

Мониторинг растительности в районе предприятий по утилизации опасных промышленных отходов

© 2025. Е. А. Домнина^{1,2}, к. б. н., с. н. с., доцент, Е. В. Дабах¹, к. б. н., с. н. с.,
Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., зав. лабораторией, г. н. с.,
Г. Я. Кантор^{1,2}, к. т. н., с. н. с., А. С. Тимонов^{1,2}, вед. инженер,
¹Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
²Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,
e-mail: ecolab2@gmail.com

На базе ликвидированного объекта уничтожения химического оружия (ОУХО) в Кировской области создаётся производственно-технический комплекс Экотехнопарк «Мирный» (далее – ПТК). На основе опыта проведения мониторинга растительности в санитарно-защитной зоне и зоне защитных мероприятий ОУХО даны рекомендации по организации системы мониторинга растительности на территориях, прилегающих к химически опасным объектам. При перепрофилировании ОУХО необходимо учитывать состояние растительности до начала деятельности нового предприятия и рассматривать это состояние как природно-антропогенный фон. Он будет отличаться от естественного фона, но будет объективно отражать влияние на окружающую среду нового предприятия. Травянистая (луговая) растительность отличается большей пластичностью во времени. В связи с этим в таёжно-лесной зоне мониторинг растительности на лесных участках является более информативным, чем на луговых. Рекомендуемый регламент наблюдений за состоянием растительности – ежегодно один раз в одно и то же время; отбор проб хвои и талломов лишайника проводится одновременно с наблюдениями за растениями. При организации мониторинга объекта участки мониторинга растительности следует располагать на разном расстоянии от источников загрязнения с учётом розы ветров и сети мониторинга почв, а также наличия индикаторных видов. При выявлении в талломах лишайников и в хвое загрязняющих веществ, образующихся в результате деятельности ПТК, сеть наблюдений необходимо расширить в соответствующих направлениях с учётом наличия видов-индикаторов. Для вычленения влияния природных факторов следует проводить исследования на фоновых территориях. Пролонгированное действие объекта рекомендуется оценивать по изменению концентраций загрязняющих веществ в лишайниках и хвое сосны на разном удалении от источника воздействия.

Ключевые слова: мониторинг, растительность, загрязнение, *Pinus silvestris* L., *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.

Vegetation monitoring in the area of hazardous industrial waste disposal facilities

© 2025. E. A. Domnina^{1,2}, ORCID: 0000-0002-5063-8606, E. V. Dabakh¹, ORCID: 0000-0002-6088-4819,
T. Ya. Ashikhmina^{1,2}, ORCID: 0000-0003-4919-0047, G. Ya. Kantor^{1,2}, ORCID: 0000-0002-6462-6702,
A. S. Timonov^{1,2}, ORCID: 0000-0001-8560-3051,
¹Institute of Biology of the Komi Science Centre
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
²Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
e-mail: ecolab2@gmail.com

Based on the experience of vegetation monitoring in the sanitary protection zone and the protective measures zone of a chemical weapons destruction facility (CWDF), recommendations for organizing a vegetation monitoring system in the areas adjacent to chemically hazardous facilities are given. When repurposing a CWDF, it is necessary to take into account the state of the vegetation prior to the start of facility operation and consider this state as a natural-anthropogenic background. It will differ from the natural background, but will objectively reflect the environmental impact of the new

facility. Herbaceous, in particular meadow, vegetation is more flexible over time. In this regard, in the taiga-forest zone, vegetation monitoring in forest areas is more informative than in meadow areas. The recommended schedule for vegetation monitoring is once a year at the same time; sampling of needles and lichen thalli is carried out simultaneously with plant observations. When organizing the monitoring, vegetation monitoring sites should be located at different distances from pollution sources, taking into account the wind rose and the soil monitoring network, as well as the indicator species presence. If pollutants formed as a result of the industrial and technical complex activities are detected in lichen thalli and needles, the observation network should be expanded in the appropriate directions, taking into account the indicator species presence. To isolate the natural factors effect, studies should be conducted in background areas. It is recommended to assess the prolonged effect of the facility by the change of pollutants content in lichens and pine needles at different distances from the source of exposure.

Keywords: monitoring, vegetation, pollution, *Pinus silvestris* L., *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.

Оценка состояния растительного покрова в районах промышленно опасных объектов является составной частью комплексного экологического мониторинга [1].

В Кировской области, согласно Постановлению Правительства РФ от 30 апреля 2019 г. (Постановление Правительства РФ от 30 апреля 2019 г. № 540 «Об осуществлении бюджетных инвестиций за счет средств федерального бюджета в объекты капитального строительства в рамках федерального проекта «Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности» (с изменениями) 31 августа 2019 г., 28 июля 2020 г.»), на базе ликвидированного объекта уничтожения химического оружия (ОУХО) «Марадыковский» в пос. Мирный Оричевского района создаётся производственно-технический комплекс Экотехнопарк «Мирный» (далее – ПТК) по переработке отходов I и II классов опасности. Данный комплекс относится к I категории объектов, оказывающих значительное негативное воздействие на окружающую среду (Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 (ред. от 18.12.2024) «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий»), вовлекающих в производственный оборот вещества и соединения, которые ранее не присутствовали на этой территории, с малоизученным влиянием на фитоценозы.

