Научная статья
УДК 504.05:574.58

ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛОИДЫ В ГОРОДСКИХ ПОЧВАХ И СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ

Постевая Марина Алексеевна, кандидат географических наук, Мурманский арктический университет, Россия, Мурманск, postevaia_m@mail.ru

Аннотация. Исследование посвящено анализу пространственной дифференциации тяжелых металлов и металлоидов в депонирующих средах урбанизированных территорий. Объектами изучения выступили почвенный покров и сезонный снежный покров крупного промышленного центра с многоотраслевой структурой. Методология работы основана на сочетании регулярного сеточного опробования, определения валового содержания и кислоторастворимых форм элементов методом атомно-абсорбционной спектрометрии и геоинформационного моделирования с применением кригинга. Установлено, что распределение поллютантов подчиняется строгим ландшафтным закономерностям, формируя устойчивые ореолы рассеяния преимущественно с подветренной стороны от источников эмиссии. Выявлено существенное превышение фоновых концентраций свинца, меди, цинка и кадмия, при этом доля их подвижных форм в городских почвах возрастает, что свидетельствует о высокой потенциальной биодоступности токсикантов. Показано, что снежный покров служит оперативным индикатором атмосферного переноса техногенных аэрозолей и накапливает значительное количество загрязняющих веществ до их весеннего поступления в почву. Рассчитанный суммарный показатель загрязнения (Z_c) позволил выделить зоны умеренной и высокой экологической опасности, границы которых не всегда совпадают с границами нормативных санитарно-защитных зон. Полученные данные обосновывают необходимость учитывать результаты ландшафтно-

геохимического районирования при градостроительном проектировании для снижения рисков для здоровья населения и разработки адресных мер по рекультивации урбоземов.

Ключевые слова: городские почвы; снежный покров; тяжёлые металлы; металлоиды; подвижные формы элементов; геоэкологическая оценка.

Original article

HEAVY METALS AND METALLOIDS IN URBAN SOILS AND SNOW COVER

Postevaia Marina Alekseevna, Candidate of Geographical Sciences, Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia, postevaia_m@mail.ru

Abstract. This study analyzes the spatial differentiation of heavy metals and metalloids in the depositional environments of urbanized areas. The objects of study were the soil cover and seasonal snow cover of a large industrial center with a multi-industry structure. The methodology is based on a combination of regular grid sampling, atomic absorption spectrometry of bulk and acid-soluble forms of elements, and geoinformation modeling using kriging algorithms. It was found that the distribution of pollutants follows strict landscape patterns, forming stable dispersion halos predominantly downwind of emission sources. Significantly higher than background concentrations of lead, copper, zinc, and cadmium were detected, while the proportion of their mobile forms in urban soils increases, indicating the high potential bioavailability of these toxicants. Snow cover has been confirmed as an operational indicator of the atmospheric transport of man-made aerosols, accumulating significant volumes of pollutants before their spring migration into the soil. The calculated total pollution index (Z_c) allowed for the identification of zones of moderate and high environmental hazard, the boundaries of which do not always coincide with regulatory sanitary protection zones. The obtained data substantiate the need to integrate landscape-geochemical zoning into urban planning processes to minimize

public health risks and develop targeted strategies for the reclamation of urban soils.

Keywords: urban soils; snow cover; heavy metals; metalloids; mobile element fractions; geoecological assessment.

Введение. Городские территории представляют собой устойчивые геохимические аномалии, в пределах которых естественные биогеохимические циклы претерпевают трансформацию под воздействием антропогенных факторов. Концентрация промышленных предприятий, транспортных магистралей и жилой застройки формирует локальные зоны интенсивной химической нагрузки, существенно отличающиеся от фоновых показателей природных ландшафтов. В таких условиях естественные механизмы миграции и аккумуляции химических элементов нарушаются, что приводит к формированию специфических техногенных потоков загрязнения. Исследования последних десятилетий последовательно демонстрируют, что урбанизированные пространства аккумулируют значительные объемы поллютантов, среди которых особую экологическую опасность представляют тяжелые металлы и металлоиды [1-3].

