

И. В. Васильцова¹✉, И.О. Исмагилова¹, Л.Ю. Гуленков¹, Ю.И. Коваль²

Содержание кислоторастворимых форм тяжёлых металлов в почвах г. Новосибирска

¹Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Новосибирский государственный педагогический университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: indikator07@mail.ru

Аннотация. В ходе работы был осуществлен отбор проб почв с двух горизонтов (0-5 см) и (5-20 см). Пробные площадки располагались в правобережной части г. Новосибирска. В отобранных пробах почвы с помощью вольтамперометрического метода анализа определяли содержание тяжелых металлов: цинка, кадмия, свинца и меди, установлен водородный показатель почв. Во всех растворах почвах обнаружена нейтральная среда, что препятствует миграции металлов между разными горизонтами. Выявлены статистические отличия по содержанию тяжелых металлов между разными горизонтами почвы. Наибольшие концентрации цинка, свинца и меди обнаружены в верхнем слое почвы. Превышения регионального фона выявлены по лишь по содержанию свинца в поверхностном слое почвы, остальные показатели соответствуют фоновым значениями. Превышения предельно допустимых концентраций установлено не было.

Ключевые слова: тяжелые металлы; кислоторастворимые формы; цинк; кадмий; свинец; медь

I. V. Vasiltsova¹✉, I. O. Ismagilova¹, L. Yu. Gulenkov¹, Y. I. Koval²

Content of acid-soluble heavy metals in soils

¹Siberian State University of Engineering and Biotechnology,
Novosibirsk, Russian Federation

²Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: indikator07@mail.ru

Abstract. During this study, urban soil samples were collected from two horizons (0-5 cm) and (5-20 cm). The sample plots were located in the right-bank part of Novosibirsk. The heavy metal content of zinc, cadmium, lead, and copper was determined in the collected soil samples using voltammetric analysis, and the pH of the soils was determined. All soil solutions were neutral, preventing metal migration between different horizons. Statistical differences in heavy metal content were found between different soil horizons. The highest concentrations of zinc, lead, and copper were found in the topsoil, while the subsoil had lower concentrations of heavy metals. Only lead in the surface soil exceeded the regional background level; other parameters were within the background range. No exceedances of maximum permissible concentrations were detected.

Keywords: heavy metals; acid-soluble forms; zinc; cadmium; cuprum; plumbum

Введение

Законодательством Российской Федерации закреплено право каждого человека на благоприятную окружающую среду [1]. Почва, как компонент окружающей среды, является определяющим условием существования экосистемы и благополучия человека [2]. Соответственно, анализ качества почв необходим для реализации законодательства и обеспечения экологической безопасности населения [3].

Почва выступает в качестве аккумулятора тяжелых металлов, попадающих в неё как из атмосферного воздуха, так и из поверхностных и подземных вод [4]. Буферные свойства почвы при ее нерациональном использовании могут быть подвержены истощению, что в конечном счете будет способствовать деградации почвенного покрова [5, 6].

В урбанизированной среде Новосибирска почвы подвержены сильному антропогенному воздействию в результате интенсивного автомобильного трафика, работы предприятий топливно-энергетического комплекса, а также промышленных предприятий металлургической и химической отрасли. Как следствие, в последние годы (2023-2024) наблюдается ухудшение гигиенического и санитарно-химического состояния почв в Новосибирске [7, 8].

Тяжелые металлы попадают в урбоземы не только вследствие антропогенной деятельности, но и по природным причинам: составу материнских пород, вымывания и выветривания открытых пород, миграции вулканической пыли [4,9].

В верхнем горизонте почв (0-5 см) активно аккумулируются кислоторастворимые формы тяжелых металлов из-за содержания гумуса, обладающего высокой депонирующей способностью. Гумусовые кислоты образуют с тяжелыми металлами комплексные соединения, которые характеризуются малоподвижностью [10, 11, 12]. При этом в нижнем горизонте (5-20 см), согласно многочисленным исследованиям, концентрация тяжелых металлов достоверно ниже, даже при длительном воздействии. Исключение составляют закисленные почвы ($pH < 6$), где формируются подвижные формы тяжелых металлов, способные к активной миграции [13, 14].

