

**Физиолого-микробиологический статус почв
после прекращения работы объекта по хранению и уничтожению
химического оружия «Марадьковский»**

© 2016. Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., профессор, зав. кафедрой,
Л. В. Кондакова^{1,2}, д. б. н., профессор, зав. кафедрой,
С. Ю. Огородникова^{1,2}, к. б. н., доцент,
Л. И. Домрачева^{2,3}, д. б. н., профессор,
А. Л. Коновалов³, аспирант, К. А. Безденежных¹, аспирант,

¹ Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,

³ Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133,
e-mail: nm-flora@rambler.ru

Было проведено изучение ферментативной активности почвы, видового и количественного состава альгофлоры, а также дана количественная оценка микоценозов в почвах после завершения работ на объекте по хранению и уничтожению химического оружия «Марадьковский». Установлено, что на территории санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и зоны защитных мероприятий (ЗЗМ) участки с дерново-подзолистой почвой характеризовались большей стабильностью активности каталазы и уреазы, чем с подзолистой почвой. Альгофлора фитоценозов объекта соответствует зональному типу почв. За период функционирования объекта не отмечено изменения структуры альгосинузий наблюдаемых участков мониторинга. В лесных фитоценозах преобладают зелёные водоросли (представители родов *Chlamydomonas*, *Coccomyxa*, *Stichococcus*, *Klebsormidium*). В луговых фитоценозах состав альгофлоры разнообразен, преобладают зелёные водоросли (39,2%) и цианобактерии (30,8%). Количественный альгологический анализ показал, что абсолютное доминирование во всех типах почвы принадлежит одноклеточным зелёным водорослям. Их численность колеблется от 270 до 717 тыс. кл./г. Минимальные показатели зарегистрированы в таких фитоценозах, как елово-берёзовый лес брусничный, сосняк мёртвопокровный и сосняк бруснично-зеленомошный, которые расположены на сильно- и среднеподзолистых почвах. Максимальные показатели водорослевого обилия отмечены в ельнике черничном на среднеподзолистой песчаной почве, при этом не произошло существенных изменений в количественных характеристиках фототрофов, по сравнению с предыдущими годами. Анализ структуры грибных популяций показывает, что доминирование в исследуемых почвах принадлежит окрашенным (меланизированным) микромицетам, которые могут составлять до 70% и вносят большой вклад в процессы гумификации почв.

Ключевые слова: почвенные ферменты, каталаза, уреазы, альгофлора, микромицеты.

**Physiological and microbiological status of soil after termination of the
chemical weapons storage and destruction facility «Maradykovskiy»**

T. Ya. Ashikhmina^{1,2}, L. V. Kondakova^{1,2}, S. Yu. Ogorodnikova^{1,2},
L. I. Domracheva^{2,3}, A. L. Konovalov³, K. A. Bezdenezhnykh¹,

¹ Vyatka State University,
36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

² Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,
28 Kommunisticheskaya St., Syktывkar, Komi Republic, Russia, 167982,

³ Vyatka State Agricultural Academy,
133 Oktyabrsky Prospect, Kirov, Russia, 610017,
e-mail: nm-iflora@rambler.ru

The paper presents the study of enzymatic activity of soil, as well as of the species and quantitative composition of the algal flora, and a quantitative assessment of soil mycocenoses after the termination of the facility of storage and destruction of chemical weapons «Maradykovskiy». It is found out that the areas with sod-podzolic soils are characterized by a greater stability of the catalase and urease activity as compared with podzolic soil. Algoflora of the phytocenoses in

the vicinity of the facility corresponds with the zonal soil types. For the period of the facility's functioning no changes were found in algosynusia of the monitored sites. In forest phytocenoses green algae (species of the genus *Chlamydomonas*, *Coccomyxa*, *Stichococcus*, *Klebsormidium*) prevail. In meadow phytocenoses algaeflora is diverse, still green algae (39.2%) and cyanobacteria (30.8%) prevail. Quantitative analysis has shown that in all soil types unicell green algae dominate. Their quantity varies from 270 to 717 thousand cells per gram. Minimal amount of them is in spruce-birch vaccinium forest, pine forest with dead soil covering, and vaccinium-pleurocarpus pine forest with modal- and mezopodzolic soils. Maximal amount of green algae are in spruce myrtillus forest with mezopodzolic sand soil, with no considerable changes in quantitative characteristics of phototrophs as compared with the years before. The analysis of the structure of fungal populations shows that colored (melanized) micromycetes dominate, their amount can be up to 70% and they make a great contribution to the processes of soil humification.

Keywords: soil enzymes catalase, urease, algaeflora, micromycetes.

В условиях возрастающего пресса на почву, ярко выраженного на техногенных территориях, особенно важно изучение роли микроорганизмов в процессах биологической реабилитации почв. Эколого-микробиологическая концепция охраны почв от химического загрязнения базируется на оценке жизнедеятельности сапротрофного микробного компонента со следующих позиций: деструкционной деятельности почвенной биоты, разлагающей загрязняющие вещества до простых минеральных соединений; средообразующей функции микроорганизмов в процессах миграции и трансформации загрязняющих веществ; аккумулялирующей роли микробного компонента, снижающей токсичность загрязнённых почв путём экзо- и эндомобилизации токсичных элементов [1]. Положения данной концепции справедливы и для почвенных фотосинтезирующих микробов – водорослей и цианобактерий (ЦБ), играющих существенную роль в биодиагностике качества окружающей среды, а также в процессах биосорбции токсичных веществ [2–4].

Фототрофные микроорганизмы и микроскопические грибы являются составной частью педоценозов любых природных экосистем. При этом водоросли и ЦБ как первичные продуценты обогащают почву легко доступным органическим веществом, стимулируя активность гетеротрофных организмов. Особая роль грибов в почвенных процессах обусловлена мощным ферментативным аппаратом, наличием многообразных способов размножения, высокой адаптационной способностью.

Исследования, проводимые сотрудниками лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН, показали, что альго-циано-микологические комплексы и актиномицетные группировки адекватно отражают состояние почвы в зоне действия объекта по хранению и уничтожению химического оружия (ХО) «Марадыковский» [5–8].

