

**Альгологический мониторинг почв  
в районе объекта «Марадыковский»**

© 2021. К. А. Безденежных<sup>1</sup>, аспирант,  
Л. В. Кондакова<sup>1,2</sup>, д. б. н., профессор, с. н. с.,  
Е. В. Дабах<sup>2</sup>, к. б. н., с. н. с.,  
Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, д. т. н., профессор, г. н. с., зав. лабораторией,  
<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,  
e-mail: ecolab2@gmail.com

Проведён альгологический мониторинг почв в районе объекта «Марадыковский», на котором с 2006 по 2015 годы осуществлялся процесс уничтожения химического оружия (ХО). Изучалась альгофлора почв лесных и луговых фитоценозов до начала функционирования объекта по уничтожению ХО, в период его деятельности и после завершения работы. Установлено, что таксономический состав альгофлоры лесных и луговых фитоценозов в районе объекта «Марадыковский» после завершения его функционирования сохраняет зональный тип. В лесных экосистемах доминантами сообществ являются зелёные и жёлтозелёные водоросли (представителей родов *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Coccomyxa*, *Stichococcus*, *Klebsormidium*, *Botrydiopsis*, *Eustigmatos*), в луговых – зелёные водоросли и цианобактерии (ЦБ) (*Chlamydomonas gloeogama*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorococcum infusionum*, *Cylindrospermum muscicola*, *C. licheniforme*, *Nostoc punctiforme*, *Phormidium autumnale*, *P. formosum*, *Leptolyngbya foveolarum*). На участках в районе объекта отмечено незначительное снижение видового разнообразия альгофлоры по сравнению с условно контрольными участками, удалёнными от объекта на 10 км. Наибольшая численность клеток водорослей и ЦБ характерна для участков пойменных лугов (450–500 тыс. кл./г почвы), наименьшая – для участков суходольных лугов, испытывающих антропогенную нагрузку, – 70 тыс. кл./г почвы. Колебания численности водорослей и ЦБ обусловлены природными факторами и уровнем антропогенной и техногенной нагрузки на экосистемы.

**Ключевые слова:** водоросли, цианобактерии, почва, фитоценоз, видовое разнообразие, численность клеток.

**Algological monitoring of soils in the vicinity  
of the plant “Maradykovskiy”**

© 2021. К. А. Bezdenzhnykh<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-1030-3219<sup>?</sup>  
Л. В. Kondakova<sup>1,2</sup> ORCID: 0000-0002-2190-686X<sup>?</sup>  
Е. В. Dabakh<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-6088-4819<sup>?</sup>  
Т. Я. Ashikhmina<sup>1,2</sup> ORCID: 0000-0003-4919-0047<sup>?</sup>  
<sup>1</sup>Vyatka State University,  
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,  
<sup>2</sup>Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS,  
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,  
e-mail: ecolab2@gmail.com

Algological soil monitoring was carried out in the vicinity of the plant “Maradykovskiy” where from 2006 to 2015 chemical weapons (CW) decommission had taken place. Soil algal flora of forest and meadow phytocoenoses was researched before bringing the plant of CW decommission into operation, during its work, and after its work completion. Taxonomic composition of algal flora of forest and meadow phytocoenoses the vicinity of the plant “Maradykovskiy” after its work completion is still one of zonal type. In forest ecosystems communities dominants are green and green-yellow algae (representatives of the genera *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Coccomyxa*, *Stichococcus*, *Klebsormidium*, *Botrydiopsis*, *Eustigmatos*), in meadow ecosystems communities dominants are green algae and cyanobacteria (CB) (*Chlamydomonas gloeogama*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorococcum infusionum*, *Cylindrospermum muscicola*, *C. licheniforme*, *Nostoc puncti-*

*forme, Phormidium autumnale, P. formosum, Leptolyngbya foveolarum*). On the sites in the vicinity of the plant species diversity of algal flora is slightly lowered, as compared with the control sites situated at 10 km distance from the plant. It was also stated that the quantity of algal flora is higher at distant sites. The highest number of algae and CB cells is characteristic of the sites on floodplain meadows (450–500 thousand cells per 1 g of soil), the lowest number – on the sites of dry meadows which suffer from anthropogenic load – from 70 to 300 thousand cells per 1 g of soil. Fluctuation of algae number are dependable on natural factors and the degree of anthropogenic and technogenic load on the ecosystems.

**Keywords:** algae, cyanobacteria, soil, phytocoenosis, species diversity, cells number.

Экологическая оценка состояния природной среды в районах расположения особо опасных предприятий является актуальной проблемой. Экологический мониторинг, составной частью которого является биомониторинг, представляет собой научно-обоснованную систему наблюдений, позволяющую с высокой достоверностью оценивать уровни загрязнения объектов окружающей среды [1]. Почвенные водоросли и ЦБ являются общепризнанными биоиндикаторами в оценке экологического состояния почв [2–6]. Многолетний альгологический мониторинг почв (2004–2019 гг.) проводился в районе расположения объекта хранения и уничтожения химического оружия (ОХУХО) «Марадыковский», на котором с 2006 по 2015 годы осуществлялся процесс уничтожения химического оружия (ХО).

