





DOI: <https://doi.org/10.23859/estr-241123>

EDN: <https://elibrary.ru/nsqzkn>

УДК 551.510.42:504.064

Научная статья

Оценка экологического состояния селитебной территории малого города на основе данных о составе снегогрязевой пульпы

А.А. Селезнев^{1*} , Н.В. Иванчукова^{1, 2}, А.В. Шевченко¹ ,
В.С. Глухов¹

¹ *Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук,
620108, Россия, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 20*

² *Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620062, Россия, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19*

*sandrian@rambler.ru

Аннотация. Приводятся результаты разработки подхода к оценке экологического состояния жилой зоны города на основе данных о составе снегогрязевой пульпы (СГП). Исследование проведено на примере малых и средних по численности городов Свердловской области: Алапаевск, Качканар и Серов, различающихся промышленной специализацией. В работе рассматривались поллютанты городской среды в водорастворимой форме: Pb, Mn, Ni, Cu, Zn, Co, Cr и Fe. Рассчитывался суммарный показатель загрязнения Z_c в СГП. Тестировались различные подходы к расчету Z_c , в которых в качестве условной фоновой концентрации элемента использовалась: минимальная концентрация элемента в снеге в городе, минимальная концентрация элемента в СГП в городе, предельно допустимая концентрация (ПДК) элемента в воде водных объектов, концентрация элемента в снеге на площадке отбора СГП. Лучшее всего показал себя подход, учитывающий концентрацию поллютантов в снеге на пробной площадке. Этот способ позволяет характеризовать локальные процессы миграции и накопления загрязнения природно-антропогенного характера. СГП может рассматриваться как отдельный независимый геоиндикаторный объект городской среды. Полученные данные существенно дополняют картину миграции и накопления поллютантов в урбанизированной среде.

Ключевые слова: урбанизированная среда, многоквартирные дома, малоэтажная застройка, снег, загрязнение, металлы, условная фоновая концентрация

ORCID:

А.А. Селезнев, <https://orcid.org/0000-0001-9404-5979>

А.В. Шевченко, <https://orcid.org/0009-0003-2142-1621>

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 24-17-20036) и Правительства Свердловской области (проект № 24-17-20036).

Для цитирования: Селезнев, А.А. и др., 2025. Оценка экологического состояния селитебной территории малого города на основе данных о составе снеготрясовой пульпы. *Трансформация экосистем* 8 (3), 118–137. <https://doi.org/10.23859/estr-241123>

Поступила в редакцию: 23.11.2024

Принята к печати: 10.12.2024

Опубликована онлайн: 15.08.2025



DOI: <https://doi.org/10.23859/estr-241123>

EDN: <https://elibrary.ru/nsqzkn>

UDC 551.510.42:504.064

Article

The environmental assessment of the residential area of the small town based on snow-dirt sludge composition data

A.A. Seleznev^{1*}, N.V. Ivanchukova^{1, 2}, A.V. Shevchenko¹,
V.S. Glukhov¹

¹ Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Sofya Kovalevskaya St. 20, Ekaterinburg, 620108 Russia

² Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Mira St. 19, Ekaterinburg, 620062 Russia

*sandrian@rambler.ru

Abstract. This paper presents the results of developing an approach to assessing the environmental state of residential areas in towns based on snow-dirt sludge (SDS) composition data. The study was conducted on the example of small and medium-sized towns of the Sverdlovsk region: Alapaevsk, Kachkanar, and Serov. The towns differ in their industrial specialization. The study focuses on dissolved forms of urban pollutants, including Pb, Mn, Ni, Cu, Zn, Co, Cr, and Fe. The total pollution index Z_c was calculated for SDS samples. Various approaches to calculate Z_c were tested, where the background concentration of an element was taken as: (1) the minimum concentration of the element in undisturbed snow in town, (2) the minimum concentration of the element in SDS in the city, (3) the maximum permissible concentration (MPC) of the element in water, and (3) the concentration of the element in snow at the SDS sampling site. The approach to calculate Z_c applying background concentration of the element in snow at the SDS sampling site proved most effective for assessing SDS pollution levels. This method enables to characterize the local natural and anthropogenic processes of migration and accumulation of pollution. The SDS may be used as an independent geochemical indicator of the urban environment. The data obtained significantly enhance the understanding of pollutant migration and accumulation in urban areas.

