Боброва А.В., Васильев А.А.

Тяжёлые металлы в почвах и мхах-эпифитах Ленинского района г. Ижевск

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

УДК 574.21

Тяжёлые металлы в почвах и мхах-эпифитах
Ленинского района г. Ижевск

Боброва А.В., Васильев А.А.

Пермский государственный аграрно-технологический университет

Аннотация

*В статье приведены результаты исследований по оценке загрязнения тяжёлыми металлами почв и эпифитов г. Ижевск. Объекты исследования: почвы приствольных кругов тополя черного (*Populus nigra* L.) и эпифитный мох плевроциум шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.). Для оценки загрязнения определяли магнитную восприимчивость почв и мхов, а также среднее валовое содержание тяжёлых металлов в исследуемых образцах. Определена связь между содержанием тяжёлых металлов и магнитной восприимчивостью почв и эпифитов. Выявлена корреляционная зависимость между валовым содержанием Zn, Cr, Fe, V в почвах и во мхах, что свидетельствует об аэральном загрязнении почв.*

Ключевые слова: МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, МХИ-ЭПИФИТЫ, АЭРАЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ

Введение

Загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами является актуальной проблемой современности и все больше привлекает внимание ученых во многих государствах мира [1-8]. Загрязнение компонентов окружающей среды тяжёлыми металлами связано с их широким использованием в промышленном производстве. В связи с несовершенными системами очистки тяжёлые металлы попадают в окружающую среду, в том числе в почву, где закрепляются в составе магнитных частиц, глинистых минералов, органических соединений. Многие исследователи отмечают сильное загрязнение тяжёлыми металлами почв урбанизированных территорий, которые впоследствии

попадают в живые организмы с частицами пыли приземного слоя воздуха или иными путями [9-11].

Урбанизированные территории постоянно испытывают влияние различных источников негативного воздействия, что, в свою очередь, определяет потребность в регулярном мониторинге содержания загрязняющих элементов, в частности, тяжелых металлов, в компонентах окружающей среды. Локальные скопления тяжелых металлов в почвах промышленных городов Предуралья и других регионов можно диагностировать с помощью измерения объемной магнитной восприимчивости почв [12-13].

В практику эколого-геохимических исследований на урбанизированных территориях также широко внедряются методы биомониторинга. Использование эпифитов в качестве биоиндикаторов загрязнения – распространенный метод мониторинговых исследований. Метод относительно простой в применении и обеспечивает количественное измерение качества окружающей среды [2]. Изучение элементного состава покровообразующих видов мхов применяется для оценки степени аэрального загрязнения экосистем тяжелыми металлами [14-25].

Мхи способны извлекать ионы различных элементов из атмосферного воздуха, поскольку лишены покровных тканей и впитывают вещества всей поверхностью тела. Использование мхов является перспективным методом индикации загрязнения окружающей среды такими тяжелыми металлами, как Zn, Cd, Cu, Fe, Ni [26]. Содержание тяжелых металлов в покровообразующих мхах *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi* сопоставимо с их атмосферными выпадениями, следовательно, через корреляционные зависимости возможен переход к абсолютным величинам содержаний тяжелых металлов в воздухе [27].

Город Ижевск является крупным промышленным центром Российской Федерации с населением почти 650 тыс. человек. Неблагоприятная экологическая обстановка на территории города связана с высокой техногенной нагрузкой на окружающую среду города. Загрязнение тяжелыми металлами почв города обусловлено влиянием выбросов предприятий автомобилестроения и приборостроения, заводов по производству легированных сталей, предприятий по производству вооружения и военной техники и др. [28]. В связи с этим использование новых методов организации мониторинга элементного

Боброва А.В., Васильев А.А.

Тяжёлые металлы в почвах и мхах-эпифитах Ленинского района г. Ижевск

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

химического состава почв и других компонентов окружающей среды на территории города является актуальной проблемой экологии.

Цель работы – оценить магнитную восприимчивость и концентрацию тяжелых металлов в почвах и мхах-эпифитах на территории Ленинского района г. Ижевск.

Объекты и методы

Объекты исследования – почвы и техногенные поверхностные образования приствольных кругов тополя черного (*Populus nigra* L.) и эпифитный мох плевроциум шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.) на территории Ленинского района города Ижевск.

На территории района находится свыше четырех тысяч предприятий. Наиболее крупные предприятия на территории района – ОАО «Ижмаш», ПАО «Ижсталь», ТЭЦ-1, завод керамических материалов, завод ячеистого бетона. Все указанные предприятия являются потенциальными источниками выбросов, обогащенных тяжелыми металлами в составе техногенных магнитных частиц.

