

УДК 631.422:546+574.21:561.32

И.Д. Жолудева

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В МОХОВИДНЫХ И ПОЧВАХ НА ТЕРРИТОРИЯХ ПРИРОДНО-ЗАПОВЕДНОГО ФОНДА ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

Государственно образовательное учреждение высшего образования Луганской Народной Республики «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Изучено экологическое состояние почв территорий природно-заповедного фонда Луганской Народной Республики на содержание тяжелых металлов Cd, Pb, Cu, Ni, Cr. Рассмотрены вопросы биоиндикации тяжелых металлов с использованием мхов *Plagiomnium cuspidatum*, *Brachythecium mildeanum*, *Hypnum cupressiforme*. Установлено, что содержание тяжелых металлов в почвах и моховидных заповедных территориях можно использовать как фоновые показатели при проведении экологического мониторинга Луганской Народной Республики.

Ключевые слова: природно-заповедная территория, мохообразные, почва, тяжелые металлы, биоиндикация

Цитирование: Жолудева И.Д. Содержание тяжелых металлов в моховидных и почвах на территориях природно-заповедного фонда Луганской Народной Республики // Промышленная ботаника. 2021. Вып. 21, № 3. С. 97–102.

Введение

На сегодняшний день функционирование природных экосистем полностью или частично находится под воздействием антропогенных факторов, что способствует загрязнению биологических объектов высокотоксичными химическими соединениями. Тяжелые металлы (далее – ТМ), являясь ксенобиотиками, представляют наибольшую опасность для живых организмов и способны к накоплению в природных объектах. Решение экологических проблем воздействия ТМ на окружающую природную среду требует проведения детальных исследований по определению уровня их содержания в различных компонентах экосистем.

Большой научный интерес представляет вопрос биоиндикации ТМ с помощью растений в естественных ценозах. Существует мнение, что моховидные являются наилучшими биомониторами тяжелых металлов благодаря особенностям своего строения [6]. Рядом исследователей пока-

зано уменьшение видового богатства бриофлоры и увеличение концентрации тяжелых металлов в них по направлению к дорогам, центрам городов и заводам [1, 14, 16]. В то же время реакция моховидных на техногенную нагрузку в Донбассе изучена недостаточно. Особенностью функционирования биогеоценозов природных ландшафтов Донбасса является существенный уровень привноса загрязняющих веществ с водно-воздушными потоками с их последующей аккумуляцией в почве или растениях.

Цели и задачи исследований

Целью работы было изучение содержания тяжелых металлов в моховидных и почвах на территориях природно-заповедного фонда Луганской Народной Республики.

В задачи исследований входило:

– определение содержания валовых и кислоторастворимых форм ТМ в почвах и оценка

их экологического состояния по данным показателей;

– определение содержания ТМ в моховидных на территориях природно-заповедного фонда ЛНР;

– выявление видов-биоиндикаторов загрязнения экосистем ТМ.

Объекты и методики исследования

Исследования проводили на территории Луганского природного заповедника республиканского значения (отделение «Провальская степь»), ландшафтного заказника местного значения «Боково-Платово» и парка-памятника садово-паркового искусства «Парк имени Героев Великой Отечественной Войны» [8].

Отделение «Провальская степь» Луганского природного заповедника республиканского значения расположено возле с. Провалье Свердловского района и состоит из двух участков: Калиновский – площадью 299,61 га и Грушевский – площадью 287,89 га. Растительность заповедника характеризуется значительным разнообразием. Общее количество известных на его территории высших, низших растений и грибов составляет 1231 вид, из которых в Красную книгу Луганской Народной Республики занесено 33 вида. Сосудистые растения заповедника насчитывают 783 вида, моховидные представлены 46 видами [10].

