



ГЕОЭКОЛОГИЯ/GEOECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.47> EDN: ZDKBTK

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ УРБООЭКОСИСТЕМЫ Г. ХАБАРОВСКА

Научная статья

Голубева Е.М.^{1,*}¹ORCID : 0000-0002-4285-9345;¹Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (evg8302[at]yandex.ru)

Предложена: 17.04.2026; Принята: 10.07.2026; Опубликовано: 17.07.2026

Аннотация

Почвенный покров урбанизированных территорий аккумулирует значительные количества разнообразных тяжелых металлов, которые со временем способны трансформироваться и мигрировать в смежные экосистемы. В работе приведены результаты исследования содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвенном покрове, отобранном в различных районах урбозэкосистемы г. Хабаровск в осенний период 2018 года, различающихся по техногенной нагрузке. В ходе исследования методом масс-спектрометрии были определены валовые концентрации и содержания подвижных форм V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb. Установлены превышения ПДК подвижных форм марганца, меди, цинка и свинца в районе нефтеперерабатывающего завода, теплоэлектроцентрали и территории студенческого городка Педагогического института ТОГУ.

Ключевые слова: тяжелые металлы, ПДК, загрязнение, почва, валовый состав, подвижные формы.

SPECIFICS OF THE DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE SOILS OF THE Khabarovsk Urban Ecosystem

Research article

Golubeva Y.M.^{1,*}¹ORCID : 0000-0002-4285-9345;¹Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

* Corresponding author (evg8302[at]yandex.ru)

Suggested: 17.04.2026; Accepted: 10.07.2026; Published: 17.07.2026

Abstract

The soil cover of urbanised areas accumulates significant quantities of various heavy metals, which over time are capable of transforming and migrating into adjacent ecosystems. The work presents the results of a study of the content of heavy metals and metalloids in soil samples collected in various areas of the Khabarovsk urban ecosystem during the autumn of 2018, which differ in terms of anthropogenic load. During the research, mass spectrometry was used to determine the total concentrations and levels of mobile forms of V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As and Pb. Exceedances of the maximum permissible concentrations (MPCs) for mobile forms of manganese, copper, zinc and lead were identified in the vicinity of the oil refinery, the combined heat and power plant and the campus of the Pedagogical Institute of the PNU.

Keywords: heavy metals, MPC, pollution, soil, bulk composition, moving forms.

Введение

С каждым годом возрастает техногенная нагрузка на наземные экосистемы биосферы. В связи с развитием промышленности увеличивается содержание токсичных соединений и тяжелых металлов в депонирующих средах. Особо остро стоит проблема загрязнения почвенного покрова урбозэкосистем в связи с его способностью накапливать поллютанты различного генезиса [12].

Тяжелые металлы и металлоиды не подвергаются биологической или физико-химической деградации, они в течение многих лет аккумулируются в педосфере [3], а также несут опасность для здоровья населения путем ингаляционного, перорального и кожного поступления в организм [11]. Особая проблема загрязнения почв тяжелыми металлами заключается в том, что они способны включаться в биогеохимические процессы, в результате которых изменяется их миграционная способность. Результатом этого является поступление ТМ в смежные экосистемы и нарушение их устойчивости [2].

В то же время многие элементы, относящиеся к тяжелым металлам и металлоидам, играют жизненно важную роль в биологических системах и только при повышении концентрации в средах или в организмах проявляется их токсичное воздействие [1].

Существует множество путей поступления соединений тяжелых металлов в почву. К естественным относят эрозию и разрушение материнских пород. Эти процессы приводят к загрязнению почв литогенными тяжелыми металлами и металлоидами. Антропогенное загрязнение почв тяжелыми металлами связано с их аэрогенным и гидрогенным переносом от промышленных предприятий, тепловых электростанций и транспорта [5]. Еще одним техногенным источником являются отвалы промышленных отходов [10].

Хабаровск является крупным административным и промышленным центром Хабаровского края. Условия почвообразовательных процессов на территории города складываются различно, чему способствуют геохимические особенности материнских пород. В г. Хабаровске и прилегающих к нему территориях значительные площади занимают аллювиальные засоленные почвы. Однако верхние слои почвенного покрова урбанизированной экосистемы г. Хабаровска подвержены высокой антропогенной нагрузке. Таким образом, исследования особенностей распределения тяжелых металлов в почвах Хабаровска являются достаточно актуальными в настоящее время.