Корневая система растения поглощает элементы питания из почвенного раствора, который может содержать вещества, оседающие на почву из атмосферы. Часть веществ из атмосферного воздуха может поступать в растения через устьица. Перечень антропогенных факторов, воздействующих на растения, очень широк и многообразен. Характер ответной реакции растений зависит не только от этого воздействия, но и от сложной системы взаимодействия антропогенных и природных факторов. При проведении мониторинга необходимо рассматривать не только компоненты

фитоценозов, но и отдельные растительные виды-индикаторы. Для оценки степени атмосферного загрязнения могут использоваться различные индикаторные свойства лишенобиоты и хвои сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) [2, 3].

Мониторинг растительности должен базироваться на информации об источниках загрязнения и загрязняющих веществах, связанных с деятельностью ПТК. Подходы, методы мониторинга атмосферного воздуха и почв на территории, прилегающей к ПТК, рассмотрены в работах [4, 5].

В связи с этим цель работы – разработка системы мониторинга растительности как составной части комплексного экологического мониторинга ПТК, включающей обоснование показателей мониторинга растительности и отдельных видов-индикаторов, регламента наблюдений, расположения пунктов наблюдательной сети (ключевых участков), согласованной с системой мониторинга атмосферного воздуха и почв, обеспечивающей объективной информацией о состоянии растительного покрова в районе создаваемого объекта по утилизации, обезвреживанию и переработке отходов I–II классов опасности в процессе его деятельности.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в Кировской области, находящейся на северо-востоке Европейской территории России, характеризующейся умеренно-холодным континентальным климатом, умеренной влажностью [6].

В соответствии с ботанико-географическим делением Кировская область входит в состав Уральско-Западносибирской провинции Европейской таёжной хвойно-лесной области [7]. По лесорастительному районированию территория обследования относится к зоне хвойных лесов, подзоне южной тайги [8].

В Кировской области в 2006 г. был введён в эксплуатацию объект уничтожения хими-

ческого оружия «Марадыковский». До этого была разработана система государственного экологического контроля и мониторинга [9] и проведено фоновое обследование территории. В 2004–2005 гг. для описания и последующего мониторинга в районе ОУХО было заложено 145 ключевых участков с разными типами растительности, были составлены экологические паспорта участков. В 2006 г. с целью проведения мониторинга растительности из них было выбрано 40 участков в типичных биоценозах, менее подверженных сукцессионным изменениям. В 2019 г. в рамках инженерно-экологических изысканий для строительства ПТК растительность была изучена на 43 участках. В 2024 г. было проведено обследование территории для определения фоновых показателей в природных средах и растительных объектах до начала деятельности ПТК. Изучение состояния растительности проводилось на 9 ключевых участках, в том числе на семи лесных и двух луговых.

При выборе репрезентативных ключевых участков учитывали специфику природных систем в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) объекта, характер почвенного покрова, удалённость от источника воздействия – ПТК и розу ветров [4].

Для оценки состояния растительного покрова были применены общие геоботанические методики [10, 11], согласно которым описание растительности проводилось на пробных площадках. В луговых биоценозах размер пробных площадок составлял 10 м × 10 м, в лесных – 20 м × 20 м.

При описании растительности фиксировали следующие показатели: состав и структура фитоценозов, видовое разнообразие, проективное покрытие видов, состояние доминирующих и редких видов. На лесных участках проводилась оценка жизненного (санитарного) состояния основных лесобразующих пород [12]. Вся информация заносилась в экологический паспорт ключевого участка.

Кроме стационарных наблюдений проводились и маршрутные исследования. Маршруты проходили между участками и охватывали все биотопы. При проведении маршрутных исследований обращали внимание на наличие у растений отклонений морфологического характера.

На лесных участках отбирали талломы лишайника гипогимния вздутая (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.) со ствола сосны и хвою сосны обыкновенной (*P. silvestris*).

Пробы лишайника отбирались за пределами ключевого участка в непосредственной близости от него с коры сосны на высоте 1–1,5 м со всех сторон ствола не менее чем с 10 деревьев и объединялись в одну пробу. Всего было отобрано 6 проб лишайников. Общая масса каждой пробы лишайников, включая субстрат (кора сосны), от 100 до 150 г. Перед отправкой на химико-аналитические исследования талломы лишайника высушивали до воздушно-сухого состояния и отделяли от субстрата (коры сосны). Навеску 10 г упаковывали в бумажный пакет.