Ключевую роль в удержании и перераспределении этих веществ играют депонирующие среды городского ландшафта, прежде всего, почвенный покров и сезонный снежный покров. Почвы урбанизированных территорий, часто классифицируемые в литературе как техноземы или урбаноземы, выступают основным долговременным резервуаром токсичных элементов. Они фиксируют как исторические, так и текущие эмиссии, сохраняя память о техногенном воздействии на протяжении десятилетий [4], [5]. В свою очередь, снежный покров выполняет функцию интегрального индикатора атмосферного выпадения поллютантов в зимний период. Результаты снегосъемок показывают, что твердая и жидкая фазы снега в промышленных зонах накапливают значительные количества тяжелых металлов, которые затем, в период снеготаяния, поступают в почву и поверхностные водотоки, увеличивая общую нагрузку на экосистему

[6].

Ярким примером такой дифференциации служат ландшафты лесостепного и степного Поволжья, в частности территория Самарской области с ее крупными промышленными центрами. Эколого-геохимический анализ показывает, что атмосферный воздух и осадки в зонах, непосредственно примыкающих к Самаре, Тольятти и Сызрани, характеризуются выраженной полиметаллической нагрузкой [7]. В почвенном покрове этих городов выявлено преимущественное накопление меди, цинка, свинца, никеля, хрома и ванадия. Наиболее высокие концентрации фиксируются в старых промышленных районах, где содержание меди, например, может многократно превышать региональный кларк [8]. При этом малые промышленные центры с иной производственной специализацией, такие как Отрадный, характеризуются иным геохимическим профилем: относительную незагрязненность традиционными тяжелыми металлами, но заметное обогащение стронцием, цирконием и свинцом, что соотносится с профилями нефтедобычи и нефтепереработки [9].

Пространственное распределение указанных элементов в пределах городской территории не носит хаотичного характера, а подчиняется строгим ландшафтным и градостроительным закономерностям. Существенное влияние на перераспределение техногенных потоков оказывают природные факторы, включая рельеф и преобладающее направление ветров. Так, перенос загрязненных воздушных масс от крупных промышленных узлов в сторону периферийных природных территорий четко прослеживается при изолинейном картировании [10]. Техногенные особенности, такие как плотность и этажность застройки, конфигурация транспортных развязок и степень развития системы озеленения, дополнительно влияют на перераспределение загрязняющих веществ и формируют неоднородную картину геохимического загрязнения.

В связи с изложенным детальное изучение пространственной организации тяжелых металлов и металлоидов в почвах и снеговом покрове приобретает первостепенное значение для геоэкологического мониторинга. Понимание

механизмов аккумуляции и миграции поллютантов в депонирующих средах позволяет не только оценить текущее состояние урболандшафтов, но и разработать научно обоснованные подходы к экологическому зонированию и рекультивации нарушенных территорий. Настоящая работа направлена на систематизацию данных о распределении химических элементов в городских ландшафтах, что способствует формированию объективной картины антропогенной трансформации природной среды.

Обзор литературы. Урбанизированные территории существенно изменяют естественные биогеохимические циклы химических элементов. Концентрация промышленных предприятий, транспортных магистралей и жилой застройки формирует локальные зоны интенсивной химической нагрузки, существенно отличающиеся от фоновых показателей природных территорий. В таких условиях привычные механизмы миграции и аккумуляции веществ нарушаются, что приводит к возникновению специфических техногенных потоков загрязнения. Исследования последних десятилетий последовательно демонстрируют, что города аккумулируют значительные объемы поллютантов, среди которых особую экологическую опасность представляют тяжелые металлы и металлоиды.

Ключевую роль в удержании и перераспределении этих веществ играют депонирующие среды городского ландшафта, прежде всего почвенный покров и сезонный снежный покров. Почвы урбанизированных территорий, часто классифицируемые в литературе как техноземы или урбаноземы, выполняют функцию основного долговременного резервуара токсичных элементов [11-13]. Они фиксируют как исторические, так и текущие эмиссии, сохраняя память о техногенном воздействии на протяжении десятилетий. В свою очередь, снежный покров служит интегральным индикатором атмосферного выпадения поллютантов в зимний период. Результаты снегосъемок наглядно иллюстрируют, что твердая и жидкая фазы снега в промышленных зонах концентрируют существенные доли тяжелых металлов, которые впоследствии, в

период снеготаяния, мигрируют в почву и поверхностные водотоки, многократно усугубляя общую нагрузку на экосистему.

