

УДК 581.5 : 582.4

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТЕНИЯМИ И ЛИШАЙНИКАМИ В УСЛОВИЯХ СОЧЕТАННОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Анищенко Л.Н., Шапурко В.Н., Сафранкова Е.А.

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени акад. И.Г. Петровского»,
Брянск, e-mail: eco_egf@mail.ru

Работа по анализу аккумулятивной способности растений и лишайников по отношению к тяжелым металлам в условиях урбозкосистем выполнялась в рамках международной программы использования растительных биоиндикаторов для диагностики состояния сред обитания. На основе результатов анализа 311 образцов фитомассы, а также коры деревьев, почвы рассчитывались коэффициенты накопления (Кн), позволяющие выделить виды-накопители (индикаторы, чувствительные). Среди зеленых мхов индикаторы (Кн > 2) по отношению к стронцию все эпигейные виды *Bryum argenteum*, *Dicranum scoparium*, *Abietinella abietina*, к цинку – *Bryum argenteum*, марганцу – *Amblystegium serpens*, *Bryum argenteum*, *Abietinella abietina*, железу – *Orthotrichum obtusifolium* и *Abietinella abietina*. Чувствительный вид (биоиндикатор) с наибольшими Кн – *Chelidonium majus* – по отношению к свинцу, цинку и меди, *Tanacetum vulgare* – по отношению к цинку, *Plantago major* – по отношению к свинцу. Лишениоиндикаторы (Кн > 2) по отношению к стронцию – *Parmeliopsis ambigua*, *Parmelia sulcata*, к свинцу – *Parmelia sulcata*, меди – *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, железу и марганцу – все виды лишенобиоты. Установлены признаки для ведения аналитико-химических исследований биоиндикаторов – зеленых мхов: сочетание в паре элементов «цинк – медь». Подтверждено использование сочетанной концентрации «железо – марганец» в биомассе фоновых эпифитных видов как диагностических для атмосферного загрязнения.

Ключевые слова: тяжелые металлы, коэффициент накопления, растения, лишайники, Брянская область

THE PECULIARITIES OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS BY PLANTS AND LICHENS IN THE CONDITIONS OF COMBINED ANTHROPOGENIC LOAD

Anischenko L.N., Shapurko V.N., Safrankova E.A.

Bryansk State Academician I.G. Petrovsky University, Bryansk, e-mail: eco_egf@mail.ru

Work on the analysis of accumulative capacity of plants and lichens in relation to heavy metals in conditions of urban ecosystems was carried out in the framework of the international program for the use of plant bioindicators to diagnose the condition of habitats. Based on the results of the analysis 311 samples of phytomass and bark of trees, the soil was calculated coefficients of accumulation (Kn) that allows you to select the types of drives (indicators that are sensitive). Among the green mosses indicators (Kn > 2) in relation to the strontium all epiphytic types *Bryum argenteum*, *Dicranum scoparium*, *Abietinella abietina*, zinc – *Bryum argenteum*, manganese – *Amblystegium serpens*, *Bryum argenteum*, *Abietinella abietina*, iron – *Orthotrichum obtusifolium* and *Abietinella abietina*. Sensitive species (bioindicator) with the largest Kn – *Chelidonium majus* – in relation to that of lead, zinc and copper, *Tanacetum vulgare* – in relation to zinc, *Plantago major* – vis the lead. Lichenoindication (Kn > 2) in relation to the strontium – *Parmeliopsis ambigua*, also *Parmelia sulcata*, lead – *Parmelia sulcata* copper – *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, iron and manganese – all species of lichen biota. Installed signs for conducting analytical-chemical studies of bio-indicators – green moss: a combination of a couple of items «zinc-copper». Confirmed using the combined concentration of «iron-manganese» in biomass background epiphytic species as a diagnostic for atmospheric pollution.