Отбор проб хвои сосны также проводился за пределами ключевого участка, но в непосредственной близости от него. Для проведения мониторинговых исследований используется хвоя 2-го года жизни, которая характеризует накопление поллютантов из атмосферного воздуха за один год. Масса пробы 100–150 г. Для химико-аналитических исследований готовилась навеска 7–10 г.

Элементный состав образцов талломов лишайников и хвои сосны определяли атомно-эмиссионным и масс-спектральным методами анализа в соответствии с НСАМ № 499 – АЭС/МС в Аналитическом испытательном центре ФГБУН «Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН» (АСИЦ ИПТМ РАН, г. Черноголовка, Московская обл.).

В настоящей работе анализ состояния растительности проведён по многолетним данным, полученным за период наблюдений с 2004 по 2024 гг.

Результаты и обсуждение

Расположение ключевых участков экологического мониторинга состояния растительности должно основываться на результатах выделения типов растительности (луга, леса) по результатам геоботанического картирования и составления карты растительности, так как различные типы растительных сообществ и составляющие их виды по-разному реагируют на химическое загрязнение, переносимое воздушными массами от источника воздействия.

В СЗЗ объекта уничтожения химического оружия были выделены следующие основные растительные сообщества: леса (еловые, сосновые, смешанные); луга (злаково-разнотравные, разнотравно-злаковые); порослевые древесные сообщества разных стадий сукцессионного восстановления, и составлена карта основных типов растительности [12].

В 2024 г. для проведения фонового обследования было заложено девять ключевых участков, которые выбирали с учётом типа растительности, почв, розы ветров, удаления от объекта потенциального воздействия (ПТК). Поскольку преобладающий тип растительности в районе исследования лесной, семь участков были заложены в лесных фитоценозах и только два – в луговых. Большая часть их расположена к северо-востоку от ранее существовавшего источника выбросов – ОУХО (рис., см. цв. вкладку II).

Луговые участки 037 и 233 заложены на заброшенном поле с относительно богатыми пахотными почвами, на которых в настоящее время сформировался залежный луг. Участок 037 располагается недалеко от автодороги. Участок 233 расположен на узкой полосе луга шириной 35–40 м, заходящей в лесной массив, в направлении преобладающих ветров от ПТК.

Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса на лугах достигает 90–95%. Видовое разнообразие луговой растительности небольшое, незначительно превышает 20 видов. На участках широко представлены различные злаки, среди которых доминируют *Dactylis glomerata* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub., виды рода мятлик, а из разнотравья: *Valeriana wolgensis* Kazak., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Filipendula denudata* (J. Presl & C. Presl) Fritsch., *Carex echinata* Murray, *Hypericum perforatum* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.

Анализ состояния растительности на ключевых участках свидетельствует о том, что каждый из них имеет свои особенности, обусловленные расположением в луговом массиве. Участок 037 находится в непосредственной близости от автодороги с редким движением легкового автотранспорта (до 50–70 машин в сутки), поэтому испытывает на себе воздействие как природного, так и в некоторой степени техногенного характера. За длительный период наблюдения было выявлено, что на нём всегда доминирующими были виды семейства злаки. Следовательно, фитоценоз на этом участке флуктуационно-устойчивый, характерный для экотопов с мало изменяющимися по годам условиями обитания растений. Расположение ключевого участка 233 ниже по рельефу и в окружении лесного массива обуславливает большую изменчивость видового состава.

Таким образом, видовой состав лугового фитоценоза изменяется под влиянием как климатических, так и антропогенных факторов. В связи с этим на луговых участках необхо-

димо проводить ежегодный мониторинг с выявлением доминирующих видов и последующим углублённым анализом видового состава с учётом даты описания, особенностей года, жизненного состояния особей, имеющихся данных о сукцессиях, флуктуациях и сезонных изменениях сходных фитоценозов.

Выбор лесных участков был обусловлен не только разным удалением от объекта в направлении преобладающих ветров, но и наличием индикаторных видов.

Большая часть участков (001, 004, 034, 232, 244) находится в смешанных типах леса (табл. 1). Смешанные леса составляют 48,15% от лесопокрытой площади СЗЗ [12] и являются вторичными, то есть представляют собой производный послепожарный или послерубочный вариант еловых лесов. Древесный ярус состоит из *Betula pubescens* Ehrh. или *Betula pendula* Roth с небольшой примесью *Picea × fennica* (Regel.) Kom., *Pinus sylvestris* L., *Populus tremula* L. Сомкнутость древостоя составляет 0,3–0,5. Иногда представлен второй полог, где доминирует *P. fennica*. Сомкнутость второго полога 0,4–0,5; его высота – 5–15 м. В подросте также преобладает *P. fennica*. Ярус подлеска: проективное покрытие (ПП) – 4–15% – состоит преимущественно из *Sorbus aucuparia* L., *Frangula alnus* Mill., изредка представлены *Lonicera xylosteum* L., *Rosa acicularis* Lindl. Травяно-кустарничковый ярус: ПП – 5–40%. В качестве доминантов могут выступать *Vaccinium myrtillus* L., *Oxalis acetosella* L., *Rubus saxatilis* L. Мохово-лишайниковый ярус имеет ПП 1–30%. В нём доминируют *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. или *Polytrichum commune* Hedw.