Альгофлора почв лесных и луговых фитоценозов изучалась в периоды до начала функционирования объекта по уничтожению ХО, во время и после завершения его работы.

Целью исследования являлась сравнительная оценка реакции альгоцианофлоры почв лесных и луговых фитоценозов на техногенное и антропогенное воздействие в районе объекта «Марадыковский».

### Объекты и методы исследования

Объект «Марадыковский» расположен в 3,2 км северо-восточнее посёлка Мирный Оричевского района Кировской области, в 2,6 км южнее реки Вятки. Обследуемая территория представляет собой склон водораздела, террасы и высокую пойму р. Вятки, находится в условиях континентального умеренного климата, входит в состав подзоны южной тайги [7]. Зональные почвы представлены подзолистыми и дерново-подзолистыми типами, в районе объекта встречаются также аллювиальные, болотные и дерновые почвы. На участках мониторинга отбирали смешанные почвенные образцы, в которых определяли элементный состав методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (PQ-2, El-

emental, Англия) и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICAP-61, Thermo Jarrell Ash, США), а также подвижные формы тяжёлых металлов (ТМ) и фтора. Все химические анализы выполняли по аттестованным методикам в аккредитованных лабораториях. Состояние почв оценивали по химическим и санитарно-гигиеническим показателям в соответствии с СанПиН 2.1.7.1287-03.

Отбор почвенных проб проводили общепринятыми в почвенно-альгологических исследованиях методами, видовой состав альгофлоры определяли методом постановки чашечных культур со стеклами обрастания [2, 8]. Анализировали свежесобранные почвенные образцы. Для уточнения видового состава микрофототрофов проводили повторную постановку чашечных культур.

В период функционирования объекта почвенные образцы для анализа альгофлоры отбирали со всех участков комплексного экологического мониторинга, после прекращения его работы было отобрано 72 почвенных образца на 29 площадках мониторинга, из которых 13 площадок покрыто сосновыми лесами, 5 – ельниками, на 8 площадках распространены суходольные луга, на 3 – пойменные луга. В качестве контрольных были выбраны: участок соснового леса со слабоподзолистой песчаной почвой (№ 112), находящийся в удалении от объекта на расстоянии около 10 км, и луговой участок с дерново-подзолистой почвой (№ 114).

Количественный учёт водорослей и ЦБ проводили методом прямого микроскопирования на мазках [4]. Жизненные формы (биоморфы) почвенных водорослей приведены по [2, 10].

Математическую обработку данных проводили при помощи компьютерной программы Past3.20 по [11, 12].

### Результаты и обсуждение

По результатам химического анализа почв, выполненного в 2019 г., было показано, что за пределами промзоны проявляется загрязнение подвижными соединениями

фтора к северо-востоку и востоку от объекта, свинцом – у автодорог, умеренное загрязнение ТМ 1–3 класса опасности (по  $Z_c$ , согласно Сан-ПиН 2.1.4.1287-03) – на перерытых землях у северо-восточной части периметра ОХУХО. Высокие концентрации ТМ и мышьяка, отмеченные в почвах, сформировавшихся на пермских глинах к востоку и юго-востоку от объекта, и обязывающие по значению  $Z_c$  отнести почвы к умеренно загрязненным, связаны, вероятно, с природной аномалией. Ореолы повышенных концентраций, существовавшие в санитарно-защитной зоне объекта до начала уничтожения ХО, сохранились, но не расширились. По санитарно-гигиеническим показателям почвы чистые.

Влияние выбросов от объекта на биоту проявлялось слабо и диагностировалось по содержанию фосфора в лишайниках (на ОХУХО уничтожались фосфорорганические ОБ), закономерно снижающемуся по мере удаления от источника [12].

В лесных и луговых экосистемах в районе объекта «Марадыковский» до начала его функционирования была проведена рекогносцировочная оценка видového разнообразия альгоцианофлоры, отмечены представители ЦБ и водорослей, выявлены участки с локальным негативным воздействием [13]. В период функционирования объекта исследование альгофлоры проводилось ежегодно по программе комплексного экологического мониторинга (2006–2015 гг.). В результате исследований, проведенных до начала и в период уничтожения ХО в 2004–2015 гг. [13], на участках лесных экосистем было отмечено преобладание зеленых водорослей (представителей родов *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Coccomyxa*, *Stichococcus*, *Klebsormidium*) и желтозеленых (*Botrydiopsis*, *Eustigmatos*). По сравнению с контрольными участками отмечено незначительное снижение видového разнообразия альгофлоры, что согласуется с данными других исследователей [14].