Keywords: urban environment, multi-storey buildings (MSB), detached houses development, residential construction, snow, pollution, metals, background concentration

ORCID:

A.A. Seleznev, <https://orcid.org/0000-0001-9404-5979>

A.V. Shevchenko, <https://orcid.org/0009-0003-2142-1621>

Funding. The research was funded by the Russian Science Foundation (grant No. 24-17-20036), and the Sverdlovsk Regional Government (project No. 24-17-20036).

To cite this article: Seleznev, A.A. et al., 2025. The environmental assessment of the residential area of the small town based on snow-dirt sludge composition data. *Ecosystem Transformation* 8 (3), 118–137. <https://doi.org/10.23859/estr-241123>

Received: 23.11.2024

Accepted: 10.12.2024

Published online: 15.08.2025

Введение

По данным государственной статистики, в малых и средних по численности населения городах проживает треть населения России¹ и сосредоточены основные производства. Загрязнение таких городов, как правило, обусловлено деятельностью градообразующих предприятий (Новикова и Черей, 2014), а эколого-геохимический мониторинг зачастую не проводится², т.к. требует больших временных и кадровых ресурсов³. Кроме того, малые и средние по численности города оказываются недоступны для общественного экологического контроля. Производственный экологический контроль на предприятиях и социально-гигиенический мониторинг решают узкоспециализированные задачи. При этом на селитебных территориях городов экологическую обстановку определяют выбросы не только от стационарных источников загрязнения, но и от диффузных источников; свой вклад также вносят состояние городской инфраструктуры, соблюдение правил благоустройства и содержания территорий⁴.

Отсутствие государственного экологического мониторинга и ограниченность его мероприятий на территориях малых и средних городов является одним из факторов, приводящих к диспропорции в социально-экономическом развитии страны, в том числе внутри регионов⁵. Проблема обеспечения качества окружающей среды в малых и средних городах усугубляется отсутствием качественной медицинской помощи, недостатком медицинского персонала и его низкой квалификацией. Знания о потоках миграции и местах накопления потенциально опасных веществ в городских ландшафтах необходимы для обеспечения безопасности населения при возникновении чрезвычайных и аварийных ситуаций природного и техногенного характера.

¹ Итоги Всероссийской переписи населения 2020 г. Т. 1. Численность и размещение населения. Интернет-ресурс. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Tom1_tab-10_VPN-2020.xlsx (дата обращения: 19.03.2025).

² Уральское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Интернет-ресурс. URL: http://svgimet.ru/?page_id=181 (дата обращения: 10.10.2024).

³ Государственный доклад о состоянии окружающей среды Свердловской области в 2023 г., 2024.

⁴ U.S. Environmental Protection Agency. Интернет-ресурс. URL: <https://www.epa.gov/nps/nonpoint-source-urban-areas> (дата обращения: 10.10.2024).

⁵ Индекс качества городской среды. Интернет-ресурс. URL: <https://xn----dtbcccdtsypabxk.xn--p1ai/#/methodology> (дата обращения: 10.10.2024).

В Свердловской области в малых и средних по численности населения городах располагаются предприятия добычи и переработки минерального сырья, металлургии, металлообработки и машиностроения. Экологическое состояние этих городов оценивается как напряженное. Около 70% жителей региона проживает в условиях неблагоприятного состояния окружающей среды (Кричкер и Шимова, 2018).

Получение без больших затрат достоверной информации об экологическом состоянии малых и средних по численности городов может стать возможным за счет подходов, основанных на исследовании депонирующих сред: снег, дорожная пыль, отложения ливневой канализации, снеогрязевая пульпа и другие (Seleznev et al., 2019; Vlasov et al., 2023). Эти объекты интегрируют загрязнение по времени и пространству. Программы и методики для получения экологических данных достаточно хорошо отработаны (Лаптева и Шишкин, 2010; Лебедев и Агафонова, 2017; Bezberdaya et al., 2024). Снег является наиболее изученным и удобным объектом для наблюдений за состоянием среды. На большей части России снежный покров держится достаточно долго, накапливая атмосферные выпадения поллютантов. При снеготаянии загрязнение с водой переходит в почву (Саэт и др., 1990). Выпавший снег, перемешиваясь колесами автомобилей и пешеходами с твердым материалом современных поверхностных депонированных осадков (наносами), дорожной и тротуарной пылью, образует пульпу (Seleznev et al., 2019, 2024). Она образуется на дорогах, тротуарах, проездах и складывается в кучи. С точки зрения получения данных об экологическом состоянии городской среды снеогрязевая пульпа (СГП) пока что мало изучена.

