

noses and natural phytocenoses // *Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo tsentra*. 2004. No. 1 (22). P. 192–196 (in Russian).

16. Schaffers A.P., Raemakers I.P., Sykora K.V., ter Braak C.J.F. Arthropod assemblages are best predicted by plant species composition // *Ecology*. 2008. V. 89. P. 782–794.

17. Nesterkov A.V., Vorobeichik E.L. Changes in the structure of chortobiont invertebrate community exposed to Emissions from a copper smelter // *Russian Journal of Ecology*. 2009. V. 40. No. 4. P. 286–296.

18. Ashimina T.Ya., Domracheva L. Domnina EA, Kantor G.Ya., Kochurova T.I., Kondakova L.V., Ogorodnikov S.Yu., Olkova A.S., Panfilova I.V. System of biological monitoring of environmental components in the area of the object of storage and destruction of chemical weapons “Maradykovskiy” of the Kirov region // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2008. No. 4. P. 32–38 (in Russian).

19. Fasulati K.K. Field study of terrestrial invertebrates. Moskva: Vysshaya shkola, 1971. 424 p. (in Russian).

20. Shennikov A.P. Meadow science. Leningrad. 1941. 510 p. (in Russian).

21. Rabotnov T.A. Phytocenology. Moskva, 1983. 296 p. (in Russian).

22. Ipatov V.S. Description of phytocenosis. St. Petersburg, 1998. 151 p. (in Russian).

23. Ramensky L.G., Tsatsenkin I.A., Chizhikov O.N., Antipin N.A. Ecological assessment of fodder land by vegetation cover. Moskva, 1956. 472 p. (in Russian).

24. Zubkova E.V., Khanina L.G., Grokhlina T.I., Dorogova Yu. A. Computer processing of geobotanical descriptions on ecological scales using the program EcoScaleWin: Uchebnoe posobie. Yoshkar-Ola. 2008. 96 p. (in Russian).

25. Domnina E.A. Ecological assessment of meadow habitats using Ramensky scales // *Ecology of biosystems: problems of research, indication, and forecasting. Sbornik materialov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu Astrakhanskogo gosudarstvennogo universiteta*. Astrakhan, 2017. P. 60–65 (in Russian).

26. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica*, 2001. No. 4(1). 9 p.

27. Novakovskiy A.B. Interaction of Excel and statistical package R for data processing in ecology // *Vestnik instituta biologii Komi nauchnogo tsentra Uralskogo otdeleniya RAN*. 2016. No. 3 (197). P. 26–33 (in Russian).

УДК 631.46

Почвенные водоросли и цианобактерии хвойных фитоценозов с разным уровнем антропогенной нагрузки

© 2017. Л. В. Кондакова^{1,2}, д. б. н., профессор,
Л. И. Домрачева^{1,3}, д. б. н., профессор,
К. А. Безденежных², аспирант, И. А. Кондакова², магистр, доцент,
Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., профессор, зав. кафедрой, зав. лабораторией,

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
167982, Россия, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,

² Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,

³ Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,

e-mail: usr11521@vyatsu.ru

Проведён сравнительный анализ альгофлоры хвойных фитоценозов с разным уровнем антропогенной нагрузки: соснового леса в охранной зоне заповедника «Нургуш» (фоновый участок), сосновых и еловых лесов в районе объекта уничтожения химического оружия «Марадьковский», пригородных лесов г. Кирова. В изученных хвойных фитоценозах выявлено 97 видов и разновидностей водорослей и ЦБ, в том числе Cyanobacteria – 23, Chlorophyta – 47, Ochrophyta – 15, Bacillariophyta – 12. Во всех изученных хвойных фитоценозах преобладали зелёные водоросли, составляя 42,8–65,4% видового разнообразия. Это представители родов *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Chlorella*, *Bracteacoccus*, *Coccomyxa*, *Pseudococcomyxa*, *Klebsormidium*. Охрофитовые водоросли (желтозелёные и эустигматофитовые) отмечены на всех участках, их соотношение составляло 13,0–21,2%. Выявлены виды родов *Pleurochloris*, *Botrydiopsis*, *Characiopsis*, *Eustigmatos*, *Vischeria*. Из цианобактерий встречены представители родов *Nostoc*, *Tolypothrix*, *Anabaena*, *Phormidium*, *Leptolyngbya*, *Borzia*, *Microcoleus*, *Oscillatoria*, *Schizothrix*.

Анализ альгофлоры хвойных лесов фоновой территории и территорий, испытывающих техногенную (район объекта «Марадьковский») и антропогенную нагрузку (пригородные леса), показывает умеренное сходство. Коэффициенты Сьёренсена-Чекановского составляют 40,4–57,5%.

Экологическая структура альгофлоры хвойных лесов представлена эдафотрофными видами, составляющими 92,8–97,5% видовой разнообразия. В сравнимых фитоценозах преобладают представители Ch-, C-, X- и B-жизненных форм – видов, отличающихся исключительной выносливостью к различным экстремальным условиям и занимающих значительное место в формировании альгосинузий в самых различных почвах.

Определение количественного обилия микрофототрофов до начала действия объекта и после его окончания показало, что в почвах сосновых и еловых лесов преобладают зелёные и диатомовые водоросли с колебаниями численности клеток в диапазоне от 250 до 1200 тыс./г почвы и с колебаниями биомассы от 25 до 348 кг/га в 2005 г. В 2016–2017 гг. численность водорослей в почве составляла 59–280 тыс./г вследствие иных гидротермических условий, существующих в годы наблюдений. Параллельные определения запасов грибной биомассы показали, что её величина колеблется в пределах от 247 до 2400 кг/га, существенно превосходя запасы водорослевой биомассы.