Два участка были заложены в лесах с преобладанием сосны. Это сосняк зеленомошный (участок 019) и елово-сосновый лес чернично-мёртвопокровный (участок 009). Древостой этих участков представлен *P. sylvestris*, *P. fennica*, *B. pendula*. Сомкнутость крон составляет от 0,2 до 0,4. В подросте отмечены все виды древесного яруса с преобладанием *P. fennica*. Ярус подлеска имеет ПП 1–3%. В его составе доминируют *Padus avium* Mill., *F. alnus*, *S. aucuparia*, *Juniperus communis* L., *L. xylosteum*, присутствует *Daphne mezereum* L. Основными представителями травяно-кустарничкового яруса являются: *V. myrtillus*, *V. vitis-idaea* с ПП до 40%. Мохово-лишайниковый ярус в сосняке зеленомошном может достигать ПП до 90%. Доминантами данного яруса являются – *P. schreberi*, *Dicranum polysetum* Sw., часто встречаются *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.

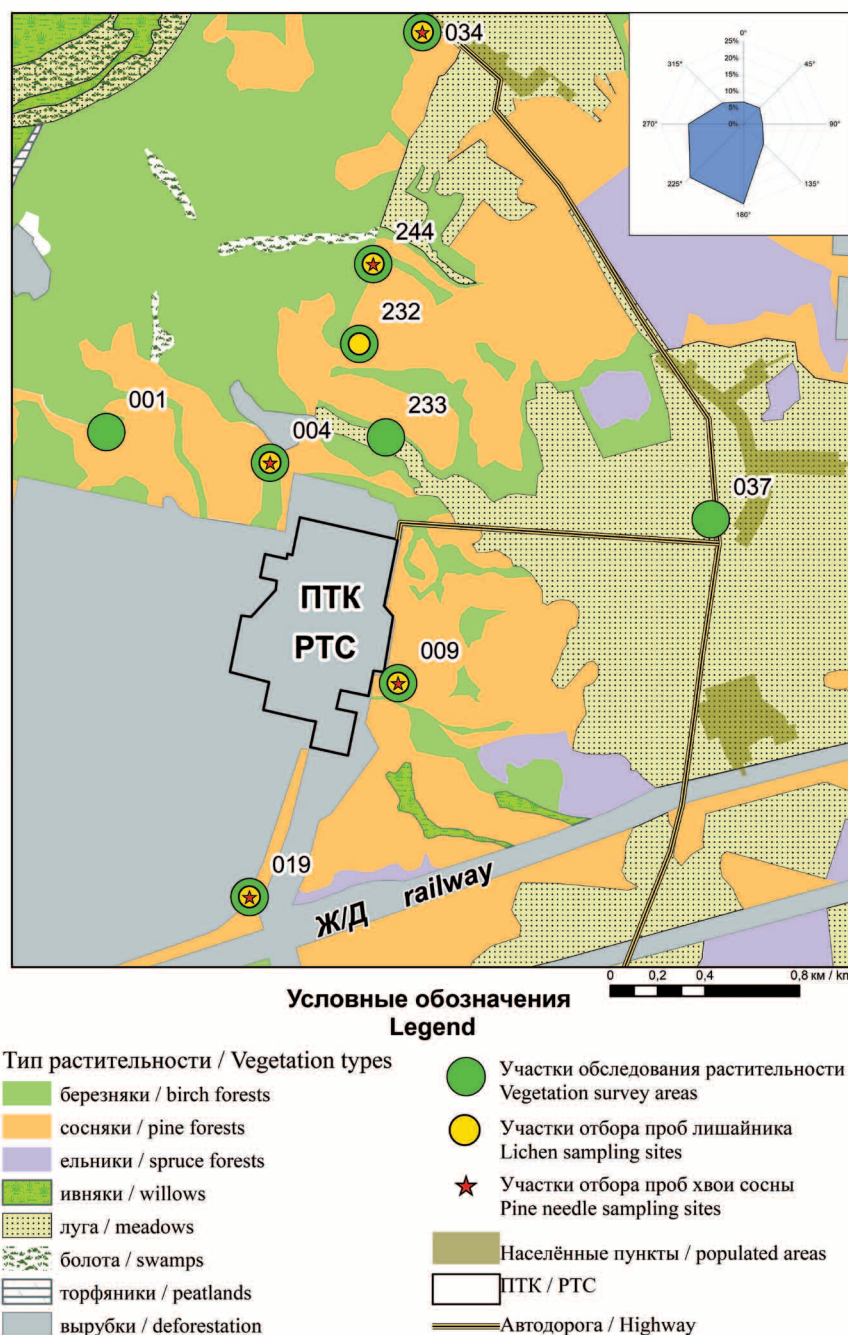


Рис. Карта-схема расположения ключевых участков обследования растительности в 2024 г.
Fig. Map-schematic location of key vegetation survey sites in 2024