Детальное исследование альго-микологических комплексов почв различных фитоце-

нозов на территории СЗЗ и ЗЗМ объекта «Марадыковский» было проведено в 2004, 2005, 2007 и 2012 гг. По результатам исследований установлено, что характер развития микромицетов коррелирует и с типом почвы, и с типом леса. О степени активности грибов можно судить по длине грибного мицелия, которая достигала максимальной величины (около 3 км/г) в подзолистых почвах под сосновыми лесами с биомассой почти 8 т/га. Количество фрагментов мицелия, которое подсчитано с помощью прямого микроскопического метода (до 11 млн/г), намного превышает численность грибов, выявленную по результатам посева на селективные питательные среды (в этом случае определяемый показатель обычно не превышает 1 млн. КОЕ/г). Для лесных почв характерно увеличение в структуре популяций микромицетов пигментированных форм. В частности, было установлено, что микробными доминантами на исследуемой территории являлись микромицеты, биомасса которых в отдельных точках достигала свыше 3 т/га, а длина мицелия – 900–1200 м/г. При этом наибольшие запасы грибной биомассы характерны для подзолистых лесных почв. Замедленное развитие грибов фиксировалось в луговых фитоценозах на дерново-подзолистых почвах лёгкого гранулометрического состава, а также в болотно-подзолистой и дерново-глеевой почвах, где их биомасса не превышала 600–800 кг/га, а длина мицелия 50–400 м/г. При этом в почвенных пробах с некоторым повышением содержания таких поллютантов, как мышьяк и свинец, в структуре грибного мицелия преобладали меланизированные формы.

Результаты альгологического анализа показали, что в исследуемых почвах численность фототрофных микроорганизмов колебалась в значительных пределах – от 440 тыс. до 1 млн. клеток в 1 г почвы. Запасы водорослевой биомассы существенно ниже грибной. Так, одномоментная масса зелёных водорослей не

превышала 50 кг/га, в то время как у диатомей достигала до 1,8 т/га (болотные почвы).

Сравнение характера развития фототрофных и грибных комплексов в подзолистой почве в три срока наблюдения (2005, 2007 и 2012 гг.) показало, что за годы исследований минимальный пул фототрофов и микромицетов практически не снизился.

Видовое обилие альгофлоры в почвах луговых и лесных фитоценозов на территории СЗЗ и ЗЗМ объекта «Марадыковский» насчитывает 127 видов водорослей и ЦБ, в том числе Cyanobacteria – 41 (32,3%), Bacillariophyta – 11 (8,7%), Xanthophyta – 18 (14,2%), Eustigmatophyta – 4 (3,1%), Chlorophyta – 52 (40,9%), Euglenophyta – 1 (0,8%). Из 70 видов почвенных водорослей лесных фитоценозов нами отмечено преобладание зелёных водорослей – 31 вид (44,3%) (представители родов *Chlamydomonas*, *Coccomyxa*, *Stichococcus*, *Klebsormidium*), встречены представители жёлтозелёных – 15 видов (21,4%) (виды родов *Pleurochloris*, *Botrydiopsis*, *Characiopsis*). Почвы луговых фитоценозов имеют более богатую альгофлору. Из 123 выявленных видов преобладают зелёные водоросли (38,2%) и ЦБ (29,3%). Среди ЦБ интенсивно развиваются в культуре виды родов: *Nostoc*, *Phormidium*, *Oscillatoria*, *Cylindrospermum*. Среди зелёных водорослей основную роль играют представители родов *Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Klebsormidium*, *Chlorococcum*. Диатомовые водоросли представлены родами *Pinnularia*, *Navicula*, *Hantzschia*.

Выделение из почвенных образцов в чистую культуру отдельных видов ЦБ и актиномицетов позволило провести поиск толерантных к продуктам деструкции ХО (на примере метилфосфоновой кислоты) штаммов данных микроорганизмов. В перспективе именно эти штаммы могут использоваться для создания биопрепаратов, предназначенных для конструирования растительно-микробных консорциумов, эффективных в процессах ремедиации почв в период восстановительных мероприятий после прекращения действия объектов по уничтожению ХО.

Активность почвенных ферментов также относится к показателям, характеризующим состояние основных звеньев микробиологических процессов: синтеза и распада гумуса, гидролиза органических соединений, минерализации остатков высших растений и почвенного эдафона, окислительно-восстановительных процессов и т. д. В каждом типе почвы накапливается определенная совокупность

ферментов, качественный и количественный состав которых характерен для него. Однако интенсивность ферментативных процессов зависит от конкретных условий: наличия и концентрации субстрата, температуры, влажности, pH и др.

Среди методов биодиагностики почвы метод ферментативных реакций является одним из самых перспективных. Активность ферментов является более устойчивым и чувствительным показателем биогенности почв, чем интенсивность микробиологических процессов и продуцирование углекислого газа из почвы (её «дыхание»), количество и состав микрофлоры [9]. Теоретические предпосылки ферментативной диагностики и индикации почв следующие: источником продуцирования ферментов служат населяющие почву живые организмы – растения, микроорганизмы и зообиота, которые в совокупности составляют биологический фактор почвообразования; в процессе почвообразования создаётся в каждом типе почвы определённый уровень и соотношение активности ферментов, что определяет интенсивность и направленность почвенных биохимических процессов; с помощью ферментов осуществляется разложение и синтез органических соединений почв.

Одним из ферментов, признанным многими учёными индикатором интегрального состояния почвы, является каталаза, которая относится к окислительно-восстановительным ферментам, класс оксидоредуктазы. Каталаза в почвенной биодинамике участвует в разложении пероксида водорода на воду и кислород. Повышение и снижение каталазной активности косвенно указывает на состояние микробного комплекса почв, так как пероксид водорода образуется в процессе дыхания микроорганизмов и в результате различных биохимических реакций. Таким образом, если жизнедеятельность микроорганизмов ингибируется, например, высокотоксичным поллютантом, то необходимость в наработке каталазы отсутствует: наблюдается снижение содержания фермента и его активности. Если поллютант до определённого уровня его накопления в почве может использоваться микроорганизмами в качестве источника энергии и (или) питательных веществ, то будет наблюдаться повышение активности фермента.

Другой почвенный фермент уреазы относится к классу гидролаз. Уреаза катализирует гидролиз мочевины, которая попадает в почву в составе растительных остатков, навоза, клеточной стенки грибов и панцирей членистоно-

гих. Мочевина также образуется в самой почве в качестве промежуточного продукта в процессе превращения азотистых органических соединений – белков и аминокислот. Продукт гидролиза мочевины – аммиак (в почвенном растворе ион аммония) – служит непосредственным источником азотного питания для высших растений [10].