Альгофлора изучаемых хвойных фитоценозов соответствует зональному типу. По видовому разнообразию и численности клеток доминируют зелёные водоросли. Отмечены представители жёлтозелёных, эустигматофитовых и диатомовых водорослей и цианобактерий. Антропогенная нагрузка на почву в изученных хвойных фитоценозах не приводит к нарушению характерной для почв лесной зоны структуры альгосинузий.

Ключевые слова: водоросли, цианобактерии, хвойный фитоценоз, численность клеток, экологическая структура альгофлоры, альгосинузии.

Soil algae and cyanobacteria of coniferous phytocenosis with different levels of anthropogenic impact

L. V. Kondakova^{1,2}, L. I. Domracheva^{1,3}, K. A. Bezdenezhnykh²,
I. A. Kondakova², T. Ya. Ashikhmina^{1,2},

¹Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,
28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,

²Vyatka State University,
36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

³Vyatka State Agricultural Academy,
133 Oktyabrskiy Prospect, Kirov, Russia, 610017,
e-mail: usr11521@vyatsu.ru

A comparative analysis of the algal flora of coniferous phytocenoses with different levels of anthropogenic impact was carried out: pine forest in the buffer zone of the “Nurgush” Nature Reserve (background site), pine and spruce forests near the chemical weapons destruction plant Maradykovskiy, and suburban forests of the city of Kirov. 97 species and varieties of algae and Cyanobacteria were identified in the studied phytocenoses, including Cyanobacteria – 23, Chlorophyta – 47, Ochrophyta – 15, Bacillariophyta – 12. In all the studied coniferous phytocenoses green algae prevailed, amounting to 42.8–65.4% species diversity. These are representatives of the genera Chlamydomonas, Chlorococcum, Chlorella, Bracteacoccus, Cocomyxa, Pseudococomyxa, Klebsormidium. Ochrophyte algae (yellow-green and eustigmatophyte) are noted on all sites, their ratio was 13.0–21.2%. The species of the genera Pleurochloris, Botrydiopsis, Characiopsis, Eustigmatos, Vischeria, Characiopsis were identified. Of the cyanobacteria, representatives of the genera Nostoc, Tolypothrix, Anabaena, Phormidium, Leptolyngbya, Borzia, Microcoleus, Oscillatoria, and Schizothrix were encountered.

Analysis of algal flora of coniferous forests of the background territory and territories experiencing anthropogenic (area of the plant “Maradykovsky”) and anthropogenic impact (suburban forests) shows moderate similarity. Sørensen-Chekanovsky Index is 40.4–57.5%.

The ecological structure of algal flora of coniferous forests is represented by edaphophilous species, which constitute 92.8–97.5% of species diversity. In the comparative phytocenoses, representatives of Ch-, C-, X- and B-life forms predominate – species that are endowed with exceptional endurance to various extreme conditions and occupy a significant place in the formation of algosynusia in a different of soils.

Quantitative indices of algae and cyanobacteria of monitoring sites range from 59.3 to 280.5 thousand cells/g of soil. The abundance of cells is dominated by green algae.

Assessing quantitative abundance of micro phototrophes before implementing the plant and after its stopping showed that in the soil of pine and spruce forests green and diatomic algae predominate. In 2005 the quantity varied from 25 to 1200 thousand cells/g of soil and biomass varied from 25 to 348 kg/ha. In 2016–2017 the quantity of algae in soil varied from 59 to 280 thousand calls/g, as a result of other hydrothermal conditions during the survey period. At the same time the fungi biomass varied from 247 to 24000 kg/ha, thus it considerably exceeds the algae biomass.

The algal flora of the coniferous phytocenoses studied corresponds to the zonal type. By species diversity and abundance of cells, green algae dominate. Representatives of yellow-green, eustigmatophyte and diatom algae and cyanobacteria were noted. Anthropogenic impact on soil in the studied coniferous phytocenoses does not lead to violation of the structure of algosynusia characteristic for soils of the forest zone.

Keywords: algae, cyanobacteria, coniferous phytocenosis, number of cells, ecological structure of algophlora, algosynusia.

Древесная растительность является мощным почвообразующим фактором и оказывает существенное влияние на свойства почвы и её живое население, в том числе на почвенные водоросли и цианобактерии (ЦБ), постоянно обитающие в лесных экосистемах. Видовой состав водорослей и ЦБ – достаточно постоянный признак для характеристики лесного биогеоценоза [1]. Различные отделы водорослей специфичны по своей биохимической природе и экологическим особенностям, их видовой состав в значительной мере оказывает влияние на метаболизм биогеоценоза в целом. Они входят составной частью в соответствующие экосистемы, принимают активное участие в почвообразовательных процессах, накоплении органического вещества и за счёт активности гетероцистных ЦБ – фиксированного азота. Экзометаболиты водорослей и ЦБ содержат биологически активные вещества, которые оказывают большое влияние на другие компоненты почвенного яруса, способствуя активизации микробиологических процессов и очистке почвы от фитопатогенов.