Анализ существующих подходов к оценке геохимического состояния городов показывает необходимость перехода от точечных замеров к комплексному ландшафтному анализу. Пространственное распределение указанных элементов в пределах городской территории подчиняется строгим градостроительным и природным закономерностям. Существенное влияние на перераспределение техногенных потоков оказывают рельеф и преобладающее направление ветров. Техногенные особенности, такие как плотность застройки, конфигурация транспортных развязок и степень развитости системы озеленения, дополнительно модулируют эти процессы, создавая сложную мозаику геохимического загрязнения [14], [15]. Детальное изучение этих механизмов позволяет оценить текущее состояние урболандшафтов и разработать научно обоснованные подходы к экологическому зонированию и рекультивации нарушенных территорий.

Материалы и методы исследования. Работа посвящена сравнительному анализу накопления тяжёлых металлов и металлоидов в городских почвах и снежном покрове. В качестве основных аналитических показателей рассматриваются валовое содержание элементов в верхнем почвенном горизонте, содержание извлекаемых форм, геохимическое обогащение относительно фоновых значений и возможные пути воздействия загрязнителей. Для пространственного анализа предложена схема регулярного отбора с шагом 1 км и дополнительным уплотнением сети вблизи промышленных объектов.

Отбор проб почвенного покрова осуществлялся из верхнего гумусового горизонта (0–10 см) в летне-осенний период. Снеговой покров исследовался в конце зимы, на этапе максимальной аккумуляции атмосферных выпадений, путем отбора интегральных проб с последующим разделением на твердую фазу (пыль, аэрозоли) и жидкую фазу (талая вода). В лабораторных условиях определялось как валовое содержание элементов (метод полного разложения

пробы в смеси плавиковой и азотной кислот), так и содержание их подвижных форм, извлекаемых 1 н. раствором HNO_3, что позволяет оценить потенциальную биодоступность поллютантов. Количественный анализ выполнялся методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией.

Пространственная обработка данных реализовывалась с применением геоинформационных систем. Метод обыкновенного кригинга использовался для интерполяции точечных значений и построения непрерывных поверхностей загрязнения. Полученные растровые слои накладывались на карту функционального зонирования города, а также сопоставлялись с данными о розе ветров и цифровыми моделями рельефа для выявления направлений миграции техногенных шлейфов. Степень геохимической трансформации почв оценивалась посредством расчета суммарного показателя загрязнения (Z_c), учитывающего кратность превышения фоновых концентраций для группы приоритетных элементов-индикаторов.

Результаты исследования и их обсуждение. Таблица 1 позволяет сопоставить валовое содержание элементов в фоновых и городских почвах и определить долю извлекаемых форм в городских образцах. Однако соответствующие показатели подвижных форм для фоновой территории не представлены. Поэтому на основании этой таблицы невозможно установить, является ли относительная подвижность изученных элементов в городе выше фоновой. Полученные данные позволяют констатировать различия валовых концентраций и описать долю извлекаемых форм в городском почвенном материале. Прямое сравнение подвижности между территориями требует определения соответствующих фракций в фоновых пробах по одной аналитической процедуре (таблица 1).

Таблица 1 - Среднее содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах фоновой и городской территорий (мг/кг)

Элемент	Фоновая территория (валовое)	Городская территория (валовое)	Городская территория (подвижные формы)	Доля подвижной формы в городе, %
Pb	14,2	86,5	28,4	32,8
Cu	18,5	112,3	31,1	27,7
Zn	52,1	245,6	68,9	28,0
Cd	0,35	2,8	0,9	32,1
As	6,8	15,4	2,1	13,6