Цель работы: установить содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов в верхнем (0-5 см) и нижнем (5-20) горизонтах почвы.

Методы и материалы

Для исследования были выбраны три пробные площадки, располагающиеся на территории г. Новосибирска, условно отличающиеся по степени антропогенного воздействия:

1. Заельцовский бор (55.052834, 82.829861);
2. ПККО «Березовая роща» (55.047235, 82.952802);
3. Красный проспект (55.059340, 82.912264).

Сбор исследуемых образцов почвы проводился в третьей декаде июня 2025 года на пробных площадках 10×10 м методом конверта, посредством снятия верхнего (0 – 5 см), а затем нижнего слоя почвы (5 – 20 см) [15].

Исходные образцы почвы высушивали до постоянной массы, удаляли механические примеси и пропускали через сито с диаметром ячеек 1 мм. Обработанную навеску воздушно-сухой пробы ($5,00 \pm 0,01$ г) помещали в химический стакан емкостью 200–300 см³. С помощью мерного цилиндра к навески приливали 50,0 см³ азотной кислоты (1 моль/дм³), получая соотношение проба : кислота = 1 : 10. Смесь перемешивали круговыми движениями, полученную суспензию встряхивали на ротаторе на протяжении 1 часа и оставляли на сутки в плотно закрытой колбе для настаивания.

Через сутки полученную пробу фильтровали через складчатый фильтр, заранее промытый азотной кислотой (1 моль/дм³) в мерную колбу объемом 50 см³. Во время фильтрования проба перемешивается и переносится на фильтр по возможности полностью. Затем объем полученного фильтрата доводили до метки 50 см³ бидистиллированной водой [16].

Содержание тяжелых металлов устанавливали методом инверсионной вольтамперометрии по стандартной методике ПНД Ф 16.1:2:2:2:3.48-06 [14]. Исследование проб проводили на анализаторе «ТА-07», подключенном совместно с ПК. Каждый образец исследовали в 3-кратной повторности, полученные результаты обрабатывали с помощью методов вариационной статистики программным обеспечением Excel.

Кислотность почв определяли при помощи настольного рН-метра HI2210 с автоматической калибровкой [17].

Результаты

Кислотность всех образцов установлена в пределах 6,8–7,0, что соответствует нейтральной среде.

На рис. 1–3 представлено содержание тяжелых металлов в различных горизонтах почвы. Максимальное содержание цинка обнаружено в верхнем слое почвы 1 пробной площадки. Разница в концентрациях металла, обнаруженных в верхнем и нижнем слоях опытной площадки Заельцовского бора составила 4,3 раза ($p < 0.001$).

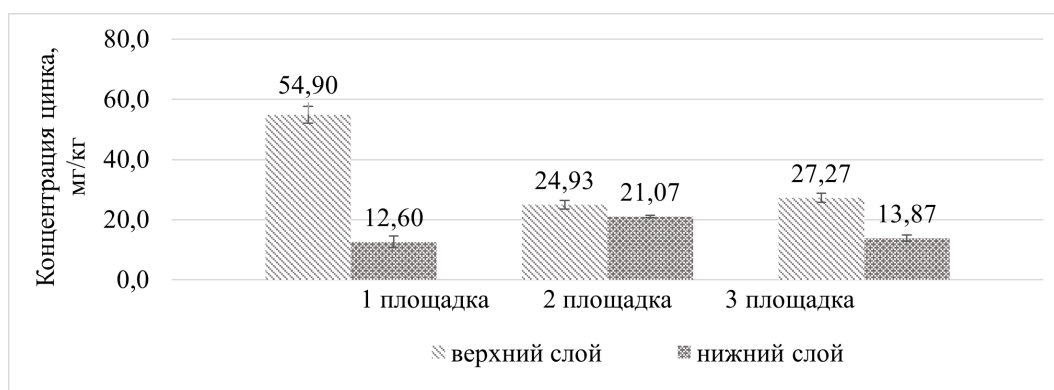


Рис. 1. Содержание цинка в почве, мг/кг

Аналогичная закономерность установлена и на остальных пробных площадках. Концентрации цинка на 3 площадке в верхнем слое почвы в 2 раза выше ($p < 0.01$), чем в нижнем слое. На 2 площадке в поверхностном слое почвы содержание цинка имеет тенденцию к более высокому содержанию, чем в глубинном слое.