Цель данной работы – изучить активность почвенных ферментов и состояние альго-циано-микологических комплексов на отдельных площадках мониторинга непосредственно после прекращения действия объекта по уничтожению ХО на территории Кировской области.

Объекты и методы

Объектами исследования были образцы почв, отобранные с нескольких площадок мониторинга на территории СЗЗ и ЗЗМ объекта по хранению и уничтожению химического оружия «Марадыковский (см. рис. 1).

При определении ферментативной активности использовались традиционные методы. Активность почвенной каталазы определяют газометрическим методом, основанном на измерении объёма кислорода, который выделяется при взаимодействии почвы с пероксидом водорода. В колбу ёмкостью 100 мл вносят 1 г почвы и 0,5 г карбоната кальция. Осторожно на дно колбы помещают стаканчик с 5 мл 3% раствора пероксида водорода. Колбу плотно закрывают пробкой с трубкой, соединённой с бюреткой. Начало опыта отмечают по секундомеру в тот момент, когда опрокидывают сосудик с пероксидом. В течение минуты встряхивают содержимое колбы. Количество выделившегося молекулярного кислорода учитывают по изменению уровня воды в бюретке. Контроль – стерилизованная сухим жаром (180 °С) почва. Активность каталазы выражают в см³ O₂, выделившегося на 1 г почвы [10].

Активность почвенной уреазы оценивали по методике, основанной на учёте количества аммиака, выделившегося в процессе ферментативного гидролиза мочевины. В колбу помещают 2 г почвы, 5 мл фосфатного буфера (рН=6,7) и 5 мл 10% раствора мочевины, инкубируют полученную смесь в течение 2 часов при температуре 30 °С. После инкубации к раствору добавляют 7,5 мл 1 н раствора хлорида калия, перемешивают и фильтруют через бумажный фильтр. Отбирают 1 мл фильтрата, переносят в мерную колбу объёмом 25 мл, до-

бавляют 1 мл реактива Несслера и 1 мл 50% раствора сегнетовой соли, перемешивают и добавляют дистиллированной воды. Оптическую плотность образовавшегося раствора измеряют на спектрофотометре при длине волны 480 нм в кюветах шириной 20 мм. Активность уреазы измеряют в мг аммиака, выделившегося на 10 г почвы в сутки [10].

В отобранных почвенных образцах определяли видовой состав водорослей и ЦБ, а также их численность. Для характеристики микоценозов определяли длину грибного мицелия и численность грибных спорул. Определение видового состава фототрофов проводили на стёклах обрастания [11]. Количественные показатели альго- и микоценозов определяли методом прямого микроскопического учёта на мазках [12].

Результаты и обсуждение

В 2015 г. было продолжено изучение активности каталазы в почвах участков, расположенных на территории СЗЗ и ЗЗМ объекта «Марадыковский». Для определения динамики изменения активности фермента был проведён анализ активности каталазы за три года мониторинга. Значения активности фермента представлены на рисунке 2.

Активность каталазы в почвах, расположенных на территории СЗЗ и ЗЗМ объекта «Марадыковский», в 2015 г. варьировала от 1,1 до 6,4 мл O₂/г почвы мин⁻¹. Как и в другие годы мониторинговых исследований, наибольшие значения активности фермента выявлены в образцах подзолистой почвы. Активность каталазы в дерново-подзолистой почве была ниже, чем в подзолистой и варьировала в диапазоне 1,1 до 3,3 мл O₂/г почвы мин⁻¹.

Изучение динамики каталазы по годам позволило выявить участки с подзолистой почвой, где активность фермента варьирует значительно. За три года исследований (2013–2015 гг.) отмечали существенное (на 30% и более) снижение каталазной активности в почвах, отобранных на участках мониторинга №№ 5, 13, 17, 18, 19, 36, 47, 59. Следует отметить, что существенное изменение активности почвенной каталазы было выявлено на данных участках и ранее. Например, за последние годы наблюдений (2011–2014 гг.) существенное варьирование активности каталазы отмечали в почвах, отобранных с участков №№ 13, 17, 18, 47.