Keywords: heavy metals, the accumulation rate, plants, lichens, Bryansk region

Аккумуляционные свойства фитомассы видов в урбозкосистемах по отношению к элементам группы тяжелых металлов (ТМ) – перспективное направление прикладных экологических изысканий, позволяющее установить индивидуальную поглотительную способность растений, лишайников [1, 4, 5]. В рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния реализуется международная система мониторинга ТМ как трансграничных загрязнителей сред обитания, осуществляемой на 65 станциях [13]. Оценка степени загрязнения сред ТМ эффективно проводится и согласно международной совместной программе по воздействию

загрязнения воздуха на естественную растительность и сельскохозяйственные культуры – ICP-Vegetation, в том числе и с использованием различных субстратных групп лишайников, мохообразных, сосудистых растений [15]. Представленные результаты исследования накопительной способности растений и лишайников по отношению к ТМ позволят в дальнейшем во временном разрезе оценить уровень загрязнения трансграничными поллютантами, а в настоящее время выявить чувствительные (индикаторные) виды.

Цель работы – выявить накопительные возможности растений и лишайников по отношению к элементам группы тяжелых

металлов на основе коэффициентов накопления в условиях урбоэкосистем южного Нечерноземья России.

Материалы и методы исследований

Полевые исследования проводились на территории крупных городов Брянска и Орла, в условиях промышленного, транспортного и рекреационного воздействия на биосистемы. Для анализа собирались фоновые виды эпифитных и эпигейных мхов и лишайников, лекарственных растений в рудеральных и селитебных местообитаниях, кора деревьев-форофитов, почва корневой сферы и субстрата для мхов. При отборе проб придерживались рекомендаций Руководства ЕМЕП [9], анализируя содержание ТМ в биомассе фоновых (наиболее распространенных) эпифитных лишайников: *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., *Hypogymnia tubulosa* (Schaer.) Hav., *Parmeliopsis ambigua* (Wulf.) Nyl., *Xanthoria parietina* (L.) Belt., *Phaeophyscia orbicularis* (Neck.) Moberg, *Melanohalea olivacea* (L.) O. Blanco et al., *Parmelia sulcata* Taylor; зеленых мхов: *Amblystegium serpens* (Hedw.) G. Roth B.S.G., *Orthotrichum speciosum* Nees. in Sturm., *Orthotrichum obtusifolium* Brid., *Pylaisia polyantha* (Hedw.) B.S.G. (эпифитные виды), *Bryum argenteum* Hedw., *Dicranum scoparium* Hedw., *Abietinella abietina* (Hedw.) M. Fleisch. (эпигейные виды); лекарственных сосудистых растений: *Achillea millefolium* L., *Artemisia absinthium* L., *Urtica dioica* L., *Cichorium intybus* L., *Plantago major* L., *Tanacetum vulgare* L., *Tussilago farfara* L., *Chelidonium majus* L., *Rumex confertus* Willd. (многолетние), *Matricaria recutita* L.

(однолетний). Все эпифитные виды лишайников и мхов отбирались на *Tilia cordata* Mill. с субнейтральной корой.

Образцы почв (коры и субстратов) отбирались в момент сбора растительного материала в соответствии с методическими документами [2, 3] с глубины 2–20 см от поверхности. Отбор почвы производился с пробных площадок в 1 м² методом конверта, затем готовилась смешанная проба, число точечных проб соответствовало ГОСТ 17.4.3.01-83 [2]. Воздушно-сухие пробы хранили в стеклянной таре.

Собранные образцы подвергались общепринятой камеральной обработке для пробоподготовки к работе на спектрометре «Спектроскан-Макс» фирмы Spectron [7]. Подготовку проб к анализу валового содержания ТМ осуществляли в соответствии с ОСТ 10259–2000, высушивание проб до сухого состояния проводили при температуре 105°С. Проанализировано 311 образцов биомассы и столько же субстратов: коры, почвы.

Рассчитывались коэффициенты накопления (Кн) – как отношение концентрации элемента (ТМ) в биомассе растений (лишайников) к концентрации его в почве (в коре форофита) [6]. Видовые названия растений указаны по С.К. Черепанову (1995), мхов – по М.С. Ignatov et al. (2006), лишайников – по Списку лишенофлоры России [10, 11, 14].