Ландшафтный заказник местного значения «Боково-Платово» площадью 598,0 га расположен возле пгт Боково-Платово Антрацитовского района на территории Антрацитовского лесничества ГП «Ивановское лесохозяйство». Территория заказника представляет собой участок с типичным для Донецкого края ландшафтом, представленным пологоволнистой возвышенной равниной, расчлененной оврагами и балками. Растительный покров заказника представлен разнотравно-типчачково-ковыльной степью в комплексе с байрачными лесами (преимущественно дубравами со значительной примесью ясеня высокого). Степные биоценозы заказника отличаются высоким флористическим разнообразием. Для них характерны такие раритетные виды как тюльпан дубравный и рябчик русский, целый ряд узких донецко-приазовских и донецких эндемиков из рода *Rosa* L. и т.д. [10].

Парк-памятник садово-паркового искусства местного значения «Парк имени Героев Великой Отечественной войны» (далее – парк имени Героев ВОВ) расположен в центре г. Луганска на площади Героев Великой Отечественной войны. Площадь парка – 1,5 гектара. Задачей парка-памятника является сохранение живописного сквера в центре города, заложенного в 1957 г. и озелененного ценными декоративными древесно-кустарниковыми породами. На территории парка-памятника произрастают около 30 видов деревьев и кустарников, в том числе ель голубая, конский каштан обыкновенный, липа сердцевидная, розы и др.

На каждой заповедной территории были отобраны почвенные образцы с глубины 0–5 см и образцы трех видов мхов: *Plagiomnium cuspidatum* (Hedw.) T.J.Kop., *Brachythecium mildeanum* (Schimp.) Schimp., *Hypnum cupressiforme* Hedw. Отобранные растения очищали от посторонних примесей и избытка субстрата и высушили до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 40 °С, для анализа отбирали верхние побеги (летний прирост). Во мхах определяли содержание ТМ: кадмия (Cd), свинца (Pb) меди (Cu), никеля (Ni) и хрома (Cr). В почвах определяли валовые и кислоторастворимые (вытяжка в 1 н HNO₃) формы элементов. Содержание ТМ определяли методом атомно-адсорбционной спектrophотометрии на атомно-адсорбционном спектрофотометре «Сатурн-3П» в графитном варианте по методике ЦИНАО [5].

Результаты исследований и их обсуждение

Почвы исследуемых территорий представлены черноземами обыкновенными среднегумусированными на лессовидных суглинках, черноземами обыкновенными среднегумусированными на элювии глинистых сланцев и песчаников и черноземами обыкновенными среднегумусированными на элювии плотных карбонатных пород.

Экологическое состояние почв заповедных территорий оценивали по содержанию валовых форм ТМ при его сравнении с фоновыми показателями для почв Донбасса и предельно допустимыми концентрациями (ПДК) ТМ в почве (табл. 1).

В почвах исследованных территорий наблюдается превышение фоновых показателей содержания валовых форм по свинцу, меди,

Таблица 1. Среднее содержание валовых форм ТМ в почвах (слой 0–5 см) территорий природно-заповедного фонда Луганской Народной Республики (мг/кг почвы)

Объект	Cd	Pb	Cu	Ni	Cr
Заповедник «Провальская степь»	0,087	35,9	19,8	39,2	50,6
Заказник «Боково-Платово»	0,15	20,2	29,8	66,0	103,5
Парк имени Героев ВОВ	0,25	35,2	27,9	55,0	75,0
Фон по Донбассу [13]	0,30	12,7	20,4	40,0	55,0
ПДК [9]	–	32,0	–	–	–

никелю и хрому. Так, в почвах ландшафтного заказника «Боково-Платово» отмечено превышение фона по хрому в 1,9 раза, никелю – в 1,7, свинцу – в 1,6, меди – в 1,5 раза. В парке имени Героев ВОВ также отмечено превышение фоновых показателей по четырем элементам: по свинцу – в 2,4 раза, по меди, никелю и хрому – в 1,4 раза. Максимальное содержание свинца обнаружено в отделении «Провальская степь» Луганского природного заповедника – 35,9 мг/кг почвы, что несколько превышает ПДК, а также фоновый уровень загрязнения – в 2,8 раза.