Как и в другие годы исследований, стабильными значениями каталазной активности

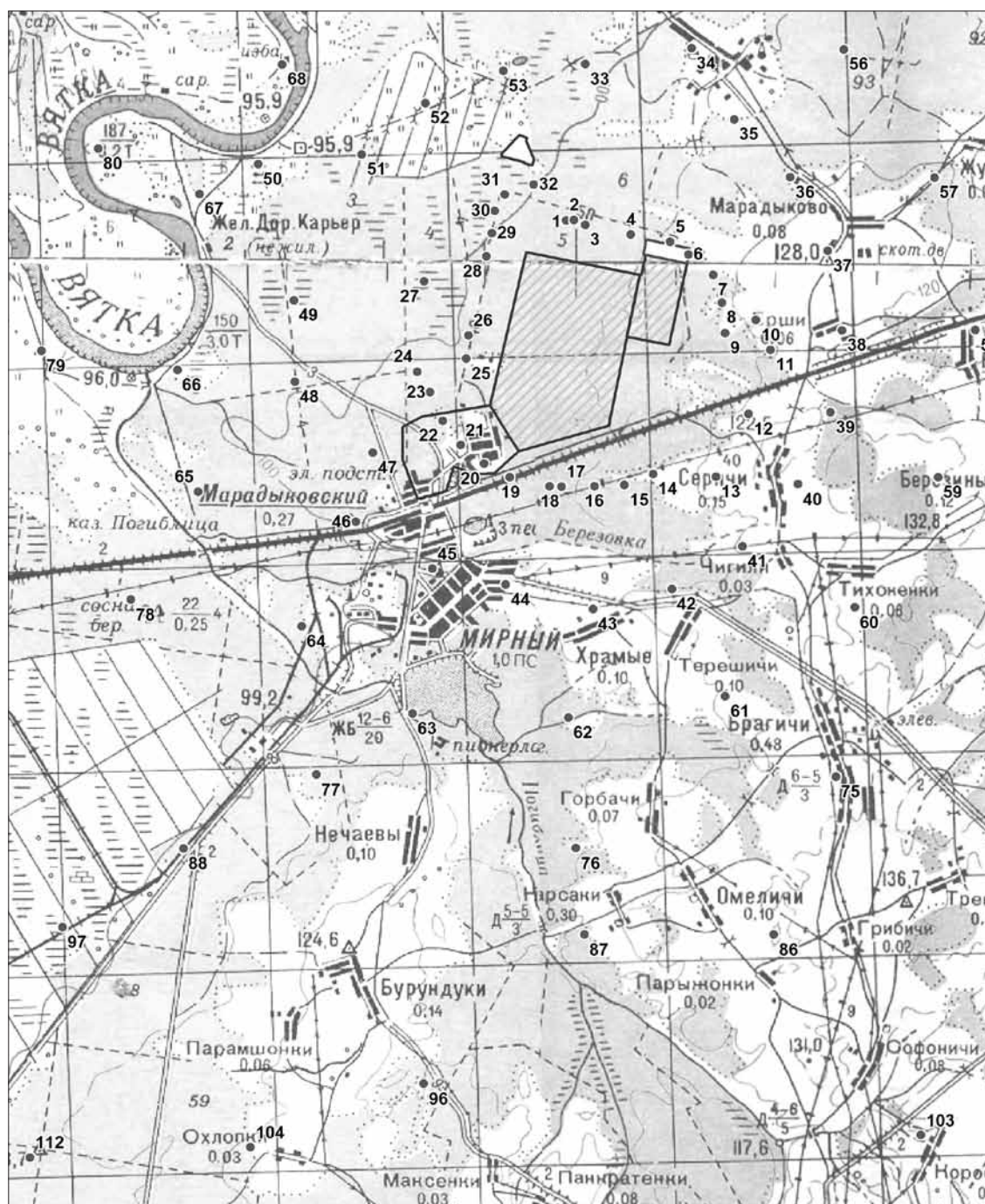


Рис. 1. Карта-схема участков мониторинга в районе объекта «Марадыковский»

в почве отличался фоновый участок № 112. В 2015 г., по сравнению с 2014 г., активность каталазы в почве снизилась, что, по-видимому, обусловлено климатическими особенностями вегетационного сезона, холодной и дождливой погодой в течение июля-августа 2015 г.

Участки с дерново-подзолистой почвой характеризовались большей стабильностью ферментативной активности (рис. 2). В 2015 г. активность каталазы в дерново-подзолистых почвах была ниже, по сравнению с 2014 г. Сходную тенденцию отмечали и для подзоли-

стых почв. Подобное уменьшение активности почвенной каталазы, возможно, связано с климатическими особенностями лета 2015 г. Снижение активности каталазы в почве отмечали на всех участках мониторинга, за исключением наиболее удаленного от ОУХО участка № 60 (рис. 2 Б).

Была изучена также активность почвенных ферментов в аллювиальных почвах, отобранных на территории СЗЗ и ЗЗМ на участках мониторинга 54 и 66 (табл. 1). Активность каталазы в аллювиальной почве была выше,

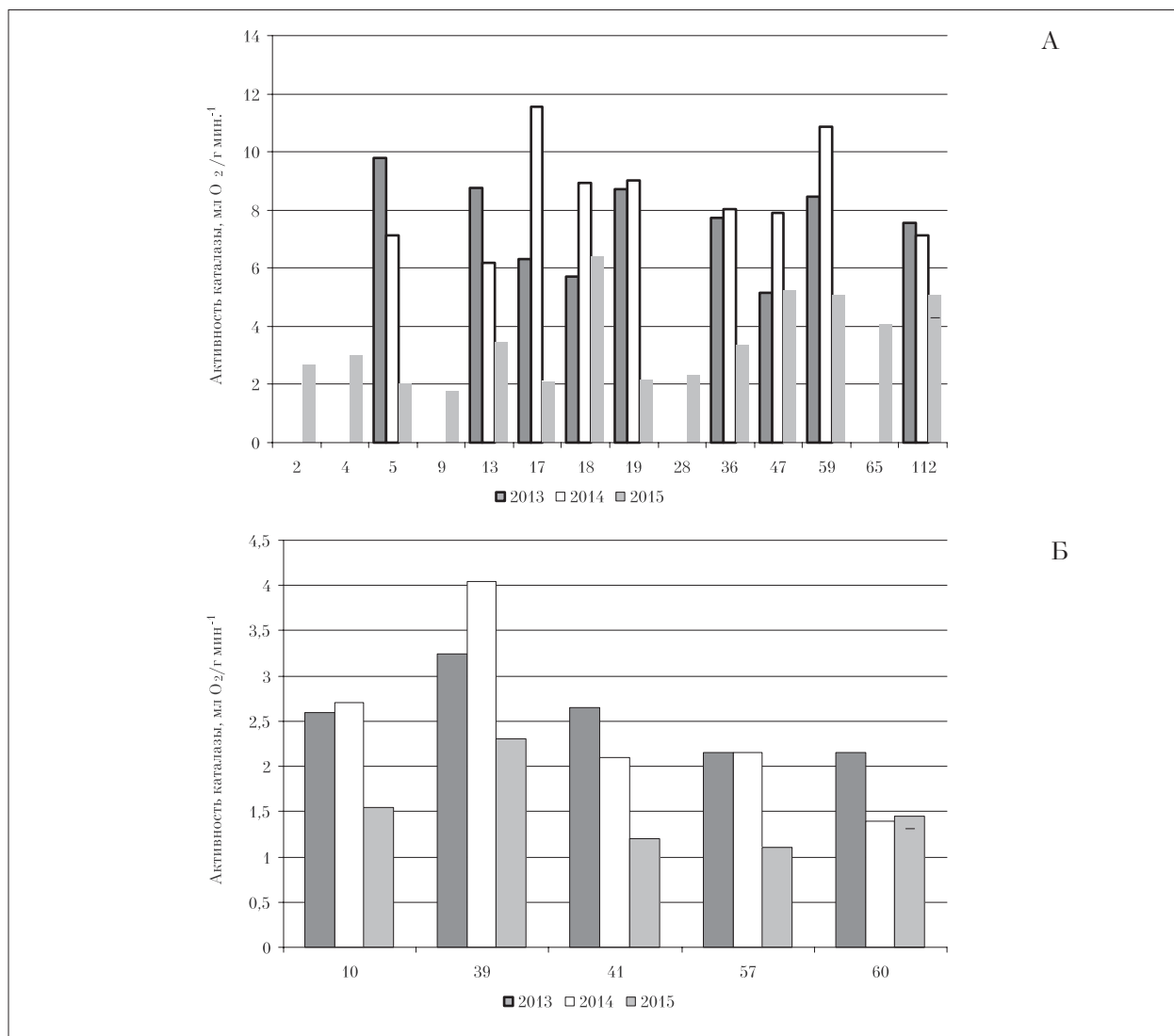


Рис. 2. Активность каталазы в почвах на территории СЗЗ и ЗЗМ объекта «Марадыковский» за 2013–2015 гг.

