

**Лихеноиндикация состояния атмосферного воздуха
на химически опасных техногенных объектах**

© 2014. Л. Н. Анищенко¹, д.с.-х.н., профессор, И. А. Балясников², к.с.-х.н., директор,
Т. А. Рудакова, зав. лабораторией,

¹Брянский государственный университет им. акад. И. Г. Петровского,

²Региональный центр государственного экологического
контроля и мониторинга по Брянской области,
e-mail: eco_egf@mail.ru, rcgekim32@gmail.com

Блок биомониторинга на химически опасных техногенных объектах должен включать разнообразные модификации метода биоиндикации, наиболее апробированный из них и широко применяемый в Нечерноземье России – лихеноиндикационный. При рекогносцировочных исследованиях определён фоновый видовой состав лихеноиндикаторов для Нечерноземья России, обобщены их экологические характеристики. Для биодиагностики общего состояния воздуха в районе химически опасного техногенного объекта использованы три количественных лихеноиндикационных синтетических индекса, выявлен наиболее информативный из них, построены лихеноиндикационные карты. Биоиндикационные исследования подтверждены приборными экоаналитическими изысканиями. Результаты пятилетнего лихеномониторинга в системе экологического контроля на объекте по утилизации химического оружия в Брянской области показали относительно благоприятное состояние атмосферного воздуха, соответствующее фоновому (условной норме).

Block biomonitoring chemically dangerous technogenic objects should include various modifications of the method of bioindication, most approved of them and widely used in the regions of Russia – lichenology. During reconnaissance studies defined background species composition of lichenometric for Non-Chernozem zone of Russia, summarized their environmental performance. For biodiagnostic the General condition of the air in the area of chemically hazardous man-made object used three quantitative mapped synthetic index, identified the most informative of them built mapped cards. Biological studies confirmed the instrument of eco-analytical research. The results of the five-year lichenoidicators in the environmental management system at the facility for disposal of chemical weapons in the Bryansk region showed relatively good air quality, relevant background (conditional norm).

Ключевые слова: лихеномониторинг, лихеноиндикаторы, импактный мониторинг, объект по утилизации химического оружия, Брянская область.

Keywords: monitoring with lichens, lichenoidicators, monitoring of technogenic pollution, a facility for the disposal of chemical weapons, Bryansk region.

Система мониторинга химически опасных техногенных объектов включает несколько взаимосвязанных блоков, в том числе и биологический мониторинг. В обобщённых работах по созданию экологического контроля и организации экоаналитического мониторинга подчёркивается необходимость ведения биологических наблюдений и использования количественных методик оценки, выявления биоиндикаторов и биомониторов [1–3]. Поиск биоиндикаторов и биомониторов для диагностики состояния сред обитания в районе химически опасных техногенных объектов – актуальная задача при организации экомониторинга, так как индикаторная значимость географически различается, разнообразие индикаторов и показательные признаки, чувствительность требует масштабных иссле-

дований. Биологический контроль состояния наиболее уязвимой по химическому загрязнению среды – атмосферы – в различных регионах осуществляется с помощью метода лихеноиндикации [4]. В основном используются качественные методики, диагностируются общие биоиндикационные признаки. Расширение применения количественных методик, поиск региональных индикаторов – актуальные задачи современного биомониторинга на химически опасных техногенных объектах. В связи с вышеизложенным, основная цель работы – выявить надёжные лихеноиндикационные признаки для биодиагностики биомониторинга общего состояния атмосферного воздуха объекта по утилизации химического оружия (объект 1204, Почепский район, Брянская область).

Лишеноиндикационные исследования проводились на химически опасном техногенном объекте по утилизации химического оружия (Брянская область, Почепский район) с 2009 г. по настоящее время. Блок биомониторинговых работ включал подготовительный этап для установления видового состава наиболее чувствительной к атмосферному загрязнению эпифитной лишенофлоры, определения фоновых видов методом трансект на реперных точках. В дальнейшем рабочие лишеноиндикационные исследования проводились методом пробных (учётных) площадок. На определённых для работы реперных точках выбраны учётные площадки, включающие по 20 модельных деревьев (форофитов) приблизительно одного возраста. На каждом из них закладывались по 4 пробные площадки и обследование проводилось по стандартным в лишеноиндикации методикам [4, 5]. На основании данных геоботанических описаний эпифитных лишеноидовых синузид вычислялись лишеноиндикационные индексы:

индекс относительной чистоты атмосферы (ОЧА), $OЧА = (H + 2Л + 3К) / 30$, где H – балл покрытия накипных лишеноидов; Л – балл покрытия листоватых лишеноидов; К – балл покрытия кустистых лишеноидов. Чем выше показатель ОЧА, тем чище воздух местообитания [4].

