

УДК 504.054(476)

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЙМЕННЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ: ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА

С. Е. ГОЛОВАТЫЙ¹⁾, С. В. САВЧЕНКО²⁾, Е. А. УЛАЩИК¹⁾, В. Д. КУШНЕРЕВИЧ¹⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

²⁾Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,
ул. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь

Проведенными исследованиями было установлено, что каждая речная система обладает индивидуальным набором элементов, накапливающихся в почвах, что обусловлено ее местоположением, физико-химическими свойствами почв и степенью техногенного воздействия на пойму реки. В пределах городской территории максимальное накопление поллютантов характерно для почв участков пойм, расположенных в центре и ниже города, а также на территориях в зоне действия локальных источников загрязнения. При загрязнении почв повышается фактическое содержание миграционно активных форм металлов и увеличение их доли от валовых концентраций, достигающих 70–90 %. Фациальные различия в накоплении элементов зависят от особенностей строения и сформированности структурных элементов поймы конкретной реки. При поступлении тяжелых металлов водно-поточного генезиса максимальные уровни их накопления фиксируются в почвах прирусловой поймы, при поступлении с поверхностным стоком и аэральными выпадениями – в почвах центральной и притеррасной поймы. При этом критерии оценки эколого-геохимического состояния почв имеют свою специфику, обусловленную функциональным использованием пойменных территорий.

Ключевые слова: тяжелые металлы; пойменные почвы; латеральное распределение; фациальные различия; техногенное воздействие; городские территории; критерии оценки.

Образец цитирования:

Головатый СЕ, Савченко СВ, Улащик ЕА, Кушнереви ВД. Эколого-геохимическое состояние пойменных почв в условиях техногенной нагрузки: пространственно-временная оценка. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2026;2:98–107.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-2-98-107>

For citation:

Golovaty SE, Savchenko SV, Ulashchik EA, Kushnerevich VD. Ecological and geochemical state of floodplain soils under technogenic load: a spatiotemporal assessment. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2026;2:98–107. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2026-2-98-107>

Авторы:

Сергей Ефимович Головатый – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заведующий кафедрой экологического мониторинга и менеджмента.

Светлана Валентиновна Савченко – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; ведущий научный сотрудник лаборатории оптимизации геосистем.

Екатерина Александровна Улащик – преподаватель кафедры экологического мониторинга и менеджмента.

Варвара Денисовна Кушнереви – студент, факультет мониторинга окружающей среды.

Authors:

Sergey E. Golovaty, doctor of science (agriculture), full professor; head of the department of environmental monitoring and management.

sscience@yandex.ru

Svetlana V. Savchenko, PhD (geology and mineralogy), docent; leading researcher at the laboratory of geosystems optimization.

svscience@rambler.ru

Ekaterina A. Ulashchik, lecturer at the department of environmental monitoring and management.

ulasikekaterina@gmail.com

Varvara D. Kushnerevich, student, faculty of environmental monitoring.

varvarakushnerevich@gmail.com

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STATE OF FLOODPLAIN SOILS UNDER TECHNOGENIC LOAD: A SPATIOTEMPORAL ASSESSMENT

S. E. GOLOVATYI^a, S. V. SAVCHENKO^b, E. A. ULASHCHYK^a, V. D. KUSHNEREVICH^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

^bInstitute of Nature Management of the National Academy Sciences of Belarus,
10 Skaryny Street, Minsk 220076, Belarus

Corresponding author: S. E. Golovaty (sscience@yandex.ru)

The studies carried out have established that each river system has an individual set of elements that accumulate in the soils, which is determined by its location, physical and chemical properties of the soils and the degree of technogenic impact on the river floodplain. Within the urban area, the maximum accumulation of pollutants is typical for soils in floodplain areas located in the center and below the city, as well as in areas of local pollution sources. When soils are polluted, the actual content of migratory active forms of metals increases and their share of total concentrations increases, reaching 70–90 %. Facies differences in the accumulation of elements depend on the structural features and formation of the structural elements of the floodplain of a particular river. When heavy metals enter water-stream genesis, the maximum levels of their accumulation are recorded in the soils of the riverine floodplain; when they enter with surface runoff and aerial fallout, in the soils of the central and near-terrace floodplains. At the same time, the criteria for assessing the ecologico-geochemical state of soils have their own specifics, due to the functional use of floodplain areas.

Keywords: heavy metals; floodplain soils; lateral distribution; facial differences; technogenic impact; urban areas; assessment criteria.

Введение

С учетом постоянно нарастающего техногенного воздействия на природную среду одним из направлений педогеохимических исследований является изучение поступления и поведения в почвах тяжелых металлов¹, которые до настоящего времени остаются одними из приоритетных загрязнителей почвенного покрова, наряду с нефтепродуктами, ПХБ, ПАУ и другими химическими веществами техногенного происхождения [2; 3; 14].

Несмотря на разноплановые эколого-геохимические исследования различных по функциональному использованию территорий, поймы, по сравнению с другими ландшафтами, наименее изучены, за исключением поймы р. Припяти, детально исследованной в связи с ее активным использованием в сельскохозяйственном производстве [4; 6]. В то же время даже незначительные по площади пойменные территории, характерные для большинства рек Беларуси, как объекты педогеохимических исследований, представляют определенный интерес по ряду причин.

