБ

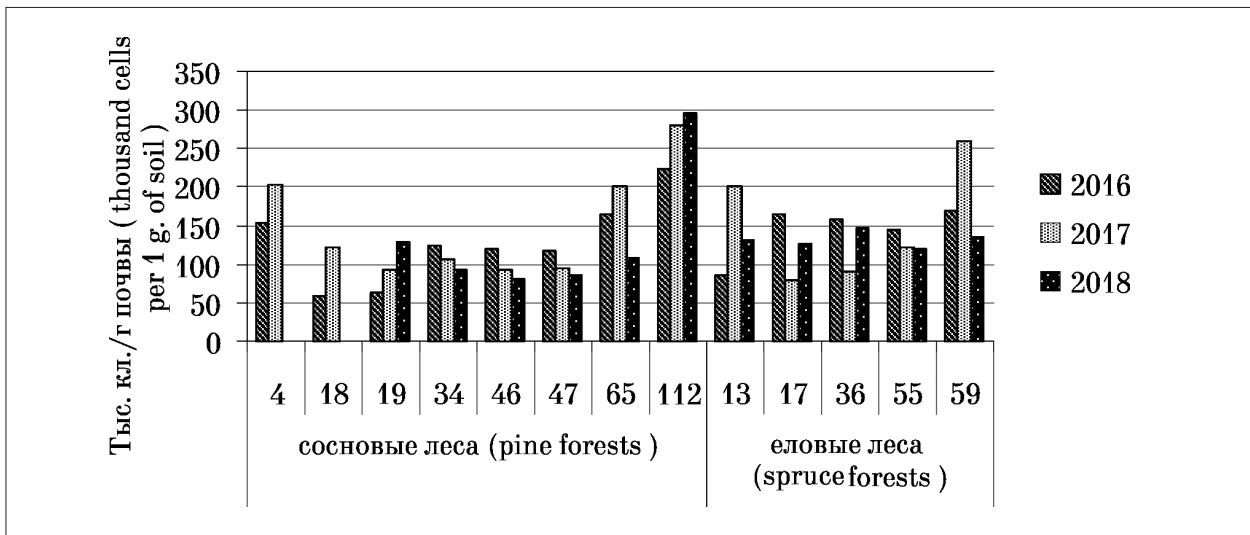


Рис. 3. Численность водорослей и цианобактерий лесных фитоценозов в районе объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский», тыс. кл./г почвы

Fig. 3. The number of algae and cyanobacteria of forest phytocenoses in the vicinity of chemical weapons storage and decommission plant “Maradykovskiy”, thousand cells per 1 g of soil