Таблица 1 / Table 1

Характеристика древостоя на участках мониторинга
Characteristics of the forest stand at the monitoring sites

№ участка Site No.	Порода Species	Возраст, лет Age, year	Диаметр ствола, см / Diameter, cm					Высота, м Height, m	Состав яруса Layer composition
			2005 год year	2009 год year	2014 год year	2019 год year	2024 год year		
001	С	80	28	29,1	28	28	28	22,5	6Б3СЕ
	Е	50	18,5	19,3	18,5	18,5	18,5	20	
	Б	–	16,8	19,2	16,8	16,8	16,8	25	
004	С	75	24,5	23,6	26,4	26,4	29,2	25	6С4БЕОлс
	Б	65	21,7	21,2	24	24	27,2	25	
	Е	–	–	9,5	12	12	13,8	15	
	Олс	–	–	–	13	13	11	15	
009	Е	75–85	19,5	16,9	14,4	14,4	17,2	24–26	8С1Е1Б
	С	85–95	26,1	31,7	31,7	31,7	31	24–30	
	Б	–	26,1	31,7	31,7	31,7	31	24–26	
019	С	85–95	33,3	31,3	32,5	32,5	26	25–30	10С
034	С	90–110	59,7	44,3	46,4	46,4	47,7	25–28	6Б3С1Е
	Б	–	17,6	15,3	15,3	15,3	15	17–20	
	Е	30–45	17,5	12	13	13	14	18–20	
232	Е	60–80	–	–	–	9,8	20	20	4С4Е2Б
	С	–	–	–	–	24,2	25	20	
	Б	–	–	–	–	21,5	22	20	
244	С	15	–	–	–	–	18	15–18	6Б4С
	Б	–	–	–	–	–	18	15–18	

Примечание: С – сосна, Е – ель, Б – берёза, Олс – ольха серая; «–» – данные отсутствуют.
Note: С – Pinus, Е – Picea, Б – Betula, Олс – Alnus; “–” – no data.

S. G. и P. commune. Присутствуют лишайники: *Cetraria islandica* (L.) Ach., виды рода кладина (*Cladina* sp.).

Расположение участков 009, 019 в непосредственной близости от объекта воздействия обусловило ряд особенностей. На этих участках полностью отсутствовали подрост и подлесок, которые вырубались для улучшения обзора местности с 2010 по 2015 гг.

Существенную роль в устойчивости лесных экосистем играет фитоценотическая структура насаждения. Смешанные насаждения с большим набором видов более устойчивы, чем чистые (не имеющие примеси других пород) [13]. Устойчивость насаждений зависит также от их типа и возрастной структуры. Основным компонентом лесного фитоценоза является древесный ярус. Наиболее значимые характеристики этого яруса приведены в таблице 1.

На участках 004, 232, 244 возраст большинства деревьев не превышает 80 лет. Такие древостои относятся к средневозрастным, у них отмечается ежегодное увеличение высоты и прирост диаметра ствола.

Большинство деревьев на участках 001, 009, 019, 034 имеют возраст 85–95 лет, диаметр ствола в пределах 30 см, высоту – 30 м. Такие древостои относятся к спелым. Ежегодное увеличение высоты и прирост диаметра ствола в таких древостоях незначительны или отсутствуют. Кроме того, на этих участках в 2015 г. были отмечены ветровальные деревья. Видовой состав травяно-кустарничкового яруса на изученных участках практически не изменялся в течение периода наблюдений, что свидетельствует об отсутствии воздействий природного или антропогенного характера [14].

Воздействие атмосферных и почвенных загрязнителей на растения – биохимическое явление, затрагивающее в первую очередь метаболические и физиологические процессы и разрушающее ультрамикроскопические структуры клеток листа [15]. По мере разрушения внутриклеточных структур начинают проявляться внешние, визуально наблюдаемые повреждения и отклонения от нормы у ассимиляционных органов и других частей растений, поэтому оценка санитарного (жиз-

ненного) состояния основных лесообразующих пород является значимым показателем. Оценку состояния древесных пород проводили в соответствии с методикой, приведённой в Постановлении Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 года № 2047 «Об утверждении **Правил санитарной безопасности в лесах**» (Приложение 1).

В таблице 2 показаны результаты оценки санитарного состояния видов, произрастающих на ключевых участках. У деревьев, расположенных в непосредственной близости от бывшего ОУХО, наблюдается уменьшение облиственности кроны, её разрежение, что характеризует их состояние как ослабленное (2 балла).