А – подзолистая почва, Б – дерново-подзолистая почва.

Примечание: Здесь и далее на рис. 2–3 по оси абсцисс приведены номера участков мониторинга.

Таблица 1

Активность ферментов в аллювиальных почвах, 2015 г.

Номер участка	Активность ферментов	
	каталаза, мл O ₂ /г почвы мин ⁻¹	уреаза, мг NH ₃ /10 г почвы сут ⁻¹
54	2,6±0,32	2,74±0,19
66	4,9±0,14	3,15±0,16

чем в дерново-подзолистой, что обусловлено физико-химическими и биологическими особенностями данного типа почв.

В 2015 г. продолжено изучение активности гидролитического фермента уреазы в почвах в районе объекта по хранению и уничтожению химического оружия (ОХУХО).

При сравнении данных по активности уреазы в почвах за 2013–2015 гг. исследований выявлен ряд особенностей. В подзолистых

почвах активность уреазы в 2013–2015 гг. существенно варьировала (рис. 3). В 2015 г., по сравнению с 2014 г., отмечали существенное снижение активности уреазы. Причем уменьшение активности фермента было отмечено и в почве, отобранной с фонового участка № 112, который на протяжении ряда лет отличался стабильностью активности данного фермента. Наибольшее изменение активности фермента за три года исследований (2013–2015 гг.)

выявлено в почвах, отобранных с участков мониторинга №№ 5, 18, 19, 36, 47, 59.

Активность уреазы зависит от типа почв. В подзолистых почвах активность уреазы выше, чем в дерново-подзолистой почве (рис. 4). Активность уреазы в дерново-подзолистых почвах участков мониторинга в 2015 г. варьировала в пределах 0,8–1,8 мг NH₃/10 г почвы сут⁻¹. При сравнении по годам, активность почвенной уреазы в дерново-подзолистых почвах в 2015 г. была ниже, чем в 2014 г. Значительное снижение активности фермента отмечали в почвах, отобранных на участках №№ 10, 39, 57 и 60.

При сравнении изменения активности почвенных ферментов в разных типах почвы выявлено, что дерново-подзолистые почвы, по сравнению с подзолистыми, отличаются большей стабильностью показателей. Дерново-подзолистые почвы благодаря наличию более

мощного гумусового горизонта проявляют повышенную стабильность даже в отношении таких динамичных показателей, как ферментативная активность.

Подзолистые почвы характеризуются низким содержанием гумуса и ила – веществ, обуславливающих буферную способность почв. Любые изменения, касающиеся действия и природных и антропогенных факторов, в большей степени отражаются на свойствах всех фаз подзолистой почвы, в том числе и на обилии почвенного микробного комплекса, являющегося главным источником почвенных ферментов.

Таким образом, на основании изучения динамики каталазы и уреазы по годам выявлены участки с подзолистой почвой, где активность фермента варьирует значительно: №№ 5, 18, 19, 36, 47, 59. На фоновом участке № 112, который максимально удален от ОХУ-ХО «Марадыковский», активность каталазы

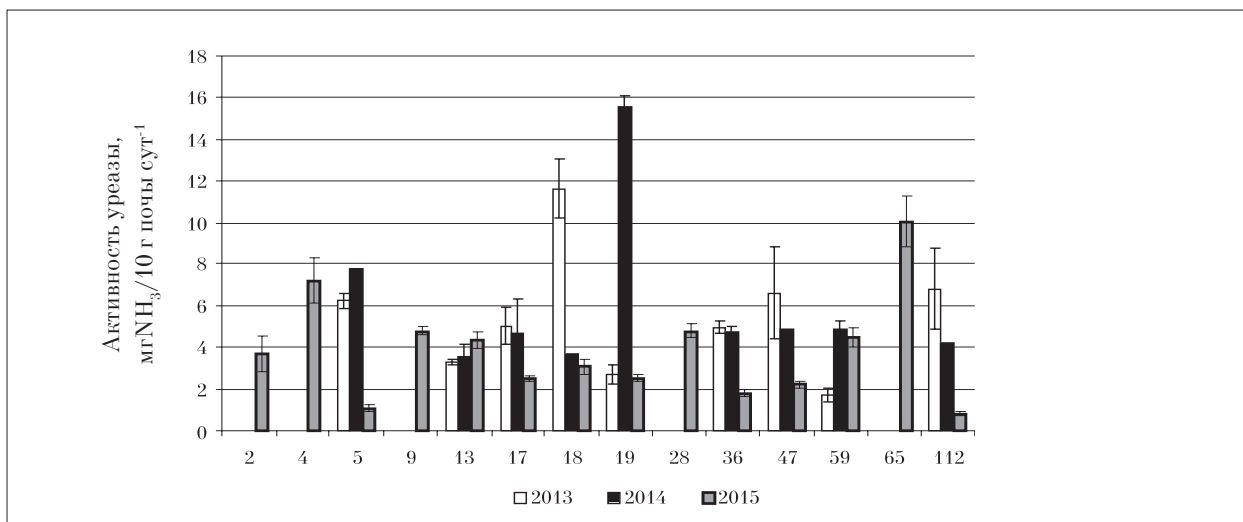


Рис. 3. Активность уреазы в подзолистых почвах, расположенных на территории СЗЗ и ЗЗМ объекта «Марадыковский» в 2013–2015 гг.