Сообщества водорослей и ЦБ хвойных лесов изучены недостаточно. Сведения о видовом составе и их численности обобщены в монографиях [1–2]. Имеются отдельные данные по численности и видовому составу альгофлоры хвойных лесов [3–5, 13]. Согласно опубликованным данным, в хвойных лесах на типичных подзолистых или дерново-подзолистых почвах отмечается большое сходство в соотношении отдельных групп водорослей, составе доминирующих форм и их численности. Сообщества почвенных микрофототрофов хвойных лесов характеризуются невысоким видовым разнообразием и численностью клеток [1]. Наибольшим числом видов представлены зелёные и жёлтозелёные водоросли. Доминантами сообществ являются представители родов: *Chlorococcum*, *Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Bracteacoccus*, *Klebsormidium*, *Stichococcus* (Chlorophyta), *Botrydiopsis*, *Pleurochloris*, *Characiopsis* (Ochrophyta). Факторами, лимитирующими развитие водорослей и ЦБ в хвойных лесах, являются: неблагоприятное действие опада, кислая реакция почвы, низкая интенсивность света, менее благоприятные условия увлажнения. Преимущественно выживают и вегетируют виды зелёных и жёлтозелёных водорослей, устойчивых к затенению, пониженным значениям pH, недостаточной влажности: *Bracteacoccus minor*, *Chlorosarcinopsis minor*, *Chlamydomonas gelatinosa*, *Ch. gloeogama*, *Ch. snowiae*, *Pleurochloris imitans*,

Heterococcus viridis и др. [6]. При этом доказано, что альгологический мониторинг позволяет установить уровень негативного воздействия на экосистемы [7].

Целью исследования являлось изучение альгофлоры фоновой и испытывающих антропогенную нагрузку хвойных экосистем подзоны южной тайги.

Объекты и методы исследования

Главными хвойными породами подзоны южной тайги являются ель и сосна. Так, в Кировской области сосновые насаждения составляют 22,3%, еловые – 27,3% [8]. Сосновые леса являются интразональным типом растительности, произрастают на древнеаллювиальных песчаных отложениях речных террас и в районах залегания глубоких крупнозернистых флювиогляциальных песков. Еловые леса распространены на моренных и покровных суглинках, на двучленных отложениях, на флювиогляциальных песках, подстилаемых суглинками.

Изучаемые лесные экосистемы находятся на территориях: охранной зоны государственного природного заповедника (ГПЗ) «Нургуш», (фоновый участок), хвойных лесов в окрестностях п. Марадыково, пригородных сосновых лесов г. Кирова (Заречный парк, п. Порошино и п. Сидоровка).

Отбор проб для альгологического анализа проводили в 2005 и в 2012–2017 гг., средняя проба почвенного образца составлялась согласно требованиям альгологического анализа [1]. Видовой состав альгофлоры изучали постановкой чашечных культур со стёклами обрастания [10], численность клеток определяли прямым микроскопированием на мазках, биомассу микроорганизмов – объёмно-расчётным методом [9]. Поверхностные разрастания микрофототрофов в природных условиях собирались в ненарушенном состоянии и использовались для выявления видовой принадлежности и количественных показателей. Спектр жизненных форм устанавливали по [1, 10].

Результаты исследования

В изученных хвойных фитоценозах выявлено 97 видов и разновидностей водорослей и ЦБ, в том числе: Cyanobacteria – 23, Chlorophyta – 47, Ochrophyta – 15, Bacillariophyta – 12.

Альгофлора соснового леса охранной зоны заповедника «Нургуш». Альгофлора

представлена 54 видами микрофототрофов, среди которых преобладали представители отдела Chlorophyta – 48,1%, ЦБ составляли 22,2%, Ochrophyta – 13,0%, Bacillariophyta – 16, 7% (табл. 1).

Доминантами сообществ являлись зелёные водоросли: *Chlamydomonas gloeogama*, *Ch. elliptica*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorococcum infusionum*, *Coccomyxa dispar*, *Stichococcus bacillaris*. Выявлены представители гетероцистных (*Nostoc punctiforme*, *N. paludosum*, *N. muscorum*, *Tolypothrix tenuis*) и безгетероцистных (*Phormidium autumnale*, *Ph. breve*, *Ph. uncinatum*, *Leptolyngbya foveolarum*, *Borzia trilocularis*) ЦБ. Численность микрофототрофов колебалась в пределах 77–100 тыс. кл./г почвы.

Альгофлора лесных фитоценозов района объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский». Почвы на территории лесных фитоценозов подзолистые песчаные и супесчаные [11]. Изучалась альгофлора растительных ассоциаций: берёзово-сосновых, елово-берёзово-сосновых, берёзовых. До начала функционирования объекта в данных лесных экосистемах был выявлен 71 вид водорослей и ЦБ, в том числе: Cyanobacteria – 16 видов, Chlorophyta – 32, Ochrophyta – 15, Bacillariophyta – 8 [12]. В составе альгофлоры было отмечено представительство всех основных отделов почвенных водорослей, наибольшее видовое разнообразие составляли зелёные водоросли (представители родов *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Stichococcus*, *Klebsormidium*). Это согласуется с литературными данными о видовом составе водорослей лесных почв [1, 2, 14–18]. Отмечены представители жёлтозелёных и эустигматофитовых водорослей (виды родов *Botrydiopsis*, *Characiopsis*, *Eustigmatos*). Из диатомовых в еловом фитоценозе отмечена *Hantzschia amphioxys*.

Наиболее полный количественный учёт водорослей методом прямой микроскопии в лесных почвах Кировской области был проведён в 2005 г. на территории района объекта хранения химического оружия «Марадыковский» до начала его функционирования [5].

При определении численности и биомассы водорослей, а также длины мицелия и биомассы микромицетов было установлено, что эти показатели варьируют в достаточно широких пределах (табл. 2).

В почве сосновых лесов из 8 обследованных участков только на одном достигнут пик численности водорослей – 1 млн. кл./г (34-й участок). На большинстве других исследованных участков этот показатель лежит в диапазоне 300–370 тыс. кл./г. Для почв еловых лесов максимальная численность водорослей (1,2 млн. кл./г) зарегистрирована на 59-м участке. В то же время и на других участках численность водорослей несколько выше, чем в почве сосновых лесов. Соответственно показателям численности клеток водорослей, их биомасса, определённая расчётно-объёмным методом, также имеет более высокие значения в почве еловых лесов по сравнению с сосновыми. В целом значения одномоментной биомассы невелики, колеблются от 25 до 348 кг/га, однако в результате высокой скорости размножения водорослей при благоприятных условиях их первичная продукция может в сотни раз превышать показатели одномоментной биомассы [9].