Таким образом, важными для проведения мониторинга на лесных участках будут являться показатели состояния древостоя, которые менее всего подвергаются сукцессионным изменениям: диаметр ствола, количество деревьев и их санитарное состояние, а также видовой состав травяно-кустарничкового яруса. Исследования на участках мониторинга лесной растительности необходимо проводить ежегодно.

Опыт проведения мониторинга показал, что высокую чувствительность к загрязнению воздуха проявляют сосновые леса. Это обуславливает выбор сосны как важнейшего индикатора антропогенного влияния. Интенсивное поверхностное осаждение поллютантов определяет целесообразность использования хвои для биоиндикации и мониторинга атмосферного загрязнения [16]. На основе химического состава хвои может быть выявлен дефицит или избыток элементов и проведена диагностика состояния лесного фитоценоза [2]. По накоплению химических элементов и их соотношению в составе хвои можно выделить территории с разной степенью загрязнения.

Для индикации более длительного техногенного воздействия на состояние атмосферного воздуха широко используются лишайники. Благодаря анатомо-морфологическим и физиологическим особенностям они поглощают из воздуха различные поллютанты и являются чуткими индикаторами промышленных загрязнений [3]. Загрязняющие вещества из атмосферного воздуха могут поступать в лишайники в составе растворов и твёрдых взвешенных частиц [17].

Лишайник гипогимния вздутая (*H. physodes*) доминирует в эпифитном покрове основных лесообразующих пород на изучаемой территории. Его талломы отбирали со стволов сосны обыкновенной на шести ключевых участках, а хвою – на пяти (рис.). Отбор проб талломов лишайника и хвои сосны осуществлялся за пределами ключевого участка, чтобы не нарушать целостность травяного покрова в его пределах.

В непосредственной близости к промплощадке бывшего ОУХО в талломах *H. physodes* выявлено повышенное содержание фосфора и серы относительно более удалённых участков в направлении по розе ветров к северу и к югу от него.

Наблюдается отчётливая пространственная приуроченность к железнодорожной магистрали более высокого содержания в пробах лишайника железа, хрома, ванадия, титана, кобальта, никеля, олова и урана, менее выраженная – меди и мышьяка, концентрации которых постепенно, по мере удаления от железной дороги, снижаются. Аналогичную закономерность выявили в распределении таких элементов как железо, марганец, мышьяк и кобальт в хвое сосны.

При этом в хвое сосны, отобранной в 2024 г., установлено более высокое содержание ванадия, титана, мышьяка, урана и, отчасти, свинца по сравнению с 2019 г. Увеличение

Санитарное состояние основных лесообразующих пород
Sanitary condition of the main forest-forming species

Таблица 2 / Table 2

№ участка Site No.	<i>Pinus sylvestris</i> L.	<i>Picea × fennica</i> (Regel.) Kom.	<i>Betula pubescens</i> Ehrh. <i>Betula pendula</i> Roth
004	1	–	1
009	1	2	2
019	2	–	1
034	2	–	1
232	1	1	–
244	1	–	1
001	1	–	1

Примечание / Note: «–» – данные отсутствуют / no data.

в хвое сосны содержания некоторых тяжёлых металлов и мышьяка, по-видимому, связано с проведением ликвидационных мероприятий (резка металлоконструкций, их перемещение по территории объекта и т. п.).

В то же время отмечено уменьшение содержания фосфора и серы в хвое, что, вероятно, обусловлено прекращением деятельности ОУХО, на котором происходило уничтожение фосфорорганических отравляющих веществ, и ликвидация последствий его деятельности.

Пространственная приуроченность к определённым источникам загрязнений, проявляющаяся в повышении содержания железа, хрома, ванадия, титана, кобальта, никеля, выявленных в талломах лишайника гипогимния вздутая, свидетельствует о длительном периоде поступления загрязняющих веществ от этих источников, а в хвое сосны – за год.

Определение элементного состава образцов талломов лишайника и хвои сосны атомно-эмиссионным и масс-спектральным методами анализа является информативным, поскольку охватывает максимально возможный перечень элементов, которые могут содержаться в выбросах ПТК. Этот показатель рекомендуется к включению в программу мониторинга и ежегодному определению.

Заключение

Опыт проведения мониторинга растительности на ОУХО позволил выработать рекомендации по организации системы мониторинга растительности на химически опасных объектах.

При перепрофилировании объекта необходимо учитывать состояние растительности до начала деятельности нового предприятия и принимать это состояние как природно-антропогенный фон. Он будет существенно отличаться от естественного фона, но будет объективно отражать влияние на окружающую среду именно этого предприятия. В частности, фоновое обследование растительности в районе строительства ПТК, проведённое в 2024 г., показало, что состояние растительного покрова в районе исследования удовлетворительное; компоненты лесных насаждений имеют нормальное развитие, соответствующее конкретным лесорастительным условиям и возрастному состоянию древостоев, а их санитарное состояние на большинстве участков является хорошим. Некоторое ухудшение состояния отдельных видов деревьев связано с хозяйственной деятельностью человека.

