

УДК 504.062 : 550.47 : 911.9

МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ЛЕСНЫХ ЯГОДНИКОВ БРЕСТСКОГО РЕГИОНА

А. П. Колбас^{1,2)}, Н. Ю. Колбас^{1,3)}

¹⁾Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,
ул. Советских пограничников, 41, 224030, г. Брест, Беларусь, kolbas77@mail.ru

²⁾Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Скоринны, 10,
220076, г. Минск, Беларусь, kolbas77@mail.ru

³⁾Центральный ботанический сад НАН Беларуси, ул. Сурганова, 2в,
220012, г. Минск, Беларусь, n.kolbas@gmail.com

В работе представлены данные по содержанию 10 элементов (Pb, Cd, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn, Co, Cr и Mo; метод ICP-AES) в почвах ягодников территорий Брестского региона. Был выявлен средний уровень суммарного загрязнения ТМ. Максимальные превышения ранее установленного субрегионального фона ТМ выявлены для почв земляничников (Ni) и брусничников (Pb, Cd).

Ключевые слова: коэффициент концентрации; почва; субрегиональный фон; тяжелые металлы; *Fragaria vesca* L.; *Rubus idaeus* L.; *Rubus subg. Eubatus*; *Vaccinium myrtillus* L.; *Vaccinium vitis-idaea* L.

MONITORING OF HEAVY METALS CONTENT IN SOILS OF FOREST BERRIES-FIELDS IN THE BREST REGION

A. P. Kolbas^{1,2)}, N. Y. Kolbas^{1,3)}

¹⁾Polesie Agrarian Ecological Institute of National Academy of Sciences of Belarus,
Sovetskie pogranychniki St., 41, 224030, Brest, Belarus, kolbas77@mail.ru

²⁾Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,
Skaryna St., 10, 220076, Minsk, Belarus; kolbas77@mail.ru

³⁾Central Botanic Gardens of the National Academy of Sciences of Belarus,
Surganov St., 2v, 220012, Minsk, Belarus; n.kolbas@gmail.com

The paper presents data on the content of 10 elements (Pb, Cd, Ni, Cu, Zn, Fe, Mn, Co, Cr and Mo; ICP-AES method) in the soils of berry fields in the Brest region. An average level of total heavy metal (HM) contamination was identified. The maximum excess of the previously established subregional background of HMs was detected for soils of strawberries (Ni) and lingonberries (Pb, Cd).

Keywords: coefficient of concentration; heavy metals; soil; subregional background; *Fragaria vesca* L.; *Rubus idaeus* L.; *Rubus subg. Eubatus*; *Vaccinium myrtillus* L.; *Vaccinium vitis-idaea* L.

Загрязнение различных компонентов лесных экосистем тяжелыми металлами (ТМ) является одной из современных проблем прикладной экологии. Растения природных экосистем являются важнейшим звеном пищевых цепей, при участии которого экотоксиканты могут поступать из почвы, воды и воздуха в организмы животных и человека [1]. Актуальной задачей является оценка уровня содержания ТМ в почвах лесных экосистем, а также растительной продукции. В целом, изучение химического состава естественных фитоценозов позволяет сделать выводы о степени антропогенной трансформации биогеохимических циклов на исследуемой территории и принять своевременные меры по предотвращению развития неблагоприятных ситуаций.

Важнейшим этапом мониторинга является установление субрегионального фона для различных субстратов, организмов и продукции. Геохимические аномалии, связанные со значительными отклонениями от фоновых значений, могут приводить к хроническим заболеваниям, вызванным избытком или дефицитом определенных элементов. Ранее фоновые содержания определялись для травянистых растений в некоторых природных биогеоценозах и агроценозах Беларуси и Брестского региона [2, 3], однако данные по компонентам лесных ягодников весьма малочисленны или утратили актуальность.

Целью данной работы является установление актуального содержания ТМ в почвах ягодников, (*Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Fragaria vesca* L., *Rubus idaeus* L., *Rubus* subg. *Eubatus*) в Брестском регионе.

Материалы и методы. Всего нами были изучены почвы 29 ягодников, среди которых 8 — черничники, 7 — ежевичники, 6 — малиники, 5 — земляничники и 3 — брусничники, расположенные в Березовском, Брестском, Жабинковском, Ивацевичском, Каменецком, Кобринском и Малоритском районах Брестской области.