Отбор проб почв был проведен в июне 2018 г., а эпифитов – в 2021 г. на одних и тех же наблюдательных площадках размером 10х10 м. Площадки были заложены в юго-западном направлении от цехов ПАО «Ижсталь» в районе ул. Новоажимова. Расстояния между площадками от границы пешеходной дорожки по ул. Новоажимова до места взятия проб составило от 150 м до 3900 м. Координаты площадок отбора проб почвы и эпифитов представлены следующим образом: 1 – 56.8351925, 53.1976740; 2 – 56.8372726, 53.1980253; 3 – 56.8381875, 53.1987492; 4 – 56.8411816, 53.1974969; 5 – 56.851730, 53.258945. Расположение точек указано на рис. 1.

В приствольных кругах тополя черного *Populus nigra* L. на расстоянии 50 см от ствола отбирались единичные образцы почвы с глубины 0-10 см. Из единичных образцов были составлены объединенные почвенные пробы массой 1000 г.

Образцы эпифитного мха плевроциум шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.) отбирались с поверхности 2-4 стволов тополя черного (*Populus nigra* L.) при помощи пластикового ножа. Высота отбора образцов составляла около 1,5 м. Пробы эпифитов и объединённые образцы почвы помещались в полиэтиленовые мешки и

снабжались этикеткой.

Рис. 1. Карта расположения площадок в Ленинском районе города Ижевск

Лабораторные исследования проводились в лабораториях кафедр экологии и почвоведения ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ. Определение валового содержания химических элементов выполнено на кафедре химических технологий ФГБОУ ВО «ПНИПУ».

Образцы были высушены при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Почва была растёрта в ступке и пропущена через нейлоновое сито диаметром 1 мм. Образцы мхов были диспергированы в полиэтиленовых мешках до пылевидного состояния.

Магнитная сепарация почв и мхов была произведена с использованием постоянного ферритового магнита. Из растительных образцов выделялась сильномагнитная фаза. Из почвенных образцов выделялось три фазы: сильномагнитная, слабомагнитная, немагнитная. Магнитную восприимчивость определяли на каппаметре КТ-6.

Анализ содержания элементного состава образцов проводился на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре EDX-8100P Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer.

Коэффициенты корреляции рассчитывались в программе Microsoft Excel 2010.

Результаты и обсуждение

На гистограмме представлены кривые изменения валового содержания тяжелых металлов, железа и магния в почвах на разном расстоянии от ул. Новоажимова (рис. 2). По мере удаления от проезжей части отмечено существенное снижение содержания Fe и Pb.

Рис. 2. Содержание тяжелых металлов, железа и магния в почвах на разном расстоянии от проезжей части ул. Новоажимова

Валовое содержание тяжелых металлов в почвах Ленинского района выше, чем в фоновых почвах Увинского района Республики Удмуртия [29] (табл. 1).

В изученных почвах приоритетными загрязняющими металлами являются свинец, никель, цинк и хром. Валовое содержание исследованных металлов многократно превышает не только фон, но и ПДК, кларк. Коэффициенты концентрации КК фон составили: хром – 42, свинец – 17, цинк – 12, никель – 8, магний – 5, железо – 4.

Загрязнение почв Ленинского района, оцененное по среднему значению Zс, относится к категории высокой (опасной), так как соответствует диапазону от 32 до 128 единиц (табл. 2).

Боброва А.В., Васильев А.А.

Тяжёлые металлы в почвах и мхах-эпифитах Ленинского района г. Ижевск

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

Таблица 1. Валовое содержание тяжелых металлов, железа и магния в почвах

	Химические элементы							
	Ni	Zn	Pb	Cr	Mn	V	Fe*	Mg*
Почвы Ленинского района (г. Ижевск)	250	282	404	1164	874	102	30222	66394
Фон (Увинский район Удмуртии)	64	39	10	47	1450	–	13853	–
ПДК	85	100	32	100	1500	120	–	–
Кларк*	40	50	10	200	800	100	38000	6271

Примечание: Мср, мг/кг, n=5; * – по Виноградову для почв мира

Таблица 2. Коэффициенты концентрирования и показатель суммарного загрязнения почвы тяжелыми металлами

№ площадки	Элементы				Zc	Категория загрязнения почв
	Ni	Zn	Pb	Cr		
1	8	10	170	39	224	Чрезвычайно опасная
2	8	13	16	46	80	Опасная
3	2	5	5	16	25	Умеренно опасная
4	-	4	7	4	12	Допустимая
5	2	5	4	19	27	Умеренно опасная
Среднее	4	7	40	25	74	Опасная

Магнитная восприимчивость почв – один из важных показателей, который широко используется при оценке загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами [11, 13]. Результаты определения магнитной восприимчивости изученных почв отражены в таблице 3.