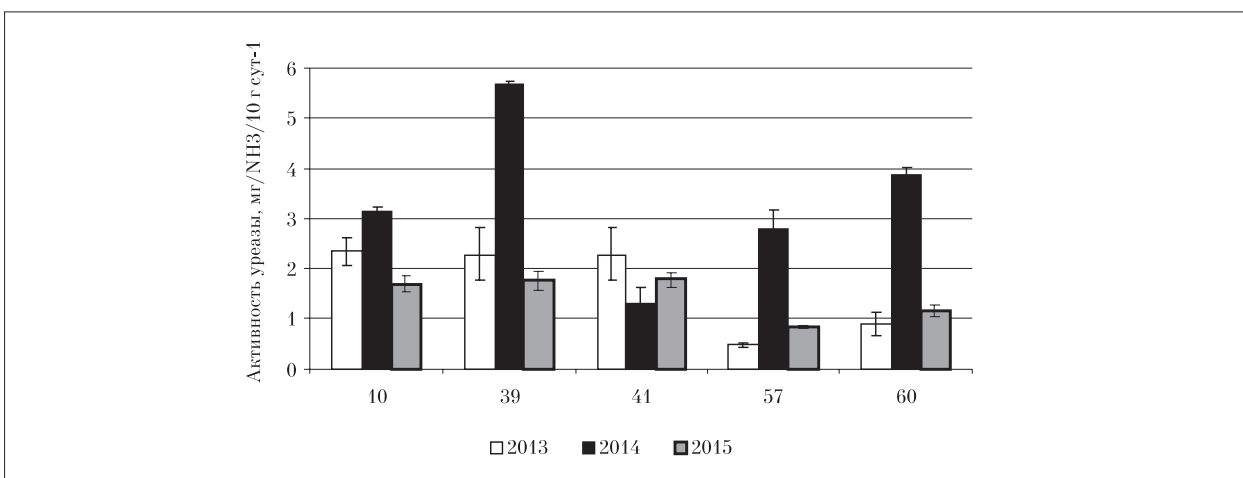


Рис. 4. Активность уреазы в дерново-подзолистых почвах, расположенных на территории СЗЗ и ЗЗМ объекта «Марадыковский» в 2013–2015 гг.

по годам стабильна, но в 2015 г. отмечали снижение ферментативной активности. Уменьшение активности почвенных ферментов, по-видимому, обусловлено климатическими особенностями вегетационного сезона 2015 г. Участки с дерново-подзолистой почвой характеризовались большей стабильностью ферментативной активности, чем с подзолистой почвой. На основании изучения динамики ферментативной активности почв за 3 года исследований выявлены участки с дерново-подзолистой почвой, где активность фермента варьирует значительно: №№ 10, 39, 57.

Для флористического анализа было взято 10 почвенных образцов, отобранных на близлежащей к объекту территории (участки №№ 10, 13, 18, 19 и 28) и на большем удалении от него (участки №№ 41, 47, 57, 59 и 112). В качестве контрольной территории был выбран участок № 112, наиболее удаленный от объекта. Участки мониторинга представлены лесными и луговыми биоценозами.

Всего на исследованных участках мониторинга выявлен 41 вид водорослей и ЦБ, в том числе: Cyanobacteria – 11; Chlorophyta – 20; Xanthophyta и Eustigmatophyta – 7; Bacillariophyta – 3. Альгофлора луговых и лесных фитоценозов имеет существенные различия в соотношении основных отделов. Согласно литературным данным, преобладающими в почвах всех типов лесов являются зелёные водоросли, иногда массового развития достигают жёлтозелёные. ЦБ и диатомовые водоросли представлены небольшим числом видов и не играют значительной роли в альгосинузиях лесных почв [13]. Исследованиями [14] установлено, что аэротехногенное загрязнение вызывает уменьшение видового разнообразия почвенных водорослей, изменение структуры ведущих семейств и родов. Наименьшее видовое разнообразие отмечено в еловых лесах (участки №№ 13, 18 и 59), где выявлены представители только зелёных водорослей и не встречены жёлтозелёные и диатомовые водоросли (табл. 2). В сосновых лесах (участки №№ 19, 28 и 112), наряду с зелёными водорослями, отмечены и представители жёлтозелёных водорослей. На участке № 112, расположенном в удалении от объекта, разнообразие жёлтозелёных и эустигматофитовых водорослей выше, чем в других лесных фитоценозах. Всего в лесных фитоценозах осенью 2015 г. было выявлено 22 вида водорослей, в том числе 17 видов из отдела Chlorophyta и 5 из отдела Xanthophyta. Выявленные виды альгофлоры отмечались в почвах данных участков и ранее [15].

В луговых биоценозах наиболее богатое видовое разнообразие и полночленная группировка альгофлоры отмечены на участке № 57: 11 видов ЦБ, зелёных водорослей 8 видов, жёлтозелёных 4 вида и диатомовых 3 вида. На участке № 10, расположенном ближе к объекту, отмечены только зелёные (6 видов) и жёлтозелёные водоросли (7 видов). Низкое видовое разнообразие альгофлоры выявлено на участке № 41.

Влияние техногенной нагрузки проявляется в уменьшении видового разнообразия альгофлоры на участках, расположенных ближе к объекту. Необходимо дальнейшее изучение и глубокий анализ характера развития почвенной альгофлоры для оценки воздействия объекта на этапе ликвидации последствий его деятельности.

Количественный учёт водорослей, ЦБ и грибов проводили, используя образцы почв, отобранные в 7 лесных фитоценозах на участках мониторинга №№ 2, 5, 9, 17, 18, 28 и 36 в сентябре 2015 г. одновременно с проведением флористического анализа и определением ферментативной активности.

Для каждого участка определены тип фитоценоза и тип почвы (табл. 3).

Альгологический количественный анализ показал, что абсолютное доминирование во всех типах почвы принадлежит одноклеточным зелёным водорослям. Их численность колеблется от 270 до 717 тыс. кл./г. Минимальные показатели зарегистрированы в таких фитоценозах, как елово-березовый лес бруснично-зеленомошный и сосняк мертвопокровный и сосняк бруснично-зеленомошный, которые расположены на сильно- и среднеподзолистых почвах. Максимальные показатели водорослевого обилия отмечены в ельнике черничном на среднеподзолистой песчаной почве (табл. 3). Сравнивая полученные показатели с результатами количественного определения водорослей в данных фитоценозах в предыдущие годы, следует отметить, что существенных изменений в количественном статусе альгоценозов не произошло.