Оценка состояния атмосферного воздуха по биоиндикаторам (лишайники и хвоя сосны) позволила выявить накопление в них ряда элементов, а анализ пространственного распределения повышенных концентраций элементов – определить главные источники воздействия.

Проведённые исследования показали, что травянистая, в частности луговая растительность отличается большей пластичностью во времени. В связи с этим, в таёжно-лесной зоне мониторинг растительности на лесных участках является более информативным, чем на луговых.

Показателем мониторинга на луговых участках будет являться видовой состав с выявлением доминирующих видов и последующим углублённым анализом видового состава с учётом фенологической фазы, особенностей года, жизненного состояния особей, имеющихся данных о сукцессиях, флуктуациях и сезонных изменениях сходных фитоценозов; на лесных участках – видовой состав и состояние древостоя, а также показатели, которые менее всего подвергаются сукцессионным изменениям: диаметр ствола, количество деревьев и их санитарное состояние, а также видовой состав травяно-кустарничкового яруса; у видов-индикаторов загрязнения – элементный состав талломов лишайника гипогимния вздутая и хвои сосны обыкновенной второго года жизни.

Рекомендуемый регламент наблюдений за состоянием растительности – ежегодно один раз в одно и то же время; отбор проб хвои и талломов лишайника необходимо проводить одновременно с наблюдениями за растениями.

При организации мониторинга объекта участки мониторинга растительности следует располагать на разном расстоянии от источников загрязнения с учётом розы ветров и сети мониторинга почв, а также наличия индикаторных видов растений и лишайников.

Выбранные участки являются представительными для наблюдений за состоянием растительности в районе ПТК. При выявлении в талломах лишайников и в хвое загрязняющих компонентов, образующихся в результате деятельности этого объекта, сеть наблюдений необходимо будет расширить в восточном, западном и южном направлениях с учётом наличия видов-индикаторов.

Для вычленения влияния природных факторов (природный фон) необходимо одновременно с проведением наблюдений на территориях, подверженных загрязнению, проводить исследования по этим же показателям

на территориях, не затронутых антропогенным воздействием.

Оценивать пролонгированное действие объекта рекомендуется по изменению концентраций загрязняющих веществ в направлении от источника воздействия.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка состояния трансформированных экосистем подзоны южной тайги, методические подходы к их биоремедиации», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 125021402208-5.

Литература

1. Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объекта уничтожения химического оружия. Киров: Вятка, 2002. 544 с.

2. Огородникова С.Ю., Домнина Е.А., Пестов С.В. Содержание фосфора в хвое *Pinus sylvestris* L. в условиях аэротехногенного загрязнения // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология. 2022. Т. 15. № 1. С. 107–119. doi: 10.17516/1997-1389-0377

3. Домнина Е.А., Огородникова С.Ю., Пестов С.В., Ашихмина Т.Я. Методы лишеноиндикации в оценке загрязнения атмосферного загрязнения соединениями фосфора // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 4. С. 37–44. doi: 10.25750/1995-4301-2019-4-037-044

4. Ашихмина Т.Я., Кантор Г.Я., Тимонов А.С., Домнина Е.А., Дабах Е.В., Сырчина Н.В., Кондакова Л.В., Кутявина Т.И., Скугорева С.Г., Огородникова С.Ю., Рутман В.В., Кузнецов Д.А. Мониторинг атмосферного воздуха в районе предприятий по утилизации опасных промышленных отходов // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 1. С. 38–46. doi: 10.25750/1995-4301-2023-1-038-046

5. Дабах Е.В., Ашихмина Т.Я., Кантор Г.Я., Тимонов А.С., Домнина Е.А. Мониторинг почв в районе предприятий по утилизации опасных промышленных отходов // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 1. С. 82–89. doi: 10.25750/1995-4301-2023-1-038-046

6. География Кировской области. Атлас-книга / под ред. Е.А. Колеватых, А.М. Прокашева, Г.А. Русских. Киров: Кир. обл. тип., 2015. 80 с.

7. Растительность Европейской части СССР / под ред. С.А. Грибовой, Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1980. 429 с.

8. Клиросова В.П. Растительность // Природа Кировской области / Под общ. ред. А.И. Шернина. Киров: Волго-Вят. кн. изд-во, 1966. С. 180–235.

9. Чупис В.Н. Экологический мониторинг объектов уничтожения химического оружия – опыт создания и перспективы развития // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 2. С. 35–41. doi: 10.25750/1995-4301-2007-2-035-41

10. Шенников А.П. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. 447 с.

11. Ипатов В.С. Описание фитоценоза: Методические рекомендации. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1998. 93 с.

12. Домнина Е.А., Кантор Г.Я. Характеристика растительности в санитарно-защитной зоне объекта уничтожения химического оружия в пос. Мирный Кировской области // Известия СамНЦ РАН. 2016. № 2. С. 80–83.