Индекс полеотолерантности (ИП) – по Х. Х. Трассу [4]:

$ИП = \sum a_i c_i / C_{ин}$, где a_i – индивидуальный коэффициент полеотолерантности для лишеноидов; c_i – проективное покрытие вида в баллах; $C_{ин}$ – суммарное покрытие видов лишеноидов в баллах. Индикаторная информативность лишеноидов изучена ранее методом непрямой линейной ординации, которая применялась Л. Мартином, Х. Х. Трассом для оценки коэффициентов полеотолерантности лишеноидов [6, 7].

Индекс атмосферной чистоты (ИАЧ) для фоновых видов лишеноидов *Hypogymnia physodes*, *Xanthoria parietina* [8]:

$$ИАЧ = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \times f_i}{10}$$

где Q_i – индекс токсифобности, т. е. число видов, сопутствующих данному виду на всех площадках описания в гомогенном по степени загрязнённости местообитания; f_i – значения покрытия вида по 5-балльной шкале: 1 балл – очень редко, с очень низким покрытием; 2 – редко или с низким покрытием; 3 – редко и со средним покрытием и на некоторых стволах; 4 – часто или с высоким покрытием на некото-

рых стволах; 5 – очень часто и с очень высоким покрытием на большинстве стволов. Значения покрытия видов лишеноидов указаны по работе Н. С. Голубковой, Н. В. Малышевой [9].

Спектр значений лишеноиндикационных индексов позволил определить наиболее информативный, рекомендуемый в дальнейшем для определения зон по состоянию атмосферного воздуха опасных техногенных объектов. Названия видов лишеноидов приведены согласно Списку лишенофлоры России [10].

Параллельно биомониторинговым исследованиям осуществлялись экоаналитические работы по выявлению состава атмосферного воздуха по содержанию общепромышленных загрязнителей: использовался газоанализатор ГАНК-4, предназначенный для автоматического непрерывного контроля концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе (табл. 2). Прибор зарегистрирован в Госреестре № 24421–09, свидетельство RU.C.31.076.A № 36646, сертификат соответствия РОСС RU.ME20.В006059 № 7888645.

Наиболее распространёнными (фоновыми) видами в биотопах исследуемой территории являются: *Xanthoria parietina*, *Parmeliopsis ambigua*, *Physcia stellaris*, *Lecanora allophana*, *Hypogymnia physodes*, спорадически встречаются – *Cladonia fimbriata*, *C. carneola*, *Evernia mesomorpha*, *Physcia aipolia*, *P. stellaris*, *P. acetabulum*, *Parmelia sulcata*, *Imshaugia aleurites*.

Видовой состав лишеноидов на учётных пробных площадках реперных точек представлен в таблице 1.

На реперных точках обнаружены и используются в мониторинге общего состояния атмосферы 57 видов эпифитной лишенофлоры. Преобладают виды лишеноидов листоватой жизненной формы.

Число родов лишенофлоры – 31, ведущие по числу видов семейства: *Parmeliaceae* (16), *Lecanoraceae* (9), *Physciaceae* (10 видов), *Teloschistaceae* (7). Доминируют по числу видов роды *Lecanora* (6 видов), *Physcia* (5). Эпифитная лишенофлора, учитываемая в индикации, имеет фоновые виды – *Xanthoria parietina*, *Parmelia sulcata*, *Parmeliopsis ambigua*, *Physcia pulverulenta*, *Ph. ciliata*, *Ph. tenella*, *Ph. stellaris*, *Physconia distorta*, *Phaeophyscia ciliata*, *Candelariella vitellina*. Лишеноиды рода *Cladonia* найдены в нижних частях стволов деревьев или как факультативные геоплезные виды. Наиболее часто встречаемые (фоновые) виды в местообитаниях принадлежат к экологической группе нитрофитов: *Caloplaca cerina*, *C. holocarpa*, *Lecanora hagenii*, *Phaeophyscia*

МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ ПО УНИЧТОЖЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

Таблица 1

Биоразнообразие и экологическая характеристика эпифитной лишенофлоры реперных точек

Виды	Встречаемость* на точках									КП**	рН/N***
	1,2	5	6	19	27	74	29,30	49,50	68		
<i>Arthonia atra</i> (Pers.) A. Schneid.	3	3	4	4	3	4	4	3	4	9	5/3
<i>Biatora helvola</i> Körb. ex Hellb.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	7	5/1
<i>Caloplaca cerina</i> (Ehrh. ex Hedwig) Th. Fr.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	8	7/5
<i>C. decipiens</i> (Arn.) Blomb & Forssell	3	3	3	3	3	3	3	3	3	8	9/8
<i>C. holocarpa</i> (Hoffm. ex Ach.) Wade	2	2	2	2	2	2	2	2	2	6	8/5
<i>Candelariella efflorescens</i> R.C. Harris & W.R. Buck	2	2	3	3	2	3	3	2	3	7	6/5
<i>C. vitellina</i> (Hoffm.) Müll. Arg.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	9	5/5
<i>C. xanthostigma</i> (Ach.) Lettau	3	3	3	3	3	3	3	3	3	9	5/4
<i>Cladonia cenotea</i> (Ach.) Schaer.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	2/1
<i>C. coniocraea</i> (Flörke) Spreng.	5	5	-	-	5	-	-	5	-	5	4/2
<i>C. fimbriata</i> (L.) Fr.	5	5	-	-	5	-	-	5	-	5	4/1
<i>Evernia mesomorpha</i> Nyl.	5	5	-	-	5	4	4	5	-	3	
<i>E. prunastri</i> (L.) Ach.	3	3	2	2	2	3	3	2	2	4	3/3
<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale.	5	-	4	4	-	-	-	-	-	9	4/3
<i>Graphiscripta</i> (L.) Ach.	2	2	3	2	2	2	3	2	2	6	5/3
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	1	2	1	1	1	2	1	1	1	3	3/2
<i>H. tubulosa</i> (Schaer.) Hav.	3	4	3	3	2	3	4	4	3	7	3/3
<i>Lecanora allophana</i> Nyl.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	6/4
<i>Lecanoracarpinea</i> (L.) Vain.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	5/3
<i>L. hagenii</i> (Ach.) Ach.	4	3	3	3	3	3	2	2	2	9	8/6
<i>Lecanora dispersa</i> (Pers.) Sommerf.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	8/6
<i>L. symmicta</i> (Ach.) Ach.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5/4
<i>Lecanora varia</i> (Hoffm.) Ach.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	7	3/3
<i>Lecidea erythrophaea</i> Flörke ex Sommerf.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	7	5/2
<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) M. Choisy	3	3	3	3	3	3	3	3	3	7	6/4
<i>L. euphorea</i> (Flörke) Hertel	3	3	3	3	3	3	3	3	3	7	
<i>Lepraria incana</i> (L.) Ach.	4	4	5	5	4	5	5	4	5	8	3/3
<i>Melanelixia fuliginosa</i> (Fr. ex Duby) O. Blanco et al.	4	4	-	-	4	-	-	4	-	6	4/3
<i>Melanohalea olivacea</i> (L.) O. Blanco et al.	4	4	3	3	4	3	2	3	3	6	2/3
<i>M. subargentifera</i> (Nyl.) O. Blanco et al.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	7/6
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5/4
<i>Parmeliopsis ambigua</i> (Wulf.) Nyl.	2	3	4	4	3	3	3	3	3	8	2/2
<i>P. hyperopta</i> (Ach.) Arnold	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	2/2
<i>Pertusaria albescens</i> (Hudson) M. Choisy & Werner	4	4	4	4	4	4	4	4	4	7	6/4
<i>P. pertusa</i> (Weigel) Tuck.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5/3
<i>Phaeophyscia ciliata</i> (Hoffm.) Moberg	2	2	2	2	2	2	2	2	2	7	5/4
<i>Ph. orbicularis</i> (Neck.) Moberg	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	7/7
<i>Phlyctis argena</i> (Spreng.) Flot.	5	5			5			5		8	5/3
<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H. Oliver	2	2	2	2	2	2	2	2	2	8	7/6
<i>Ph. aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Fűrnr.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	7/5
<i>Ph. caesia</i> (Hoffm.) Fűrnr.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	8/8
<i>Ph. stellaris</i> (Ach.) Nyl.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	6/5
<i>Ph. tenella</i> (Scop.) DC.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	7	6/6
<i>Physconia enteroxantha</i> (Nyl.) Poelt	3	3	3	3	3	3	3	3	3	7	6/5
<i>Ph. distorta</i> (With.) J. R. Laundon	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	7/6
<i>Ph. grisea</i> (Lam.) Poelt	2	2	2	2	2	2	2	2	2	8	7/7
<i>Platismatia glauca</i> (L.) W. L. Culb & C. F. Culb.	5	5	-	-	5	-	-	5	-	4	2/2
<i>Pseudeveria furfuracea</i> (L.) Zopf	3	4	4	5	4	4	3	3	3	3	2/1
<i>Ramalina fraxinea</i> (L.) Ach.	4	4	-	-	-	5	4	-	-	5	5/3
<i>Rusavskia elegans</i> (Link) S.Y.Kondr.	4	5	-	-	-	-	-	-	5	10	8/7
<i>Scoliosporum chlorococcum</i> (Graewe ex Stenh.) Vezda	3	3	3	3	3	3	3	3	3	9	3/5