При анализе результатов количественного микологического анализа видно, что численность грибных фрагментов в почвах исследуемых фитоценозов колеблется от 314 до 1592 тыс./г. Минимальные показатели характерны для подзолистых почв (табл. 3). Данные значения существенно ниже показателей грибного обилия, отмеченного в предыдущие годы, когда численность грибных фрагментов в почве достигала 11 млн./г при

МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ПО УНИЧТОЖЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

Таблица 2

Видовой состав водорослей и ЦБ лесных и луговых биоценозов в почвах на территории СЗЗ и ЗЗМ объекта «Марадыковский»

№ п/п	Виды	Участки мониторинга									
		10	13	18	19	28	41	47	57	59	112
Отдел Cyanobacteria											
1	<i>Anabaena sp.</i>								+		
2	<i>Leptolyngbya angustissima</i> (W. et G. S. West) Anagn. et Kom.								+		
3	<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Rabenh. et Gom.) Anagn. et Kom.								+		
4	<i>Leptolyngbya fragilis</i> (Gom.) Anagn. et Kom.								+		
5	<i>Phormidium boryanum</i> Kütz.								+		
6	<i>Phormidium formosum</i> (Bory ex Gom.) Anagn. et Kom.								+		
7	<i>Phormidium inundatum</i> Kütz.						+		+		
8	<i>Nostoc commune</i> Vauch. sen. Elenk.								+		
9	<i>Nostoc punctiforme</i> (Kütz.) Hariot								+		
10	<i>Nostoc lnickia</i> (Roth) Born. Et Flah. f. <i>linckia</i>								+		
11	<i>Oscillatoria sp.</i>								+		
Отдел Chlorophyta											
12	<i>Actinochloris sphaerica</i> Korsch.							+			
13	<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrova	+			+			+		+	+
14	<i>Chlamydomonas conversa</i> Korsch.					+					+
15	<i>Chlamydomonas gloeogama</i> Korsch. in Pascher var. <i>gloeogama</i>	+	+	+		+	+	+	+	+	+
16	<i>Chlamydomonas oblongella</i> Lund					+					
17	<i>Chlamydomonas pertusa</i> Chod.	+									
18	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i> Dang.		+								
19	<i>Chlorococcum infusionum</i> (Scharnk) Menegh.	+	+	+	+	+	+		+	+	
20	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer. var. <i>vulgaris</i>			+					+		
21	<i>Cylindrocystis crassa</i> De Bary								+		
22	<i>Coccomyxa confluens</i>				+			+			
23	<i>Cosmarium anceps</i> Lund.								+		
24	<i>Gongrosira debaryana</i> Rabenh.	+	+						+		
25	<i>Klebsormidium flaccidum</i> Kütz. Silva et al.								+		
26	<i>Klebsormidium dissecta</i> Korsch.				+						
27	<i>Klebsormidium nitens</i> (Minegh. in Kütz.) Lokh.				+	+	+		+		
28	<i>Penium borgeanum</i> Skuja					+					+
29	<i>Pseudococcomyxa simplex</i> (Mainx) Fott	+		+	+	+	+			+	+
30	<i>Stichococcus minor</i> Näg.				+						
31	<i>Tetracystis sp.</i>		+			+					
Отдел Bacillaroiphyta											
32	<i>Pinnularia borealis</i> Ehr.								+		
33	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun. in Cleve et Grun.								+		
34	<i>Luticola mutica</i> (Kütz.) Mann in Round et al.								+		
Отдел Eustigmatophyta											
35	<i>Eustigmatos magnus</i> (B. Petersen) Hibberd	+			+		+	+	+		+
36	<i>Vischeria aculeate</i> Pasch.	+									
37	<i>Vischeria helvetica</i> (Vischer et Pasch.) Hibberd	+									
Отдел Xanthophyta											
38	<i>Botrydiopsis arhiza</i> Borzi	+									+
39	<i>Botrydiopsis eriensis</i> Snow	+							+		+
40	<i>Pleurochloris commutata</i> Pasch.	+							+		+
41	<i>Pleurochloris pyrenoidosa</i> Pasch.	+			+	+					+

Таблица 3

Численность водорослей и микроскопических грибов в почвах лесных фитоценозов

№ участка	Фитоценоз	Тип почвы	Численность водорослей, тыс. клеток/г	Численность грибов, тыс. фрагментов/г
2	Елово-березовый лес брусничный	Сильнопodzолистая, песчаная	282±7	1592±375
5	Елово-березовый лес чернично-мёртвопокровный	Среднеpodzолистая, песчаная	462±18	1175±47
9	Сосняк мёртвопокровный	Среднеpodzолистая, песчаная	270±28	474±15
17	Ельник черничный с вейником	Среднеpodzолистая, песчаная	717±25	1549±312
18	Сосняк бруснично-зеленомошный с вейником	Среднеpodzолистая, песчаная	432±50	1000±175
28	Сосняк чернично-брусничный с вейником	Среднеpodzолистая, песчаная	282±25	1332±225
36	Елово-березовый лес мёртвопокровный	Сильнопodzолистая супесчаная	432±115	1049±190

Таблица 4

Длина грибного мицелия и структура популяций грибов в сильнопodzолистой лесной почве, 2015 г.

№ участка	Длина мицелия, м/г			Структура популяций, %	
	бесцветный	окрашенный	общая	бесцветный мицелий	окрашенный мицелий
2	640	1192	1822	34,9	65,1
5	400	468	868	46,1	53,9
9	296	514	810	36,5	63,5
17	294	459	753	39,0	61,0
18	176	284	460	38,3	61,7
28	175	386	563	31,1	68,9
36	166	268	434	38,2	61,8

минимальных показателях не менее 500 тыс. фрагментов мицелия в 1 г.

Ещё одним доказательством деструкционной активности грибов в почве является длина их мицелия, которая может достигать нескольких километров в 1 г почвы. Например, в podzолистой песчаной почве под сосняком в 2007 г. нами зафиксирована длина мицелия до 3 км/г [5]. В исследованиях 2015 г. подобной величины обнаружено не было, хотя максимальный показатель этой величины близок 2 км/г в сильно podzолистой почве под елово-березовым лесом (табл. 4). На других участках, под другими фитоценозами длина мицелия колебалась в пределах от 434 до 868 м/г почвы.

Анализ структуры грибных популяций показывает, что доминирование в исследуемых почвах принадлежит окрашенным (меланизированным) микромицетам, которые могут составлять до 54–69% и вносят большой вклад в процессы гумификации почв.

Таким образом, исследования, проводимые более десяти лет в лесных фитоценозах на участках мониторинга территории СЗЗ и ЗЗМ объекта «Марадыковский», позволяют оценить количественный вклад микроскопических водорослей и грибов в жизнь почвы как достаточно стабильный с определёнными колебаниями показателей численности клеток водорослей, фрагментов и длины мицелия в различные годы. Однако минимальные величины, зафиксированные в 2015 г., не опускаются ниже минимального пула водорослей и микромицетов, зарегистрированных в другие годы исследований.

Работа выполнена в рамках Госзадания по проекту № 863 (2016 г.).