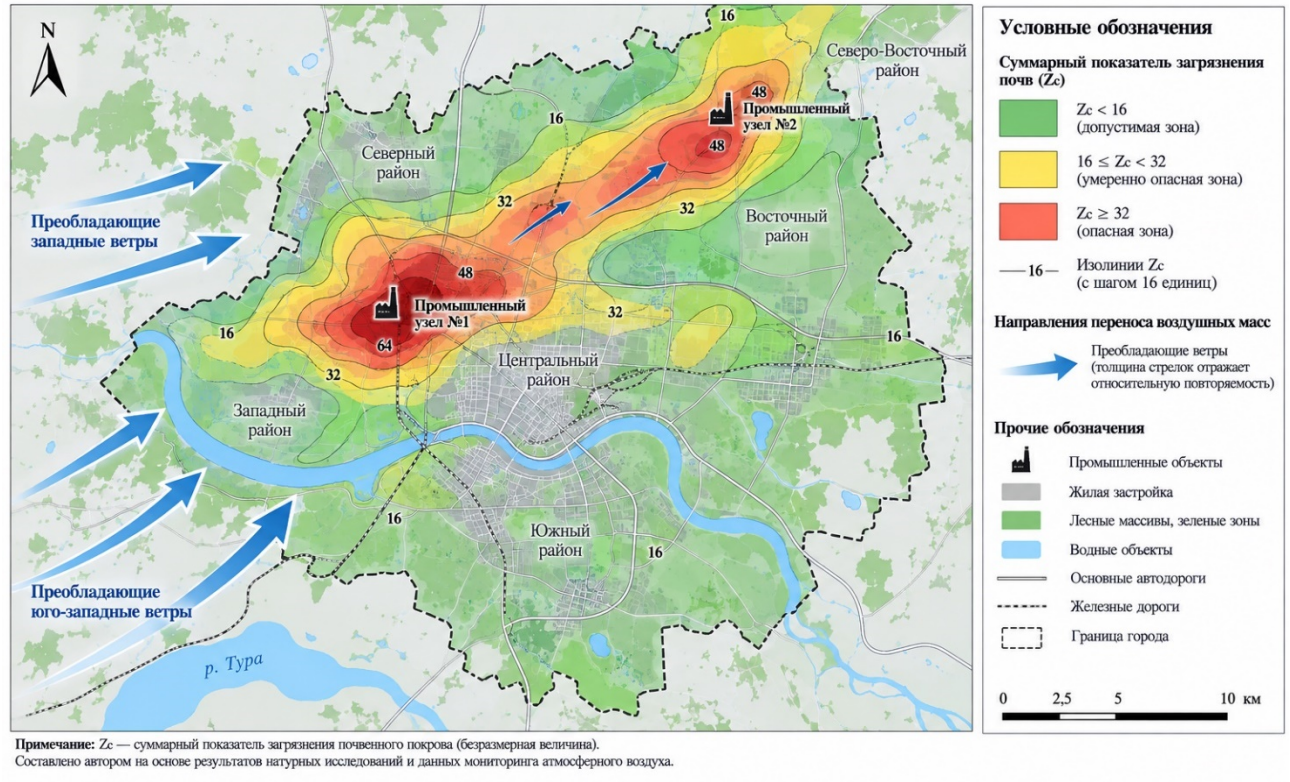
Источник: разработано автором.

Повышенная доля извлекаемых форм отдельных металлов в городских почвах может свидетельствовать об их потенциальной мобильности при используемых условиях экстракции. Однако характер фиксации элементов определяется кислотностью, гранулометрическим составом, содержанием органического вещества и другими характеристиками почвенного поглощающего комплекса. Поскольку значения pH и содержания органического вещества в рассматриваемых пробах не приведены, закисление и влияние техногенной органики нельзя считать непосредственно установленными причинами повышенной извлекаемости. Соответствующие механизмы рассматриваются как возможные объяснения, требующие самостоятельных почвенно-химических измерений.

Снежный покров является потенциально информативной средой для регистрации атмосферного поступления твёрдых частиц и растворимых компонентов в течение холодного сезона. Сопоставление элементного состава снежных проб с почвенными характеристиками может способствовать разграничению относительно кратковременного атмосферного осаждения и длительного накопления веществ в почвах.

Пространственная интерполяция методом кригинга позволила визуализировать ореолы рассеяния загрязняющих веществ. Наложение полученных карт на схему розы ветров выявило четкую асимметрию распределения. Максимальные концентрации тяжелых металлов в почвах фиксируются в секторах, расположенных с подветренной стороны от основных

источников выбросов. Рельеф местности выступает дополнительным фактором перераспределения: в понижениях рельефа и балках наблюдается аккумуляция взвешенных частиц, смываемых с прилегающих возвышенностей, что формирует локальные вторичные геохимические аномалии, не связанные напрямую с близостью промышленных труб (рисунок 1).