В луговых экосистемах было отмечено 123 вида, в том числе: Cyanobacteria – 36 (29,3%), Chlorophyta – 47 (38,2%), Xanthophyta – 24 (19,5%), Eustigmatophyta – 3 (2,4%), Bacillariophyta – 12 (9,8%), Euglenophyta – 1 (0,8%). По сводным данным [3] в луговых экосистемах ЦБ составляют 33% видového разнообразия, зеленые водоросли – 37%, желтозеленые и эустигматофитовые – 21%, диатомовые – 8%, другие отделы – 1%. Сравнение альгофлоры почв в районе объекта «Марадыковский» с альгофлорой заповедника

«Нургуш» показало, что в окрестностях ОХУХО выше процентное содержание ЦБ (32% относительно 27,3%) и ниже – желтозеленых водорослей (17,6 и 24,2% соответственно). Подобная перестройка состава альгоциано-флоры в сторону увеличения разнообразия ЦБ и уменьшения разнообразия желтозеленых водорослей, согласно нашим наблюдениям и литературным данным, характерна для почв, испытывающих техногенную нагрузку [6].

По разнообразию видов в луговых почвах преобладают зеленые и желтозеленые водоросли. Наибольшее видовое разнообразие ЦБ встречено в аллювиальной дерновой почве.

Количественные показатели развития альгофлоры различаются в зависимости от типа почвы [13]. В дерново-подзолистых почвах суходольного луга минимальные показатели численности клеток составляли 66 тыс. кл./г, максимальные – 500–800 тыс. кл./г. В почвах пойменных лугов эти показатели были значительно выше – 400–466 тыс. кл./г и 2000–3000 тыс. кл./г соответственно.

После прекращения функционирования объекта (2016–2019 гг.), в альгофлоре изученных фитоценозов было выявлено 106 видов микрофототрофов, в том числе, в почвах хвойных лесных экосистем – 60 видов, в почвах луговых экосистем – 95 видов.

Сравнение таксономической структуры альгофлоры в период функционирования объекта и после завершения его работы представлено в таблице 1.

Из анализа таксономической структуры альгофлоры экосистем в районе объекта «Марадыковский» после завершения его функционирования следует, что зональный тип альгофлоры не нарушен. По видовому разнообразию преобладали зеленые водоросли и ЦБ, что характерно для почв лесной зоны [3]. Следует отметить некоторое уменьшение видového разнообразия желтозеленых и эустигматофитовых водорослей, чувствительных к техногенной нагрузке.

Важным показателем систематического разнообразия являются «пропорции» флоры: среднее число видов в порядке (в/п), среднее число видов в семействе (в/с), среднее число родов в семействе (р/с) и среднее число видов в роде (в/р) (табл. 1). По данным [10] для альгофлоры почв лесных биоценозов значения показателей пропорции флоры: в/р – 3,5, в/с – 8,8, р/с – 2,5, по нашим данным пропорции флоры ниже. Список доминирующих видов альгофлоры представлен в таблице 2.

Таблица 1 / Table 1

Систематический спектр почвенных водорослей в районе ОХУХО «Марадыковский»  
Systematic range of soil algae in the vicinity of the plant of CW decommission “Maradykovskiy”

Отдел / Group	Число таксонов Number of taxa								Количество общих видов Number of common species	
	порядков orders		семейств families		родов genera		видов species		число number	%
	*	**	1	2	1	2	1	2		
Суанобактерия	3	3	7	7	12	9	41	28	24	54,5
Chlorophyta	13	13	22	22	28	26	52	51	36	53,7
Xanthophyta	3	3	7	6	11	7	18	17	14	70,0
Eustigmatophyta	1	1	1	1	2	1	4	1	1	25,0
Bacillariophyta	3	2	6	5	7	6	11	9	8	66,7
Euglenophyta	1	0	1	0	1	0	1	0	–	–
Всего	24	22	44	41	61	50	127	106	83	55,3
Пропорции флоры / Flora proportions	в/п s/o		в/с s/f		р/с g/f		в/р s/g		–	–
	6,0	4,8	3,1	2,6	1,5	1,2	2,1	2,1	–	–

Примечание: \* – 2004–2015 гг.; \*\* – 2016–2018 гг.; в/п – среднее число видов в порядке, в/с – среднее число видов в семействе, р/с – среднее число родов в семействе, в/р – среднее число видов в роде.

Note: \* – 2004–2015 years; \*\* – 2016–2018 years; s/o – the average number of species in an order; s/f – the average number of species in a family; g/f – the average number of genera in a family; s/g – the average number of species in a genus.