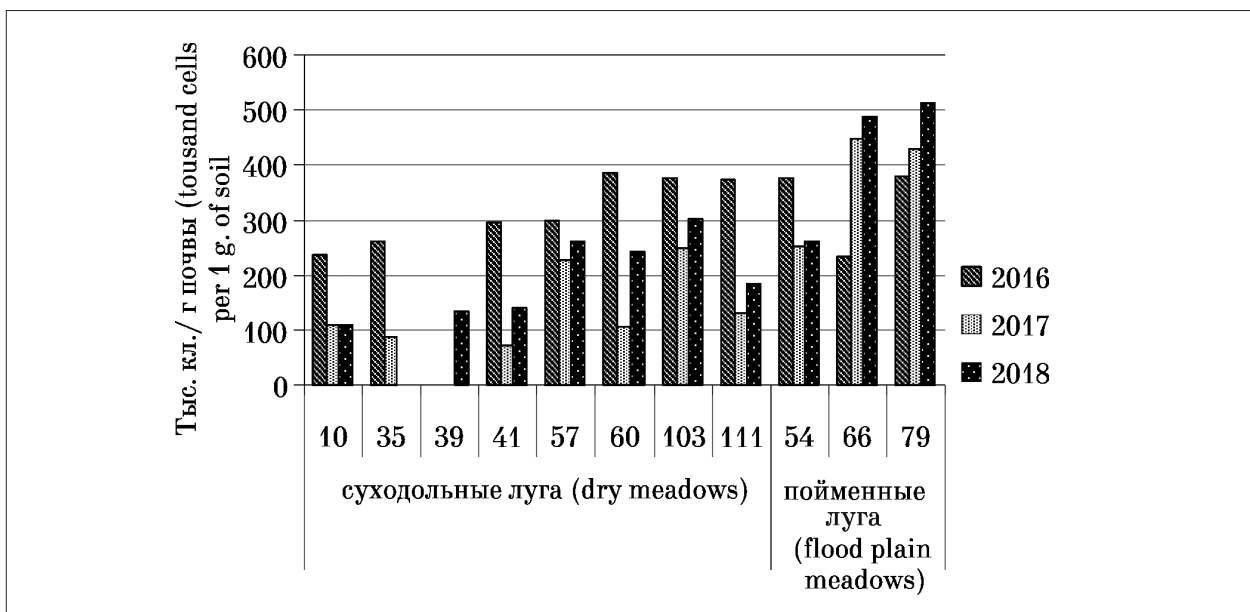


Рис. 4. Численность водорослей и цианобактерий луговых фитоценозов в районе объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский», тыс. кл./г почвы

Fig. 4. The number of algae and cyanobacteria of meadow phytocenoses in the vicinity of chemical weapons storage and destruction plant “Maradykovskiy”, thousand cells per 1 g of soil

в 2016 г. варьировала в пределах от 233,4 до 385,0 тыс. клеток/г почвы (рис. 4).

Наименьшее число клеток водорослей отмечено на участке пойменного луга № 66; наибольшим количественным показателем характеризовался участок пойменного луга № 79. Как в суходольных, так и в пойменных лугах преобладали зелёные водоросли (от 133,3 до 210,9 тыс. кл./г почвы). Численность диатомовых водорослей составляла 47,8–156,8 тыс. кл./г почвы; ЦБ – 1,9–56,4 тыс. кл./г почвы. В 2017 г. общая численность клеток микрофототрофов колебалась в широких пределах: от 71,6 до 447,1 тыс. кл./г почвы. Наибольшая численность отмечена для участков пойменных лугов (№№ 66 и 79) – 447,1 и 427,6 тыс. кл./г почвы соответственно. В 2017 г. численность водорослей и ЦБ в большинстве луговых участков снизилась. Это, возможно, связано с более мощным развитием травостоя на лугах в летний период более влажного 2017 г., что оказало влияние на развитие микрофототрофов. В 2018 г. показатели численности водорослей и ЦБ возросли по сравнению с предыдущими годами.

Выводы

В альгофлоре изученных фитоценозов выявлено 119 микрофототрофов, в том числе: в сосновых лесах 55 видов, в еловых – 33 вида, в суходольных лугах – 92, в пойменных – 39 видов. По видовому составу и численности во всех фитоценозах доминируют зелёные водоросли.

Общая численность водорослей и цианобактерий за изученный период в лесных фитоценозах колебалась от 59,3 до 296,0 тыс. кл./г почвы, в луговых количественные показатели варьировали от 71,6 до 513,6 тыс. кл./г почвы.

Выраженного негативного влияния от функционирования ОХУХО «Марадыковский» на почвенную альгофлору лесных и луговых фитоценозов не выявлено. Однако следует отметить некоторое уменьшение видового разнообразия альгофлоры – жёлтозелёных водорослей и ЦБ в период деятельности объекта в сравнении с фоновыми показателями и намечавшееся увеличение числа видов микрофототрофов после прекращения его деятельности.

Работа выполнена в рамках государственного задания Вятского государственного университета по теме «Механизмы адаптации и устойчивости почвенной микробиоты к техногенному загрязнению» № 5.4962.2017/БЧ.