Результаты исследований и их обсуждение

Данные о коэффициентах накопления (Кн) эпифитных лишайников представлены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты накопления ТМ фитомассой лекарственных растений в условиях урбоэкосистем

Элемент	Пробы и коэффициенты накопления*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sr	1,01	1,04	1,84	1,36	1,84	0,77	1,89	1,09	1,08	1,04
Pb	1,04	1,22	0,64	0,79	2,11	1,59	1,18	2,79	1,68	1,98
As	1,34	1,39	1,41	1,22	1,81	1,62	1,25	1,03	1,19	1,46
Zn	1,73	1,92	0,77	1,75	1,89	2,24	1,82	2,77	1,55	1,43
Cu	1,54	1,28	1,98	1,65	1,75	1,99	2,04	2,53	1,22	1,40
Ni	0,33	1,44	0,87	0,68	0,45	0,94	1,02	1,05	0,85	0,57
Co	0	0	1,22	1,41	0	0	0	0	0	0
Fe	0,94	0,63	0,87	0,53	0,58	1,02	1,01	1,69	0,69	0,99
Mn	0,87	1,02	0,94	0,65	0,84	0,68	0,72	0,56	0,47	1,37
Cr	0,48	0,67	0,75	0,57	0,29	0,48	0,55	1,01	0,57	1,03
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Примечание. *Коэффициенты накопления для сосудистых растений (лекарственные виды): 1. *Achillea millefolium*. 2. *Artemisia absinthium*. 3. *Urtica dioica*. 4. *Cichorium intybus*. 5. *Plantago major*. 6. *Tanacetum vulgare*. 7. *Tussilago farfara*. 8. *Chelidonium majus*. 9. *Rumex confertus*. 10. *Matricaria recutita*.

Экологические ряды максимального накопления ТМ (по Кн) для сосудистых растений представлены: *Urtica dioica*: Cu > Sr > As > Co; *Chelidonium majus*: Pb > Zn > Cu > Fe; *Tussilago farfara*: Cu > Sr > Zn > As > Pb; *Tanacetum vulgare*: Zn > Cu > As > Pb; *Plantago major*: Pb > Zn > Sr > As > Cu;

Artemisia absinthium: Zn > As > Cu > Pb; *Matricaria recutita*: Pb > As > Zn > Cu > Mn; *Achillea millefolium*: Zn > Cu > As; *Cichorium intybus*: Zn > Cu > Co > Sr > As; *Rumex confertus*: Pb > Zn > Cu > As.

Максимальные значения коэффициентов накопления ТМ у лекарственных растений

в урбэко системах выше, чем рассчитанные для адвентивных растений синантропных сообществ и луговых растений [1, 4, 8]. Практически не аккумулируются исследованными видами растений хром, марганец, никель, не накапливаются – ванадий и титан, что совпадает с имеющимися данными [3, 6, 7, 8]. Чувствительный вид (биоиндикатор) с наибольшими Кн – *Chelidonium majus* – по отношению к свинцу, цинку и меди, *Tanacetum vulgare* – по отношению к цинку, *Plantago major* – по от-

ношению к свинцу. Кн характеризует сходное накопление ТМ многолетними и однолетними (*Matricaria recutita*) видами лекарственных растений. Что касается рекомендаций по сбору лекарственных видов растений, то ввиду их хорошей аккумулирующей способности ТМ, необходимо воздержаться от заготовки растительной фитомассы в неблагоприятных для произрастания местообитаниях.

Накопительные возможности эпифитных лишайников по Кн описаны в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты накопления ТМ эпифитными лишайниками

ТМ	Пробы и коэффициенты накопления*						
	1	2	3	4	5	6	7
Sr	1,99	1,64	3,44	1,36	1,22	1,76	2,74
Pb	1,20	1,86	0,81	0,82	0,91	0,83	1,98
As	0,42	0,41	0,35	0,37	0,42	0,31	0,22
Zn	0,89	0,88	1,12	0,92	0,99	1,22	1,24
Cu	2,14	1,48	2,33	1,19	1,85	1,12	2,41
Ni	0,55	0,72	0,68	0,55	0,63	0,71	0,82
Co	0	0	0	0	0	0	0
Fe	3,43	2,71	2,31	2,14	2,47	2,15	2,31
Mn	2,66	2,43	2,13	2,25	2,48	2,18	2,36
Cr	0,88	0,55	0,76	0,78	0,71	0,42	0,26

Примечание. *Коэффициенты накопления для лишайников: 1 – *Hypogymnia physodes*. 2 – *Hypogymnia tubulosa*. 3 – *Parmeliopsis ambigua*. 4 – *Xanthoria parietina*. 5 – *Phaeophyscia orbicularis*. 6 – *Melanohalea olivacea*. 7 – *Parmelia sulcata*.