Виды	Встречаемость* на точках										КП**	рН/N***
	1,2	5	6	19	27	74	29,30	49,50	68			
<i>Tuckermannopsis chlorophylla</i> (Willd. in numb.) Hale	1	2	2	2	3	3	2	2	2	3	2/1	
<i>Vulpicida pinastri</i> (Scop.) J.-E. Mattsson & M. J. Lai	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2/1	
<i>Usnea hirta</i> (L.) Weber ex F.U. Wigg.	2	3	3	3	2	2	3	3	3	4	3/2	
<i>Xanthoria candelaria</i> (L.) Th. Fr.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	3/7	
<i>X. parietina</i> (L.) Th. Fr.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	7/6	
<i>X. polycarpa</i> (Hoffm.) Th. Fr. ex Rieber	1	1	2	2	1	2	2	1	2	8	6/6	

Примечание.

* Встречаемость: 1 – более чем в 75% учётных квадратов – пробных площадок (широко распространённые, фоновые); 2 – встречаемость в 50 до 74% учётных квадратов; 3 – встречаемость в 25-49% учётных квадратов; 4 – встречаемость менее чем в 24% учётных квадратов; 5 – встречаемость менее чем в 5% учётных квадратов.

** КП – коэффициенты полевотолерантности.

*** Шкала кислотности субстрата (рН): 1 – субстрат экстремально кислый и очень кислый, рН<4,0; 2 – очень кислый субстрат, рН 3,4-4,0; 3 – субстрат довольно кислый, рН 4,1-4,8; 4 – между 3-5; 5 – субстрат умеренно кислый, рН 4,9-5,6; 6 – между 5 и 7; 7 – субстрат полунейтральный, рН 5,7-6,5; 8 – нейтральный субстрат, рН 6,6-7,5; 9 – субстрат нейтральный или слабощелочной, рН>7,0 [11].

Шкала отношения вида к богатству субстрата элементами питания (N): 1 – очень бедная минеральными элементами (Mg, Ca, K, Na, N) кора деревьев как у ели, лиственницы, берёзы; 2 – между 1 и 3; 3 – умеренно богатая минеральными элементами кора деревьев с очень малой эвтрофикацией; 4 – между 3 и 5; 5 – кора богата минеральными элементами или умеренно покрыта пылью; 6 – между 5 и 7; 7 – богатая минеральными элементами кора, часто покрыта густым слоем пыли [11].

Жирным шрифтом в таблице выделены нитрофильные виды лишайников.

orbicularis, *Physcia adscendens*, *Ph. stellaris*, *Xanthoria parietina* и др.