Таблица 3. Магнитная восприимчивость почв

Район г. Ижевск	№ площадки	10^{-3} СИ	Оценка
Ленинский	1	31,60	Очень высокая
	2	11,20	Очень высокая
	3	9,30	Очень высокая
	4	4,50	Выше средней
	5	7,70	Очень высокая

Для оценки полученных результатов нами была использована шкала оценки магнитной восприимчивости почв г. Пермь, который также является крупным

промышленным центром Предуралья [12]. Фоновые значения объемной магнитной восприимчивости для почв г. Ижевск составляют $0,42-1,00 \times 10^{-3}$ СИ [13].

Превышения фоновых значений магнитной восприимчивости почв наблюдаются на всех исследуемых площадках. Это может говорить о характере загрязнения почвы комплексом магнетитоподобных минералов. Основной вклад в магнитную восприимчивость высокомагнитных городских почв вносит нестехиометрический магнетит [12]. При проведении магнитной сепарации из образца почвы площадки №1 извлекались частицы темно-серого цвета с шероховатой поверхностью. Внешне они напоминают мелкие частицы шлака размером до 1 мм. Данные о магнитной восприимчивости разноманитных фаз почв представлены в таблице 4.

Таблица 4. Магнитная восприимчивость почв, 10^{-3} СИ

Район	№ площадки	До проведения магнитной сепарации	Немагнитная фаза почв	Слабомагнитная фаза почв	Сильномагнитная фаза почв
Ленинский	1	31,60	0,48	18,90	88,53
	2	11,20	0,00	6,16	22,13
	3	9,30	0,00	1,01	21,88
	4	4,50	0,30	14,05	106,94
	5	7,70	0,25	5,83	123,94

Определение магнитной восприимчивости является экспресс-методом диагностики локального скопления тяжелых металлов в верхних слоях почвы. Связь между содержанием металла и величиной магнитной восприимчивости представлена в таблице 5. Оценка проведена по следующим критериям: $r < 0,3$ – корреляционная зависимость между признаками слабая, при $r = 0,3-0,7$ – средняя, а при $r > 0,7$ – сильная [30].

Таблица 5. Коэффициенты парной корреляции содержания металла и величины магнитной восприимчивости почв

Район	Коэффициенты корреляции							
	Ni	Zn	Pb	Cr	Fe	Mg	Mn	V
Ленинский	0,7	0,6	0,9	0,6	0,8	-0,5	0,7	0,5

Магнитная восприимчивость почв сильно коррелирует с концентрацией всех

металлов, за исключением Mg. Этот химический элемент не обладает магнитными свойствами и был использован в расчетах в качестве контроля. Следует отметить, что при наличии в почве магнелевых ферритов может существовать прямая связь между величиной магнитной восприимчивости и концентрацией Mg [12].

Валовое содержание некоторых тяжелых металлов в составе мхов-эпифитов очень высокое, а для биологических объектов – аномально высокое (табл. 6).

Таблица 6. Валовое содержание тяжелых металлов, железа и магния в химическом составе мхов-эпифитов, мг/кг

Район г. Ижевск	№ площадки	Валовое содержание элементов							
		Ni	Zn	Pb	Cr	Fe	Mg	Mn	V
Ленинский	1	30	150	10	580	11460	8800	1020	60
	2	20	240	20	260	6710	4180	450	30
	3	30	130	-	370	9340	5210	840	40
	4	20	180	20	300	7780	4590	660	40

Для выявления уровня загрязнения магнитными частицами была проведена оценка магнитной восприимчивости сухих образцов эпифитов. В процессе магнитной сепарации было зафиксировано сильное прилипание стеблей и листьев эпифитов к поверхности магнита. Частицы измельчённых образцов эпифитов полностью «примагничивались» к поверхности магнита, поэтому в итоге проведения магнитной сепарации удалось выделить лишь сильномагнитную фазу в составе диспергированных частиц стеблей и листьев мхов.

Сильномагнитная фаза была извлечена путем отбора пылевидных магнитных частиц мхов через воздушную прослойку мощностью 0,5-0,6 мм.

Магнитная восприимчивость мхов, отобранных на территории Ленинского района, ниже, чем восприимчивость почвы. Значения находятся в диапазоне от 1,18 до 2,84 10^{-3} СИ (табл. 7).

Таблица 7. Магнитная восприимчивость мхов

Район	№ площадки	10^{-3} СИ
Ленинский	1	2,84
	2	1,82
	3	1,58
	4	1,18

Коэффициенты корреляции между содержанием тяжелых металлов в составе мхов и их магнитной восприимчивостью приведены в таблице 8.