Прежде всего, в ряду охраняемых природных территорий долины рек и их поймы имеют особую роль как основа для создания экологических сетей в соответствии с Рамсарской конвенцией о водно-болотных угодьях (1971 г.) и Конвенцией ООН о биологическом разнообразии (1992 г.). Они выступают в качестве естественных коридоров миграции и местообитания для многих видов растений и животных, что способствует сохранению или восстановлению нарушенных хозяйственной деятельностью экологических связей в природной среде и обеспечивает поддержание природного биоразнообразия. При этом качественное состояние почвенного покрова имеет достаточно большое значение, прежде всего, для сохранения видового разнообразия растительных сообществ, что особенно важно для пойм рек в пределах урбанизированных территорий.

Во-вторых, в ландшафтно-планировочной структуре городской территории речные долины и поймы в их пределах выполняют роль главного элемента экологического каркаса города, вокруг которого формируются значительные по площади ландшафтно-рекреационные территории. При этом оценка почв речных долин содержит два аспекта: первый ориентирован на градостроительное освоение природного ландшафта, второй – на его охрану в условиях нарастающей техногенной нагрузки. И с этих позиций показатели качества пойменных почв прямым образом будут влиять на их функциональное использование при застройке городской территории, а также на структуру и состояние растительности расположенных на участках пойм ландшафтно-рекреационных территорий.

¹Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. 2015–2024. URL: <https://www.nsmos.by/content/402.html> (дата обращения: 07.10.2025).

В-третьих, пойменные ландшафты выступают в качестве составной части рекреационного потенциала рек в связи с развитием водного туризма и пляжного отдыха на водных объектах как одного из направлений использования речных систем. Наблюдения за состоянием околоречных территорий приобретают актуальность с точки зрения оценки эколого-геохимического состояния самих почв, а также их влияния на водный объект, так как смыв загрязненной почвы приведет к загрязнению речных вод и донных отложений, окажет негативное влияние на водную биоту, что может препятствовать рекреационному использованию водотока.

В-четвертых, традиционное использование пойменных территорий в сельскохозяйственном производстве, преимущественно в качестве сенокосов и пастбищ. При таком применении пойм качественное состояние почв и их количественные характеристики приобретают особую актуальность, так как загрязнение почв химическими веществами техногенного происхождения, в частности тяжелыми металлами, может привести к их избыточному накоплению в растениях, что отрицательно скажется на качестве сельскохозяйственной продукции [1].

Материалы и методы исследования

При изучении почв пойм используются научно-методические подходы, учитывающие специфику пойменных ландшафтов, проявляющуюся в их зональности, линейной конфигурации и латеральных различиях в накоплении тяжелых металлов в почвах вдоль по течению реки, геохимической специфики перераспределения загрязняющих веществ в пойменных фациях (прирусловая, центральная, притеррасная пойма) и сложности выявления приоритетного источника загрязнения.

Почвы пойм и долин рек в зонах влияния населенных пунктов изучались с 1996 по 2020 гг. Обследованные реки приурочены к различным физико-географическим провинциям. При исследовании учитывалось местоположение речной системы, степень трансформации поймы и долины реки на отдельных участках, что особенно четко проявляется на территории города. Всего исследованы участки пойм 15 рек, протекающих по городским территориям, которые различаются по степени и специфике техногеохимических нагрузок на поймы: Березина (города Борисов и Березино), Свислочь (г. Минск), Неман (г. Столбцы), Уша (г. Молодечно), Случь (г. Слуцк), Бобр (г. п. Крупки), Плисса (города Смолевичи и Жодино), Вилия (г. Вилейка), Витьба и Лучеса (г. Витебск), Днепр (г. Орша), Сож (г. Гомель), Лошица, Мышка и Тростянка (г. Минск).

Отбор проб производился из верхнего гумусового горизонта почв методом продольного и поперечного профилирования на глубину 0–20 см. Исследовались валовые и миграционно-активные формы металлов, что позволило повысить результативность техногеохимической индикации, так как количество загрязненных почв и степень загрязнения подвижными формами элементов в ряде случаев выше, чем при определении валового содержания металлов [7]. Содержание металлов в почвах определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии (для валового содержания – экстрагированием смесью кислот (HF , HNO_3 , HCl , HClO_4), для миграционно активных форм – 1 М раствором HCl или ацетатно-аммонийным буфером). Ряд образцов почв исследовался эмиссионным спектральным методом. Чувствительность определения для разных элементов составляет от 0,01 до $n \times 1,0$ мг/кг.

Для эколого-геохимической оценки состояния почв использовались фактические концентрации химических элементов, а также относительные величины (коэффициент концентрации K_c) – отношение содержания элемента в исследованном объекте к фону. В качестве фона использовались концентрации тяжелых металлов, установленные для пойменных почв р. Березины на территории Березинского биосферного заповедника [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Особенность формирования почв в поймах рек – это совместное воздействие на них пойменных и аллювиальных процессов. В результате данных процессов за счет затопления территории поймы полыми водами происходит дополнительное увлажнение почв и изменение их химических и микробиологических показателей и, как результат, привнесение или вынос из почвы определенного количества химических веществ, в том числе тяжелых металлов техногенного происхождения.