Наибольшая концентрация свинца обнаружен в верхнем слое почвы 2 пробной площадки, где его содержание в 3,5 раза превышает значение нижнего слоя ($p < 0.001$). Подобная зависимость в содержании свинца относительно горизонта обнаруживается на всех пробных площадках. В частности, содержание свинца в поверхностном слое 1 площадки в 2,95 раза больше, чем в глубоком слое ($p < 0.01$), в поверхностном слое 3 пробной площадки данный показатель превысил в 2 раза ($p < 0.01$).

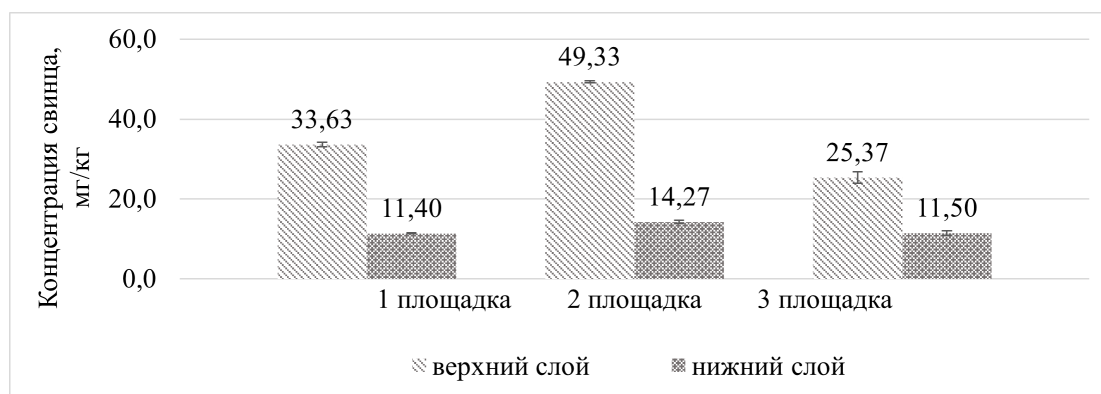


Рис. 2. Содержание свинца в почве, мг/кг

В ходе анализа было обнаружено наибольшее содержание меди на 3 площадке в верхнем слое, где концентрация превышает нижний слой в 3,3 раза ($p < 0.05$). На 2 площадке наблюдается сходная ситуация, концентрация меди в верхнем слое в 5,3 раза выше ($p < 0.05$), чем в нижнем. Противоположная зависимость зафиксирована на 1 площадке, где содержание меди выявлено больше в нижнем слое почвы.

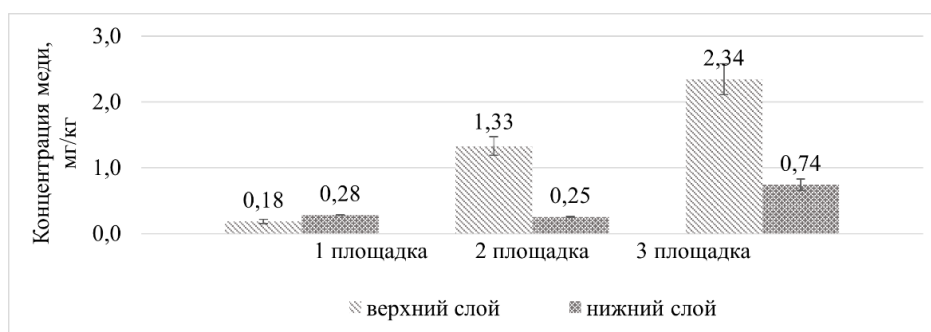


Рис. 3. Содержание меди в двух слоях почвы

Обсуждение

Министерство природных ресурсов и экологии осуществляет регулярный мониторинг почв на установление концентрации кислоторастворимых форм тяжелых металлов. Отбор проб осуществляется на удалении от городов и крупных промышленных предприятий, поэтому полученные значения представляют фон для Западной Сибири. В табл. 1 представлено содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов в почвах Западной Сибири [18].