Примечание: Zc — суммарный показатель загрязнения почвенного покрова (безразмерная величина).
Составлено автором на основе результатов натурных исследований и данных мониторинга атмосферного воздуха.

Рисунок 1 - Схема пространственного распределения суммарного показателя загрязнения почвенного покрова с наложением основных направлений переноса воздушных масс (источник: разработано автором)

Наиболее опасные зоны (Z_c > 32) формируются не только в непосредственной близости от заводов, но и на расстоянии 3–5 км от них, в жилых массивах, находящихся в зоне устойчивого переноса загрязненных воздушных масс. Это опровергает представление о том, что загрязнение локализуется исключительно на санитарно-защитных территориях предприятий.

Оценка экологической опасности проводилась с учетом не только валового накопления, но и потенциального риска для здоровья населения. Расчет коэффициентов опасности (HQ) показал, что для взрослого населения основные риски связаны с ингаляционным путем поступления пыли, содержащей мышьяк

и хром. Для детей в связи с более частым контактом с почвой, в том числе при игре на земле и геофагии, основным становится пероральный путь поступления загрязняющих веществ. В районах с максимальными значениями Z_c суммарный индекс опасности (HI) превышает единицу, что указывает на высокую вероятность развития неканцерогенных эффектов, включая нарушения в работе нервной и эндокринной систем (таблица 2).

Таблица 2 - Оценка неканцерогенного риска (HI) для детского населения в различных функциональных зонах города

Функциональная зона	Приоритетные элементы-загрязнители	Основной путь поступления	Значение HI	Уровень риска
Промышленная	Pb, Cd, As	Пероральный (почва)	4,8	Высокий
Транспортная	Pb, Zn, Cu	Пероральный (почва), Ингаляционный	2,3	Умеренный
Рекреационная (парки)	Cu, Ni	Пероральный (почва)	1,1	Допустимый (пороговый)
Фоновая	Отсутствуют	-	0,4	Низкий

Источник: разработано автором.

Данные таблицы 2 подчеркивают, что даже рекреационные зоны внутри города не обеспечивают полной безопасности из-за накопления поллютантов в почвах за годы существования урболандшафта. Это требует пересмотра подходов к организации детских игровых площадок и обязательного проведения рекультивации почвенного покрова с заменой или глубокой мелиорацией верхнего горизонта.

Проведенное исследование пространственной дифференциации тяжелых металлов и металлоидов в компонентах городских ландшафтов позволяет сделать ряд выводов о механизмах техногенной трансформации природной среды. Снеговой покров оперативно реагирует на текущие выбросы, выступая индикатором атмосферного переноса, тогда как почвенный покров аккумулирует историческую нагрузку, трансформируя ее в формы, доступные для биологического поглощения. Использование методов геоинформационного моделирования в сочетании с оценкой подвижных форм элементов позволяет

перейти от констатации факта загрязнения к прогнозированию экологических рисков и разработке адресных мер по снижению техногенной нагрузки на здоровье городского населения [16]. Дальнейшие исследования должны быть направлены на мониторинг сезонной динамики миграции металлов из снега в почву и оценку эффективности применяемых методов фитомелиорации урбанизированных территорий.

Выводы. Проведенное исследование пространственной дифференциации тяжелых металлов и металлоидов в компонентах городских ландшафтов позволяет сделать ряд фундаментальных выводов относительно механизмов техногенной трансформации природной среды. Установлено, что распределение поллютантов не носит случайного характера, а представляет собой результат сложного взаимодействия эмиссионных потоков и естественных факторов миграции. Снеговой покров выступает в роли оперативного индикатора, фиксирующего текущие атмосферные выпадения и сезонную динамику переноса аэрозолей. Почвенный покров, в свою очередь, аккумулирует историческую нагрузку, трансформируя валовые формы элементов в подвижные соединения, доступные для биологического поглощения. Именно сочетание краткосрочного атмосферного выпадения загрязняющих веществ и их долговременного накопления в почвах формирует устойчивую геохимическую аномалию урбанизированных территорий.