Сравнение результатов количественного определения численности почвенных водорослей на одних и тех же участках в 2005 (табл. 2) и в 2016–2017 гг. (рис.) показывает некоторое снижение этих показателей в более поздний срок наблюдения, что, в первую очередь, может быть обусловлено гидротермическим режимом почвы в годы исследования. Однако каких-либо критических ситуаций, связанных

Таблица 1

Число видов водорослей и ЦБ хвойных фитоценозов

Фитоценоз	Местонахождение	Число видов									
		Cyanobacteria		Chlorophyta		Ochrophyta		Bacillariophyta		Всего	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Сосновый	Район объекта	4	7,3	36	65,4	11	20,0	4	7,3	55	100
Еловый	«Марадыковский»	4	12,1	15	45,5	7	21,2	7	21,2	33	100
Сосновый	Пригородные леса г. Кирова	4	8,9	29	64,4	9	20	3	6,7	45	100
Сосновый	Заречный парк г. Кирова	14	25,0	24	42,9	8	14,2	10	17,9	56	100
Сосновый	ГПЗ «Нургуш»	12	22,2	26	48,1	7	13,0	9	16,7	54	100

Примечание: 1 – число видов; 2 – процент.

Таблица 2

Количественная характеристика почвенных водорослево-грибных комплексов в районе объекта хранения химического оружия «Марадыковский» (2005 г.)

№ участка	Водоросли		Микромицеты	
	численность, тыс. кл./г	биомасса, кг/га	длина мицелия, м/г	биомасса, кг/га
Сосновые леса				
4	760±40	132,9	690,6±84	1880
18	370±31	109,7	404,8±48,5	1100
19	360±18,8	64,7	108,8±9,0	247
34	1000±94,9	153,1	801,6±77,1	2184
46	311±24	92,8	890,2±176,0	2400
47	377±26	115,1	708,2±117,7	1900
65	250±40	41,0	104,0±12,7	284
112	177±9,9	25,4	273,0±39,5	553
Еловые леса				
13	532±18,8	161,4	354,2±66	970
17	551±41	168,1	794,9±44	2170
36	920±37,5	277,4	790,4±180,2	2100
55	440±55,3	94,1	680,6±44,2	1800
59	1200±210,9	348,6	435,2±90,5	1190

Таблица 3

Структура биомассы водорослево-грибных комплексов в районе объекта хранения химического оружия «Марадыковский» (2005 г.)

№ участка	Водоросли (%)	Грибы (%)	Отношение биомассы грибов к биомассе водорослей
Сосновые леса			
4	6,6	93,4	14,1:1
18	9,1	90,9	10:1
19	30,6	69,4	3,8:1
34	6,5	93,5	14,3:1
46	3,7	96,3	25,9:1
47	5,7	94,3	16,5:1
65	12,6	87,4	6,9:1
112	4,4	95,6	21,8:1
Еловые леса			
13	14,3	85,7	6:1
17	7,2	92,8	12,5:1
36	11,7	88,3	7,6:1
55	5,0	95,0	19,1:1
59	22,7	77,3	3,4:1

с элиминацией данной группы почвенных фототрофных микроорганизмов, не наблюдается ни на одном из исследованных участков.

Для характеристики лесных почв существенный интерес представляет также количественная характеристика микоценозов (табл. 2). Определённая методом прямого микроскопирования длина мицелия в исследованных лесных почвах колеблется от 108 до 890 м/г (сосняки) и от 350 до 795 м/г (ельники). Биомасса микроскопических грибов намного

выше, чем биомасса водорослей, колеблется от 284 до 2400 кг/га (сосняки) и от 970 до 2170 кг/га (ельники).

Изучение структуры биомассы водорослево-грибных комплексов показывает, что во всех случаях водоросли являются минорным компонентом при безусловном доминировании грибной составляющей – до 95-96% в почвах обоих лесных ценозов (табл. 3). Приведённые в таблице 3 соотношения между грибной и водорослевой биомассой ещё раз