Образцы почв были отобраны с глубины до 20 см. Для определения валового содержания ТМ химическое разложение почвы проводили смесью HNO_3 (14 M) и HCl (12 M) в соотношении по объему 1:3; для экстракции подвижных форм элементов применяли ацетатно-аммонийный буферный раствор ($\text{pH} = 4,8$). Содержание 10 потенциально токсичных элементов, из них 3 (Cd, Ni, Pb) — неэссенциальные ТМ и 7 (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo и Zn) — эссенциальные, определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) [4] с использованием спектрометра iCAP 7200 DUO (ThermoScientific).

При расчетах коэффициента концентрации (Kc), представляющего собой отношение содержания элемента в исследуемом образце к его

фоновому содержанию, мы использовали следующие значения концентрации приоритетных ТМ в почвах юго-запада Беларуси (субрегиональный фон в мг/кг): Pb – 5,39; Cd – 0,09; Cu – 1,29; Zn – 7,43; Mn – 109,6; Ni – 0,66; Co – 0,45; Cr – 1,85 [2]. Рассчитываемый нами суммарный индекс загрязнения почв для валовых форм учитывал содержание 8 элементов (из-за значительного варьирования было исключено железо, а из-за низких значений — молибден).

Все опыты выполнены в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Microsoft Excel и R версия 4.3.1 (Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия).

Результаты исследования и их обсуждение. По среднему валовому содержанию ТМ в верхнем 20-и сантиметровом слое почв ягодников можно ранжировать в следующей последовательности (в мг/кг): Fe (2234,64) > Mn (112,48) > Zn (14,57) > Pb (8,15) > Cr (3,89) > Cu (2,53) > Ni (1,85) > Co (0,83) > Cd (0,11) > Mo (0,05). Полученные нами значения для Pb, Ni и Cd согласуются с литературными данными для почв Беларуси [5, 6].

В нашем исследовании валовое содержание Mo варьировало (в мг/кг) в пределах 0,023–0,12, со средним значением 0,05, для Fe — в пределах от 577 до 7921 и со средним значением 2234 мг/кг. Для агроэкосистем ранее указывались более высокие пороги содержания Fe в 6695–11230 мг/кг [6]. Эти данные могут служить ориентировочным субрегиональным фоном для дальнейших исследований лесных экосистем.

Анализ показателей Кс и Zс (таблица) для валового содержания ТМ выявил превышение субрегионального фона для всех локаций, причем в большинстве случаев оно соответствовало среднему уровню [7, с. 82–83]: земляничник (10,8) > малинник (9,8) > брусничник (7,5) > ежевичник (6,2) > черничник (5,8). Также выявлен следующий ряд в формуле геохимической специализации элементов: Ni (2,8) > Cr (2,07) > Cu (1,96) ≈ Zn (1,96) > Co (1,85) > Pb (1,51) > Cd (1,23) > Mn (1,03).

Коэффициенты концентрации (Кс), суммарный показатель загрязнения (Zс) для валовых форм ТМ в почвах ягодников (n – количество пробных площадок)

ягодник	n	Pb	Cd	Ni	Cu	Zn	Mn	Co	Cr	Zс
черничник	8	1,55	1,43	1,92	1,41	1,77	1,01	1,71	1,98	5,77
брусничник	3	2,15	2,37	1,99	2,09	2,16	0,47	1,17	1,08	7,49
ежевичник	7	1,14	0,23	2,55	1,48	1,55	1,20	1,80	2,26	6,21
малинник	6	1,37	0,72	3,42	2,05	1,60	1,20	2,29	3,14	9,79
земляничник	5	1,35	1,41	4,13	2,76	2,73	1,26	2,27	1,89	10,80
среднее		1,51	1,23	2,80	1,96	1,96	1,03	1,85	2,07	8,01

Максимальное превышение по элементам отмечено для Ni, Cu, Zn, Mn в почвах земляничников, а по Pb и Cd в почвах брусничников. Превышения фоновых значений содержания техногенных ТМ в некоторых природных экосистемах юго-запада Беларуси свидетельствует об усилении аэрогенных выбросов в последние годы, в том числе за счет трансграничного переноса [8]. Представленные результаты могут рассматриваться в качестве актуальных фоновых только ориентировочно. Для мониторинга динамики содержания ТМ, выявления геохимических аномалий, а также при планировании биоремедиационных мероприятий требуется постоянный контроль субрегиональных значений и проведение более масштабных исследований в природных биогеоценозах соответствующего региона. В тоже время нами установлены случаи пониженного содержания некоторых ТМ: Cd в почвах малинников и ежевичников, а также Mn в почвах большинства исследованных ягодников.