Виды лишенобиоты интенсивно накапливают стронций (Кн от 1,22 до 3,44), железо (Кн от 2,15 до 3,43), марганец (Кн от 2,13 до 2,66), медь (Кн от 1,19 до 2,41). Значения коэффициентов накопления для этих ТМ у эпифитной лишенофлоры выше зарегистрированной для сосудистых растений. Лишайники практически не аккумулируют никель, хром, мышьяк,

не накапливают кобальт. В отличие от сосудистых растений ни один из видов лишайников не накапливает мышьяк. Для всех исследованных проб рассчитаны высокие коэффициенты накопления (Кн > 2) для железа и марганца, что подтверждает предположение о диагностическом значении антропогенного загрязнения концентрации двух элементов [12].

Таблица 3

Коэффициенты накопления ТМ листостебельными мхами

ТМ	Пробы и коэффициенты накопления *						
	1	2	3	4	5	6	7
Sr	1,03	1,31	1,55	1,29	2,55	2,43	2,75
Pb	0,54	0,98	0,57	0,72	0,62	0,25	0,74
As	0,87	0,72	0,65	0,58	0,64	0,75	0,48
Zn	1,93	1,78	1,82	1,94	2,36	1,76	1,59
Cu	1,66	1,74	1,78	1,72	1,35	1,82	1,81
Ni	0,83	0,75	1,02	1,0	0,80	0,54	0,67
Co	0	0	0	0	0,09	0,04	0,10
Fe	1,18	1,22	2,22	1,75	1,33	1,87	2,70
Mn	2,17	1,66	1,74	1,47	2,31	1,84	2,41
Cr	0,61	0,98	0,32	0,47	0,90	0,74	0,63

Примечание. *Коэффициенты накопления для мхов: 1 – *Amblystegium serpens*. 2 – *Orthotrichum speciosum*. 3 – *Orthotrichum obtusifolium*. 4 – *Pylaisia polyantha*. 5 – *Bryum argenteum*. 6 – *Dicranum scoparium*. 7 – *Abietinella abietina*.

Экологические ряды по аккумуляции ТМ для эпифитной лишенобиоты следующие. Для *Hypogymnia physodes* Fe > Mn > Sr, *Hypogymnia tubulosa* Fe > Mn > Pb, *Parmeliopsis ambigua* Sr > Fe > Mn, *Xanthoria parietina* Mn > Fe, *Phaeophyscia orbicularis* Fe > Mn > Cu, *Melanohalea olivacea* Mn > Fe, *Parmelia sulcata* Sr > Cu > Mn > Fe. Индикаторные (чувствительные) виды (Кн > 2) по отношению к стронцию – *Parmeliopsis ambigua*, *Parmelia sulcata*, к свинцу – *Parmelia sulcata*, меди – *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, железу и марганцу – все виды лишенобиоты. Для листостебельных эпифитных мхов при вычислении Кн учитывалось поступление ТМ только через субстрат – кору форофита (аналогично эпифитным лишайникам), у эпигейных видов – через почву (табл. 3).