Литература

1. Федеральный закон от 2 мая 1997 г. № 76-ФЗ «Об уничтожении химического оружия» (с изменениями и дополнениями от 14 октября 2014 г. № 307-ФЗ) [Электронный ресурс] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_14292/ (Дата обращения: 21.07.2018).
2. Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. Киров: Вятка, 2002. 544 с.
3. Огородникова С.Ю., Скугорева С.Г., Олькова А.С. Оценка биологической активности почвы в зоне объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» // Вестник Института биологии Коми НЦ УРО РАН. 2008. № 6. С. 23–26.
4. Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В., Огородникова С.Ю., Домрачева Л.И., Коновалов А.Л., Безденежных К.А. Физиолого-микробиологический статус почв после прекращения работы объекта по хранению и уничтожению химического оружия «Марадыковский» // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 4. С. 63–73.
5. Ашихмина Т.Я., Домрачева Л.И., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Кантор Г.Я., Кондакова Л.В. Изучение воздействия фосфорсодержащих поллютантов на почвенные микроорганизмы // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. № 4. С. 183–186.
6. Домрачева Л.И., Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В., Дабах Е.В., Елькина Т.С. Сравнительный анализ специфики почвенных альго-микологических комплексов в зоне действия объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский» // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 4. С. 73–78.
7. Ашихмина Т.Я., Товстик Е.В., Огородникова С.Ю., Домнина Е.А., Широких И.Г. Численность и разнообразие почвенных актиномицетов вблизи объекта по уничтожению химического оружия «Марадыковский» // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 4. С. 67–72.
8. Товстик Е.В. Комплексы почвенных актиномицетов в зоне действия объекта по уничтожению химического оружия «Марадыковский»: Автореф. дисс... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2015. 20 с.
9. 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.
10. Кондакова Л.В. Альго-цианобактериальная флора и особенности ее развития в антропогенно нарушенных почвах (на примере почв южной тайги Европейской части России): Автореф. дисс... д-ра биол. наук. Сыктывкар, 2012. 34 с.
11. Новаковская И.В., Патова Е.Н. Почвенные водоросли еловых лесов и изменения в условиях аэротехногенного загрязнения. Сыктывкар, 2012. 128 с.
12. Кондакова Л.В., Безденежных К.А. Исследование альгофлоры хвойных фитоценозов в районе объекта «Марадыковский» // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 2. Киров, 2017. С. 16–21.

13. Безденежных К.А., Кондакова Л.В. Мониторинг альгофлоры в районе объекта «Марадьковский» после прекращения его функционирования // Общество. Наука. Инновации (НПК-2018): Сб. ст.: XVIII Всерос. науч.-практ. конф. Т. 1. Биологические и химические науки. Киров, 2018. С. 6–13.

14. Безденежных К.А., Кондакова Л.В. Количественные показатели альгофлоры луговых и лесных фитоценозов в районе объекта «Марадьковский» // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 2. Киров, 2018. С. 37–40.

15. Metting B. The systematics and ecology of soil algae // Bot. Rev. 1981. No. 47. P. 195–312.

16. Hongmei J., Aitchison J.C., Lacap D.C., Peerapornpisal Y., Sompong U., Pointing S.B. Community phylogenetic analysis of moderately thermophilic cyanobacterial mats from China, the Philippines and Thailand // Extremophiles. 2005. V. 9. P. 325–332.

17. Pipe A.E., Shubert L.E. The use of algae as indicators of soil fertility // Algae as ecological indicators / Ed. L.E. Shubert. London: Acad. Press, 1984. P. 213–233.

18. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 144 с.

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

References

1. Federal law on the on the destruction of chemical weapons of May 2, 1997, No. 76-FZ [Internet resource] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_14292/ (Accessed: 21.07.2018) (in Russian).

2. Ashikhmina T.Y. Complex ecological monitoring of the chemical weapons storage and destruction facilities. Kirov: Vyatka, 2002. 544 p. (in Russian).

3. Ogorodnikova S.Yu., Skugoreva S.G., Olkova A.S. Evaluation of the biological activity of the soil in the area of the chemical weapons storage and destruction facility “Maradykovsky” // Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN. 2008. No. 8. P. 23–26 (in Russian).

4. Ashikhmina T.Ya., Kondakova L.V., Ogorodnikova S.Yu., Domracheva L.I., Konovalov A.L., Bezdenezhnykh K.A. Physiological and microbiological status of soil after termination of the chemical weapons storage and destruction facility “Maradykovsky” // Theoretical and Applied Ecology. 2016. No. 4. P. 63–73 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2016-4-063-073.