При аллювиальных процессах происходит привнос паводковыми водами на поверхность поймы взмученного материала, содержащегося в воде, размывание поймы и переотложение на ее поверхности взвешенных в воде частиц в виде слоя аллювия, гранулометрический состав которого определяется скоростью движения воды и удаленностью участка поймы от русла реки. При этом в пойменные почвы поступают содержащиеся во взвешях и водной массе загрязняющие вещества, которые могут способствовать загрязнению пойменных почв.

Исходя из этого, количество источников загрязнения пойменных почв шире, чем для других территорий, особенно в пределах городской застройки. Кроме паводковых вод, поступающих на пойму при разливе водотока, к источникам загрязнения пойменных почв относятся трансграничные и местные аэральные выпадения, поверхностный сток с вышележащих территорий, а также точечные источники загрязнения, расположенные в пойме и долине реки. На химический состав пойменных почв влияют также состав почв и пород водосборной территории, климатические особенности местности, облесенность и распаханность речного бассейна.

Проведенными исследованиями установлено, что каждая речная система характеризуется природной спецификой содержания тяжелых металлов в пойменных почвах, на которую накладывается определенное техногеохимическое воздействие (табл. 1).

Таблица 1

Валовое содержание тяжелых металлов в верхнем горизонте почв пойм рек в зонах воздействия населенных пунктов [9–13]

Table 1

Gross content of heavy metals in the upper soil horizon of floodplains in areas affected by settlements [9–13]

Река, населенный пункт	Среднее содержание тяжелых металлов, мг/кг						
	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Co
Уша (Молодечно)*	н. о.**	7,5	н. о.	8,8	4,8	8,6	3,0
Случь (Слуцк)*	н. о.	14,0	н. о.	13,0	9,7	24,0	5,1
Березина (Борисов)*	н. о.	13,0	н. о.	13,0	11,0	20,0	4,9
Березина (Березино)*	н. о.	9,1	н. о.	5,1	6,2	15,6	3,6
Бобр (Крупки) *	н. о.	10,0	н. о.	8,0	9,6	15,0	5,3
Плисса (Смолевичи)*	н. о.	12,0	н. о.	12,0	15,0	19,0	5,6
Плисса (Жодино)*	н. о.	12,0	н. о.	12,0	11,0	18,0	5,9
Вилия (Вилейка) *	н. о.	11,0	н. о.	5,9	5,6	14,2	4,2
Неман (Столбцы) *	н. о.	9,1	н. о.	5,7	5,9	9,1	4,9
Лучеса (Витебск)	0,52	7,9	14,0	4,0	3,6	8,1	1,8
Витьба (Витебск)	0,47	6,9	11,9	5,1	3,9	6,9	1,3
Днепр (Орша)	1,0	9,6	48,7	15,8	12,4	117,0	3,4
Сож (Гомель)	0,5	8,1	21,3	4,9	7,8	59,9	1,5
Свислочь (Минск) (2007)	0,45	21,9	45,5	14,5	8,4	5,2	5,3
Свислочь (Минск) (2019)	0,33	12,1	37,5	8,2	2,8	н. о.	н. о.
Тростянка (Минск)	0,70	14,7	37,7	8,4	7,7	4,8	4,4
Лошица (Минск)	0,42	23,0	65,0	21,8	17,3	25,1	5,5
Мышка (Минск)	0,50	21,2	50,5	11,0	16,0	14,9	5,7
Фон (р. Березина в Березинском биосферном заповеднике) [10]	—	11,4	—	12,0	7,9	24,0	12,0

*Определение в почвах тяжелых металлов проводилось эмиссионным спектральным методом; **н. о. – элемент не определялся

Наибольшее количество свинца, меди, цинка и никеля отмечены в почвах пойменных участков р. Лошица, кадмия и хрома – почвах поймы р. Днепр, кобальта – р. Плиссы в Жодино. Наименьшими средними значениями большинства элементов (свинца, цинка, меди, никеля и кобальта) характеризуются пойменные почвы рек Витьбы и Лучесы на территории Витебска, хрома и кадмия – в поймах рек, протекающих по территории Минска – Тростянки и Свислочи.

Различия в накоплении элементов почвами пойм исследованных рек достигают от 2,3 раза для кадмия до 24,4 раза – для хрома. Это обусловлено природными особенностями бассейна реки, степенью его антропогенной трансформации, наличием источников загрязнения на близлежащих территориях, а также физико-химическими характеристиками исследованных почв.

Сравнение полученных фактических средних величин с фоновыми значениями, установленными для пойменных почв Березинского биосферного заповедника, показало, что содержание свинца в почвах пойм

большинства водотоков, протекающих по городской территории, находятся в пределах фона с коэффициентами концентрации K_c 0,7–1,1. Исключение составляют почвы водотоков Минска, где K_c для свинца достигает от 1,3 в почвах поймы р. Тростянки до 2,0 – р. Лошицы. Накопление никеля отмечается в почвах пойм семи исследованных городских рек, с K_c от 1,2 для Случи и Бобра до 1,9 и 2,2 в пойменных почвах рек Плиссы и Лошицы. Повышенным содержанием хрома отличаются поймы Днепра и Сожа, где K_c металла в почвах равно 4,9 и 2,5 соответственно. Наиболее широкий спектр тяжелых металлов, присутствующих в повышенных количествах в пойменных почвах, характерен для рек Днепра в Орше, где медь, никель и хром имеют с K_c от 1,3 до 4,9, и Лошицы в Минске, где для меди, свинца и никеля $K_c = 1,8–2,2$. При этом содержание кадмия в пойменных почвах рек Лучесы, Днепра и Тростянки и хрома в почвах поймы р. Днепра превышает установленные для почв гигиенические нормативы, что позволяет говорить о загрязнении пойм вышеуказанных рек данными элементами².