Цель работы – разработка и тестирование подхода к оценке экологического состояния жилой городской территории с использованием состава снеогрязевой пульпы в качестве индикатора состояния среды.

Материалы и методы

Характеристика городов

Исследование проведено на территории Свердловской области в малых городах Алапаевске (число жителей 35934 человека) и Качканаре (36563), а также среднем по численности городе Серове (92349)⁶. Города располагаются в зоне умеренного континентального климата на восточном склоне Уральских гор. Алапаевск и Качканар находятся на территории Среднего Урала, Серов – в южной части Северного Урала (Климат России, 2001). Природные условия городов схожи.

Города различаются промышленной специализацией. В Алапаевске основными отраслями промышленности являются машиностроение, деревообработка и сельское хозяйство. Металлургический завод в Алапаевске закрылся в 2018 г. В Качканаре находится действующий горно-обогатительный комбинат, одно из крупнейших горнодобывающих предприятий России, основной поставщик ванадийсодержащего сырья (Мельчаков и др., 2018). В Серове основная отрасль – металлургия.

Экологическая ситуация в Алапаевске характеризуется как опасная по результатам оценки суммарного показателя загрязнения Z_c почв тяжелыми металлами и металлоидами (Касимов и Власов, 2018). В Качканаре на отдельных территориях суммарная концентрация загрязнителей 1–3 классов экологической опасности достигает 19 единиц, что соответствует допустимому уровню загрязнения (Меньшикова и др., 2019; Россман и Королёва, 2016). В Серове суммарный показатель загрязнения почв соответствует допустимому уровню⁷.

Селитебные территории городов состоят из микрорайонов с многоэтажными многоквартирными домами (МКД) разной этажности, а также малоэтажной застройки, которая представлена частными домовладениями с приусадебными участками. Площади территорий с МКД и малоэтажной застройкой примерно одинаковы.

⁶ Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. Электронный ресурс. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282> (дата обращения: 20.03.2025).

⁷ Анализ качества почвы на территории г. Серова и Серовского района по данным контроля за 2022 год. Электронный ресурс. URL: <https://xn--112-hddo8cng.xn--p1ai/novosti/informatsiya-ot-rospotrebnadzora/analiz-kachestva-pochvy-na-territorii-g-serova-i-serovskogo-rajona-po-dannym-kontrolya-za-2022-god/> (дата обращения: 28.05.2024).

Программа исследования

В каждом городе была построена сеть из десяти площадок для отбора снега и СГП с учетом методических подходов, описанных в Приказе Министерства природных ресурсов и экологии РФ N 524 от 30 июля 2020 года⁸. Пять площадок располагались в зоне МКД, пять – в зоне малоэтажной застройки. Площадка в зоне МКД охватывала жилой дом и придомовую территорию внутридворовой и фасадной частей квартала, состоящую из сопряженных функциональных ландшафтных зон: газон, детская площадка, автомобильная парковка, проезд, тротуар, улица (дорога) (Seleznev et al., 2024; Yarmoshenko et al., 2020). При этом каждая площадка в зоне МКД прилегала к уличной дорожной сети города. Площадка в зоне малоэтажной застройки также представляла собой микрокомплекс сопряженных участков придомовой территории фасадной зоны (дорога, проезд и зеленая зона) и внутреннего двора (Seleznev et al., 2024).

На каждой площадке отбиралась одна проба снега и одна – СГП. В зоне МКД отбор проб производился на внутридворовой территории. В зоне малоэтажной застройки пробы отбирались в фасадной части, поскольку во дворах малоэтажных домов СГП в зимний период не образуется; эта территория полностью покрыта снегом и летом используется, как правило, в качестве огородов. Интенсивность автомобильного трафика на внутридворовой территории в зонах МКД и малоэтажной застройки достаточно низка. Отбирались пробы ненарушенного снежного покрова на газонах и детских площадках. На территориях с МКД СГП отбиралась на проездах, парковках, из куч на газонах. Пробы СГП в зоне малоэтажной застройки брались с проезжей части улицы и из куч вдоль дороги. Взятие проб снега и СГП проводилось в период максимального снегонакопления в марте 2024 г.