По мнению Д.Г. Звягинцева почвы, в которых содержание ТМ превышает фоновый уровень, но является безопасным для здоровья человека и состояния окружающей среды, следует оценивать как слабозагрязненные [3]. Согласно другому мнению, превышение содержания ТМ в почве над фоном на уровне ПДК является нормальным в современных условиях [2, 12]. До настоящего времени для нормирования содержания ТМ в почве нет единого нормативного документа, регламентирующего ПДК валового содержания ТМ в почвах с учетом фона (кроме общесанитарных для ванадия, свинца и марганца). К тому же данные о загрязнении почв ТМ, представленные в различных работах, являются очень противоречивыми, а выводы – неоднозначными.

Условно о природе происхождения ТМ в почве можно судить по содержанию их кислоторастворимых форм (вытяжка 1 н HNO₃) (табл. 2)

О техногенном происхождении ТМ может свидетельствовать их повышенная подвижность в почвах, определяемая отношением содержания кислоторастворимой формы химического элемента к его валовому содержанию.

Таблица 2. Среднее содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов в почвах (слой 0–5 см) территорий природно-заповедного фонда Луганской Народной Республики (мг/кг почвы)

Объект	Cd	Pb	Cu	Ni	Cr
Заповедник «Провальская степь»	0,08	11,8	6,1	7,0	1,2
Заказник «Боково-Платово»	0,14	9,3	10,2	15,5	3,4
Парк имени Героев ВОВ	0,22	20,5	10,3	22,0	6,8
Фоновая почва [11]	0,28	8,2	6,0	10,3	1,5

Подвижность ТМ в почвах заповедника «Провальская степь» и заказника «Боково-Платово» находится ниже фоновой почвы, что свидетельствует об отсутствии их антропогенного загрязнения. Почвы парка имени Героев ВОВ имеют подвижность ТМ выше уровня фоновой почвы, особенно по меди, никелю и хрому, что косвенно может указывать на техногенное происхождение этих химических элементов.

Содержание ТМ в моховидных сравнивалось с достаточной (нормальной) концентрацией микроэлементов по обобщенным данным для многих видов растений [4]. Однако такое сравнение является условным, поскольку мхи благодаря своему морфологическому строению способны накапливать более высокие концентрации ТМ по сравнению с другими компонентами биоценоза. Но для несосудистых растений, к которым относятся моховидные, не разработаны критерии оценки содержания в них микроэлементов, что вносит определенную трудность при анализе данных по степени аккумуляции тяжелых металлов бриофитами. Среднее содержание тяжелых металлов в моховидных на территориях природно-заповедного фонда ЛНР представлено в таблице 3.

В образцах моховидных, отобранных на территории заказника «Боково-Платово», находящегося вблизи действующей шахты, содержание Cd в 1,5 раз превышает его нормальную концентрацию в растительных образцах. Здесь же наблюдается накопление Pb до 7,8 мг/кг, однако полученные нами значения содержания свинца не выходят за пределы его нормальных максимальных концентраций (10 мг/кг) [4].

Концентрация Cu и Ni во мхах находится в пределах нормальной концентрации для растений.

Таблица 3. Среднее содержание ТМ в моховидных на территориях природно-заповедного фонда Луганской Народной Республики (мг/кг сухой массы)

Объект	Cd	Pb	Cu	Ni	Cr
Заповедник «Провальская степь»	0,09	2,21	4,51	1,45	2,03
Заказник «Боково-Платово»	0,30	7,80	7,45	1,40	3,68
Парк имени Героев ВОВ	1,00	10,50	10,0	1,40	5,00
Достаточная (нормальная концентрация) [4]	0,05–0,2	5–10	5–30	0,1–5	0,1–0,5
Коэффициент корреляции почва – мох	0,75	0,06	0,63	–0,25	0,28

Максимальные значения по Cu (7,45 мг/кг) приурочены к заказнику «Боково-Платово». Содержание Ni во мхах является стабильным для всех объектов и находится в пределах 1,40–1,45 мг/кг.