Латеральные различия в накоплении химических элементов в пойменных почвах вдоль по течению рек особенно четко проявляется на территории города, где наибольшее накопление элементов в почвах характерно для участков пойм, расположенных в центральной части или в конце города, в зоне воздействия промышленных предприятий, жилой усадебной застройки, автомобильных и железных дорог и автостоянок.

Так, изучение почв поймы р. Свислочи в границах Минска (2007 г.) показало, что максимальные значения большинства исследованных тяжелых металлов характерны для участков поймы реки в центре города, где содержание свинца превышает его концентрацию на других отрезках реки в 1,8–2,2 раза, цинка – 1,3–2,3 раза. Концентрации меди и никеля в центре города соответственно в 2,8 и 2,0 раза выше по сравнению с вышележащими территориями, достигая наибольших значений на нижнем исследованном участке в границе города. Латеральное распределение кадмия в пойменных почвах р. Свислочи к концу города плавно снижается в 1,7 раза по сравнению с верхним исследованным участком [12].

При этом важное значение имеет степень преобразованности поймы, так как педогеохимические аномалии, фиксируемые в поймах рек с зарегулированным стоком и отсутствием современных паводково-пойменных процессов, связаны прежде всего с аэральным переносом химических элементов или являются следствием поступления загрязненного поверхностного стока с вышележащих территорий. Этим можно объяснить, что участок поймы р. Свислочи, расположенный за границей города, с естественным паводково-пойменным циклом и, как следствие, дополнительным привносом загрязняющих веществ с речными водами, характеризуется достаточно высокими, по сравнению с городскими территориями, концентрациями кадмия, свинца, меди и особенно цинка, содержание которого превышает среднее для города значение в 4,9 раза.

По данным 2019 г., полученным в ходе педогеохимического изучения поймы р. Свислочи, установлено, что в центральной части города содержание тяжелых металлов (за исключением цинка) по сравнению с вышележащими территориями, как и в предыдущих исследованиях, увеличивается. Различия в их концентрациях по сравнению с перспективными для развития города территориями составляют от 1,3 раза для свинца до 3,1 раза для меди. Ниже по течению в конце города наблюдается увеличение по сравнению с центром фактических значений свинца и никеля, уменьшение – кадмия, меди и цинка, что свидетельствует о техногенном характере их поступления в почвы пойменных территорий, обусловленном значительным количеством присутствующих там источников загрязнения [13].

В почвах поймы р. Днепр в Орше латеральное распределение металлов индивидуально для каждого элемента. Так, в почвах формирующейся прирусловой поймы концентрации свинца, кадмия, кобальта и цинка от начала к концу города повышаются незначительно (в 1,2 раза). В то же время для меди, кобальта, хрома и никеля наименьшие значения фиксируются в почвах в центре города, что в 1,4–1,7 раза меньше, чем в почвах выше- и нижележащих пойменных территорий. Наибольшее содержание хрома отмечается на участке выше города с постепенным снижением к центру и концу городской территории [10].

Такое латеральное распределение элементов в почвах можно объяснить незначительной шириной прирусловой поймы с преобладанием поемных процессов, что не способствует накоплению элементов на пойменных почвах, невыработанностью речной долины и наличием крутых склонов, поверхностный сток с которых вымывает металлы, присутствующие в почвах, в реку.

На участках речной долины р. Днепр, где сформировалась центральная пойма, в связи с выровненностью рельефа и преобладанием аллювиальных процессов, а также наличием локальных источников загрязнения, которые способствуют накоплению тяжелых металлов в почвах, прослеживается тенденция увеличения концентрации большинства исследованных элементов в пойме к концу города: для цинка, кобальта и никеля – в 1,2 раза по сравнению с началом города, для кадмия и меди – в 1,5 и 1,6 раза

²Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности почвы». Утверждено Постановлением Совета министров Республики Беларусь от 25 января 2021 г. № 37 [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037> (дата обращения: 07.12.2025).

соответственно. При этом концентрации хрома в почвах превышают гигиенический норматив как в начале, так и в конце города.

Использование фациального подхода и учет геоморфологических особенностей речных долин при педогеохимическом исследовании большинства пойм рек Беларуси показало, что существующие различия в накоплении тяжелых металлов в почвах в определенной степени зависят от гипсометрических характеристик территорий, обусловленных строением и сформированностью структурных элементов поймы конкретной реки.