Целью данной работы было проанализировать содержание V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb в почвенном покрове различных районов г. Хабаровска. Большинство исследуемых элементов принадлежат к первым трем классам опасности и обладают высокой токсичностью и биохимической активностью.

Методы и принципы исследования

Естественные почвы территории г. Хабаровска и его окрестностей представляют собой бурые лесные (бурозёмы, бурозёмовидные) и луговые (дерновоглеевые и глеевые) почвы. Большая их часть в районе города в разной степени нарушена или заменена антропогенными предпочвенными образованиями [6], [9].

В работе исследовали содержание тяжелых металлов (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb) в почвенном покрове с различной степенью техногенной нагрузки. В ходе работы были определены валовые содержания металлов, а также их подвижные формы.

Отбор почвенного покрова проводили в пяти различных участках г. Хабаровска: ТЭЦ-1, Парк Северный, АО «ННК-Хабаровский НПЗ», Студенческий городок Педагогического института ТОГУ (ПИ ТОГУ) пер. Студенческий 36. В качестве фоновой пробы использовали образцы, отобранные на территории с наименьшей антропогенной нагрузкой — Воронежские высоты «Эко парк» (рис. 1). Фоновый участок был выбран из расчета максимальной удаленности от города и минимального антропогенного воздействия. Кроме того территория Эко-парка расположена в стороне от господствующих направлений ветра. Известно, что на розе ветров для Хабаровска в 2018 г. доминировали два румба: северо-восточный (С-В) и юго-западный (Ю-З).