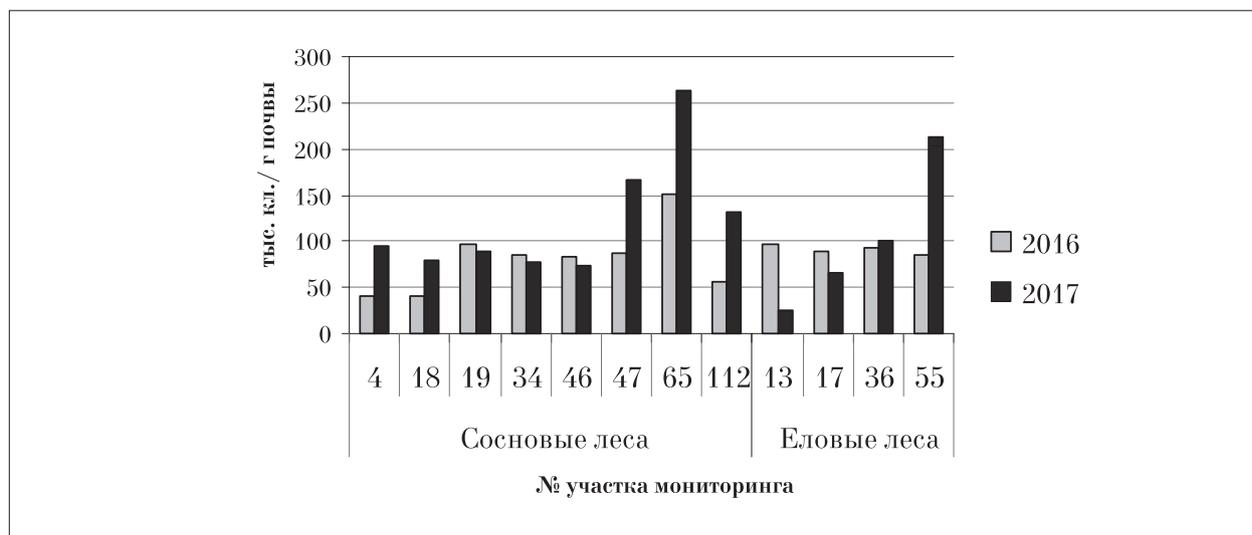


Рис. Численность водорослей и цианобактерий в районе объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский», тыс. кл./г почвы

подчеркивают бесспорный вклад микромицетов как организмов-деструкторов в функционирование почвенных микробсообществ. Только на отдельных участках (№№ 59 и 19) биомасса микробов-продуцентов (в данном случае зелёных и диатомовых водорослей) превышает 20 и 30% соответственно.

Таким образом, наличие в лесных почвах значительный запасов динамичной биомассы фототрофных микроорганизмов и микромицетов обеспечивает определённый запас прочности при возможном поступлении в почву каких-либо поллютантов.

Альгологический мониторинг почв был продолжен и после прекращения функционирования объекта по уничтожению химического оружия. В почвах хвойных фитоценозов было выявлено 55 видов почвенных водорослей и ЦБ, таксономическая структура альгофлоры представлена 4 отделами: Cyanobacteria – 4 вида (7,3%), Chlorophyta – 36 видов (65,4%), Ochrophyta – 11 (20,0%) и Bacillariophyta – 4 (7,3%). В почвах сосновых фитоценозов было отмечено более высокое видовое разнообразие альгофлоры – 55 видов, в еловых – 33 вида. По видовому разнообразию преобладали зелёные водоросли. В состав доминантов входили: *Coccomyxa dispar*, *Pseudococcomyxa simplex*, *Chlamydomonas gloeogama*, *Chlorella vulgaris*, *Chlorococcum infusionum*, *Klebsormidium flaccidum* (Chlorophyta); *Pleurochloris commutata*, *Vischeria helvetica* (Ochrophyta). В еловых лесах, по сравнению с сосновыми, разнообразие видов диатомовых водорослей выше (7 и 4 соответственно). Из ЦБ встречены представители родов *Phormidium*, *Leptolyngbya*,

Nostoc. При невысоком видовом разнообразии микрофототрофов в почвах участков мониторинга наблюдается их большое сходство в отношении отдельных групп водорослей, состава доминирующих видов.

Количественные показатели альгофлоры еловых и сосновых фитоценозов района объекта «Марадыковский» приведены на рисунке 1. На участках мониторинга численность почвенных водорослей и ЦБ варьирует в широких пределах – от 59,3 до 280,5 тыс. кл./г почвы. На участках, расположенных ближе к объекту и населённому пункту и испытывающих рекреационную и техногенную нагрузки, была отмечена наименьшая численность водорослей. Более высокая численность микрофототрофов зарегистрирована на контрольном участке. Соотношение численности водорослей и ЦБ на отдельных участках мониторинга по годам сохраняется. Более высокие показатели численности отмечены в более влажном 2017 г., при этом на ряде участков, наоборот, отмечены более низкие количественные показатели клеток. Это, возможно, обусловлено более мощным развитием травяного покрова, снижающего уровень инсоляции для водорослей и ЦБ.

Альгофлора соснового леса Заречного парка. На территории соснового леса Заречного парка г. Кирова отмечено 56 видов водорослей и ЦБ [13]. По видовому разнообразию преобладали Chlorophyta – 42,9%, ЦБ составляли 25% видового разнообразия, что несколько выше, чем на территории соснового леса охранной зоны заповедника (табл.1). В состав доминирующего комплекса

в летний период входили зелёные водоросли: *Chlamydomonas gloeogama*, *Ch. gelatinosa*, *Chlorococcum infusionum*, *Pseudococcomyxa simplex*, *Gongrosira debaryana*. Осенью – виды рода *Chlamydomonas*, *Leptolyngbya frigida*, *Navicula pelliculosa*, *Nitzschia palea*. Из ЦБ встречаются: *Anabaena sphaerica* f. *conoidea*, *Nostoc paludosum*, *N. punctiforme*, *Tolypothrix tenuis*, *Borzia trilocularis*, *Leptolyngbya foveolarum*, *L. frigida*, *L. nostocorum*, *Microcoleus vaginatus*, *Phormidium autumnale*, *Ph. breve*, *Ph. molle*, *Ph. retzii*, *Oscillatoria limosa*, *Schizothrix friesii*. Численность клеток колебалась в пределах 60–90 тыс. кл./г почвы.