Содержание Cr во мхах превышает максимальные значения нормальной концентрации на всех заповедных территориях в 4–10 раз, что может свидетельствовать об их селективной способности поглощать этот элемент. Согласно данным А. Кабата-Пендиас [4] в сосново-березовом лесу возле Варшавы содержание Cr в мхах и лишайниках выше в 1,5–7 раз (2,0–3,2 мг/кг), чем в других растениях этой же лесной экосистемы, что согласуется с нашими данными.

В г. Луганске на территории парка имени Героев ВОВ отмечены более высокие концентрации ТМ во мхах по сравнению с заповедными территориями, находящимися за пределами города. Так, концентрация Cd в мохообразных городской территории превышает их максимальные концентрации в заповедниках в 2,6 раза, Pb, Cr и Cu – в среднем в 1,3 раза. Причем содержание Pb, Cd и Cr превышает максимальный предел нормальной концентрации для растений соответственно в 1,1 раза, 5 и 10 раз, что свидетельствует о значительном загрязнении центра города этими токсикантами.

По результатам корреляционного анализа полученных данных установлена существенная связь между содержанием Cd и Cu в почвах и моховидных ($R=0,75$ и $0,63$ соответственно), что указывает на почвенное поступление этих элементов в растения. Адсорбция Pb и Ni мхами также обусловлена аэральным поступлением токсикантов в эдафотопы, о чем свидетельствуют положительные коэффициенты корреляции почва – мох. Полученная закономерность относительно мхов подтверждается имеющимися литературными данными относительно других растений [4, 7, 11].

Различные виды мохообразных поглощают ТМ с разной интенсивностью. Существуют многочисленные публикации, отражающие аккумулятивные свойства различных видов мхов. Как индикаторы ТМ используют эпифитные виды мхов *Hypnum cupressiforme*, *Homalothecium sericeum*, *Isothecium myosuroides*, *Neckera complanata* [15]. Широко применяются и эпигейные виды: *Dicranum scoparium*, *D. polysetum*, *Hylocomium splendens*, *Pohlia nutans*, *Pleurozium schreberi*, *Brachythecium mildeanum*, *Cirriphyllum piliferum* [14–16]. Установлено, что содержание ТМ в зеленых напочвенных мхах тесно связано с содержанием этих элементов в верхнем слое почвы. По сравнению с эпифитами, напочвенные виды менее пригодны для оценки содержания ТМ в атмосфере [15].

Анализ данных содержания ТМ в исследованных нами видах мхов позволяет сделать вывод, что эпифитный мох *Hypnum cupressiforme* содержит более высокие концентрации Cd, Pb и Ni, чем другие изученные нами виды, и может быть использован в качестве биоиндикаторов техногенного загрязнения экосистем (табл. 4).

Таблица 4. Среднее содержание ТМ в различных видах мхов на территориях природно-заповедного фонда Луганской Народной Республики (мг/кг сухой массы)

Вид мха	Cd	Pb	Cu	Ni	Cr
<i>Hypnum cupressiforme</i>	0,314	8,417	1,375	5,726	2,460
<i>Brachythecium mildeanum</i>	0,236	3,688	1,463	4,945	2,353
<i>Plagiomnium cuspidatum</i>	0,267	2,543	1,433	3,833	2,417

При этом колебания концентраций Pb и Ni наиболее существенны, что подтверждает преимущество аэральную адсорбцию этих элемен-

тов мохообразными. Си и Сг аккумулируются с относительной стабильностью всеми видами мхов.