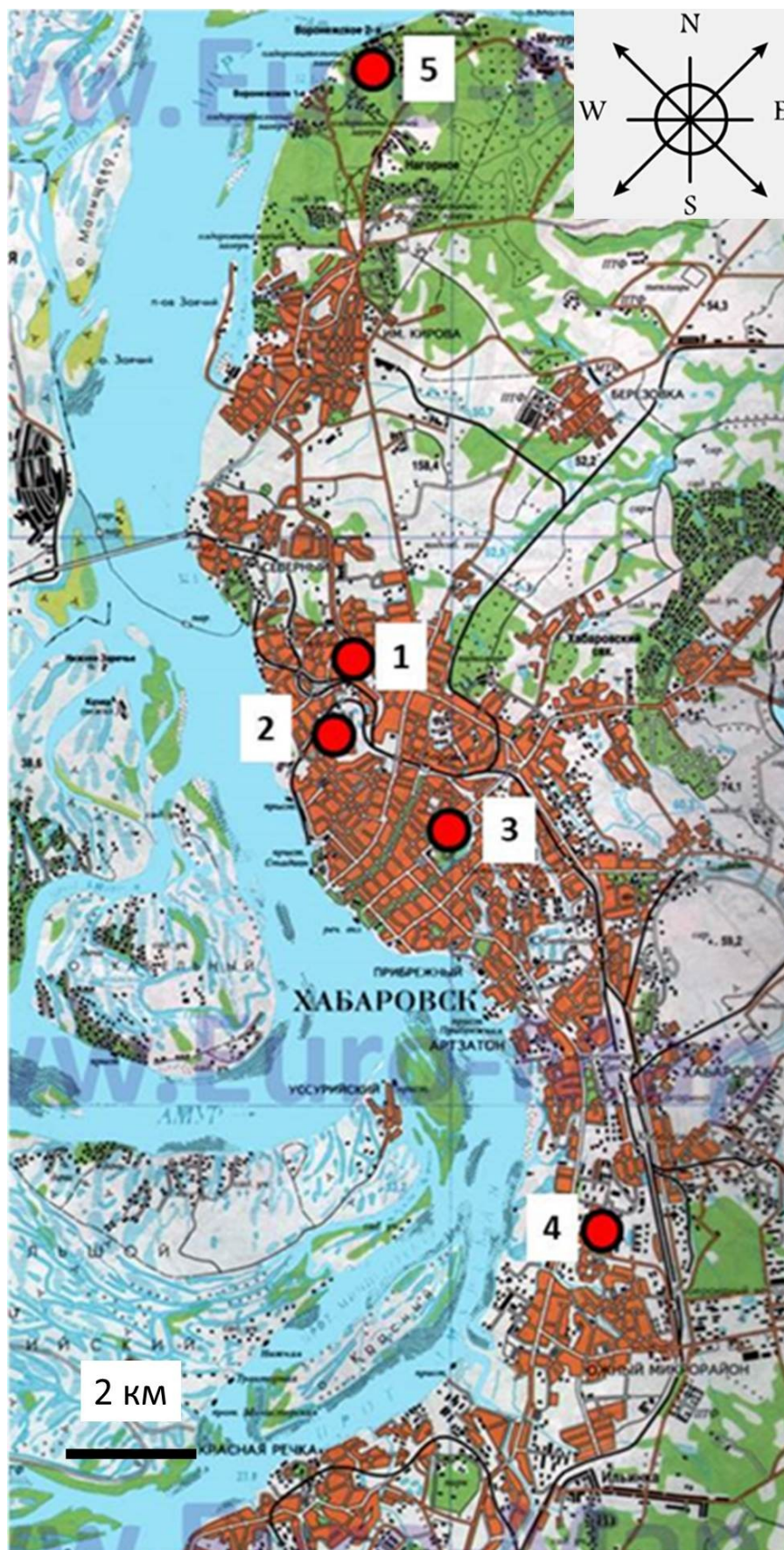


Рисунок 1 - Карта-схема мест отбора проб почвенного покрова
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.47.1>

Примечание: точки отбора проб: 1 – Северный парк; 2 – ННК-Хабаровский НПЗ; 3 – Студенческий городок ПИ ТОГУ; 4 – ТЭЦ-1; 5 - фоновая проба (Воронежские высоты)

Отобранные пробы почвы высушивали на воздухе при комнатной температуре. Для определения валового содержания тяжелых металлов в пробах почвы разрушали силикатную матрицу и переводили элементы в растворимое состояние. Разложение проводили открытым способом с использованием смеси кислот ($\text{HNO}_3 + \text{HF}$).

Подвижные формы металлов получали экстракцией навесок проб почвы аммонийно-ацетатным буфером (рН 4.8) [11]. Затем определяли содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе ELAN-9000 фирмы Perkin Elmer (США) в лаборатории физико-химических методов исследования Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН.

Для санитарно-гигиенической оценки почвенного покрова рассчитывали суммарный показатель загрязнения. Z_c , который представляет собой сумму коэффициентов концентрации (K_c) токсикантов (загрязнителей): $Z_c = (\sum K_c) - (n - 1)$ [4], где K_c — коэффициент концентрации i -го химического элемента, n — число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию.

Коэффициент концентрации (K_c) рассчитывается по формуле: $K_c = C_i / C_{\text{фон}}$, где C_i — фактическое содержание элемента; $C_{\text{фон}}$ — фоновые значения.

Основные результаты

Результаты исследований содержания подвижных и валовых форм металлов представлена в табл.1. Нормирование содержания некоторых ТМ (Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb) осуществляется по концентрации их подвижных форм.

Таблица 1 - Содержание валовых и подвижных форм химических элементов в пробах почвенного покрова участков г. Хабаровска

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.47.2>

Показатель ср., мг/кг	Форма	Места отбора проб					
		Парк северный	НПЗ	Студ. городок	ТЭЦ-1	Фон	ПДК, мг/кг
V	Валов.	59,028	45,864	62,267	42,329	35,834	150,0
	Подв.	0,033	0,239	0,073	0,163	0,014	-
Cr	Валов.	23,147	27,568	15,494	18,092	2,446	0,05 (Cr^{6+})
	Подв.	2,647	3,537	2,298	2,807	1,908	-
Mn	Валов.	5936,958	619,248	1440,852	551,949	685,390	1500,0
	Подв.	645,596	143,115	31,078	80,533	18,298	60,0
Co	Валов.	13,379	8,208	11,136	8,587	6,840	-
	Подв.	0,050	0,199	0,047	0,222	0,065	5,0
Ni	Валов.	35,425	21,173	22,897	21,61	14,49	-
	Подв.	1,395	2,347	0,085	0,345	0,02	4,0
Cu	Валов.	38,297	52,836	40,369	37,473	23,243	-
	Подв.	0,935	4,587	0,689	1,834	0,227	3,0
Zn	Валов.	130,926	284,657	165,932	201,589	82,178	-
	Подв.	20,854	142,989	33,975	93,928	12,633	23,0
As	Валов.	65,234	56,785	65,682	55,805	59,606	2,0
	Подв.	0,122	0,415	0,210	0,484	0,077	-
Pb	Валов.	44,361	40,196	40,490	38,985	20,860	32,0
	Подв.	0,692	1,416	3,652	8,089	0,524	6,0
Zc	Валов.	22,635	16,732	12,182	11,000		
	Подв.	110,221	178,776	20,512	67,418		

Анализ содержания ванадия, общего хрома, кобальта, никеля, мышьяка показал, что их концентрация в городских почвах не превышает нормативных значений. Однако сравнение их валовых концентраций с таковыми в почвах с наименьшей антропогенной нагрузкой (точка Фон) показывает значительное накопление этих металлов в городском почвенном покрове.