Так, оценка почв по линии поперечных профилей, заложенных в долине и пойме р. Свислочи на территории г. Минска, показала, что по линии первого профиля наибольшим накоплением свинца, меди и цинка характеризуются почвы высокой центральной поймы, где содержание кадмия и меди в 1,3 раза выше, чем на участке центральной поймы среднего уровня, цинка – в 2,7, свинца – в 4,1 раза (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в верхнем (0–20 см) горизонте почв поймы и долины р. Свислочи в границах г. Минска

Table 2

Heavy metal content in the upper (0–20 cm) soil horizon of the floodplain and valley of the Svisloch River within the borders of Minsk

Профиль	Пойменные фации	Химическое вещество, мг/кг почвы				
		Cd	Pb	Cu	Ni	Zn
1	Высокая центральная пойма	0,30	29,0	7,6	0,63	50,5
	Центральная пойма среднего уровня	0,24	7,0	6,0	0,37	18,5
2	Первая надпойменная терраса	0,35	6,2	6,7	0,55	25,2
	Притеррасная пойма	0,50	16,8	13,1	1,01	60,5

Это может быть обусловлено особенностями микрорельефа участка отбора проб почв и наличием локальных понижений, где происходит накопление металлов, поступающих в почвы с поверхностным стоком с вышележащих территорий и с аэральными выпадениями [13].

Во втором профиле наименьшими значениями большинства исследованных металлов характеризуются почвы первой надпойменной террасы, наибольшими – почвы притеррасной поймы, где по сравнению с почвами первой надпойменной террасы содержание кадмия выше в 1,4 раза, никеля – в 1,8, меди – в 1,9, цинка – в 2,4 и свинца – в 2,7 раза. Это можно объяснить особенностью фациального перераспределения элементов, так как для надпойменной террасы характерен выносом тяжелых металлов из почв в связи с ее транзитным положением в рельефе, в то время как почвы притеррасной поймы с ее расположением на гипсометрически пониженных участках отличаются накоплением металлов, поступающих с вышележащих территорий, или с паводковыми водами при разливе реки.

Как показали ранее проведенные детальные исследования почв поймы р. Свислочи около д. Глушка, на участке с естественным паводково-пойменным циклом [7] различия в содержании металлов в пойменных фациях составляют от 4,8 раз для свинца до 146 раз для хрома. При этом наибольшим накоплением элементов характеризуются почвы приустьевой низкой поймы.

Оценка фациального распределения химических элементов в почвах поймы р. Днепр в границах и ниже Орши показала, что наименьшими концентрациями большинства металлов характеризуется центральная пойма, где среднее содержание меди ниже по сравнению с другими фациями в 1,8–10,7 раза, никеля – в 1,1–2,5, цинка – 1,3–1,4, хрома – в 1,2–1,4, свинца – 1,6 и кобальта в 1,2 раза (по сравнению с надпойменной террасой) [10].

Для надпойменной террасы, где поступление тяжелых металлов в почвы связано с атмосферными выпадениями и плоскостным смывом с вышележащих территорий, основными загрязнителями выступают медь, свинец, хром, кобальт и никель. В приустьевой пойме по сравнению с центральной идет накопление меди, цинка, кадмия, кобальта и хрома, что обусловлено ее гипсометрически пониженным местоположением и наличием нескольких путей загрязнения – водного, аэального и поверхностного стока.

Параллельное исследование валовых и миграционно активных форм тяжелых металлов позволило сделать вывод о том, что миграционно активные формы являются лучшим индикатором загрязнения пойменных почв по сравнению с их валовым содержанием.

Так, педогеохимические исследования поймы р. Свислочи ниже Минска по содержанию валовых и миграционно активных форм металлов показали, что при загрязнении почв накопление поллютантов более

контрастное для подвижных форм элементов. Превышение над гигиеническими нормативами в почвах наиболее загрязненных участков составляет для валового свинца 1,6 раза, для его миграционно активной формы 6,2 раза. Для никеля данные показатели равны 7,0 и 29,0 раза, меди – 13,1 и 97,7, цинка – 13,6 и 21,3 раза соответственно [7].

При загрязнении пойменных почв наблюдается не только повышение фактического содержания миграционно активных форм тяжелых металлов, но и увеличение их доли по отношению к валовым концентрациям. Так, в песчаных почвах поймы р. Витьбы в Витебске, отобранных в центре города, подвижность меди достигает 71 % от валовых значений, цинка – 69, никеля – 51 %. В почвах поймы ручья Гапеева, представленных суглинками, доля миграционно активных форм меди от валовых концентраций составляет от 81 до 88 %, кадмия – 73–80, свинца – 65–80, цинка – 63–64 % (рис.). Для кобальта, никеля и хрома это величина незначительная – от 9 до 46 % [11]. В почвах р. Днепр в Орше подвижность элементов составляет в среднем для меди и цинка – 89–90 % от валовых содержаний, свинца и кадмия – 64–66, кобальта – 60–61 % [10].

В то же время в почвах поймы р. Березины, протекающей по территории Березинского биосферного заповедника, где техногенная нагрузка минимальна, подвижность металлов значительно ниже, чем на загрязненных городских территориях. Здесь доля миграционно активных соединений металлов от их валовых концентраций равна для хрома – 4,8–10 %, никеля – 3–20, кобальта – 23–31, меди – 31–42 %. Для свинца данный показатель выше – от 30 до 70 % [8].

Изучение влияния физико-химических характеристик почв (рН, гранулометрического состава, содержание органического вещества) позволило установить, что одними из основных свойств почв, оказывающих влияние на накопление в них тяжелых металлов, является их гранулометрический состав. Пойменные почвы, представленные суглинками, способны накапливать в 1,5–5,0 раз больше элементов по сравнению с песками и супесями. Эта закономерность четко прослеживалась при исследовании почв пойм водотоков Витебска (рис.) [11].