Экологические ряды по аккумулирующей способности зеленых мхов (на основе Кн) к ТМ следующие: *Amblystegium serpens* Mn > Zn > Cu, *Orthotrichum speciosum* Zn > Cu > Mn, *Orthotrichum obtusifolium* Fe > Zn > Cu > Mn, *Pylaisia polyantha* Fe > Zn > Cu > Mn, *Bryum argenteum* Sr > Zn > Mn, *Dicranum scoparium* Sr > Fe > Mn > Cu, *Abietinella abietina* Sr > Fe > Mn > Cu. Зеленые мхи, в отличие от сосудистых растений, не накапливают свинец, мышьяк, так же, как и сосудистые растения не аккумулируют никель, титан, ванадий, хром. Отмечена сопряженная аккумуляция всеми исследованными видами ТМ в парах: железо – марганец, цинк – медь. Индикаторные (чувствительные) виды (Кн > 2) по отношению к стронцию все эпигейные виды *Bryum argenteum*, *Dicranum scoparium*, *Abietinella abietina*, к цинку – *Bryum argenteum*, марганцу – *Amblystegium serpens*, *Bryum argenteum*, *Abietinella abietina*, железу – *Orthotrichum obtusifolium* и *Abietinella abietina*.

Выводы

Таким образом, в условиях крупных урбоэкосистем южного Нечерноземья России, аккумуляция растениями и лишайниками ТМ видоспецифична. Рассчитанные коэффициенты накопления подтвердили эффективную аккумуляцию легкоподвижных ТМ стронция (эпигейные зеленые мхи), меди, марганца (эпифитные лишайники), мышьяка (сосудистые растения), а также малоподвижного цинка (в основном эпифитные лишайники, сосудистые растения). Ряд видов накапливает малоподвижный свинец (в основном сосудистые растения), железо (все виды эпифитных лишайников, зеленых мхов), все исследованные виды исключают,

не накапливая, легкоподвижный хром. По отношению к эссенциальным элементам – железу, марганцу, меди, цинку – их накопление фитомассой объясняется значительной ролью этих ТМ в биохимических процессах клетки. Валовое содержание железа тесно связано с концентрацией марганца (в образцах эпифитных лишайников, зеленых мхов), что подтвердило выбор в качестве индикаторного признака в химико-аналитических исследованиях сочетания этих элементов. Рекомендуем использовать признак сочетания в паре ТМ «цинк – медь» в фитомассе зеленых мхов для ведения мониторинга трансграничных загрязнителей.

Вероятно, многие ТМ поступают как из локальных источников загрязнения, так и в результате локального переноса. Выявлены чувствительные виды-индикаторы (лишайники, мхи, сосудистые растения) по отношению к различным ТМ, которые в дальнейшем будут использованы для экоаналитического мониторинга ТМ как трансграничных загрязнителей в Нечерноземье России.

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 13-04-90350 РБУ_а «Состояние и оценка техногенного загрязнения естественных и сеяных лугов, их рациональное использование и охрана на приграничных территориях Брянской (Россия), Гомельской (Республика Беларусь) и Черниговской (Украина) областей в постчернобыльский период».

Список литературы

1. Булохов А.Д., Анищенко Л.Н., Панасенко Н.Н. и др. Тяжелые металлы компонентов луговых ценозов в условиях техногенной нагрузки (на примере Брянской области) // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/117-13337> (дата обращения: 02.06.2014).
2. ГОСТ 28168-89. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – М., 1989. – 5 с.
3. ГОСТ 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений. – М., 2001. – 3 с.
4. Егорова И.Н. Содержание тяжелых металлов и радионуклидов в сырьевых лекарственных растениях Кемеровской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Томск, 2010. – 21 с.
5. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
6. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В.А. Ипатьев, В.Ф. Багинский, И.М. Булавик и др.; под ред. В.А. Ипатьева. – Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 1999. – 396 с.
7. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошкообразных пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. М 049-П/04. – СПб.: ООО НПО «Спектрон», 2004. – 20 с.
8. Поцепай Ю.Г., Анищенко Л.Н. Накопление тяжелых металлов адвентивными растениями синантропных сообществ.

ществ // Проблемы экологии и агрохимии. – 2013. – № 1. – С. 35–40.

9. Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу / пер. с англ.; под ред. А.Г. Рябошапка. Kjeller, 2001: [site of NILU]. URL: <http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/manual/index.html> (дата обращения: 22.06.2013).

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

11. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств – СПб., 1995. – 992 с.

12. Шарунова И.П. Межвидовая и внутривидовая изменчивость накопления тяжёлых металлов эпифитными лишайниками в градиенте токсической нагрузки: дис. ... канд. биол. наук. – Екатеринбург, 2008. – 119 с.