Работа выполнена в рамках НИР «Оценка последствий антропогенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» (номер государственной регистрации 115020310080), включенных в государственное задание ИБ Коми НЦ УРО РАН на 2016 г.

Литература

References

1. Евдокимова Г.А. Почвенная микробиота как фактор устойчивости почв к загрязнению // Теоретическая и прикладная экология, 2014. № 2. С. 17–24.
2. Биологический мониторинг природно-техно-генных систем / Под ред. Т.Я. Ашихминой, Н.М. Ала-лыкиной. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2011. 388 с.
3. Домрачева Л.И., Ашихмина Т.Я., Дабах Е.В., Кондакова Л.В., Кантор Г.Я., Огородникова С.Ю., Вараксина А.И. Микробиологические аспекты в экологическом мониторинге почв в районе объекта хранения химического оружия // Экология и биология почв: проблемы диагностики и индикации. Матер. междунар. научн. конф. Ростов-на-Дону. 2006. С. 158–161.
4. Ашихмина Т.Я., Домрачева Л.П., Домнина Е.А., Кантор Г.Я., Кочурова Т.П., Кондакова Л.В., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Панфилова И.В. Система биологического мониторинга компонентов природной среды в районе объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадьковский» Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 4. С. 32–38.
5. Домрачева Л.И., Кондакова Л.В. Микромицеты лесных почв – количественная характеристика // Проблемы лесной фитопатологии и микологии: Сб. материалов 7 междунар. конф. г. Пермь. 7–13 сентября 2009 г. Пермь, 2009. С. 58–60.
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 «Марадьковский» // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 4. С. 73–78.
7. Кондакова Л.В., Домрачева Л.И., Огородникова С.Ю., Олькова А.С., Кудряшов Н.А., Ашихмина Т.Я. Биоиндикационные и биотестовые реакции организмов на действие метилфосфонатов и пирофосфата натрия // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 63–69.
8. Ашихмина Т.Я., Товстик Е.В., Огородникова С.Ю., Широких И.Г. Изучение реакций почвенных актиномицетов на отдельные продукты деструкции химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 4. С. 70–84.
9. Галстян А.Ш. Ферментативная диагностика почв // Проблемы и методы биологической диагностики и индикации почв. Труды Всесоюзного совещания. Изд-во МГУ, 1980. С. 110–121.
10. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
11. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 144 с.
12. Домрачевы Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития: Монография. Сыктывкар, 2005. 336 с. (Коми научный центр УрО РАН).
13. Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 149 с.
14. Новаковская И.В., Патова Е.Н. Почвенные водоросли еловых лесов и их изменения в условиях аэротехногенного загрязнения. Сыктывкар, 2011. 128 с.
15. Кондакова Л. В. Альго-цианобактериальная флора и особенности её развития в антропогенно нарушенных почвах (на примере почв подзоны южной тайги): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Сыктывкар, 2012. 34 с.

1. Evdokimova G.A. Soil microbiota as a factor of soil resistance to pollution // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2014. № 2. P. 17–24 (in Russian).
2. Biological monitoring of natural and man-made systems / Eds. T.Ya. Ashikhmina, N.M. Alalykina. Syktyvkar: Komi nauchnyy tsentr UrO RAN, 2011. 388 p. (in Russian).
3. Domracheva L.I., Ashikhmina T.Ya., Dabakh Ye.V., Kondakova L.V., Kantor G.Ya., Ogorodnikova S.Yu., Varaksina A.I. Microbiological aspects of environmental monitoring of soils in the area of a chemical weapons storage facility // Ekologiya i biologiya pochv: problemy diagnostiki i indikatsii. Mater. mezhdunar. nauchn. konf. Rostov-na-Donu. 2006. P. 158–161 (in Russian).
4. Ashikhmina T.Ya., Domracheva L.P., Domnina Ye.A., Kantor G.Ya., Kochurova T.P., Kondakova L.V., Ogorodnikova S.Yu., Olkova A.S., Panfilova I.V. Biological monitoring of environmental components in the system area of the chemical weapons storage and destruction facility «Maradykovskiy», Kirov region // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2008. № 4. P. 32–38 (in Russian).
5. Domracheva L.I., Kondakova L.V. Micromycetes of forest soils – quantitative characteristic // Problemy lesnoy fitopatologii i mikologii: Sb. materialov 7 mezhdunar. konf. g. Perm. 7–13 sentyabrya 2009 g. Perm, 2009. P. 58–60 (in Russian).
6. Domracheva L.I., Ashikhmina T.Ya., Kondakova L.V., Dabakh Ye.V., Yelkina T.S. Comparative analysis of specific soil algo-mycological complexes in the zone of chemical weapons storage and destruction facility «Maradykovskiy» // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2012. № 4. P. 73–78 (in Russian).
7. Kondakova L.V., Domracheva L.I., Ogorodnikova S.Yu., Olkova A.S., Kudryashov N.A., Ashikhmina T.Ya. Bioindicative and biotesting reaction of organisms to methylphosphonate and sodium pyrophosphate // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2014. № 4. P. 63–69 (in Russian).
8. Ashikhmina T.Ya., Tovstik Ye.V., Ogorodnikova S.Yu., Shirokikh I.G. Studying the reactions of soil actinomycetes into separate degradation products of chemical weapons // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2014. № 4. P. 70–84 (in Russian).
9. Galstyan A.Sh. Enzymatic soil diagnostics // Problemy i metody biologicheskoy diagnostiki i indikatsii pochv. Trudy Vsesoyuznogo soveshchaniya. Izd-vo MGU, 1980. P. 110–121 (in Russian).
10. Khaziyev F.Kh. Methods of soil enzymology. M.: Nauka, 2005. 252 p. (in Russian).
11. Shtina E.A., Gollerbakh M.M. Ecology of soil algae. M.: Nauka, 1976. 144 p. (in Russian).
12. Domracheva L.I. Soil «Flowering» and the laws of its development: Monograph. Syktyvkar, 2005. 336 p. (Komi nauchnyy tsentr UrO RAN) (in Russian).
13. Aleksakhina T.I., Shtina E.A. Soil algae forest ecosystems. M.: Nauka, 1984. 149 p. (in Russian).
14. Novakovskaya I.V., Patova Ye.N. Soil algae spruce forests and its change in conditions of environmental contamination. Syktyvkar, 2011. 128 p. (in Russian).
15. 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).