Выводы

Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что атмосферные выпадения тяжелых металлов на природно-заповедных территориях ЛНР носят локальный характер и существенно не влияют на микроэлементный состав почв. Зоны с повышенным содержанием Рb, Cd и Сг во мхах установлены на заповедных территориях вблизи предприятий угольной промышленности и в центральной части г. Луганска. Содержание тяжелых металлов в почвах и мохообразных заповедных территориях, расположенных вне городской территории, можно использовать как фоновые показатели при проведении экологического мониторинга.

Необходимо продолжение изучения экологического состояния почвенного и растительного покрова заповедных территорий ЛНР. Эти исследования могут служить базой для научного обоснования выбора параметров для контроля состояния природной среды и создания сбалансированных антропогенных ландшафтов.

1. *Биоиндикация* загрязнения наземных экосистем / под ред. Р. Шуберта; пер. с нем. М., 1988. 348 с.
2. *Гончарук Е.И.* Гигиеническое нормирование химических веществ в почве. М: Медицина, 1986. 320 с.
3. *Звягинцев Д.Г.* Микроорганизмы и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. 206 с.
4. *Кабата-Пендиас А.* Микроэлементы в почвах и растениях / пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
5. *Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства.* М., 1992. 62 с.
6. *Мэннинг У.Дж.* Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 140 с.
7. *Несмашина А.Е.* Экологические аспекты загрязнения почв Донбасса // Охрана почв и оптимизация агроландшафтов. Луганск, 1998. С. 24–28.
8. *Об утверждении* перечня особо охраняемых природных территорий и объектов – объектов и территорий природно-заповедного фонда Луганской Народной Республики: Постановление Совмина ЛНР от 25 августа 2015 г. N 02-04/253/15.
9. *Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве* / ГН 2.1.7.2041-06.; утв. 19.01.2006; дата введения 01.04.2006 г.
10. *Природно-заповідний фонд Луганської області: довідник* / за ред. О.А. Арапова. Луганськ: Віртуальна реальність, 2013. 224 с.
11. *Ситіна О.М.* Міграція важких металів у системі ґрунт-рослина техногенних ландшафтів (на прикладі м. Луганська): автореф. дис. ... канд. біол. наук. Харків, 2010. 22 с.
12. *Тихомиров Ф.А.* Методологические вопросы охраны почвенного покрова от загрязнения // Экология. 1985. N 4. С. 3–11.
13. *Фоновий* вміст мікроелементів у ґрунтах України / за ред. А.І. Фатеева, Я.В. Пащенко. Харків, 2003. 117 с.
14. *Grodzinska K.* Mosses as bioindicators of heavy metal pollution in Polish national parks // Water, Air and Soil Poll. 1978. N 9. P. 83–97.
15. *Folkesson L.* Interspecies calibration of heavy metal concentration in nine mosses and lichens: applicability to deposition measurements // Water, Air and Soil Poll. 1979. N 11. P. 60-77.
16. *Huckabee J.W.* Mosses: sensitive indicators of airborne mercury pollution // Environmental Pollution. 1973. N 7. P. 54–79.

Поступила в редакцию: 09.06.2021

UDC 631.422:546+574.21:561.32

HEAVY METALS CONTENT IN MOSSES AND SOILS IN THE NATURE RESERVES OF THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC

I.D. Zholudeva

State Educational Establishment of Higher Training of Lugansk People's Republic «Lugansk Vladimir Dahl State University»

The environmental state of the soils of the natural reserved areas of the Lugansk People's Republic was investigated for the contents of heavy metals, namely Cd, Pb, Cu, Ni, Cr. The study was focused on bioindication of heavy metals using mosses *Plagiomnium cuspidatum*, *Brachythecium mildeanum*, *Hypnum cupressiforme* as bioindicators. It is shown that the content of heavy metals in soils and mosses of protected areas can be used as background indicators when conducting environmental monitoring in the LPR.

Key words: nature reserve, mosses, soil, heavy metals, bioindication

Citation: Zholudeva I.D. Heavy metals content in mosses and soils in nature reserves of the Lugansk People's Republic // Industrial Botany. 2021. Vol. 21, N 3. P. 97–102.