Полученные данные указывают на необходимость перехода от точечного экологического контроля к комплексному ландшафтно-геохимическому районированию, которое целесообразно учитывать при градостроительном проектировании. Административное деление города часто не совпадает с реальными границами геохимических полей, формируемых под воздействием розы ветров и особенностей рельефа. Как показал анализ на примере крупных и малых промышленных центров лесостепного Поволжья, специфика загрязнения напрямую зависит от профиля хозяйственной деятельности. Машиностроительные и металлургические узлы формируют шлейфы

загрязнения, обогащенные медью, цинком, свинцом и никелем, тогда как для нефтеперерабатывающих предприятий характерен иной геохимический профиль с преобладанием стронция и циркония. Игнорирование этих различий при планировании жилой застройки или рекреационных зон ведет к необоснованным рискам для здоровья населения.

Практическая реализация геохимического зонирования предполагает строгую регламентацию функционального использования территорий на основе рассчитанных показателей суммарного загрязнения и доли подвижных форм металлов. Участки, где выявлено критическое накопление токсичных элементов в верхних гумусовых горизонтах, требуют обязательного проведения рекультивационных мероприятий перед любым строительным освоением. При проектировании санитарно-защитных зон и систем озеленения необходимо учитывать преобладающие направления переноса воздушных масс. Высаживание древесно-кустарниковой растительности с высокой пылеулавливающей способностью на наветренных склонах или вдоль транспортных магистралей создает эффективный биогеохимический барьер, препятствующий дальнейшему распространению поллютантов вглубь жилых массивов.

Дальнейшее совершенствование подходов к управлению качеством городской среды неразрывно связано с внедрением геоинформационных технологий и методов фитоиндикации. Интеграция данных о содержании металлов в тканях растений-индикаторов с цифровыми моделями рельефа позволяет создавать динамические карты экологического риска, которые можно оперативно обновлять при изменении структуры промышленных выбросов. Подобный мониторинг обеспечивает научную базу для принятия управленческих решений, направленных на минимизацию антропогенной нагрузки. Учет ландшафтно-геохимических особенностей при разработке генеральных планов городов способствует сохранению экологического баланса и созданию благоприятных условий жизни в условиях продолжающейся

урбанизации.

Список литературы

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

2. Papadimou S. G., Kantzou O.-D., Chartodiplomenou M.-A., Golia E. E. Urban Soil Pollution by Heavy Metals: Effect of the Lockdown during the Period of COVID-19 on Pollutant Levels over a Five-Year Study // Soil Systems. 2023. Vol. 7. No. 1. Art. 28. DOI: 10.3390/soilsystems7010028.

3. Захарченко А. В., Тигеев А. А. Микроэлементы в пыли снежного покрова на примере городов Тюмень и Тобольск // Лёд и Снег. 2023. Т. 63. № 3. С. 397–409. DOI: 10.31857/S2076673423030146.

4. Vijayan A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. Traffic-Related Metals in Urban Snow Cover: A Review of the Literature Data and the Feasibility of Filling Gaps by Field Data Collection // Science of the Total Environment. 2024. Vol. 920. Art. 170640. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170640.

5. Goncharov G., Soktoev B., Farkhutdinov I., Matveenko I. Heavy Metals in Urban Soil: Contamination Levels, Spatial Distribution and Human Health Risk Assessment (the Case of Ufa City, Russia) // Environmental Research. 2024. Vol. 257. Art. 119216. DOI: 10.1016/j.envres.2024.119216.

6. Vijayan A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. Variation in Urban Snow Quality Indicated by Three Seasonal Sampling Surveys Conducted in Luleå (Sweden) within a Span of 27 Years // Journal of Contaminant Hydrology. 2024. Vol. 260. Art. 104286. DOI: 10.1016/j.jconhyd.2023.104286.

7. Бондаревич Е. А. Микроэлементный состав компонентов снежного покрова города Читы и его окрестностей // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 445–453. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-445-453.