Установлено, что распределение других исследуемых элементов в почвах различной техногенной нагрузки не равномерно. Так, накопление марганца происходило в почвах на территории парка Северный. Превышения ПДК его валовой и подвижной форм в этой точке отбора было в 6,4 и 3,9 раза соответственно.

Повышенными содержаниями свинца характеризуются пробы почв, отобранных в районах города с повышенной антропогенной нагрузкой (ТЭЦ-1, АО «ННК-Хабаровский НПЗ», студенческий городок ПИ ТОГУ). В работе [7] показано, что свинец вносит наряду с марганцем и никелем максимальный вклад в загрязнение почвы от теплоэлектроцентрали г. Хабаровска. Максимальная концентрация установлена в пробе почвы парка Северный (44,361 мг/кг). Вероятно, это связано с плотной сетью автодорог и повышенной плотностью транспорта. В результате анализа

изотопных составов Pb исследователями было установлено, что основными источниками свинца в верхнем слое придорожных почв является дорожное покрытие и выхлопные газы от транспортных средств [5], [13].

Накопление подвижных форм цинка в большей степени происходило в почве, отобранной на территории нефтеперерабатывающего завода (142,989 мг/кг), превышение ПДК было более чем в 6 раз. Высоким содержанием цинка характеризуется почва в районе ТЭЦ-1 (4 ПДК) и студенческого городка ПИ ТОГУ (1,4 ПДК). Для меди отмечена одна точка с превышением ПДК, район АО «ННК-Хабаровский НПЗ» (1,5 ПДК).

Источником поступления цинка и меди в поверхностные горизонты почвы могут служить износ шин и тормозных накладок [5]. В исследованиях содержания ТМ и мышьяка проводимых на территории г. Хабаровска показано, что присутствует техногенное загрязнение почв преимущественно цинком и свинцом при относительно высоком региональном фоне мышьяка [6].

Из Постановления Правительства [8] следует, что, одной из характеристик указывающих на ухудшение качества окружающей среды является суммарный показатель содержания в почве загрязняющих веществ равный или превышающий значение 30. В нашем исследовании суммарный показатель загрязнения подвижными формами тяжелых металлов и мышьяка значительно превышал таковой для валового содержания исследуемых элементов. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что загрязнение городской среды г. Хабаровска тяжелыми металлами наиболее интенсивно происходит на территории промышленных предприятий. Значения Zс достигали показателя «очень высокий» (178,776) в пробах почвы, отобранных в районе АО «ННК-Хабаровский НПЗ». В пробах почвы, отобранных в районе парка Северный и ТЭЦ-1 суммарные показатели соответствовали уровню «высокий» (110,221 и 67,418 соответственно). Вероятно, что в этих районах формируются условия, увеличивающие миграционную активность исследуемых элементов.

В соответствии с постановлением Правительства, можно говорить об ухудшении экологической обстановки на исследуемых территориях. Данные территории находятся под высокой техногенной нагрузкой в связи со спецификой их использования.

Таким образом, проанализировав экологическую ситуацию в г. Хабаровске по интегральным показателям, можно выделить районы с наибольшим загрязняющим влиянием на окружающую среду. В почвенном покрове на территории АО «Хабаровский нефтеперерабатывающий завод» и ТЭЦ-1 происходит интенсивное накопление токсичных химических соединений. Включаясь в биогеохимические процессы, тяжелые металлы способны мигрировать в соседние экосистемы, а также включаться в трофические цепи. Учитывая, что обозначенные промышленные предприятия расположены на территории города вблизи жилых микрорайонов, можно говорить о непосредственном влиянии тяжелых металлов на здоровье городского населения.

Принимая во внимание вышесказанное, становится необходимым проведение мероприятий по детоксикации почвенного покрова. Это возможно на основе данных периодического мониторинга почвы и непосредственно связанных с ней экосистем, снежного покрова, атмосферного воздуха и водных объектов.