Взятие пробы снега выполнялось пробоотборным устройством в виде пластиковой трубы диаметром 10 см на всю глубину снежного покрова. При отборе снега из пробы удалялся слой травы, мусора, прилегающий к почве. Для дальнейшего исследования использовалась объединенная проба снега из 3–5 точек на площадке⁹. Объединенную пробу СГП брали с помощью лопаты из нержавеющей стали также из 3–5 точек на площадке (Seleznev et al., 2019, 2024). Отбор проб снега и СГП производился в чистые пластиковые ведра объемом 5 л с крышками. Заражение материала пробы от других проб исключалось. Закрытые емкости с пробами хранились в промышленном холодильнике при температуре $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Обработка проб и их химический анализ проводились в аккредитованном химико-аналитическом центре Института промышленной экологии УрО РАН.

Пробы оттаивали при комнатной температуре в течение суток. После оттаивания измерялся объем пробы, в ней измерялись уровни pH (портативным pH-метром PH600, Milwaukee, США) и Eh (портативным Eh-метром ORP-200, HM Digital, Южная Корея) согласно методикам, приложенным к приборам. Затем пробу отфильтровывали через заранее промытые дистиллированной водой и высушенные бумажные фильтры «синяя лента» с размером пор 2 мкм. Пробы СГП фильтровали без взбалтывания. Фильтрацию ускоряли с помощью аппарата вакуумного фильтрования на основе батареи из параллельно соединенных колб Бунзена с воронками Бюхнера. Фильтраты переливали в емкости объемом 1.5 л (для определения катионно-анионного состава) и 50 мл (для определения содержания металлов). Содержание Na^+ и K^+ определяли при помощи пламенной фотометрии⁹, содержание Cl^- – методом титрования⁹, CO_3^{2-} и HCO_3^- – потенциометрического титрования¹⁰, SO_4^{2-} – фотометрии⁹. Содержание Ca^{2+} , Mg^{2+} и металлов определялось путем масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре ELAN 9000 (Perkin Elmer, США) согласно методике ЦВ 3.18.05-2005¹¹.

⁸ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 524 от 30.07.2020 г. «Об утверждении требований к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением».

⁹ РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы: дата введения 1991-07-01.

¹⁰ ГОСТ 31957-2012. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов, метод А

¹¹ ЦВ 3.18.05-2005. Качество воды. Методика выполнения измерений элементного состава питьевых, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом масс-спектрометрии с ионизацией в индуктивно связанной плазме.

Оценка степени загрязнения

Производился расчет коэффициентов концентрации элементов в пробах по следующей формуле:

$$K_{ci} = \frac{C_i}{C_{фон i}},$$

где C_i – концентрация i -го элемента в пробе, $C_{фон i}$ – условная фоновая концентрация i элемента.

На основании полученных коэффициентов вычислялся суммарный показатель загрязнения Z_c снега и СГП на пробных площадках (n – количество элементов):

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ci} - (n - 1),$$

В расчете Z_c учитывались элементы, содержание которых в пробе было как минимум на 20% выше условного фонового содержания. Расчет проводился для типичных поллютантов городской среды в водорастворимой форме (Pb, Mn, Ni, Cu, Zn, Co, Cr и Fe), для которых обоснованы нормы содержания в компонентах окружающей среды согласно СанПиН 1.2.3685-21¹².

В Табл. 1 перечислены подходы выбора условной фоновой концентрации для снега и СГП, которые использовались при расчете K_c . Значения Z_c наносились на картосхему города (Рис. 4–6) в соответствии с категориями загрязнения (Саеи и др., 1990), приведенными в Табл. 2.

Табл. 1. Условные фоновые концентрации элементов для расчета K_c в снеге и СГП.

Способ	Объект исследования	Условная фоновая концентрация	Предлагается наносить на картосхему в точке	Рисунок
1	Снег или СГП	Минимальная концентрация элемента в выборке проб снега в городе	Z_c на пробной площадке (в снеге и в СГП)	4А, В, С
			Максимальное Z_c на пробной площадке (в снеге или СГП).	4D, Е, F
2	Снег или СГП	ПДК вод поверхностных водных объектов ¹²	Максимальное Z_c на пробной площадке (выбирается между Z_c в снеге и СГП), т.к. концентрации элементов в пробах достаточно низки по сравнению с ПДК	5
3	СГП	За. Минимальная концентрация элемента в выборке проб СГП в городе	Z_c на пробной площадке в СГП	6А, В, С
		Зб. Концентрация элемента в снеге на площадке	Z_c на пробной площадке в СГП	6D, Е, F

¹² СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

Табл. 2. Категории загрязнения объекта окружающей среды по Z_c (Саеt и др., 1990).