8. Chand R., Putna-Nīmane I., Vecmane E., Lykkemark J., Dencker J., Nielsen A. H., Vollertsen J., Liu F. Snow Dumping Station – A Considerable Source of Tyre Wear, Microplastics, and Heavy Metal Pollution // Environment International. 2024. Vol. 188. Art. 108782. DOI: 10.1016/j.envint.2024.108782.

9. Журба О. М., Меринов А. В., Шаяхметов С. Ф., Алексеенко А. Н. Гигиеническая оценка загрязнения тяжёлыми металлами и органическими соединениями снежного покрова многопрофильного индустриального города // Гигиена и санитария. 2024. Т. 103. № 9. С. 940–946. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-9-940-946.

10. Kozhevnikov A. Yu., Shutskiy N. A., Shestakov S. L., Malkov A. V., Lahmanov D. E. Dynamics of Pollutants Accumulation in the Snow of an Urban Agglomeration // Polar Science. 2024. Vol. 42. Art. 101072. DOI: 10.1016/j.polar.2024.101072.

11. Shen C., Huang S., Wang M., Wu J., Su J., Lin K., Chen X., He T., Li Y., Sha C., Liu M. Source-Oriented Health Risk Assessment and Priority Control Factor Analysis of Heavy Metals in Urban Soil of Shanghai // Journal of Hazardous Materials. 2024. Vol. 480. Art. 135859. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.135859.

12. Чередова Т. В., Чудинова О. Н. Химический и минеральный состав снежного покрова на площадках складирования снежных отходов в Улан-Удэ // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 2. С. 189–203. DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-2-189-203.

13. Kasimov N. S., Vasil'chuk J. Yu., Tereshina M. A., Chalov S. R., Erina O. N., Kosheleva N. E., Shinkareva G., Sokolov D. I., Vlasov D., Konoplev A. V. Metals and Metalloids Pollution Levels, Partitioning, and Sources in the Environmental Compartments of a Small Urban Catchment in Moscow Megacity // Environmental Pollution. 2025. Vol. 367. Art. 125552. DOI: 10.1016/j.envpol.2024.125552.

14. Zgłobicki W., Telecka M., Hałas P., Bis M. Impact of Traffic and Other Sources on Heavy Metal Pollution of Urban Soils (Lublin, Poland) // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2025. Vol. 23. Art. 101058. DOI: 10.1016/j.enmm.2025.101058.

15. Cui J., Lu J., Lai Y., Wei Q., Zhao X. Spatiotemporal Dynamics and Human Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements in Global Urban Soils: A Systematic Meta-Analysis // Toxics. 2026. Vol. 14. No. 6. Art. 496. DOI: 10.3390/toxics14060496.

16. Donoghue S. L., Graham M. C., Stuart N., Marchant B. P., Fordyce F. M., Lark R. M. Urban Soil Lead Variability at the City and Neighbourhood Scale: Evidence From Glasgow to Guide Contaminant Mapping // European Journal of Soil Science. 2026. Vol. 77. No. 4. Art. e70374. DOI: 10.1111/ejss.70374.

References

1. Paramonova T. A., Chernogaeva G. M., Lukyanova N. N., Paramonov M. S. Heavy metals in urban soils of the Volga Federal District: a combined analysis of official data // Soil Science. 2023. No. 11. pp. 1472–1488. DOI: 10.31857/S0032180X23600300.

2. Papadimou S. G., Kantzou O.-D., Chartodiplomenou M.-A., Golia E. E. Urban Soil Pollution by Heavy Metals: Effect of the Lockdown during the Period of COVID-19 on Pollutant Levels over a Five-Year Study // Soil Systems. 2023. Vol. 7. No. 1. Art. 28. DOI: 10.3390/soilsystems7010028.

3. Zakharchenko A. V., Tigeev A. A. Microelements in Snow Dust: The Case of Tyumen and Tobolsk Cities // Ice and Snow. 2023. Vol. 63. No. 3. pp. 397–409. DOI: 10.31857/S2076673423030146.

4. Vijayan A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. Traffic-Related Metals in Urban Snow Cover: A Review of the Literature Data and the Feasibility of Filling Gaps by Field Data Collection // Science of the Total Environment. 2024. Vol. 920. Art. 170640. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170640.