Заключение

По результатам можно сделать выводы о том, что антропогенная нагрузка оказывает большое влияние на химический состав почвенного покрова различных участков города Хабаровск. Наибольшим уровнем накопления исследуемыми элементами характеризуется почва вблизи АО «ННК-Хабаровский НПЗ» и ТЭЦ-1. Также присутствует значительное загрязнение почвы в парке «Северный», обусловленное непосредственной близостью автодорог. Выявлены участки с высоким показателем химического загрязнения по отдельным металлам: марганец — парк «Северный» и цинк — АО «ННК-Хабаровский НПЗ».

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий. — Москва: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. — 85 с.
2. Гаретова Л.А. Биогеохимические особенности вод, почвогрунтов и донных отложений промзоны г. Хабаровска / Л.А. Гаретова, Н.К. Фишер, Е.Л. Имранова [и др.] // Экология и промышленность России. — 2019. — Т. 23. — № 5. — С. 56–61.
3. Зубкова Т.А. Почвы городских экосистем — экологические и социальные риски / Т.А. Зубкова, Д.Н. Кавтарадзе, Н.В. Попова // Экология урбанизированных территорий. — 2022. — № 1. — С. 70–79.
4. Кочетова Ж.Ю. Методика оценки интегрального загрязнения почв (на примере приаэродромной территории) / Ж.Ю. Кочетова, И.С. Лазарев // Географический вестник. — 2022. — № 3 (62). — С. 126–136.
5. Латышева Л.А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв придорожных территорий / Л.А. Латышева // Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, социальные и хозяйственные системы : сборник научных статей. — Владивосток: Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2025. — С. 224–227. — DOI: 10.35735/9785605278788_224.