Категория загрязнения объекта	Величина Z_c
Допустимая	< 32
Умеренно опасная	32–64
Опасная	64–256
Чрезвычайно опасная	> 256

Результаты

Всего на жилых территориях городов было отобрано 60 объединенных проб снега и СГП. В Алапаевске и Серове отбиралась одна проба на 1 км², в Качканаре две пробы на 1 км² (Seleznev et al., 2024).

Физико-химические характеристики проб снега и СГП

По степени минерализации (сумма главных катионов и анионов) одна проба СГП из Алапаевска и одна из Качканара охарактеризованы как пресные, остальные были ультрапресными. Значения рН и Eh снега и СГП показаны на Рис. 1. В Алапаевске снег в среднем имеет нейтральную среду, СГП характеризуется слабощелочными и щелочными свойствами. В Качканаре СГП и снег имеют слабощелочную среду. В Серове СГП и снег характеризуются слабощелочными и щелочными свойствами. Аномальных значений рН и Eh в городах не обнаружено. Значения рН, Eh и минерализации в снеге и СГП значительно не различаются в пределах одного города, нет также значимых отличий между районами с малоэтажной застройкой и МКД.

Содержание элементов в снеге и СГП

На Рис. 2 и 3 показаны средние концентрации металлов в снеге и СГП. Концентрации металлов в части проб в городах были ниже предела обнаружения: Mn (1 проба снега), Cr (18 снега, 11 СГП), Ni (11 снега, 1 СГП), Cu (1 снега, 1 СГП), Zn (1 СГП), Co (26 снега, 6 СГП), Fe (22 снега, 3 СГП). Число проб с концентрациями металлов ниже предела обнаружения в снеге значительно выше, чем в СГП.

Уровень рН и содержание поллютантов в снеге и СГП в водорастворимой форме в обследованных городах сравнивали с литературными данными (Табл. 3) (Кравчук, 2019; Тигеев и др., 2021; Belcik et al., 2024; Chand et al., 2024; Engelhard et al., 2007; Kuoppamäki et al., 2014; Sakai et al., 1988). Значения рН сопоставимы с результатами исследований в других городах (Зубкова и др., 2022; Романова и Королев, 2019).

В исследуемых городах содержание металлов в снеге и СГП значительно ниже ПДК. В водорастворимой фазе в СГП наблюдается содержание металлов в несколько раз выше, чем в снеге. Также наблюдаются крайне низкие уровни Pb, Co и Ni по сравнению с другими городами (Табл. 3). Содержание Cr в снеге и СГП Алапаевска и Качканара значительно ниже, чем в других городах; в Серове содержание Cr сопоставимо с концентрациями в других городах мира. Уровень Cu в СГП обследованных городов в разы выше, чем в снеге, при этом сопоставим с концентрациями в снеге в некоторых городах мира. Концентрации Mn и Zn в снеге ниже, чем в СГП, и также сопоставимы с другими городами. Содержание Fe в СГП в Качканаре и Серове в разы превышает содержание Fe в снеге, что обусловлено работой промышленных предприятий.

Полученные нами условные фоновые концентрации для изученных городов значительно ниже ПДК (до нескольких порядков для отдельных металлов) (Табл. 4).