5. Ashikhmina T.Ya., Domracheva L.I., Ogorodnikova S.Yu., Olkova A.S., Kantor G.Ya., Kondakova L.V. Study of the influence of phosphorus-containing pollutants on soil microorganisms // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. 2010. T. LIV. No. 4. P. 183–186 (in Russian).

6. Domracheva L.I., Ashikhmina T.Ya., Kondakova L.V., Dabakh E.V., Elkina T.S. Comparative analysis of specific soil algo-mycological complexes in the area of the chemical weapons storage and destruction facility “Maradykovsky” // Theoretical

and Applied Ecology. 2012. No. 4. P. 73–78 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2012-4-086-091.

7. Ashikhmina T.Ya., Tovstik E.V., Ogorodnikova S.Yu., Domnina E.A., Shirokikh I.G. The number and diversity of soil actinomycetes in the area of the chemical weapons storage and destruction facility “Maradykovsky” // Theoretical and Applied Ecology. 2012. No. 4. P. 67–72 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2012-4-080-085.

8. Tovstik E.V. Complexes of soil actinomycetes in the area of the chemical weapons storage and destruction facility “Maradykovsky”: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Syktyvkar, 2015. 20 p. (in Russian).

9. Kondakova L.V., Domracheva L.I. Flora of Vyatka region. Part 2. Algae (Species composition, specificity of water and soil biocenoses). Kirov: Kirovskaya oblastnaya tipografiya, 2007. 192 p. (in Russian).

10. Kondakova L.V. Algo-cyanobacterial flora and special ways of its development in anthropogenically disturbed soils (by the example of soils of the southern taiga subzone): Avtoref. dis. ... d-ra. biol. nauk. Syktyvkar, 2012. 34 p. (in Russian).

11. Novakovskaya I.V., Patova E.N. Soil algae spruce forests and its change in conditions of environmental contamination. Syktyvkar, 2012. 128 p. (in Russian).

12. Kondakova L.V., Bezdenezhnykh K.A. Study of algal flora of coniferous phytocenoses in the area of the facility “Maradykovsky” // Biodiagnostika sostoyaniya prirodnikh i prirodno-tekhnogennykh sistem: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Kniga 2. Kirov: VyatGU. 2017. P. 16–21 (in Russian).

13. Bezdenezhnykh K.A., Kondakova L.V. Monitoring of algal flora in the area of the facility “Maradykovsky” after the cessation of its functioning. // Obshchestvo. Nauka. Innovatsii (NPK–2018): sbornik statey XVIII Vseros. nauch.-prakt. konf. V. 1. Biologicheskkiye i khimicheskkiye nauki. Kirov: VyatGU, 2018. P. 6–13 (in Russian).

14. Bezdenezhnykh K.A., Kondakova L.V. Qualitative indicators of algal flora of meadow and forest phytocenoses in the area of the facility “Maradykovsky” // Ekologiya rodno go kraja: problemy i puti ikh resheniya: Materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Kniga 2. Kirov: VyatGU, 2018. P. 37–40 (in Russian).

15. Metting B. The systematics and ecology of soil algae // Bot. Rev. 1981. No. 47. P. 195–312.

16. Hongmei J., Aitchison J.C., Lacap D.C., Peerapornpisal Y., Sompong U., Pointing S.B. Community phylogenetic analysis of moderately thermophilic cyanobacterial mats from China, the Philippines and Thailand // Extremophiles. 2005. V. 9. P. 325–332. doi: 10.1007/s00792-005-0456-1.

17. Pipe A.E., Shubert L.E. The use of algae as indicators of soil fertility // Algae as ecological indicators / Ed. L.E. Shubert. London: Acad. Press. 1984. P. 213–233.

18. Shtina E.A., Gollerbach M.M. Ecology of soil algae. Moskva: Nauka, 1976. 144 p. (in Russian).

19. Domracheva L.I. Soil “flowering” and the laws of its development. Syktyvkar: Komi nauchnyy tsentr UrO RAN, 2005. 336 p. (in Russian).