Таблица 2 / Table 2

Состав доминирующего комплекса микрофототрофов в различных фитоценозах  
в районе объекта «Марадыковский» / Composition of the dominating complex  
of microphototrophs in different phytocoenoses near the plant “Maradykovskiy”

Фитоценоз Phytocoenosis	Доминирующие виды / Dominating species	
	2004–2015 гг. / 2004–2015 years	2016–2018 гг. / 2016–2018 years
Сосновые леса Pine forests	<i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Pseudococcomyxa simplex</i> , <i>Stichococcus minor</i> , <i>Klebsormidium flaccidum</i> , <i>Eustigmatos magnus</i> , <i>Botrydiopsis eriensis</i> , <i>Pleurochloris commutata</i>	<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>
Еловые леса Spruce forests	<i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Pseudococcomyxa simplex</i> , <i>Stichococcus minor</i>	<i>Coccomyxa solorinae</i> , <i>Pseudococcomyxa simplex</i> , <i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Vischeria helvetica</i>
Водораздельные луга Watershed meadows	<i>Cylindrospermum licheniforme</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> , <i>Phormidium autumnale</i> , <i>P. formosum</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i> , <i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Pleurochloris commutata</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Luticola mutica</i>	<i>Cylindrospermum michailovscoense</i> , <i>Nostoc linckia</i> , <i>Leptolyngbya angustissima</i> , <i>Phormidium jadinianum</i> , <i>P. formosum</i> , <i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Characiopsis minima</i> , <i>Pleurochloris commutata</i>
Пойменные луга Floodplain meadows	<i>Cylindrospermum licheniforme</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> , <i>Phormidium formosum</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i> , <i>Chlamydomonas gloeogama</i> , <i>Chlorococcum infusionum</i> , <i>Botrydiopsis eriensis</i> , <i>Xanthonema exile</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Luticola mutica</i> , <i>Nitzschia palea</i>	<i>Pinnularia borealis</i> , <i>Nitzschia palea</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Navicula pelliculosa</i> , <i>Leptolyngbya angustissima</i>

Примечание: жирным шрифтом отмечены общие виды.

Note: common species are given in bold type.

Как в период функционирования объекта, так и после завершения его работы в лесных фитоценозах в состав доминирующего комплекса входили ЦБ и представители из отделов зелёных и жёлтозелёных водорослей. Видовой состав доминирующих видов в лесных фитоценозах за период функционирования объекта и после почти не изменился. В луговых экосистемах пойменных лугов состав доминирующих видов имел меньшее сходство и был представлен ЦБ, зелёными и диатомовыми водорослями.

Анализ экологической структуры альгофлоры показал, что на этапе функционирования объекта «Марадыковский» и после его завершения в спектрах жизненных форм водорослей и ЦБ преобладали виды-пациенты С-, Х-, Р-, Сh-форм [15]. Для альгосинузий экосистем лесной зоны индексы жизненных форм в порядке убывания располагаются в последовательности: СХРНСh [10].

После прекращения функционирования объекта «Марадыковский» на участках

мониторинга суходольных лугов выявлено 89 видов микрорототрофов: Cyanobacteria – 24 вида (27,0%), Chlorophyta – 41 видов (46,0%), Ochrophyta – 15 (16,9%) и Bacillariophyta – 9 (10,1%), в почвах пойменных лугов 52 вида: Cyanobacteria – 17 видов (32,7%), Chlorophyta – 17 видов (32,7%), Ochrophyta – 10 (19,2%) и Bacillariophyta – 8 (15,4%) (рис. 1).

Наибольшее количество видов выявлено на участках разнотравно-злакового суходольного луга (37 видов), находящегося в северо-восточном направлении от объекта на расстоянии 4 км (№ 57), и разнотравного луга, находящегося от объекта на расстоянии 10 км в юго-восточном направлении (№ 111). На данном участке отмечено наибольшее число видов ЦБ, в 2–3 раза выше, чем на других участках.

Сравнение видового разнообразия альгофлоры участков суходольных и пойменных лугов с помощью бинарного индекса Сьеренсена-Чекановского показало варьирование показателя сходства от 18,9 до 55,2%.