Альгофлора пригородных хвойных лесов г. Кирова. В пригородных хвойных лесах г. Кирова выявлено 45 видов водорослей и ЦБ. Более половины видового разнообразия составляли зелёные водоросли (виды родов *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Pseudococcomyxa*, *Chlorella*), ЦБ были отмечены на участках с нарушенным растительным покровом. Так, на зарастающей лесной просеке соснового леса были выявлены: *Anabaena* sp., *Fischerella muscicola*, *Phormidium boryanum* (ЦБ), *Pseudococcomyxa simplex*, *Cylindrocystis crassa* (Chlorophyta), *Pinnularia borealis* (Bacillariophyta). На дороге через опушку соснового леса слабое «цветение» почвы было вызвано ЦБ (*Leptolyngbya angustissima*, *Phormidium boryanum*) и зелёными водорослями (*Pseudococcomyxa simplex*, *Klebsormidium nitens*). Видовое разнообразие ЦБ на тропинке через опушку леса составляло 23 вида, доминировали азотфиксирующие ЦБ: *Fischerella muscicola*, *Scytonema ocellatum*, *Tolypothrix tenuis*, *Calothrix elenkinii*, *Anabaena sphaerica*, *Nostoc paludosum*, *N. punctiforme*, и безгетероцистные ЦБ *Phormidium boryanum*, *Microcoleus vaginatus*. Среди водорослей отмечены зелёные *Klebsormidium flaccidum*, *Cylindrocystis crassa*, *C. brebissonii* и диатомовые *Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia borealis*.

Численность клеток фототрофов в сосновом фитоценозе пригородных лесов составляла 82,9±2,8 тыс. кл./г почвы. По численности клеток доминировали зелёные водоросли (84,1%).

Высокая численность микрофототрофов отмечена в поверхностных разрастаниях водорослей и ЦБ на тропинке через опушку леса. Доминируют ЦБ, составляя 92,7% численности клеток (табл. 4).

Таким образом, во всех изученных хвойных фитоценозах преобладали зелёные водоросли, составляя 42,9–65,4% видового разнообразия. Это представители родов *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Chlorella*, *Bracteacoccus*, *Coccomyxa*, *Pseudococcomyxa*, *Klebsormidium*. Охрофитовые водоросли (жёлтозелёные и эустигматофитовые) отмечены на всех участках, их соотношение составляло 13,0–21,2%. Выявлены виды родов *Pleurochloris*, *Botrydiopsis*, *Characiopsis*, *Eustigmatos*, *Vischeria*, *Characiopsis*.

Сравнительный анализ альгофлоры хвойных лесов фоновой территории и территорий, испытывающих техногенную (район объекта «Марадыковский») и антропогенную нагрузки (пригородные леса), показывает умеренное сходство. Коэффициенты сходства альгофлор сравнимых лесов Съёренсена-Чекановского составляют 33,7–56,9% (табл. 5). Наибольшее сходство альгофлоры выявлено в сосновых лесах, расположенных в охранной зоне заповедника «Нургуш» и сосновом лесу в районе объекта «Марадыковский» (56,9%), наименьшее – при сравнении альгофлоры еловых лесов района объекта «Марадыковский» и Заречного парка г. Кирова. Возможно, сказывается топографическое расположение лесов и характер антропогенной нагрузки.

Виды микрофототрофов, встреченные во всех хвойных фитоценозах: *Chlamydomonas gloeogama*, *Ch. gelatinosa*, *Chlorococcum infusionum*, *Chlorella vulgaris*, *Bracteacoccus minor*, *Klebsormidium nitens*, *Pseudococcomyxa simplex*, *Pleurochloris anomala*, *Botrydiopsis eriensis*, *Eustigmatos magnus*, *Hantzschia amphioxys*, *Navicula pelliculosa*, *Pinnularia borealis*.

Экологическая структура альгофлоры хвойных лесов представлена эдафотрофными видами, составляющими 92,8–97,5% видового разнообразия (табл. 6).

Таблица 4

Особенности «цветения» почвы на опушке соснового леса

Представители микрофототрофов	Численность клеток, тыс./см ²	Присутствие, %
Сyanobacteria	13160±1287	92,7
Chlorophyta	820±50	5,8
Bacillariophyta	210±40	1,5
Всего:	14190±1377	100,0

Таблица 5

Коэффициенты Сьеренсена-Чекановского хвойных фитоценозов

Фитоценоз	1	2	3	4	5
1. Сосновый лес охранной зоны заповедника «Нургуш»					
2. Сосновый лес объекта «Марадыковский»	56,9				
3. Еловый лес объекта «Марадыковский»	57,5	50,0			
4. Сосновый лес Заречного парка г. Кирова	54,5	43,2	33,7		
5. Сосновый лес в пригородной зоне г. Кирова	40,4	56,0	48,7	41,5	

Таблица 6

Экологическая структура альгофлоры хвойных лесов

Фитоценозы	Эдафофильные		Амфибиальные		Гидрофильные		Формула экобиоморф
	1	2	1	2	1	2	
Сосновый лес охранной зоны заповедника «Нургуш»	51	94,5%	1	1,8%	2	3,7%	Ch ₁₀ C ₁₀ B ₉ X ₈ H ₇ P ₆ CF ₄ hydr ₂ amph ₁ PF ₁
Сосновый лес объекта «Марадыковский»	51	92,8%	2	3,6%	2	3,6%	Ch ₁₆ C ₁₂ X ₁₁ H ₅ B ₃ P ₃ amph ₂ hydr ₂ CF ₁
Еловый лес объекта «Марадыковский»	32	97,0%	0	0%	1	3,0%	Ch ₉ X ₇ B ₇ C ₃ CF ₂ P ₂ H ₂ hydr ₁
Сосновый лес Заречного парка	53	94,6%	1	1,8%	2	3,6%	C ₁₀ B ₁₀ Ch ₉ X ₇ P ₇ H ₅ CF ₂ M ₂ amph ₂ hydr ₂ PF ₁ amph ₁
Сосновый лес в пригородной зоне г. Кирова	39	97,5%	0	0%	1	2,5%	Ch ₁₄ C ₁₀ X ₉ H ₄ B ₃ P ₂ CF ₂ hydr ₁

Примечание: 1 – число видов; 2 – %.