Таблица 1. Содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов в почвах Западной Сибири

		Местоположение				Среднее по Западной Сибири
		Кемерово	Новокузнецк	Новосибирск	Томск	
Концентрация металлов, мг/кг	Cu	20,1	22,4	26	17,1	21,4
	Cd	0,44	0,27	0,52	0,34	0,3925
	Pb	16,02	16	7,08	12,3	12,85
	Zn	57,8	62,4	119	63,5	75,675

Кислоторастворимые формы кадмия на исследуемых пробных площадках обнаружены не были, вероятно их содержание остается ниже порога обнаружения, что соответствует низкой фоновой концентрации данного тяжелого металла в почвах Западной Сибири.

Содержание кислоторастворимых форм цинка и меди на пробных площадках не превышает фоновые значения для Западной Сибири. Тем не менее, статистически значимая разница между верхним и нижним слоями может свидетельствовать о дополнительном внесении цинка и меди в городские почвы в ходе антропогенной деятельности, поскольку миграция тяжелых металлов между разными горизонтами нейтральных почв ограничена.

Кислоторастворимые формы свинца присутствуют в нижнем горизонте почвы в близких с фоновыми значениями количествах, явные отклонения отсутствуют, незначительное превышение средней для региона концентрации обнаружены на 2 пробной площадке, где содержание свинца в нижнем слое составило 14,27 мг/кг. При

этом зафиксированы существенные превышения фоновых значений кислоторастворимых форм свинца в верхнем почвенном горизонте, где отклонения от средней фоновой концентрации данного металла в Западной Сибири составляет от 1,9 до 3,8 раз.

Некоторые авторы [9] используют для оценки загрязнения почв показатели ПДС (предельно-допустимое содержание), установленные Чулджиян Х. (табл. 2) [19].

Таблица 2. Предельно допустимые содержания (ПДС) тяжелых металлов в почвах

Тяжелый металл	Zn	Cd	Pb	Cu
ПДС, мг/кг	60	1	60	50

Превышение предельно допустимых содержаний среди исследованных проб выявлено не было. Все тяжелые металлы содержатся в пределах установленной нормы.

Заключение

Нижний горизонт почвы (5-20 см) на всех пробных площадках содержит меньше цинка, свинца и меди, чем верхний горизонт (0-5 см). Исключение составили показатели меди на 1 площадке, где не установлено статистически значимых различий между горизонтами.

Верхний горизонт отличается достоверно более высоким содержанием меди, цинка и свинца, что, вероятно, свидетельствует об искусственном внесении данных металлов в почвы в ходе антропогенной деятельности.

Нейтральная среда в почвах города Новосибирска создает благоприятные условия для накопления тяжелых металлов в верхнем слое урбозема, где они могут связываться с гуминовыми веществами, миграция тяжелых металлов в глубокие слои затруднена.

Разница между нижним и верхним горизонтами почв по концентрации тяжелых металлов может рассматриваться в качестве следа антропогенной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Российская Федерация. Конституция. Конституция Российской Федерации: с изменениями, одобренными общероссийским голосованием 1 июля 2020 года: принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 года // КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399/ (дата обращения 24.03.2026)
2. Healthy soil for healthy humans and a healthy planet / P. M. Kopittke B. Minasny E. Pendall [и др]. – Текст: электронный // Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2018. – Vol. 54. – P. 210-221. – URL: <https://www.tandfonline.com/journals/best20> (дата обращения 24.03.26)
3. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды: Федеральный закон №7-ФЗ: текст. С изм. и доп. от 01 марта 2026 г. [Принят https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ Гос. Думой 20 декабря 2001 г.: Одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 г.]// КонсультантПлюс. URL: (дата обращения 27.03.2026)
4. Nieder R., Benbi D.K. Potentially toxic elements in the environment – a review of sources, sinks, pathways and mitigation measures / R. Nieder, D.K. Benbi // Reviews on Environmental