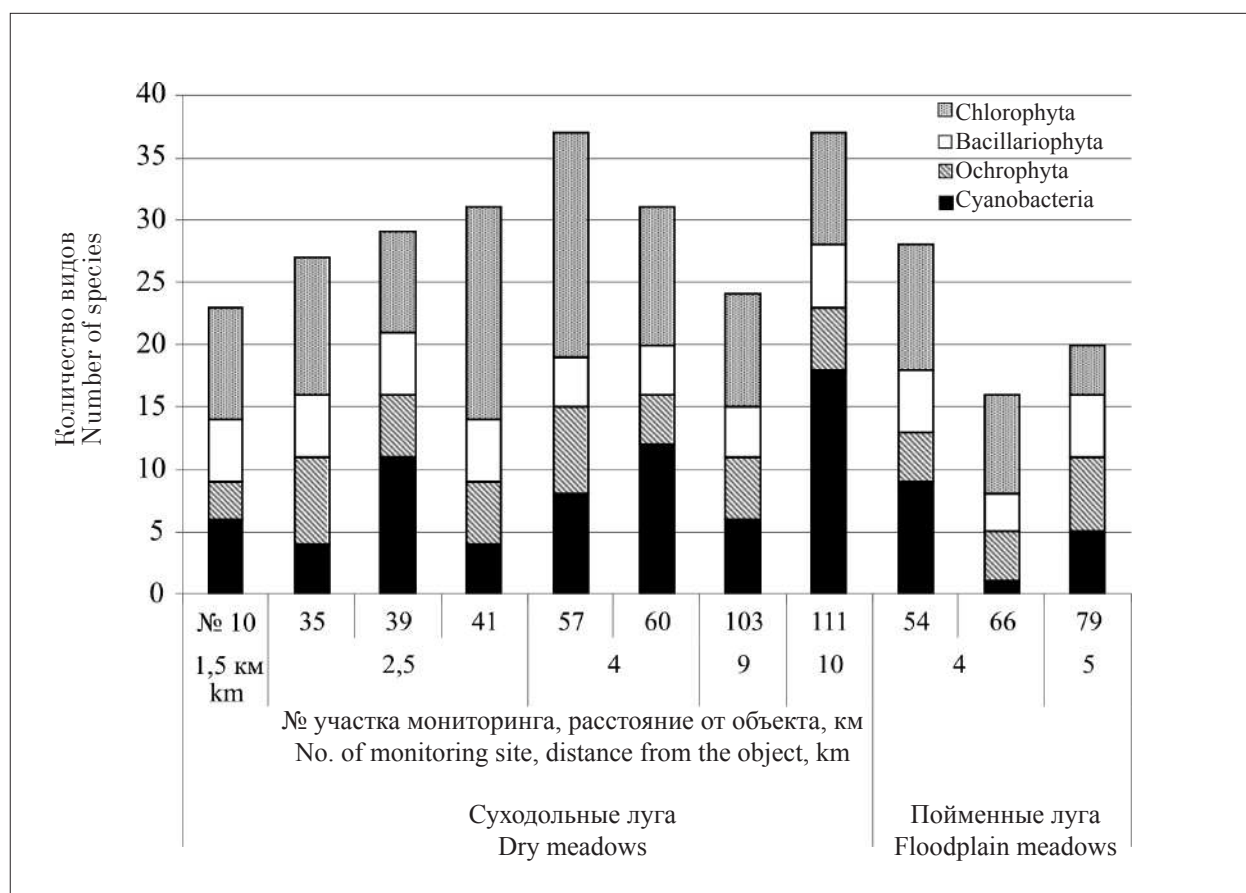
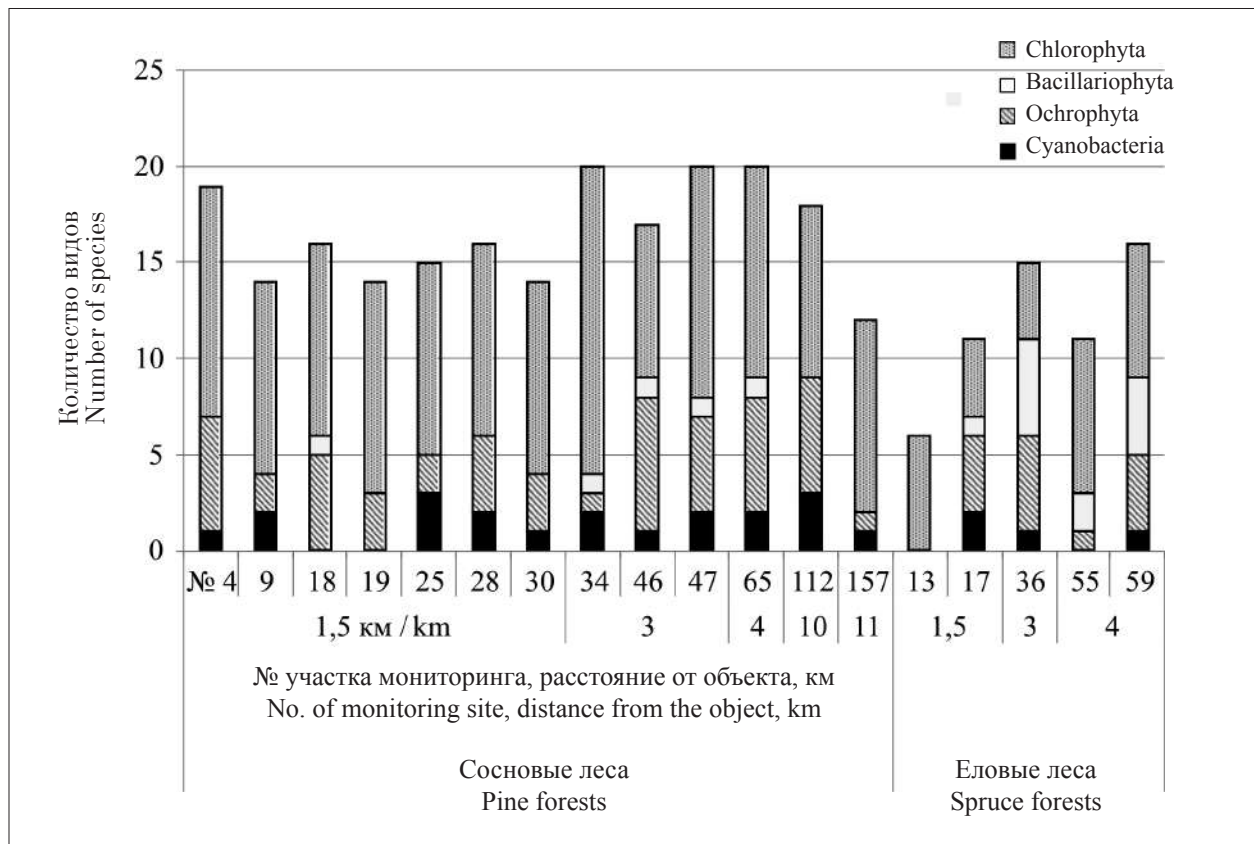