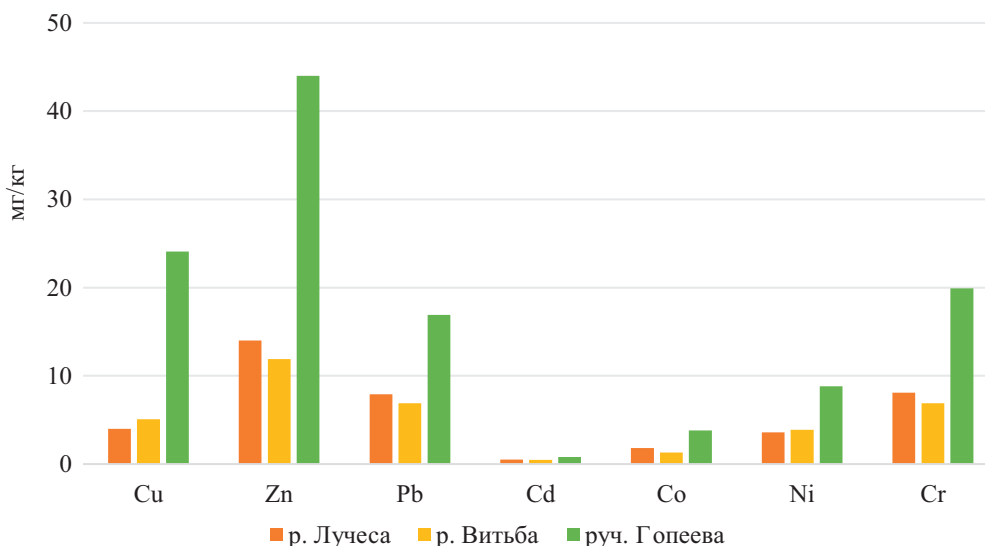


Рис. Валовое содержание тяжелых металлов в почвах различного гранулометрического состава (на примере пойменных почв рек Лучеса, Витьба и ручья Гопеева в Витебске)

Fig. The gross content of heavy metals in soils of various granulometric composition (on the example of floodplain soils of rivers Luchesa, Vitba and Gopeev streams in Vitebsk)

Как показали педогеохимические исследования пойм рек Витьбы и Лучесы, где преобладают песчаные почвы, и ручья Гопеева (приток р. Витьбы) с суглинистыми почвами, суглинки характеризуются повышенными, по сравнению с песками, концентрациями всех изученных металлов: меди – в 4,7–6,0 раз, цинка – 3,1–3,7, хрома – 2,5–2,9, кобальта – 2,1–2,9, свинца – 2,1–2,4, никеля – 2,3–2,4, кадмия – в 1,6–1,7 раза.

Педогеохимическое изучение поймы р. Свислочи в пределах Минска (2019 г.) выявило связь между кислотностью почв и увеличением накопления в них некоторых тяжелых металлов. При этом корреляционная зависимость между содержанием в почвах металлов и показателем рН существенно различается для разных элементов. Тесная корреляционная зависимость концентрации металла от кислотности почв выявлена для меди ($r = 0,77$ при $P = 0,99$ и $n = 27$), средняя – для кадмия ($r = 0,69$ при $P = 0,99$ и $n = 27$) и цинка ($r = 0,54$ при $P = 0,99$ и $n = 27$). Коэффициенты корреляции между рН и свинцом, рН и никелем незначимы [13].

Четкой зависимости между концентрацией тяжелых металлов и содержанием $C_{орг.}$ в исследованных почвах не наблюдалось.

Критерии оценки загрязнения пойменных почв. При педогеохимическом исследовании пойм встает вопрос о критериях оценки их эколого-геохимического состояния, так как в зависимости от функционального назначения и направления использования пойменных территорий к состоянию почвенного покрова предъявляются различные требования. В этой связи необходим дифференцированный подход при выборе используемых критериев:

- при проведении педогеохимических исследований пойменных территорий, используемых в качестве ключевых участков для сохранения биологического и ландшафтного разнообразия, для оценки состояния пойменных почв целесообразно использовать значения фоновых концентраций тяжелых металлов, так как данные территории по эколого-геохимическим параметрам должны приближаться к наименее трансформированным или заповедным территориям. Как правило, за фоновые принимаются величины содержания тяжелых металлов в почвах ООПТ или территорий, удаленных от потенциальных источников загрязнения, исследованных в рамках мониторинга земель НСМОС в части наблюдений за состоянием почв на фоновых территориях;

- для характеристики экологического состояния почв ландшафтно-рекреационных территорий, расположенных в пределах пойменных участков, в зависимости от целей и задач исследований можно использовать средние значения, рассчитанные для пойменных почв данной реки, местный геохимический фон, а при наличии информации – среднее содержание загрязняющих веществ в почвах ландшафтно-рекреационных территорий конкретного населенного пункта. При высоких уровнях концентрации химических элементов используются гигиенические или дифференцированные нормативы, установленные для почв^{3, 4};

- для оценки пойменных ландшафтов с точки зрения их использования как составной части рекреационного потенциала рек, особенно на пригородных территориях, можно применять значения среднебассейновых концентраций металлов в почвах или усредненные значения, рассчитанные для почв поймы данной реки. При высоких уровнях содержания тяжелых металлов также используются гигиенические или дифференцированные нормативы;

- при использовании пойм в сельскохозяйственном производстве целесообразно применять ОДК для валовых и подвижных форм элементов, разработанные специально для почв сельхозугодий, которые учитывают гранулометрический состав почв и специфику сельскохозяйственного землепользования [5]. Данные нормативы более жесткие, чем гигиенические или дифференцированные нормативы, так как количественное и качественное состояние сельскохозяйственных земель является обязательным условием выпуска экологически чистой сельскохозяйственной продукции. Наличие загрязнения почв требует лимитирования использования пойм в сельском хозяйстве, а также создания системы контроля за качеством сельскохозяйственной продукции.