Health, 2024. – Vol. 54(3). – P. 561-575. – URL: <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0161> (дата обращения 02.04.2026)

5. Трифонова Т.А. Тяжелые металлы в почвах различных функциональных зон урбанизированных территорий: оценка содержания и экологического риска / Т.А. Трифонова, И.Н. Курочкин, Ю.Н. Курбатов // Теоретическая и прикладная экология, 2023. – №2. – С. 38-46. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-038-046.

6. Тяжелые металлы в городских почвах Приволжского округа: сопряженный анализ официальных данных / Т.А. Парамонова, Г.М. Черногаева, Н.Н. Лукьянова, М.С. Парамонов // Почвоведение, 2023. – №11. – С. 1472-1488. DOI: 10.31857/S0032180X23600300

7. О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2023 году / Министерство природных ресурсов и экологии Новосибирской области – Новосибирск, 2024. – 201 с. – Текст: электронный. – URL: <https://mpr.nso.ru/> (дата обращения 03.04.2026)

8. О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2024 году / Министерство природных ресурсов и экологии Новосибирской области – Новосибирск, 2025. – 204 с. – Текст: электронный. – URL: <https://mpr.nso.ru/> (дата обращения 03.04.2026)

9. Плеханова И.О. Экологическое нормирование состояния почв, загрязненных тяжелыми металлами/ И.О. Плеханова, О.А. Золотарева// Агрохимия, 2020. - №10. - С.79-88

10. Бородина Н.А. Оценка техногенного загрязнения по содержанию кислоторастворимых форм тяжелых металлов в урбанизированных почвах города Свободного (Амурского края) / Н.А. Бородина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2014. – №1(4). – С. 1055-1058.

11. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.

12. Чимитдоржиева Г.Д. Тяжелые металлы в почвах степных экосистем Западного Забайкалья / Г.Д. Чимитдоржиева, Е.А. Бодеева, Э.О. Чимитдоржиева // Аридные экосистемы, 2022. – №2(91). – С. 62-70. DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-62-70.

13. Copper and zinc accumulation and fractionation in a clayey Hapludox soil subject to long-term pig slurry application / T.A. Formentini, F. J. Kochem Mallmann, A. Pinheiro [и др]. – Текст: электронный// Science of The Total Environment, 2025. – Vol. 536. – P. 831-839 – URL: <https://www.sciencedirect.com/> (дата обращения 08.04.2026)

14. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: межгосударственный стандарт: введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 апреля 2018 г. № 202-ст. – Москва, 2018. – 16 с.

15. Медведев И.Ф. Тяжелые металлы в экосистемах (монография)/ И.Ф. Медведев, С.С. Деревягин – Саратов: «Ракурс», 2017. - 178с.

16. ПНД Ф 16.1:2:2:2:3.48-06 Количественный химический анализ проб почв, тепличных грунтов, илов, донных отложений, сапропелей, твердых отходов: методика выполнения измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца, меди, марганца, мышьяка, ртути методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА / разраб. ФГУ «Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия»; утв. ООО НПП «Томьаналит». – Томск, 2005. – 44 с.

17. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки: межгосударственный стандарт : введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 8 февраля 1985 г. № 283. – Москва, 1985. – 6 с.

18. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2023 году. Ежегодник / ИПМ ФГБУ «НПО «Тайфун». – Обнинск, 2024. – 121 с.

19. Чулджиян Х. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Х. Чулджиян, С. Корвета, З. Фацек // Экологическая конференция. – Братислава, 1988. – № 1. – С. 5-24.

© И. В. Васильцова, И. О. Исмаилова, Л. Ю. Гуленков, Ю. И. Коваль, 2026