Рис. 1. Количество видов водорослей и цианобактерий на участках луговых фитоценозов в районе объекта «Марадыковский» после прекращения его функционирования  
 Fig. 1. The number of algae and cyanobacteria species on the sites of meadow phytocenoses in the vicinity of the plant “Maradykovskiy” after its work completion



**Рис. 2.** Количество видов водорослей и цианобактерий на участках лесных фитоценозов в районе объекта «Марадыковский»  
**Fig. 2.** The number of algae and cyanobacteria species on the sites of forest phytocoenoses in the vicinity of the plant “Maradykovskiy”

В среднем индекс Сьеренсена-Чекановского для участков суходольных лугов составляет 38,8%, для пойменных лугов – 36,5%. Доля общих видов в составе альгофлоры суходольных и пойменных лугов – 37,7%.

Количественные параметры альгофлоры луговых почв в районе исследований варьировали в 2016 г. от 235,7 до 379,1 тыс. кл./г почвы, в 2017 г. на большинстве участков численность водорослей и ЦБ снизилась и колебалась от 71,6 до 447,1 тыс. кл./г почвы, в 2018 г. численность изменялась от 109,4 до 513,6 тыс. кл./г почвы (рис. 3). Наибольшая численность клеток водорослей была выявлена на более удалённом от объекта участке пойменного луга № 79, что связано с благоприятными условиями увлажнения пойменных лугов. По количественным показателям доминировала группа зелёных и жёлтозелёных водорослей. Их численность за период исследования варьировала в широких пределах (от 58,3 до 379,3 тыс. кл./г почвы), без выделения чёткой тенденции к увеличению или уменьшению. Цианобактерии по численности в составе альгофлоры были незначительны – от 2 до 56,4 тыс. кл./г почвы (3–19%).

В почвах лесных экосистем после прекращения функционирования объекта было выявлено 60 видов почвенных водорослей и ЦБ: Cyanobacteria – 4 вида (6,7%), Chlorophyta – 36 видов (60,0%), Ochrophyta – 12 (20,0%) и Bacillariophyta – 8 (13,3%) (рис. 2). В почвах участков сосновых фитоценозов было выявлено 55 видов почвенных водорослей, таксономическая структура альгофлоры представлена 4 основными отделами: Cyanobacteria – 4 вида (7,1%), Chlorophyta – 36 видов (64,4%), Ochrophyta – 11 (21,4%) и Bacillariophyta – 4 (7,1%). Несколько меньшее количество видов обнаружено на участках в еловых лесах – 33 вида, таксономическая структура выглядит следующим образом: Cyanobacteria – 4 вида (12,1%), Chlorophyta – 15 видов (45,5%), Ochrophyta – 7 (21,2%) и Bacillariophyta – 7 (21,2%). Доля общих видов для сосновых и еловых лесов составляла 38%.

Для почв лесной зоны численность клеток водорослей и ЦБ выражается числами от нескольких десятков тысяч клеток в 1 г почвы до нескольких сотен и зависит от свойств самой почвы и условий окружающей среды [10].

Поверхностный слой почвы наиболее изменчив по показателям влажности, температуры и освещения, глубокие почвенные горизонты характеризуются относительным постоянством этих показателей. Поэтому экологические характеристики водорослей индивидуальны для конкретных территорий [15]. Значения общей численности водорослей и ЦБ за трёхлетний период исследований колебались от 59,3 до 296,0 тыс. кл./г почвы. Полученные результаты согласуются с данными других авторов для почв хвойных фитоценозов [10, 13, 14]. Отметим, что на контрольном участке соснового леса № 112, находящемся на расстоянии 10 км от ОХУХО «Марадыковский», количественные показатели альгофлоры за трёхлетний период были более высокими и достигали почти 300 тыс. кл./г почвы (рис. 3).