13. Иванчина Л.А., Залесов С.В. Влияние примеси лиственных пород в составе древостоев ельника зеленомошного на их устойчивость // Успехи современного естествознания. 2017. № 6. С. 61–66.

14. Уланова Н.Г., Каплевский А.А. Мониторинг биоразнообразия ельников Европейской части России после природных и антропогенных «катастроф» // Известия Уфимского научного центра РАН. 2024. № 4. С. 56–61. doi: 10.31040/2222-8349-2024-0-4-56-61

15. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / под ред. В.А. Алексеева. Л.: Наука, 1990. 200 с.

16. Черненькова Т.В. Методика комплексной оценки состояния лесных биогеоценозов в зоне влияния промышленных предприятий // Пограничные проблемы экологии: сб. научных трудов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 116–127.

17. Елпатьевский П.В. Геохимические исследования аномальных техногеосистем // География и природные ресурсы. 1981. № 4. С. 148–156.

References

1. Ashikhmina T.Ya. Comprehensive environmental monitoring of a chemical weapons destruction facility. Kirov: Vyatka, 2002. 544 p. (in Russian).

2. Ogorodnikova S.Yu., Domnina E.A., Pestov S.V. Content of phosphorus in the needles of *Pinus sylvestris* L. affected by industrial air pollution // J. Sib. Fed. Univ. Biol. 2022. V. 15. No. 1. P. 107–119 (in Russian). doi: 10.17516/1997-1389-0377

3. Domnina E.A., Ogorodnikova S.Yu., Pestov S.V., Ashikhmina T.Ya. Lichenoid indication methods for assessing air pollution by phosphorus compounds // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No. 4. P. 37–44 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-4-037-044

4. Ashikhmina T.Ya., Kantor G.Ya., Timonov A.S., Domnina E.A., Dabakh E.V., Syrchina N.V., Kondakova L.V., Kutyavina T.I., Skugoreva S.G., Ogorodnikova S.Yu., Rutman V.V., Kuznetsov D.A. Atmospheric air monitoring in the area of enterprises for the disposal of hazardous industrial waste // Theoretical and Applied Ecology. 2023. No. 1. P. 38–46 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2023-1-038-046

5. Dabakh E.V., Ashikhmina T.Ya., Kantor G.Ya., Timonov A.S., Domnina E.A. Soil monitoring in the area of hazardous industrial waste disposal facilities // Theoretical and Applied Ecology. 2024. No. 1. P. 82–89 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2023-1-038-046

6. Geography of the Kirov Region. Atlas-book / Eds. E.A. Kolevatykh, A.M. Prokashev, G.A. Russkikh. Kirov: Kirov Regional Typography, 2015. 80 p. (in Russian).
7. Vegetation of the European part of the USSR / Eds. S.A. Gribova, T.I. Isachenko, E.M. Lavrenko. Leningrad: Nauka, 1980. 429 p. (in Russian).
8. Klirosova V.P. Vegetation // Nature of the Kirov Region / Ed A.I. Shernin. Kirov: Volgo-Vyatka Book Publishing House, 1966. P. 180–235 (in Russian).
9. Chupis V.N. Ecological monitoring of objects of destruction of a chemical weapon experience of creation and prospect for the development // Theoretical and Applied Ecology. 2007. No. 2. P. 35–41 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2007-2-035-41
10. Shennikov A.P. Introduction to Geobotany. Leningrad: Leningrad State University Publishing House, 1964. 447 p. (in Russian)
11. Ipatov V.S. Description of phytocenosis: Methodical recommendations. Sankt-Peterburg: Publishing house of SPbGU, 1998. 93 p. (in Russian).
12. Domnina E.A., Kantor G.Ya. Characteristics of vegetation in the sanitary protective zone of object for chemical weapons destruction in Mirny settlement in Kirov Oblast // Izvestia of RAS SamSC. 2016. No. 2. P. 80–83 (in Russian).
13. Ivanchina L.A., Zalesov S.V. Impact of pine admixtures in green-moss spruce stands composition on their stability // Advances in current natural science. 2016. No. 6. P. 61–66 (in Russian).
14. Ulanova N.G., Kaplevsky A.A. Biodiversity monitoring after natural and anthropogenic “catastrophes” in spruce forests of the European part of Russia // Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2024. No. 4. P. 56–61 (in Russian). doi: 10.31040/2222-8349-2024-0-4-56-61
15. Forest ecosystems and atmospheric pollution / Ed. V.A. Alekseev. Leningrad: Nauka, 1990. 200 p. (in Russian).
16. Chernenkova T.V. Methodology for a comprehensive assessment of the state of forest biogeocenoses in the zone of influence of industrial enterprises // Border problems of ecology: collection of scientific papers. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 1986. P. 116–127 (in Russian).
17. Elpatyevsky P.V. Geochemical studies of anomalous technogeosystems // Geography and natural resources. 1981. No. 4. P. 148–156 (in Russian).