Общее содержание *подвижных форм* анализируемых ТМ варьировало в пределах от 45,95 до 147,68 мг/кг. По содержанию подвижных форм в почвах ТМ можно ранжировать в следующей последовательности: Fe (52,88) > Mn (30,74) > Zn (4,13) > Pb (1,66) > Cu (0,15) > Ni (0,13) > Cr (0,07) > Cd (0,06) \approx Co (0,06). В изученных образцах концентрация подвижных форм Mo находилась за пределами чувствительности прибора (менее 0,007 мг/кг), поэтому его подвижные формы не рассматривались. По доле подвижных форм от валового содержания в почвах ТМ можно ранжировать в следующей последовательности: Cd (0,635) > Mn (0,343) > Zn (0,280) > Pb (0,223) > Co (0,130) > Ni (0,090) > Cu (0,083) > Cr (0,024) > Fe (0,022).

Обращает на себя внимание значительная доля подвижных форм Cd в верхнем 20-ти сантиметровом слое почв малинников (до 75 %) и Pb — в черничниках и брусничниках (до 25 %), что может нести экологические риски. В тоже время, отмечены незначительные доли подвижных форм Cu и Fe, информация по низкому содержанию подвижной меди в почвах региона приводилась в литературе ранее [2].

Анализ мониторинговых стационаров показал, что для большинства из них значение ПДК и нижние пороговые концентрации химических элементов не превышены [9, с. 225]. Из 29 изученных стационаров локация 52°65'N, 25°23'E (Ивацевичский район) по содержанию ТМ в почвах наиболее отличается от средних фоновых значений, что может быть связано с аэральным распространением поллютантов с несанкционированного места хранения отходов свинцовой золы в поселке Зеленый бор [10]. В почвах локаций 51°81'N, 23°70'E (Брестский район), 51°99'N, 24°60'(Кобринский район) и 52°14'N, 23°98'E (Жабинковский район) содержание всех исследуемых элементов не превышало средние значения для фоновых

территорий Республики Беларусь. Эти стационары могут быть предложены в качестве модельных для последующего рутинного мониторинга и уточнения субрегионального фона содержания ТМ в компонентах лесных экосистем.

Библиографические ссылки

1. *Briffa J., Sinagra E., Blundell R.* Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans [Electronic resource] // *Heliyon*. 2020. Vol. 6, iss. 9. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691> (date of access: 14.02.2024).

2. *Михальчук Н. В., Мялик А. Н.* Фоновое содержание тяжелых металлов и микроэлементов в почвах и растительности юго-запада Беларуси как основа для сравнительных оценок при производстве органической продукции на основе принципов зеленой экономики // *Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике; редкол. : В. С. Хомич (гл. ред.), В. Ф. Логинов, Е. В. Санец.* Минск : СтройМедиаПроект, 2019. С. 266–281.

3. *Мялик А. Н.* Фоновые уровни содержания тяжелых металлов в почвах и растительности лугово-болотных экосистем юго-запада Беларуси // *Геоботанические исследования естественных экосистем: проблемы и пути их решения : междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию со дня рождения Сапегина Леонида Михайловича: сборник материалов / Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины ; редкол. : Н. М. Дайнеко (гл. ред.) [и др.].* Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2020. С. 62–66.

4. Качество почвы. Определение микроэлементов в экстрактах почвы с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии индуктивно связанной плазмы (ИСП-АЭС): ГОСТ ISO 22036–2014. Введен 01.04.2017. Минск : Госстандарт, 2016. 24 с.

5. *Головатый С. Е.* Тяжелые металлы в агроэкосистемах // Минск : Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2002. 239 с.

6. *Позняк С. С.* Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах и растительности центральной зоны Республики Беларусь // *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки.* 2011. № 1. С. 254–264.

7. *Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт [и др.]. – М. : Недра, 1990.*

8. Оценки уровней загрязнения свинцом территории Беларуси с высоким пространственным разрешением : технический отчет : 4/2006 МСЦ-В/НАН Беларуси [Электронный ресурс] / И. С. Ильин, М. О. Варыгина С. В. Какарека. 2016. 61 с. URL: https://www.msceast.org/reports/4_2016_russ.pdf (дата обращения: 14.02.2024).

9. Показатели безопасности и безвредности почвы. Показатели безопасности и безвредности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Гигиенический норматив. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 05.03.2021, 5/48783 [Электронный ресурс] / Утв. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 25.01.2021, № 37. URL: <https://rspch.by/Docs/post-37-2021.pdf?ysclid=lskcxhed52550877319> (дата обращения: 14.02.2024).

10. Оценка полиэлементного загрязнения некоторых территорий и субстратов в Брестском регионе / А. П. Колбас [и др.] // *Веснік МДПУ імя І. П. Шамякіна, біялагічныя навукі.* 2021. № 2 (58). С. 21–31.