Таблица 8. Коэффициенты корреляции содержания тяжелых металлов и магнитной восприимчивости мхов

Район	Коэффициенты корреляции							
	Ni	Zn	Pb	Cr	Fe	Mg	Mn	V
Ленинский	0,6	-0,2	-0,2	0,9	0,7	0,9	0,6	0,8

Коэффициенты парной корреляции между валовым содержанием металлов в составе мхов и их магнитной восприимчивостью высокие по всем парам сравнения, за исключением Zn и Pb. Коэффициент корреляции магнитной восприимчивости почв и мхов равен 1,0, что говорит о сильной взаимосвязи магнитных частиц в почве и мхах, одинаковых источниках магнитных частиц.

В Ленинском районе прослеживается средняя корреляционная зависимость между валовым содержанием Zn, Cr, Fe, V в почвах и во мхах, что может свидетельствовать об аэральном загрязнении воздуха и почв (табл. 9).

Таблица 9. Коэффициенты корреляции содержания тяжелых металлов в почвах и мхах

Район	Коэффициенты корреляции							
	Ni	Zn	Pb	Cr	Fe	Mg	Mn	V
Ленинский	0,1	0,6	-0,1	0,3	0,3	-0,4	0,1	0,3

Заключение

Почвы приствольных кругов тополя черного (*Populus nigra* L.) в Ленинском районе г. Ижевск на улице, расположенной в зоне влияния выбросов ПАО «Ижсталь», имеют высокий (опасный) уровень загрязнения тяжелыми металлами (Ni, Zn, Pb, Cr) и железом. Магнитная восприимчивость почв оценивается как высокая. Установлена сильная взаимосвязь между величиной магнитной восприимчивости и валовым содержанием тяжелых металлов в почве и мхах-эпифитах плевроциум шребера (*Pleurozium schreberi*).

Для проведения мероприятий по мониторингу окружающей среды на территории г. Ижевск перспективно использовать сочетание методов анализа химического состава почв и эпифитов с измерением их магнитной восприимчивости.

Список использованных источников

1. Chen M. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs / G. Zeng , C. Yang , D. Huang, J. Zhang // Biotechnology Advances. – 2015. – Vol. 33. – P. 745-755.
2. Dixit R. Bioremediation of Heavy Metals from Soil and Aquatic Environment: An Overview of Principles and Criteria of Fundamental Processes / Wasiullah, D. Malaviya, K. Pandiyan, U. B. Singh, R. Shukla, B. P. Singh, J. P. Rai, P. K. Sharma, H. Lade, D. Paul // Sustainability. – 2015. – Vol. 7(2). – P. 2189-2212.
3. Kapusta P. Present and past deposition of heavy metals in poland as determined by moss monitoring / G. Szarek-Lukaszewska, B. Godzik // Pol. J. Environ. Stud. – 2014. – Vol. 23, – No. 6. – P. 2047-2053.
4. Kosheleva N. E. Factors of the Accumulation of Heavy Metals and Metalloids at Geochemical Barriers in Urban Soils / N. S. Kasimov, D. V. Vlasov // Eurasian Soil Science. – 2015. – Vol. 48, – No. 5. – P. 476-492.
5. Lazo P. Origin and spatial distribution of metals in moss samples in Albania: A hotspot of heavy metal contamination in Europe / E. Steinnes, F. Qarri, S. Allajbeu, S. Kane, T. Stafilov, M. V. Frontasyeva, H. Harmens // Department Chemosphere. – 2018. – Vol. 190. – P. 337-349.
6. Maxhuni A. First survey of atmospheric heavy metal deposition in Kosovo using moss biomonitoring / P. Lazo, S. Kane, F. Qarri, H. Harmens // Environmental Science and Pollution Research. – 2015. – Vol. 23 (1). – P. 744-755.
7. Mroz T. Determination of element composition and extraterrestrial material occurrence in moss and lichen samples from King George Island (Antarctica) using reactor neutron activation analysis and SEM microscopy / K. Szufa, V. M. Frontasyeva, V. Tselmovich, T. Ostrovnaya, A. Kornaś, M. A. Olech, J. W. Mietelski, K. Brudecki // Environ Sci Pollut Res. – 2018. – Vol. 25. – P. 436-446.
8. Wojtun B. Trace elements in Polytrichum commune and Polytrichastrum formosum from the Karkonosze Mountains (SW Poland) / A. Samecka, P. Kosiba, A. Kempers // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2018. – Vol. 153. – P. 1-7.
9. Абдуллин И.Н. Методы очистки загрязненных тяжелыми металлами почв // Матер. междунар. научно-практ. конф. «Эволюция научной мысли». – Уфа. – 2014. – С. 3-5.
10. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2009. – 95 с.
11. Загурский А.М. Субмикроморфология магнитных фракций почв // Почвоведение. – 2009. – № 9. – С. 1124-1132.

12. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Магнитная и геохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий Предуралья на примере города Перми. – Пермь: Прокрость, 2015. – 243 с.

13. Страдина О.А. Магнитная восприимчивость почв Среднего Предуралья как показатель их загрязнения тяжелыми металлами: автореферат дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03. – Уфа. – 2008. – 20 с.

14. Ананян А.С., Королева Ю.В., Алексеёнок Ю.В. Биомониторинг тяжелых металлов на территории Калининградской области // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. - № 12-2 (102). – С. 25-31.

15. Анищенко Л. Н., Злыднев А. А., Москаленко И. В. Бриоиндикация состояния воздуха крупной урбозкосистемы (на примере г. Орла) // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 5. URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=27000> (дата обращения 24.06.2021).

16. Вардуни Т.В. Анализ содержания тяжёлых металлов в пилезии многоцветковой (*Pylaisia polyantha*), произрастающей в г. Ростов-на-Дону / Т.В. Вардуни, Т.М. Минкина, С.Н. Горбов, С.С. Манджиева // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – № 2. – С. 1-14.

17. Константинова А.С. Содержание тяжелых металлов в талломах *Xanthoriaparietina* L. в условиях г. Ижевска // Матер. междунар. науч. конф. «И Никитинские чтения «Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии в природных и антропогенных ландшафтах». – Пермь. – 2020. – С. 252-255.

18. Королева Ю.В., Ананян А.С., Алексеёнок Ю.В., Черникова Е.А. Наземные виды мхов в мониторинге атмосферных осадений тяжелых металлов в Калининградской области // Матер. междунар. науч.-практ. конф. «Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование». – Москва. – 2020. – С. 218-225.

19. Королёва Ю.В. Использование мхов *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi* для оценки абсолютных значений атмосферных выпадений тяжелых металлов в Калининградской области // Вестник РГУ им. И. Канта. – 2006. – № 7. – С. 29-34.

20. Королёва Ю.В., Пухлова И.А. Новые данные о биоконцентрировании тяжелых металлов на территории Балтийского региона // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2012. – № 1. – С. 99-106.

21. Мосталыгина Л.В., Елизарова С.Н., Костин А.В. Сорбционная способность мхов и лишайников зауралья по отношению к ионам свинца // Химия растительного сырья. – 2020. – №3. – С. 315-321.

22. Недоспасова Н.В. Мохообразные г. Дно (Псковская область) // Вестник Псковского государственного университета. – 2014. – № 5. – С. 36-42.

23. Сухарева Т.А. Элементный состав зеленых мхов фоновых и техногенно нарушенных территорий // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2018. – № 3(172). – С. 89-96.

24. Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю. Реакции листостебельных зеленых мхов на воздействие аэротехногенного загрязнения в условиях северной тайги бассейна Северной Двины // Вестник Московского государственного университета леса – лесной вестник. – 2013. – № 3. – С. 40-44.

25. Цветнова О.Б., Щеглов А.И. Роль мохового покрова лесных экосистем в биогеохимической миграции загрязнителей различной природы // Научные труды БГИТА. – 2003. – Т. 7. – С. 64-66.

26. Жалов Х.Х., Улмасова А.У., Расулова З.А. Содержание тяжелых металлов в мхах Самаркандской области // Матер. науч.-практ. конф. «Ботанические чтения-2013». – Ишим. – 2013. – С. 50-51.

27. Berg T., Steinnes E. Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute deposition values // Environmental Pollution. – 1997. – Vol. 98. – №. 1. – P. 61-71.

28. Гагарин С.А., Малькова И.Л., Семакина А.В. Вклад выбросов промышленных зон г. Ижевска в формирование медико-экологической ситуации // Известия РГО. – 2019. – Т. 15. – № 6. – С. 46-56.

29. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2018 году. – Режим доступа: http://www.tajf.ru/upload/medialibrary/351/TPP_2018.pdf (дата обращения 01.07.2021).

30. Методы исследований в агрохимии: краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки / сост.: Е.А. Нарушева // Сельское хозяйство. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2014. – С. 91.

=====

Цитирование:

Боброва А.В., Васильев А.А. Тяжёлые металлы в почвах и мхах-эпифитах Ленинского района г. Ижевск [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st_402.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20214402>.