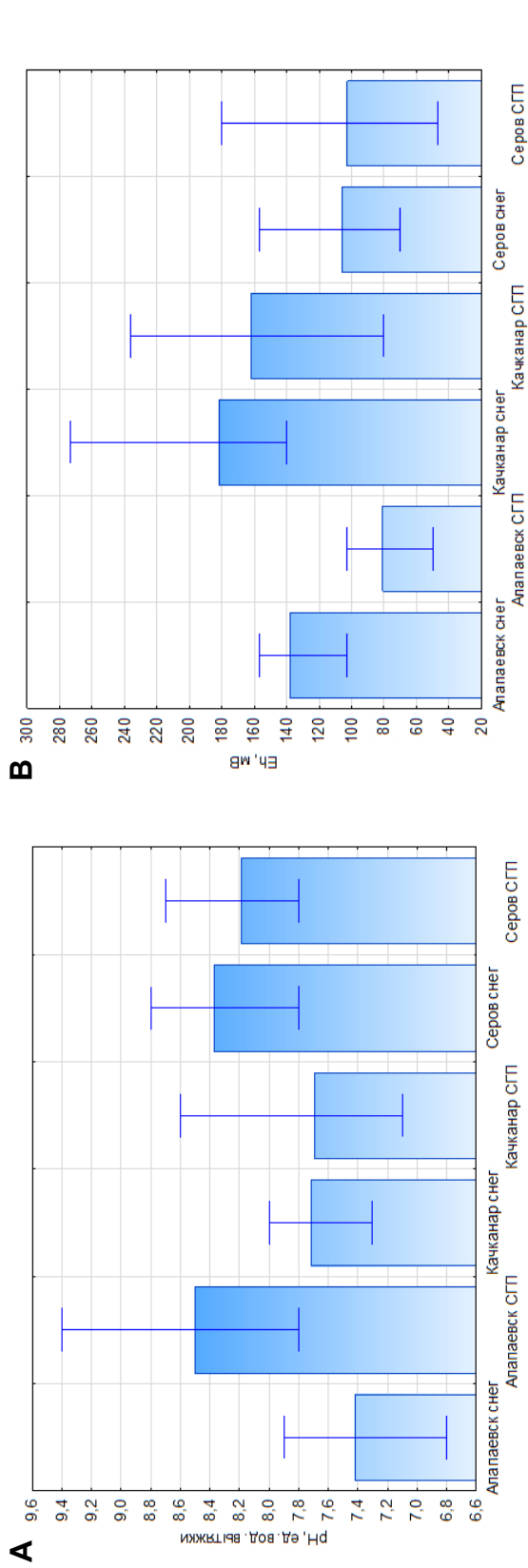


Рис. 1. Значения pH (А) и Eh (В) в пробах снега и СГП в городах (среднее арифметическое, усы – минимальное и максимальное значения).

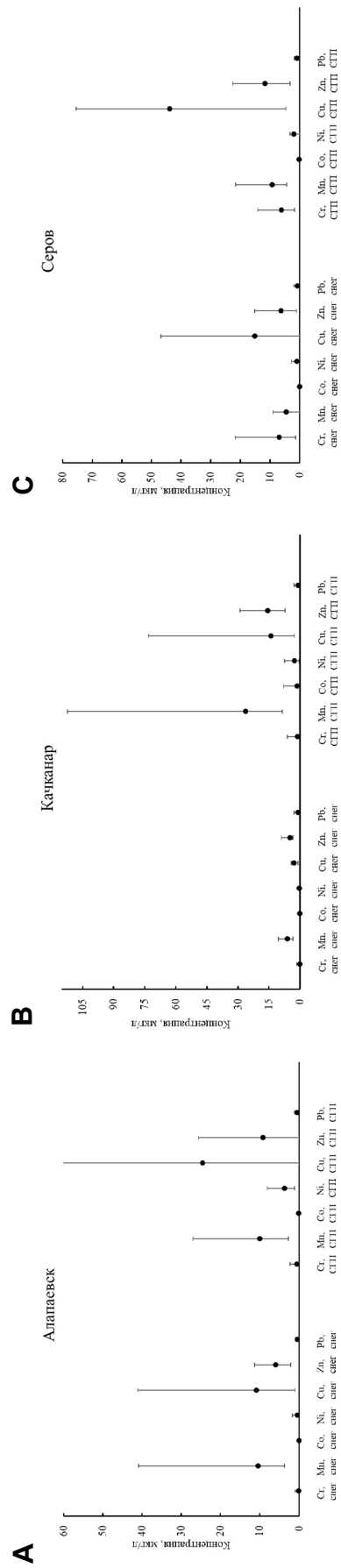


Рис. 2. Средние, минимальные и максимальные концентрации металлов в пробах снега и СГП в Алапаевске (А), Качканаре (В) и Серове (С).