13. Ilyin I., Rozovskaya O., Travnikov O. Heavy metals: transboundary pollution of the environment EMEP status report 2/2008: [сайт МСЦ-Восток]. URL: <http://www.msceast.org/publications.html> (дата обращения: 02.06.2014).

14. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. and others. The check-list of mosses of East Europe and North Asia. Arctoa. – T. 15. – 2006. 1-130 p.

15. Harmens H., Mills G., Hayes F. et. al. Air pollution and vegetation ICP Vegetation: annual report – 2009/10. Bangor, 2010: [site ICP Vegetation]. URL: <http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/annual.html> (дата обращения: 11.07.2014).

References

1. Bulokhov A.D., Anishchenko L.N., Panasenko N.N. and other. Heavy metals components of meadow communities in the conditions of technogenic load (Bryansk region) // Modern problems of science and education, 2014, no. 3; URL: <http://www.science-education.ru/117-13337> (date of access: 02.06.2014).

2. GOST 28168-89. The nature conservancy. The soil. General requirements for sampling. M, 1989. 5 p.

3. GOST 17.4.3.07-2001. The nature conservancy. The soil. Requirements to the properties of sediments of sewage water when used as fertilizer. M/, 2001. 3 p.

4. Egorova I. N. The content of heavy metals and radionuclides in commodities medicinal plants in Kemerovo region: Avtoref. dis. ... cand. biol. of sciences. Tomsk, 2010. 21 p.

5. Kabata-Pendias A., Pendias X. Agricultural trace elements in soils and plants. M/: Mir, 1989. 439 p.

6. Forest. People. Chernobyl. Forest ecosystems after the Chernobyl accident: status, Outlook, the reaction of the population, road rehabilitation / Century A. the Ipatiev, V.F. Baginsky, I.M. Bulavik, A.M. Janitor, V.E. Fedorov, F.T. Goncharenko and

others, Ed. by C.A. Ipatiev. Gomel: Institute of forest of national Academy of Sciences of Belarus, 1999. 396 p.

7. The method of measurement of the mass share of metals and metal oxides in the powdery soil samples by x-ray fluorescence analysis. M 049-P/04.-S-Pb.: NPO «Spectron», 2004. 20 p.

8. Potcepay Y.G., Anishchenko L. Accumulation of heavy metals adventive plants synanthropic communities // Problems of ecology and Agrochemistry, 2013, no. 1, pp. 35–40.

9. The EMEP manual for sampling and chemical analysis / Per. s angl.; Ed. by A.G. Ryaboshapko. Kjeller, 2001: [site of NILU]. URL: <http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/manual/index.html> (date of access: 22.06.2013).

10. The list of lichens of Russia. SPb, 2010. 194 p.

11. Cherepanov S.K. Vascular plants of Russia and neighboring countries. SPb., 1995. 992 p.

12. Sharunova I.P. Interspecific and intraspecific variability of heavy metals accumulation of epiphytic lichens in the gradient toxic load / I.P. Sharunova: dis. ... cand. biol. of sciences. Yekaterinburg, 2008. 119 p.

13. Ilyin I., Rozovskaya O., Travnikov O. Heavy metals: transboundary pollution of the environment EMEP status report 2/2008. URL: <http://www.msceast.org/publications.html> (date of accessed: 02.06.2014).

14. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. and others. The check-list of mosses of East Europe and North Asia. Arctoa. T. 15. 2006. pp. 1–130.

15. Harmens H., Mills G., Hayes F. et. al. Air pollution and vegetation ICP Vegetation: annual report 2009/10. Bangor, 2010: [site ICP Vegetation]. URL: <http://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/annual.html> (date of accessed: 11.07.2014).

Рецензенты:

Булухов А.Д., д.б.н., профессор, зав. кафедрой ботаники, ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского», г. Брянск;

Ториков В.Е., д.с.-х.н., профессор кафедры общего земледелия, технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства, ФГБОУ ВПО «Брянская государственная сельскохозяйственная академия», с. Кокино, Брянская область, Выгоничский район.

Работа поступила в редакцию 05.08.2014.