Основные синузиды, формирующиеся на средней части ствола форофитов (от 0,6 до 2,0 м), представлены *Xanthoria parietina* (проективное покрытие от 20 до 70%), *Parmelia sulcata* и *Parmeliopsis ambigua* (проективное покрытие от 5 до 70%), *Physcia stellaris* (проективное покрытие от 10 до 40%), *Physconia distorta* (проективное покрытие от 15 до 35%). Наиболее разнообразны эпифитные лишеносинузиды на *Betula pendula*, *Populus alba*, *Quercus robur*. В составе лишайниковых группировок представлены и дифференцирующие виды: на коре сосны обыкновенной в основном *Lepraria incana*, ели европейской – *Xanthoria candelaria* и *Xanthoria parietina*, дуба черешчатого – *Evernia prunastri*, тополя дрожащего – *Caloplaca cerina*, рябины обыкновенной – *Caloplaca cerina* и *Graphis scripta*. Примечательно, что лишеносинузиды сформированы с участием нитрофильных видов – *Xanthoria parietina*, *Physcia stellaris*, *Physconia distorta*, *Phaeophyscia ciliata*, которые могут характеризовать степень антропогенного изменения экологических условий в сообществах, использоваться как биоиндикаторы.

Общее проективное покрытие лишайников на реперных точках за три года исследований изменялось незначительно (изменения статистически недостоверны). Результаты анализа проективного покрытия различных жизненных форм лишайников на деревьях (форофитах)

показали преобладание листоватой жизненной формы, наименьшее проективное покрытие – у кустистых и накипных жизненных форм. Наименьшее проективное покрытие кустистых лишайников на точке 68, накипных – на точке 5. Наибольшее проективное покрытие кустистых лишайников на точке 6. Наибольшая динамика проективного покрытия зарегистрирована для накипных лишайников, однако значения (в баллах) проективного покрытия не изменялись (2-3 балла).

Вероятно, изменение общего проективного покрытия лишайников на реперных точках вызвано изменением светового режима из-за естественного отпада нижних ветвей древесных видов.

Индекс общей чистоты атмосферы (ОЧА), рассчитанный с использованием балльных оценок проективного покрытия всех групп лишайников на стволах модельных видов, характеризует благоприятное состояние атмосферы на пробных площадках и в точках исследований. Интервал ОЧА – от 0,53 балла до 0,66.

Расчёт синтетических индексов – ИП и ИАЧ – показал, что состояние атмосферы на обследованных реперных точках благоприятное (табл. 1). Таким образом, значения ИП изменялось от 1,86 до 4,12, значит, на обследованной территории зарегистрированы благоприятная (от 1,8 до 2,79) и смешанная зоны (ИП от 2,8 до 4,5).

Показатели ИАЧ менее информативны. Они позволили установить наличие нормаль-



Рис. 1. Карта-схема зон, выделяемых на основании значений ИП, показывающее состояние атмосферного воздуха на мониторинговых реперных точках объекта

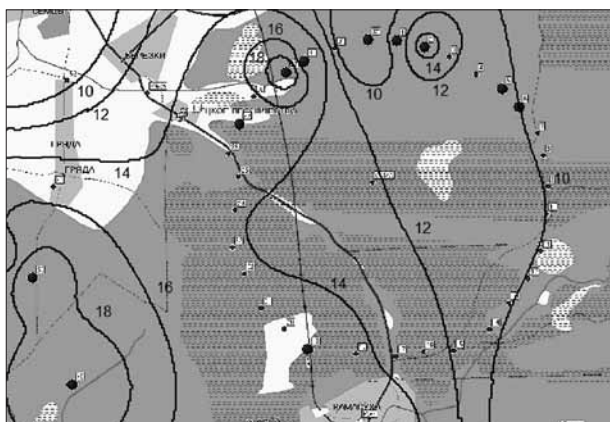


Рис. 2. Карта-схема зон, выделяемых на основании значений ИАЧ, показывающее состояние атмосферного воздуха на мониторинговых реперных точках объекта