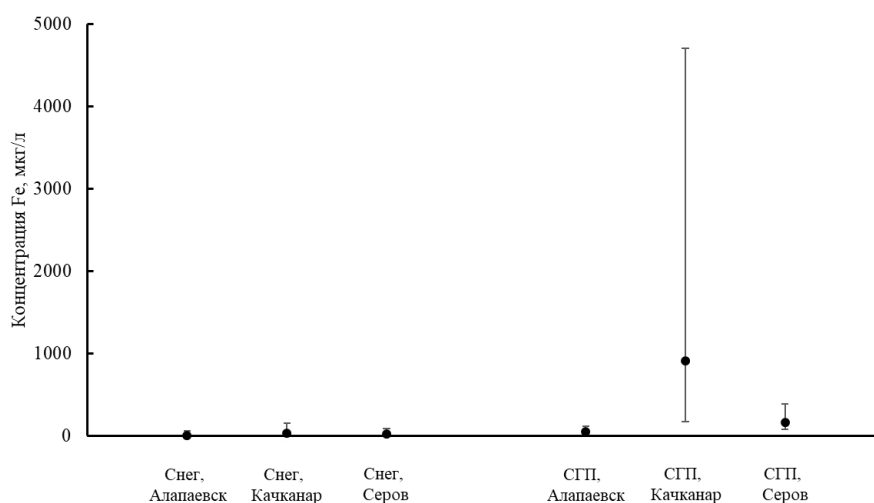


Рис. 3. Средняя, минимальная и максимальная концентрация Fe в снеге и СГП.

Оценка суммарного показателя загрязнения

В Табл. 5 показано количество проб, относящихся к разным категориям загрязнения с учетом использования разных условных фоновых концентраций (см. Табл. 1). Использование минимальной концентрации загрязнителя в выборке проб снега в городе в качестве условной фоновой позволяет получить оценки Z_c , показанные на Рис. 4. Использование в качестве условной фоновой концентрации ПДК позволяет получить допустимую категорию загрязнения для снега и СГП в городах по Z_c (Рис. 5). На Рис. 6 показано распределение Z_c для СГП с разными вариантами условного фона; большая доля проб оказывается в умеренно опасной и опасной категориях.

Обсуждение результатов

Сеть опробования настоящего исследования нерегулярная, однако соответствует нормативным документам¹³ и РД 52.04.186-89¹⁴ и поэтому может применяться и для других малых и средних по численности городов. Число проб на квадратный километр в выбранной сети наблюдения сопоставимо с числом проб сети у других исследователей (Косинова и др., 2023; Лукьянов и др., 2022). Отобранного количества проб может быть достаточно, чтобы провести оценку экологического состояния жилой территории малого и среднего по численности города в холодный период года.

Физико-химические свойства снега и СГП в городах обусловлены составом выбросов промышленных предприятий. Так, в Серове в составе снега и СГП присутствуют вещества, используемые в производственных циклах металлургических заводов (например, кальцинированная сода). Поступление Cr в водорастворимой фазе из атмосферы может быть связано с выбросами металлургических заводов. Повышенная концентрация Fe в СГП в Серове и Качканаре связана с использованием шламов и шлаков для отсыпки дорог и в строительстве, в том числе дорожном. Физико-химические условия среды (сдвиг в слабощелочную сторону) способствуют образованию водорастворимой формы Fe в этих городах. В общем же по результатам настоящего исследования стационарные источники загрязнения в обследованных городах (Качканарский ГОК и Серовский металлургический завод) в значительной степени не изменяют состояние окружающей среды.

Водорастворимая фаза СГП может дополнительно обогащаться потенциально опасными веществами за счет смешивания с поверхностными пылегрязевыми осадками на городской территории. Пульпа представляет собой смесь твердых частиц разного размера и воды в твердом состоянии. Жидкая фаза СГП характеризует суммарное содержание загрязнителей в растворимом

¹³ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30.07.2020 г. № 524 «Об утверждении требований к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением».

¹⁴ РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы: дата введения 1991-07-01..

Табл. 4. Значения условной фоновой концентрации и ПДК металлов.