5. Goncharov G., Soktoev B., Farkhutdinov I., Matveenko I. Heavy Metals in Urban Soil: Contamination Levels, Spatial Distribution and Human Health Risk Assessment (the Case of Ufa City, Russia) // Environmental Research. 2024. Vol. 257. Art. 119216. DOI: 10.1016/j.envres.2024.119216.

6. Vijayan A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. Variation in Urban Snow Quality Indicated by Three Seasonal Sampling Surveys Conducted in Luleå (Sweden)

within a Span of 27 Years // Journal of Contaminant Hydrology. 2024. Vol. 260. Art. 104286. DOI: 10.1016/j.jconhyd.2023.104286.

7. Bondarevich E. A. Microelement Composition of Snow Cover Components in Chita and Its Environs // RUDN Bulletin. Series: Ecology and Life Safety. 2024. Vol. 32. No. 4. Pp. 445–453. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-445-453.

8. Chand R., Putna-Nīmane I., Vecmane E., Lykkemark J., Dencker J., Nielsen A. H., Vollertsen J., Liu F. Snow Dumping Station – A Considerable Source of Tire Wear, Microplastics, and Heavy Metal Pollution // Environment International. 2024. Vol. 188. Art. 108782. DOI: 10.1016/j.envint.2024.108782.

9. Zhurba O. M., Merinov A. V., Shayakhmetov S. F., Alekseenko A. N. Hygienic assessment of pollution by heavy metals and organic compounds of the snow cover of a multi-industry industrial city // Hygiene and Sanitation. 2024. Vol. 103. No. 9. pp. 940–946. DOI: 10.47470/0016-9900-2024-103-9-940-946.

10. Kozhevnikov A. Yu., Shutskiy N. A., Shestakov S. L., Malkov A. V., Lahmanov D. E. Dynamics of Pollutants Accumulation in the Snow of an Urban Agglomeration // Polar Science. 2024. Vol. 42. Art. 101072. DOI: 10.1016/j.polar.2024.101072.

11. Shen C., Huang S., Wang M., Wu J., Su J., Lin K., Chen X., He T., Li Y., Sha C., Liu M. Source-Oriented Health Risk Assessment and Priority Control Factor Analysis of Heavy Metals in Urban Soil of Shanghai // Journal of Hazardous Materials. 2024. Vol. 480. Art. 135859. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.135859.

12. Cheredova T.V., Chudinova O.N. Chemical and mineral composition of snow cover at snow waste storage sites in Ulan-Ude // Bulletin of RUDN University. Series: Ecology and Life Safety. 2025. Vol. 33. No. 2. pp. 189–203. DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-2-189-203.

13. Kasimov N. S., Vasil’chuk J. Yu., Tereshina M. A., Chalov S. R., Erina O. N., Kosheleva N. E., Shinkareva G., Sokolov D. I., Vlasov D., Konoplev A. V. Metals and Metalloids Pollution Levels, Partitioning, and Sources in the Environmental Compartments of a Small Urban Catchment in Moscow Megacity // Environmental Pollution. 2025. Vol. 367. Art. 125552. DOI: 10.1016/j.envpol.2024.125552.

14. Zgłobicki W., Telecka M., Hałas P., Bis M. Impact of Traffic and Other Sources on Heavy Metal Pollution of Urban Soils (Lublin, Poland) // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2025. Vol. 23. Art. 101058. DOI: 10.1016/j.enmm.2025.101058.
15. Cui J., Lu J., Lai Y., Wei Q., Zhao X. Spatiotemporal Dynamics and Human Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements in Global Urban Soils: A Systematic Meta-Analysis // Toxics. 2026. Vol. 14.No. 6. Art. 496. DOI: 10.3390/toxics14060496.
16. Donoghue S. L., Graham M. C., Stuart N., Marchant B. P., Fordyce F. M., Lark R. M. Urban Soil Lead Variability at the City and Neighborhood Scale: Evidence From Glasgow to Guide Contaminant Mapping // European Journal of Soil Science. 2026. Vol. 77.No. 4. Art. e70374. DOI: 10.1111/ejss.70374.

Статья поступила в редакцию 29.01.2026; одобрена после рецензирования 12.03.2026; принята к публикации 30.08.2026.

The article was submitted 29.01.2026; approved after peer review 12.03.2026; accepted for publication 30.08.2026.