Численность водорослей и ЦБ, а также диапазон варьирования этого показателя на луговых участках выше. Проявляется тенденция к возрастанию численности фототрофов по мере удаления от объекта.

Таким образом, колебания численности водорослей и ЦБ за период исследования обусловлены природными факторами и степенью

развития высших растений, влияющих на влажность, световой и температурный режимы почвы, а также уровнем антропогенной нагрузки.

### Заключение

Воздействие ОХУХО «Марадыковский» на почвы проявилось в превышении допустимых концентраций подвижного фтора к северо-востоку и востоку от объекта, валового свинца – вдоль автодорог, мышьяка – к востоку и к северо-западу от объекта. Уровень загрязнения – умеренный. Ореолы повышенных концентраций элементов в почвах санитарно-защитной зоны объекта, существовавшие до начала уничтожения ХО, в последующие периоды не расширились.

Таксономический состав альгофлоры почв лесных и луговых фитоценозов после завершения функционирования объекта сохраняет зональный тип. В лесных экосистемах доминантами сообществ являются зелёные и жёлтозелёные водоросли (представители родов *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Coccomyxa*, *Stichococcus*, *Klebsormidium*, *Botrydiopsis*,

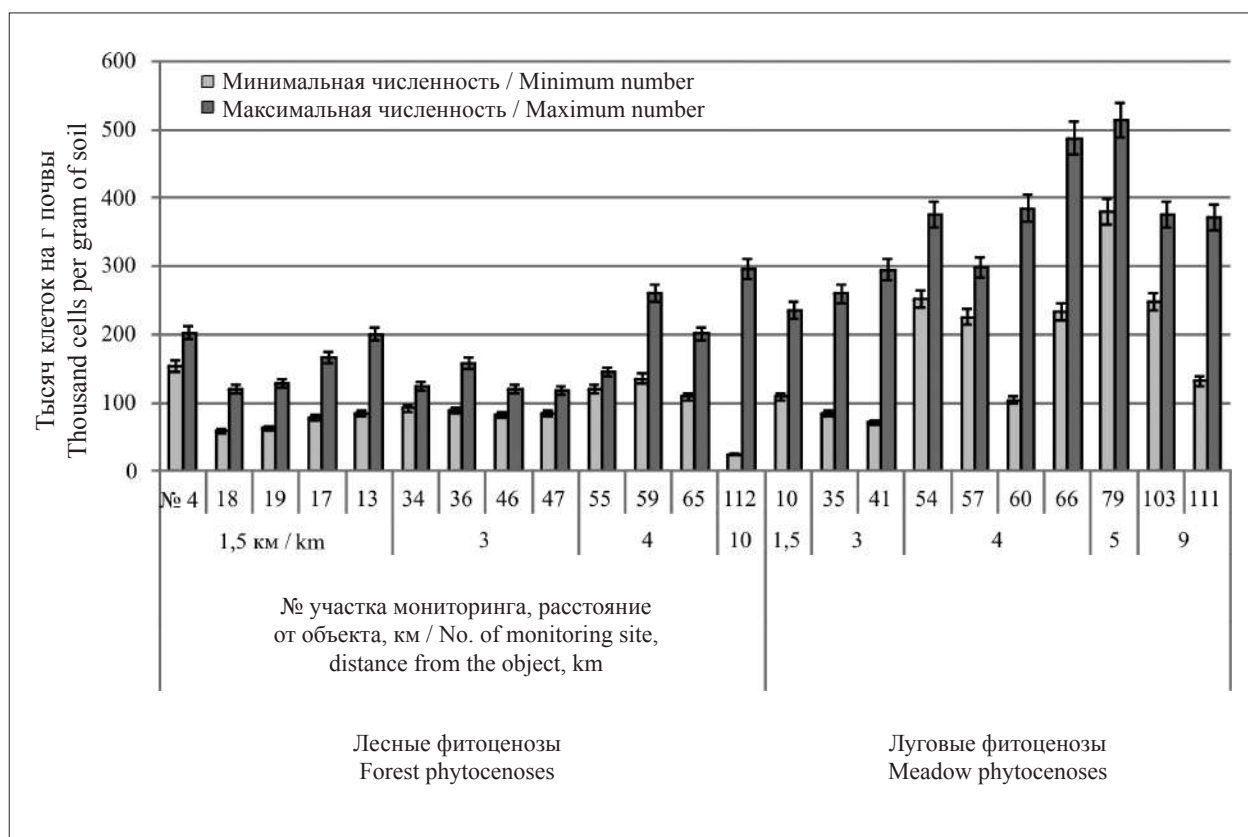


Рис. 3. Колебания численности водорослей и цианобактерий на участках мониторинга за трёхлетний период (2016–2018 гг.)  
 Fig. 3. Fluctuation of the number of algae and cyanobacteria on the monitoring sites within the period of three years (2016–2018)