Заключение

Проведенные исследования выявили особенности накопления и поведения тяжелых металлов в почвах пойм в условиях техногенной нагрузки, что позволяет сделать следующие выводы:

- каждая речная система обладает индивидуальным набором элементов, накапливающихся в почвах, что обусловлено ее местоположением, физико-химическими свойствами местных почв и степенью техногенного воздействия на пойму реки. В пределах городской территории максимальное накопление поллютантов характерно для участков пойм, расположенных в центре и ниже города, а также на территориях в зоне действия локальных источников загрязнения. При этом накопление тяжелых металлов почвами в большей степени зависит от их гранулометрического состава;

- загрязнение почв приводит не только к повышению фактического содержания миграционно активных форм тяжелых металлов, но и к увеличению их доли от валовых концентраций, достигающей 70–90 %. Оценка миграционно активных форм элементов позволяет диагностировать загрязнение почв на начальной стадии и по более широкому спектру химических элементов;

- фациальные различия в накоплении элементов имеют определенные закономерности и зависят от особенностей строения и сформированности структурных элементов поймы конкретной реки.

³Гигиенический норматив «Показатели безопасности и безвредности почвы» – Утверждено Постановлением Совета министров Республики Беларусь от 25 января 2021 г. № 37 [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037> (дата обращения: 07.12.2025).

⁴ЭкоНП 17.03.01-001-2021. Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы) [Электронный ресурс]. Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах и требования к их применению. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100037> (дата обращения: 07.12.2025).

При поступлении химических веществ водно-потокового генезиса максимальные уровни загрязнения почв фиксируются в приустьевой пойме, при поступлении тяжелых металлов с поверхностным стоком и аэральными выпадениями – в почвах центральной и притеррасной поймы. При этом критерии оценки эколого-геохимического состояния пойменных почв имеют свою специфику, обусловленную функциональным использованием пойменных территорий.

Учитывая, что пойменные ландшафты являются нижним звеном ландшафтно-геохимического ряда, аккумулирующим химические элементы, поступающие с водораздельных городских территорий, следует ожидать дальнейшего накопления тяжелых металлов в почвах пойм рек, протекающих по городской территории. В связи с тем, что в городах поймы рек выполняют преимущественно рекреационные и водозащитные функции, для почв данных территорий необходима разработка комплекса мероприятий по минимизации негативных последствий их загрязнения и организация мониторинга за состоянием почвенного покрова.

Проведенные на территории городов исследования пойменных почв дополняют и расширяют базу данных, формируемую при проведении в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды наблюдений за химическим загрязнением земель, и способствуют получению более детальной информации о загрязнении почвенного покрова, что может быть использовано при градостроительном планировании для повышения эффективности землепользования на городской территории.

Библиографические ссылки

1. Головатый СЕ. *Тяжелые металлы в агроэкосистемах*. Минск: Институт почвоведения и агрохимии; 2002. 240 с.
2. Головатый СЕ, Самусик ЕА, Савченко СВ. *Оценка экологического состояния почв по содержанию в них подвижных форм кадмия, свинца и цинка*. В: 19-я Международная научная конференция «Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI-го века», Минск, 23–24 мая 2019 г. Том 3. Минск: ИВЦ Минфина; с. 24–27.
3. Хомич ВС, и др. *Городская среда: геоэкологические аспекты*. Минск: Беларуская навука; 2013. 301 с.
4. Европейское Полесье – хозяйственная значимость и экологические риски. В: *Материалы Международного семинара*. Минск: Минсктипроект; 2007. 367 с.
5. *Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных угодий Беларуси*. Минск: БИТ «Хата»; 2006.
6. Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця. У: *Тэзісы дакладаў IV Міжнароднай навуковай канферэнцыі*. Брэст: [б. в.]; 2008. 336 с.
7. Савченко ВВ, Головатый СЕ, Савченко СВ, Гурч ЕП. Специфика загрязнения пойм рек тяжелыми металлами: фациальная зональность (на примере р. Свислочь ниже Минска). *Природные ресурсы*. 1998;2:26–33.
8. Савченко СВ Эколого-геохимическое изучение пойменных почв р. Березины в Березинском биосферном заповеднике. *Природные ресурсы*. 1999;2:128–137.
9. Савченко СВ, Головатый СЕ, Савченко ВВ. Закономерности распределения микроэлементов в пойменных экосистемах урбанизированных территорий. *Природные ресурсы*. 2000;3:112–119.
10. Савченко СВ, Головатый СЕ, Лукашенко НК. Пространственная структура и уровни загрязнения тяжелыми металлами почв долины р. Днепр в г. Орше. *Природные ресурсы*. 2004;4:93–96.
11. Савченко СВ, Головатый СЕ, Лукашенко НК, Коробчук ЛА. Тяжелые металлы в почвах пойменных экосистем малых водотоков г. Витебска. *Природные ресурсы*. 2005;3:132–136.
12. Савченко СВ, Быкова НК, Самсоненко ИП, Хомич ВС. Пространственные особенности накопления тяжелых металлов в почвах пойменных ландшафтов г. Минска. *Природные ресурсы*. 2007;4:63–70.
13. Савченко СВ, Санец ЕВ, Рыжиков ВА. Оценка эколого-геохимического состояния почвенного покрова долины р. Свислочи в пределах водно-зеленого диаметра г. Минска. *Природные ресурсы*. 2020;2:5–17.
14. Хомич ВС, Какарека СВ, Кухарчик ТИ. *Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси*. Минск: РУП «Минсктипроект»; 2004. 259 с.