В сравниваемых фитоценозах преобладают представители Ch-, C-, X- и B-жизненных форм. Это виды, отличающиеся исключительной выносливостью к различным экстремальным условиям, обитающие в толще почвы и на её поверхности и занимающие значительное место в формировании альгофлоры в самых различных почвах (Ch-), теневыносливые виды, которые могут образовывать обильную слизь (C-), одноклеточные жёлтозелёные и многие зелёные водоросли, предпочитающие теневые условия (X-) и влаголюбивые виды (B-).

Заключение

Альгофлора изучаемых хвойных фитоценозов соответствует зональному типу. По видовому разнообразию и численности клеток доминируют зелёные водоросли. Исследования количественного обилия фототрофов и микромицетов, проведённые в лесных фитоценозах в 2005 г. до начала действия объекта по уничтожению химического оружия «Марадыковский», выявили резервы почвенных микроорганизмов, выступающих в роли первичных продуцентов (водоросли) и редуцентов-деструкторов органического вещества (микроскопические грибы). Максимальная численность водорослей достигала 1–1,2

млн. кл./г почвы. Длина грибного мицелия колебалась в пределах 100–2400 м/г. Достаточно велики были запасы грибной биомассы (до 2,4 т/га). Была установлена доминирующая роль микромицетов (95–96%) в создании биомассы альго-микологических комплексов. В то же время водоросли, обладая сравнительно небольшой одномоментной биомассой (до 350 кг/га) активизируют протекание почвенных процессов благодаря высоким темпам размножения и обновляемости. Отмечены представители жёлтозелёных, эустигматофитовых, диатомовых водорослей и ЦБ. Наибольшее число видов ЦБ и диатомовых водорослей отмечено в почвах пойменных хвойных фитоценозов.

Экологическая структура хвойных лесов представлена эдафофильными видами, составляющими 92,8–97,5% видового разнообразия. В составе жизненных форм преобладают представители Ch-, C-, X- и B-жизненных форм.

Общая численность клеток водорослей и ЦБ на участках мониторинга после прекращения функционирования объекта колеблется в пределах от 59,3 до 280,5 тыс. кл./г почвы, доминируют зелёные водоросли.

Антропогенная нагрузка на почву в изученных хвойных фитоценозах не приводит к нарушению структуры альгосинузий, характерной для почв лесной зоны.

Выполнено в рамках государственного задания Вятского государственного университета по теме «Механизмы адаптации и устойчивости почвенной микробиоты к техногенному загрязнению» № 5. 4962.2017/БЧ.

Литература

1. Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 148 с.
2. Новаковская И.В., Патова Е.Н. Почвенные водоросли еловых лесов и их изменения в условиях аэротехногенного загрязнения. Сыктывкар, 2012. 128 с.
3. Штина Э. А. Водоросли дерново-подзолистых почв Кировской области // Труды Ботанического института АН СССР. Сер. 2. 1959. Вып. 12. С. 36–141.
4. Носкова Т.С. Сообщества водорослей некоторых почв Кировской области: Дис. ... канд. биол. наук. Киров, 1968. 286 с.
5. Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Водоросли (Видовой состав, специфика водных и почвенных биоценозов) // Флора Вятского края. Киров, 2007. Ч. 2. 192 с.
6. Чаплыгина О. Я. Почвенные водоросли сосновых и еловых лесов Московской области // Ботанический журнал. 1976. Т. 61. № 8. С. 1077–1088.
7. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В., Попов Л.Б., Зыкова Ю.Н. Биоремедиационные возможности почвенных цианобактерий (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 1. С. 8–18.
8. Леса Кировской области / Под ред. А.И. Видякина, Т.Я. Ашихминой, С.Д. Новосёлова. Киров: Кировская областная типография, 2007. 400 с.
9. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар, 2005. 336 с.
10. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 144 с.
11. Домрачева Л.И., Дабах Е.В. Количественные показатели альго-микологических комплексов как начальная ступень фонового обследования почв // Актуальные проблемы регионального экологического мониторинга: теория, методика, практика: Матер. Всерос. науч. школы. Киров, 2004. Вып. II. С. 132–135.
12. Кондакова Л.В. Альго-цианобактериальная флора и особенности её развития в антропогенно нарушенных почвах подзоны южной тайги Европейской части России: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Сыктывкар. 2012. 34 с.
13. Кондакова Л. В., Пирогова О.С., Ашихмина Т. Я. Сравнительный анализ альгофлоры пойменных биогеоценозов реки Вятки на территории ГПЗ «Нургуш» и Заречного парка г. Кирова // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 3. С. 68–75.
14. Lukesova A. Soil algae in Brown Coal and Lignite Post-Mining areas in Central Europe (Czech Republic and Germany) // Restoration Ecology. 2001. V. 9. № 4. P. 341–350.

15. Starks T.L., Shubert L.E., Trainor F.R. Ecology of soil algae: a review // Phycological. 1981. V. 20 (1). P. 65–80.
16. Lukesova A., Hoffmann L. Soils algae from acid rain impacted forest areas of the Krusne hory Mts. 1. Algal communities // Vegetation. 1996. V. 125. P. 123–136.
17. Myers P.E. Davis J.S. Recolonization of soils by algae in a northcentral Florida pine forest after controlled fire and soil sterilization // Nova Hedwigia. 2003. V. 76. P. 207–219.
18. Maltseva I.A. Soil algae of forest ecosystems of steppe area of Ukraine // Algae in terrestrial ecosystems: Abstracts International Conference. Kaniv. 2005. P. 49.