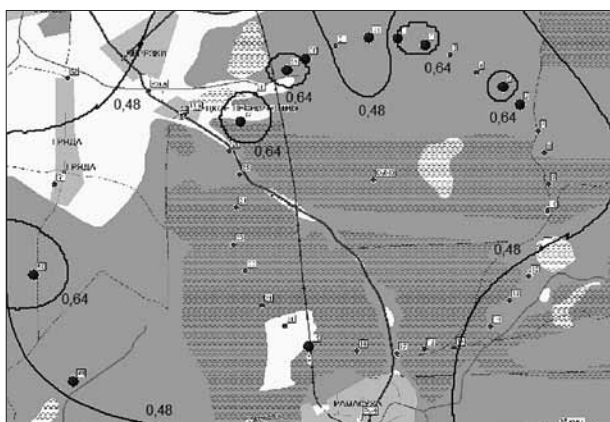


Рис. 3. Карта-схема зон, выделяемых на основании значений ОЧА, показывающее состояние атмосферного воздуха на мониторинговых реперных точках объекта

Таблица 2

Показатели химического состава воздуха обследованных реперных точек

Реперная точка	Вещество			
	CO	SO ₂	NO	NO ₂
	Фактическая концентрация, мг/м ³			
1	0,912	0,0076	0,0069	0,0027
2	0,991	0,0088	0,0064	0,003
5	0,987	0,009	0,007	0,003
6	0,948	0,0062	0,0157	0,0097
30	0,93	0,001	0,009	0,003
50	0,905	0,0007	0,0068	0,0059
19	1,10	0,0006	0,01	0,011
27	0,993	0,0083	0,0059	0,0031
74	0,93	0,001	0,0069	0,0031
29	0,91	0,001	0,0088	0,003
49	0,947	0,009	0,012	0,010
68	0,940	0,0009	0,009	0,006
	ПДК (атм. воздух), мг/м ³			
	5,0	0,5	0,4	0,2

ной зоны по общему состоянию атмосферы. Эти показатели не изменялись за три года исследований.

Зоны по состоянию атмосферного воздуха на реперных точках отражены на рисунках 1–3.

Показатели содержания в воздухе основных загрязнителей на пробных площадках реперных точек указаны в таблице 2.

Таким образом, измеренные концентрации общепромышленных загрязнителей во всех точках фиксировались менее нижнего предела определения. Это в целом соответствует показателям ИП и ИАЧ по общему состоянию атмосферного воздуха. Поэтому оценка общего состояния атмосферы реперных точек методом лишеноиндикации показала благоприятное общее состояние атмосферы (условно фоновое) в импактном мониторинге. Все используемые для лишеноиндикации эпифитные виды – хорошие индикаторы и рекомендованы к использованию для биодиагностических мероприятий района химически опасных техногенных объектов.

Литература

1. Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. Киров: Вятка, 2002. 544 с.
2. Биоиндикаторы и биотестсистемы в оценке окружающей среды техногенных территорий / Под общ. ред. Т. Я. Ашихминой и Н. М. Алалыкиной. Киров: О-Краткое, 2008. 336 с.
3. Анищенко Л.Н., Балясников И.А., Рудакова Т.А. Блок биомониторинга в экоаналитическом контроле химически опасных техногенных систем (на примере

объекта по утилизации химического оружия 1204, Брянская область) // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 3. – С. 40–46.

4. Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. М.: Научный мир, 2002. 336 с.

5. Трасс Х.Х. Анализ лишенофлоры Эстонии: Автореф. дис.... докт. биол. наук. Л.: БИН АН СССР, 1968. 80 с.

6. Анищенко Л.Н. Бриоиндикация общего состояния атмосферы городской экосистемы (на примере г. Брянска) // Экология. 2009. № 4. С. 264–270.

7. Мартин Л., Трасс Х. Лишеноиндикационное картирование г. Таллина // Лишеноиндикация состояния

окружающей среды. Мат. Всесоюзн. конф. 3-5 окт. 1978. Таллин. 1978. С. 134–139.

8. De Sloover J., Le Blanc F. Mapping of atmospheric pollution on the basis of lichen sensitivity // Proc. Symp. Recent Advances in Tropical Ecology / Ed. by R. Misra. Varansi. R. Misra, B. Gopaletal. 1968. P. 42–56.

9. Голубкова Н.С., Малышева Н.В. Влияние роста города на лишайники и лишеноиндикация атмосферных загрязнений г. Казани // Бот. журн. 1978. Т. 63. № 8. С. 1145–1154.

10. Список лишенофлоры России. СПб. 2010. 194 с.

11. Wirth V. Zeigewerte von Flechten // Scripta Geobotanica. 1991. Bd.18. – S. 215–237.