References

1. Golovaty SE. *Tyazhelye metally v agroekosistemakh* [Heavy metals in agroecosystems] Minsk : Institute of Soil Science and Agrochemistry; 2002. 240 p. Russian.
2. Golovaty SE, Samusik EA, Savchenko SV. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya pochv po sodержaniyu v nikh podvizhnykh form kadmia, svintsia i tsinka* [Assessment of the ecological state of soils by the content of mobile forms of cadmium, lead and zinc in them]. In: 19th International Scientific Conference «Sakharov Readings 2019: Environmental problems of the 21st century», Minsk, 2019 May 23–24. Volume 3. Minsk: IVTs Minfina; 2019. p. 24–27. Russian.
3. Khomich VS, et al. *Gorodskaya sreda: geoekologicheskie aspekty* [Urban environment: geoecological aspects]. Minsk: Belorusskaya nauka; 2013. 301 p. Russian.
4. *Evropeiskoe Poles'e – khozyaistvennaya znachimost' i ekologicheskie riski*. In: *Materialy Mezhdunarodnogo Seminara* [European Polesie – economic importance and environmental risks]. Minsk: Minsktiprjekt; 2007. 367 p. Russian.
5. *Krupnomasshtabnoye agrokhimicheskoye i radiologicheskoye obsledovaniye pochv sel'skokhozyaystvennykh ugodiy Belarusi* [Large-scale agrochemical and radiological examination of soils of agricultural lands in Belarus]. Moscow: BIT «Khata»; 2006. Russian.
6. The natural environment of Polesie: features and prospects of development. In: *Tezisy dakladaŭ IV Mižnarodnaj navukovaj kanferencyi*. Brest: [publisher unknown]; 2008. 336 p. Belarusian.

7. Savchenko VV, Golovaty SE, Savchenko SV, Gurch EP. *Spetsifika zagryazneniya poim rek tyazhelymi metallami: fatsial'naya zonal'nost' (na primere r. Svisloch' nizhe Minska)* [Specifics of river floodplain pollution with heavy metals: facies zonality (on the example of the Svisloch river below Minsk)]. *Natural Resources*. 1998;2:26–33. Russian.
8. Savchenko SV. *Ekologo-geokhimicheskoe izuchenie poimennykh pochv r. Bereziny v Berezinskom biosfernom zapovednike* [Ecological and geochemical study of floodplain soils of the Berezina River in the Berezinsky Biosphere Reserve]. *Natural Resources*. 1999;2:128–137. Russian.
9. Savchenko SV, Golovaty SE, Savchenko VV. *Zakonomernosti raspredeleniya mikroelementov v poimennykh ekosistemakh urbanizirovannykh territorii* [Patterns of distribution of trace elements in floodplain ecosystems of urbanized territories]. *Natural Resources*. 2000;3:112–119. Russian.
10. Savchenko SV, Golovaty SE, Lukashenko NK. *Prostranstvennaya struktura i urovni zagryazneniya tyazhelymi metallami pochv doliny r. Dnepr v g. Orshe* [Spatial structure and levels of heavy metal contamination of soils of the Dnieper River valley in Orsha]. *Natural Resources*. 2004;4:93–96. Russian.
11. Savchenko SV, Golovaty SE, Lukashenko NK, Korobchuk LA. *Tyazhelye metally v pochvakh poimennykh ekosistem mal'kikh vodotokov g. Vitebska* [Heavy metals in the soils of floodplain ecosystems of small watercourses in Vitebsk]. *Natural Resources*. 2005;3:132–136. Russian.
12. Savchenko SV, Bykova NK, Samsonenko IP, Khomich VS. *Prostranstvennye osobennosti nakopleniya tyazhelykh metallov v pochvakh poimennykh landshaftov g. Minska* [Spatial features of heavy metal accumulation in soils of floodplain landscapes of Minsk]. *Natural Resources*. 2007;4:63–70. Russian.
13. Savchenko SV, Sanets EV, Ryzhikov VA. *Otsenka ekologo-geokhimicheskogo sostoyaniya pochvennogo pokrova doliny r. Svislochi v predelakh vodno-zelenogo diametra g. Minska* [Assessment of the ecological and geochemical state of the soil cover of the Svisloch river valley within the water-green diameter of Minsk]. *Natural Resources*. 2020;2:5–17. Russian.
14. Khomich VS, Kakareka SV, Kukharchik TI. *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi* [Ecogeochemistry of urban landscapes of Belarus]. Minsk: RUE «Minsktipproekt»; 2004. 259 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 10.03.2026.
Received by editorial board 10.03.2026.