*Eustigmatos*), в луговых – зелёные водоросли и ЦБ (*Chlamydomonas gloeogama*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorococcum infusionum*, *Cylindrospermum muscicola*, *C. licheniforme*, *Nostoc punctiforme*, *Phormidium autumnale*, *P. formosum*, *Leptolyngbya foveolarum*). На участках в районе объекта отмечено незначительное снижение видового разнообразия альгофлоры по сравнению с условно контрольными участками, удалёнными от объекта на 10 км. Отмечено некоторое уменьшение видового разнообразия представителей жёлтозелёных и эустигматофитовых водорослей и ЦБ.

Колебания численности водорослей и ЦБ за период исследования обусловлены природными факторами и степенью развития высших растений, влияющих на влажность, световой и температурный режимы почвы, а также уровнем антропогенной и техногенной нагрузки. Наиболее высокие показатели численности альгофлоры выявлены на условно фоновых участках, находящихся на большем удалении от объекта.

Таким образом, при умеренном загрязнении почв вследствие воздействия ОХУХО «Марадьковский» видовой состав и количественные характеристики альгоцианофлоры сохраняют свою структуру, но проявляют чувствительность к оказываемому воздействию.

*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. Ashikhmina T.Ya., Kantor G.Ya., Dabakh E.V. Organization of ecological monitoring of natural environment in the vicinity of the chemical weapons decommission plant in the Kirov region // Vestnik instituta biologii Komi NTs UrO RAN. 2008. No. 6. P. 6–12 (in Russian).
2. Shtina E.A., Gollerbakh M.M. Soil algae ecology. Moskva: Nauka, 1976. 143 p. (in Russian).

3. Shtina E.A., Zenova G.M., Manucharova N.A. Algalogical soil monitoring // Pochvovedeniye. 1998. No. 12. P. 1449–1461 (in Russian).
4. Domracheva L.I. Soil “blooming” and the laws of its development. Syktyvkar, 2005. 336 p. (in Russian).
5. Kondakova L.V. Algal-cyanobacterial flora and characteristic features of its development in anthropogenically damaged soils (by the example of south taiga soils of the European part of Russia): avtoref. dis. ... doktora biol. nauk. Syktyvkar, 2012. 34 p. (in Russian).
6. Resistance of soil microbial complexes to anthropogenic factors of the environment. Electronic resource / Eds. L.I. Domracheva, T.Ya. Ashikhmina. Syktyvkar: IB FITs Komi NTs UrO RAN, 2019. 254 p. (in Russian). doi: 10.31140/book-2018-05
7. Geography of the Kirov region. Atlas book. Kirov: Kirovskaya oblastnaya tipografiya, 2015. 80 p. (in Russian).
8. Gollerbakh M.M., Shtina E.A. Soil algae. Leningrad: Nauka, 1969. 228 p. (in Russian).
9. Aleksakhina T.I., Shtina E.A. Soil algae of forest biogeocoenoses. Moskva: Nauka, 1984. 148 p. (in Russian).
10. Kobzar A.I. Applies mathematical statistics for engineers and researchers. Moskva: FIZMATLIT, 2006. 816 p. (in Russian).
11. Eliseeva I.I. Statistics. Moskva: Prospekt, 2011. 443 p. (in Russian).
12. Ashikhmina T.Ya., Timonov A.S., Kantor G.Ya., Panteleyeva O.G., Domnina E.V., Dabakh E.V., Ogorodnikova S.Yu., Novoydarskiy Yu.V., Titova V.A. Research of the impact of the chemical weapons decommission plant “Maradykovskiy” on the state of natural environment and its objects // Theoretical and Applied Ecology. 2015. No. 3. P. 88–95 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2015-3-042-088-095
13. Kondakova L.V., Domracheva L.I. Flora of the Vyatka region. Part 2. Algae (Species composition, specific features of water and soil biocoenoses). Kirov: Kirovskaya oblastnaya tipografiya, 2007. 192 p. (in Russian).
14. Novakovskaya I.V., Patova E.N. Soil algae of spruce forests and their change in conditions of aerotechnogenic pollution. Syktyvkar, 2012. 128 p. (in Russian).
15. Kondakova L.V., Bezdenezhnykh K.A., Ashikhmina T.Ya. Algalogical analysis of soil state in the vicinity of the plant “Maradykovskiy” after it finished functioning // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No. 1. P. 23–29 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-1-023-029
16. Madigan M.T., Imhoff J.F. International committee on systematics of procaryotes. Subcommittee on the taxonomy of phototrophic bacteria // Intern. J. Syst. Evol. Microbiol. 2007. No. 57. P. 1169–1171. doi: 10.1099/ij.s.0.65116-0