References

1. Aleksakhina T.I., Shtina E.A. Soil algae of forest biogeocenosis. Moskva: Nauka, 1984. 148 p. (in Russian).
2. Novakovskaya I.V., Patova E.N. Soil algae of spruce forests and their changes in conditions of aerotechnogenic pollution. Syktyvkar, 2012. 128 p. (in Russian).
3. Shtina E.A. Algae of sod-podzolic soils of the Kirov region // Trudy Botanicheskogo instituta AN SSSR. Ser. 2. 1959. V. 12. P. 36–141 (in Russian).
4. Noskova T.S. Communities of algae of some soils of the Kirov region: Dis kand. biol. nauk. Kirov, 1968. 286 p. (in Russian).
5. Kondakova L.V., Domracheva L.I. Algae (species composition, specificity of water and soil biocenoses) // Flora of the Vyatka Territory. Kirov, 2007. Ch. 2. 192 p. (in Russian).
6. Chaplygin O.Ya. Soil algae of pine and spruce forests of the Moscow region // Botanicheskiy zhurnal. 1976. V. 61. No. 8. P. 1077–1088 (in Russian).
7. Domracheva L.I., Kondakova L.V., Popov L.B., Zyкова Yu.N. Bioremediation potential of soil cyanobacteria (review) // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2009. No. 1. P. 8–18 (in Russian).
8. Forests of the Kirov region / Eds. A.I. Vidyakin, T.Ya. Ashikhmina, S.D. Novoselov. Kirov: Kirovskaya oblastnaya tipografiya, 2007. 400 p. (in Russian).
9. Domracheva L.I. “Flowering” of soil and the laws of its development. Syktyvkar, 2005. 336 p. (in Russian).
10. Shtina E.A., Hollerbach M.M. Ecology of soil algae. Moskva: Nauka, 1976. 144 p. (in Russian).
11. Domracheva L.I., Dabakh E.V. Quantitative indicators of algal-mycological complexes as an initial stage of background soil survey // Actual problems of regional ecological monitoring: theory, methodology, practice: Mater. Vseros. nauch. shkoly. Kirov, 2004. Vyp. II. P. 132–135 (in Russian).
12. Kondakova L.V. Algo-cyanobacterial flora and its development in anthropogenically disturbed soils of the subzone of the southern taiga of the European part of Russia: Avtoref. dis. ... dok. biol. nauk. Syktyvkar. 2012. 34 p. (in Russian).
13. Kondakova L.V., Pirogova O.S., Ashikhmina T.Ya. Comparative analysis of algal flora of the floodplain

ecosystems of the Vyatka river on the territory of the State Nature Reserve «Nurgush» and in Zarechnyy Park in Kirov // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2016. No. 3. P. 68–75 (in Russian).

14. Lukesova A. Soil algae in Brown Coal and Lignite Post-Mining areas in Central Europe (Czech Republic and Germany) // *Restoration Ecology*. 2001. V. 9. No. 4. P. 341–350.

15. Starks T.L., Shubert L.E., Trainor F.R. Ecology of soil algae: a review // *Phycological*. 1981. V. 20 (1). P. 65–80.

16. Lukesova A., Hoffmann L. Soils algae from acid rain impacted forest areas of the Krusne hory Mts. 1. Algal communities // *Vegetation*. 1996. V. 125. P. 123–136.

17. Myers P.E. Davis J.S. Recolonization of soils by algae in a northcentral Florida pine forest after controlled fire and soil sterilization // *Nova Hedwigia*. 2003. V. 76. P. 207–219.

18. Maltseva I.A. Soil algae of forest ecosystems of steppe area of Ukraine // *Algae in terrestrial ecosystems: Abstracts International Conference*. Kaniv. 2005. P. 49.

УДК 908.470.40+547

Содержание ртути в почвах и биологических объектах природных и техногенных территорий

© 2017. А. Г. Горохова¹, к. б. н., м. н. с., А. И. Иванов², д. б. н., профессор, Н. А. Язынина¹, м. н. с., С. Е. Ермолаев³, к. т. н., начальник, М. В. Ферезанова⁴, к. т. н., в. н. с.,

¹1206 объект по хранению и уничтожению химического оружия, 440520, Россия, Пензенская обл., Леонидовка,

²Пензенский государственный аграрный университет, 440014, Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30,

³Федеральное управление по безопасному хранению и уничтожению химического оружия, 115487, Россия, г. Москва, ул. Садовники, 4-а,

⁴Научно-исследовательский центр Федерального управления по безопасному хранению и уничтожению химического оружия, 115487, Россия, г. Москва, ул. Садовники, 4-а, e-mail: fubhuho@mail.ru

В статье рассмотрена проблема содержания ртути (Hg) в почвах и биологических объектах зоны защитных мероприятий объекта УХО в пос. Леонидовка Пензенской области. Исследования показали, что среднее содержание Hg в серых лесных почвах района исследований значительно ниже ПДК и составляет 0,019 мг/кг. Среднее содержание Hg в древесных растениях было несколько выше и составило 0,0334 мг/кг. Вероятно, это объясняется контактом надземных частей растений с атмосферными выпадениями, а не миграцией Hg из почвы. Содержание Hg в исследованных образцах съедобных грибов оказалось в 3,5 раза выше, чем в почве. Вегетативный мицелий, на котором образуются их плодовые тела, находится внутри питающего субстрата и не контактирует непосредственно с атмосферными выпадениями. Поэтому грибы являются концентраторами Hg. Наиболее высокие коэффициенты накопления имели: зонтик высокий, подгруздок белый, волнушка розовая и шампиньон полевой; однако все полученные значения содержания Hg находились в пределах ПДК.

Ключевые слова: древесные растения, лесная растительность, мониторинг, токсичные элементы, природные среды, почвы, ртуть, грибы.

Content of mercury in soils and biological objects of natural and technogenic territories

A. G. Gorokhova¹, A. I. Ivanov², N. A. Yazynina¹, S. E. Ermolaev³, M. V. Ferezanova⁴,