6. Майорова Л.П. Оценка загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком почв урбанизированных территорий (на примере г. Хабаровска) / Л.П. Майорова, А.М. Кошельков // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. — 2025. — Т. 70. — № 2. — С. 216–240.
7. Матвеевко Т.И. Тяжелые металлы в почвенном покрове зоны влияния ТЭЦ-3 / Т.И. Матвеевко, М.А. Молчанова, И.Б. Теренина // Вестник ТОГУ. — 2008. — № 1 (8). — С. 223–230.
8. О критериях значительного ухудшения экологической обстановки в результате использования земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения с нарушением установленных земельным законодательством требований рационального использования земли : Постановление от 19 июля 2012 г. № 736 // Собрание законодательства РФ. — 2012. — № 30. — Ст. 4290.
9. Росликова В.И. Экологическое состояние почвенного покрова города Хабаровска / В.И. Росликова // Тихоокеанская география. — 2023. — № 3. — С. 23–53.
10. Руденко Е.В. Оценка эколого-геохимического состояния почво-грунтов в районе бывшего золоотвала на ул. Косыгина (Санкт-Петербург) / Е.В. Руденко // Экологические проблемы природопользования. «Геоэкология — 2025» : труды международной молодежной научной конференции памяти профессора В.В. Куриленко, Санкт-Петербург, 06–08 октября 2025 года. — Санкт-Петербург: ВВМ, 2025. — С. 251–255.
11. Федорец Н.Г. Методика исследования почв урбанизированных территорий / Н.Г. Федорец, М.В. Медведева. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. — 84 с.
12. Li Y. Heavy metals in soil of an urban industrial zone in a metropolis: Risk assessment and source apportionment / Y. Li, Y. Yuan, C. Sun [et al.] // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. — 2020. — Vol. 34. — P. 435–446.
13. Sun J. Human health risk assessment and source analysis of metals in soils along the G324 roadside, China, by Pb and Sr isotopic tracing / J. Sun, G. Hu, R. Yu [et al.] // Geoderma. — 2017. — Vol. 305. — P. 293–304.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vodjanickij Ju.N. Tjzhelye metally i metalloidy v pochvah [Heavy metals and metalloids in soils] / Ju.N. Vodjanickij. — Moscow: GNU The V.V. Dokuchaev Soil Research Institute, Russian Academy of Agricultural Sciences, 2008. — 85 p. [in Russian]
2. Garetova L.A. Biogeoхимические особенности вод, почвогрунтов и донных отложений промзоны г. Хабаровска [Biogeochemical features of waters, soils and bottom sediments of the industrial zone of Khabarovsk] / L.A. Garetova, N.K. Fisher, E.L. Imranova [et al.] // Jekologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]. — 2019. — Vol. 23. — № 5. — P. 56–61. [in Russian]
3. Zubkova T.A. Pochvy gorodskih jekosistem — jekologicheskie i social'nye riski [Soils of urban ecosystems — environmental and social risks] / T.A. Zubkova, D.N. Kavtaradze, N.V. Popova // Jekologija urbanizirovannyh territorij [Ecology of Urbanized Territories]. — 2022. — № 1. — P. 70–79. [in Russian]
4. Kochetova Zh.Ju. Metodika ocenki integral'nogo zagrjaznenija pochv (na primere priajerodromnoj territorii) [Methodology for assessing integral soil pollution (on the example of an airfield area)] / Zh.Ju. Kochetova, I.S. Lazarev // Geograficheskij vestnik [Geographical Bulletin]. — 2022. — № 3 (62). — P. 126–136. [in Russian]
5. Latysheva L.A. Ocenka zagrjaznenija tjzhelymi metallami pochv pridorozhnyh territorij [Assessment of heavy metal pollution of roadside soils] / L.A. Latysheva // Geosistemy Severo-Vostochnoj Azii: prirodnye, social'nye i hozjajstvennye sistemy : sbornik nauchnyh statej [Geosystems of Northeast Asia: natural, social and economic systems : collection of scientific articles]. — Vladivostok: Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 2025. — P. 224–227. — DOI: 10.35735/9785605278788_224. [in Russian]
6. Majorova L.P. Ocenka zagrjaznenija tjzhelymi metallami i mysh'jakom pochv urbanizirovannyh territorij (na primere g. Habarovska) [Assessment of heavy metal and arsenic pollution of soils in urbanized territories (on the example of Khabarovsk)] / L.P. Majorova, A.M. Koshel'kov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle [Bulletin of Saint Petersburg University. Earth Sciences]. — 2025. — Vol. 70. — № 2. — P. 216–240. [in Russian]
7. Matveenko T.I. Tjzhelye metally v pochvennom pokrove zony vlijanija TJeC-3 [Heavy metals in the soil cover of the impact zone of CHPP-3] / T.I. Matveenko, M.A. Molchanova, I.B. Terenina // Vestnik TOGU [Bulletin of PNU]. — 2008. — № 1 (8). — P. 223–230. [in Russian]
8. О критериях значительного ухудшения экологической обстановки в результате использования земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения с нарушением установленных земельным законодательством требований рационального использования земли [On criteria for significant deterioration of the environmental situation as a result of the use of agricultural land plots in violation of the land legislation requirements for rational land use] : Decree No. 736 of July 19, 2012 // Sbranie zakonodatel'stva RF [Collection of Legislation of the Russian Federation]. — 2012. — № 30. — Art. 4290. [in Russian]
9. Roslikova V.I. Jekologicheskoe sostojanie pochvennogo pokrova goroda Habarovska [Ecological state of the soil cover of Khabarovsk] / V.I. Roslikova // Tihookeanskaja geografija [Pacific Geography]. — 2023. — № 3. — P. 23–53. [in Russian]
10. Rudenko E.V. Ocenka jekologo-geohimicheskogo sostojanija pochvo-gruntov v rajone byvshego zolootvala na ul. Kosygina (Sankt-Peterburg) [Assessment of the ecological-geochemical state of soils in the area of the former ash dump on Kosygin Street (Saint Petersburg)] / E.V. Rudenko // Jekologicheskie problemy prirodnopol'zovanija. «Geoekologija — 2025» : trudy mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii pamjati professora V.V. Kurilenko, Sankt-Peterburg, 06–08 oktjabrja 2025 goda [Environmental problems of nature management. "Geoecology — 2025" : Proceedings of the International Youth Scientific Conference in memory of Professor V.V. Kurilenko, Saint Petersburg, October 06–08, 2025]. — Saint Petersburg: VVM, 2025. — P. 251–255. [in Russian]



11. Fedorec N.G. Metodika issledovanija pochv urbanizirovannyh territorij [Methodology for studying soils of urbanized territories] / N.G. Fedorec, M.V. Medvedeva. — Petrozavodsk: Karelia Scientific Center RAS, 2009. — 84 p. [in Russian]
12. Li Y. Heavy metals in soil of an urban industrial zone in a metropolis: Risk assessment and source apportionment / Y. Li, Y. Yuan, C. Sun [et al.] // Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. — 2020. — Vol. 34. — P. 435–446.
13. Sun J. Human health risk assessment and source analysis of metals in soils along the G324 roadside, China, by Pb and Sr isotopic tracing / J. Sun, G. Hu, R. Yu [et al.] // Geoderma. — 2017. — Vol. 305. — P. 293–304.