Город	Концентрация, мкг/л							
	Pb	Mn	Cr	Ni	Cu	Zn	Co	Fe
Минимальная в снеге в городе								
Алапаевск	0.26	6.26	1.06	0.51	1.00	2.20	0.10	57.14
Качканар	0.42	3.32	1.70	0.38	3.68	3.59	0.11	71.80
Серов	0.49	2.38	4.63	0.36	1.69	1.84	0.13	51.47
Минимальная в СГП в городе								
Алапаевск	0.36	12.54	1.06	3.72	2.99	2.11	0.14	51.27
Качканар	0.27	8.50	1.25	0.93	2.69	9.13	0.21	175.03
Серов	0.50	11.20	1.74	1.95	42.05	10.48	0.13	84.35
ПДК для вод ¹⁵								
	10	100	50	20	1000	5000	100	300

виде, выпадающих из атмосферы и находящихся на поверхностях также в теплый сезон года, но связанных с поверхностными наносами. Многократное перемешивание СГП за холодный период года нивелирует ее состав в рамках территории, на которой она образуется, а также в пределах более крупных участков города. Таким образом, СГП «консервирует» загрязнение территории города, которое сформировалось в теплый и холодный периоды. Отбор СГП в период максимального снегонакопления может характеризовать суммарное загрязнение в водорастворимой фазе. Применение стандартных методов химического анализа СГП позволяет получать результаты, которые можно сравнивать с данными о составе снега.

В нашей работе использован стандартный набор индикаторов загрязнения городской территории – тяжелых металлов, повсеместно распространенных в объектах окружающей среды городов. Оценка загрязнения по Z_c также является стандартной процедурой. Однако существует проблема выбора условной фоновой концентрации элемента. Техногенез на исследуемых территориях начался задолго до основания городов, поэтому выбрать фоновую площадку, которая не была бы антропогенно изменена, сложно. При этом в малых промышленных городах жилые территории, как правило, находятся в санитарно-защитной зоне предприятия. В районах с малоэтажными домами жители используют приусадебные участки для выращивания продукции для собственного потребления.

СГП обычно не используется как объект эколого-геохимического опробования, так как не ясно, что может быть для нее фоновым объектом. Условный фоновый объект должен характеризовать территорию, на которой сформировалась СГП. Также при расчете Z_c существует проблема учета элементов, содержание которых в пробе выше, чем в условной фоновой. Использованный нами коэффициент $K_c = 1.2$ используется в многолетней практике региональных эколого-геохимических исследований, результаты которых публикуются в Государственных докладах «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области». Категории загрязнения СГП по величине Z_c используются для оценки загрязнения снега и другими исследователями (Васильчук, 2023).

В ходе данного исследования на пригодность в качестве условного фонового проверялись разные объекты: минимальная концентрация элемента в снеге в городе (Табл. 1, способ 1), предельно допустимая концентрация (ПДК) элемента в воде водных объектов (Табл. 1, способ 2), минимальная концентрация элемента в СГП в городе (Табл. 1, способ 3а), концентрация элемента в снеге на площадке отбора СГП (Табл. 1, способ 3б). Результаты оценок наносились на картосхемы городов (Рис. 4–6).

¹⁵ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Табл. 5. Число проб, относящихся к разным категориям загрязнения, по результатам использования разных условных фоновых концентраций.

Город	Объект исследования / условная фоновая концентрация (из Табл. 1)	Число проб категории загрязнения по Z_c , %		
		Допустимая	Умеренно опасная	Опасная
Алапаевск	Снег / ПДК вод	100	0	0
	СГП / ПДК вод	100	0	0
	Снег / минимальная концентрация элемента в выборке проб снега в городе	80	20	0
	СГП / минимальная концентрация элемента в выборке проб снега в городе	90	10	0
	СГП / минимальная концентрация элемента в выборке проб СГП в городе	50	20	30
	СГП / концентрация элемента в снеге на площадке	80	20	0
Качканар	Снег / ПДК вод	100	0	0
	СГП / ПДК вод	100	0	0
	Снег / минимальная концентрация элемента в выборке проб снега в городе	100	0	0
	СГП / минимальная концентрация элемента в выборке проб снега в городе	80	10	10
	СГП / минимальная концентрация элемента в выборке проб СГП в городе	50	40	10
	СГП / концентрация элемента в снеге на площадке	60	30	10
Серов	Снег / ПДК вод	100	0	0
	СГП / ПДК вод	100	0	0
	Снег / минимальная концентрация элемента в выборке проб снега в городе	90	10	0
	СГП / минимальная концентрация элемента в выборке проб снега в городе	100	0	0
	СГП / минимальная концентрация элемента в выборке проб СГП в городе	20	70	10
	СГП / концентрация элемента в снеге на площадке	60	30	10

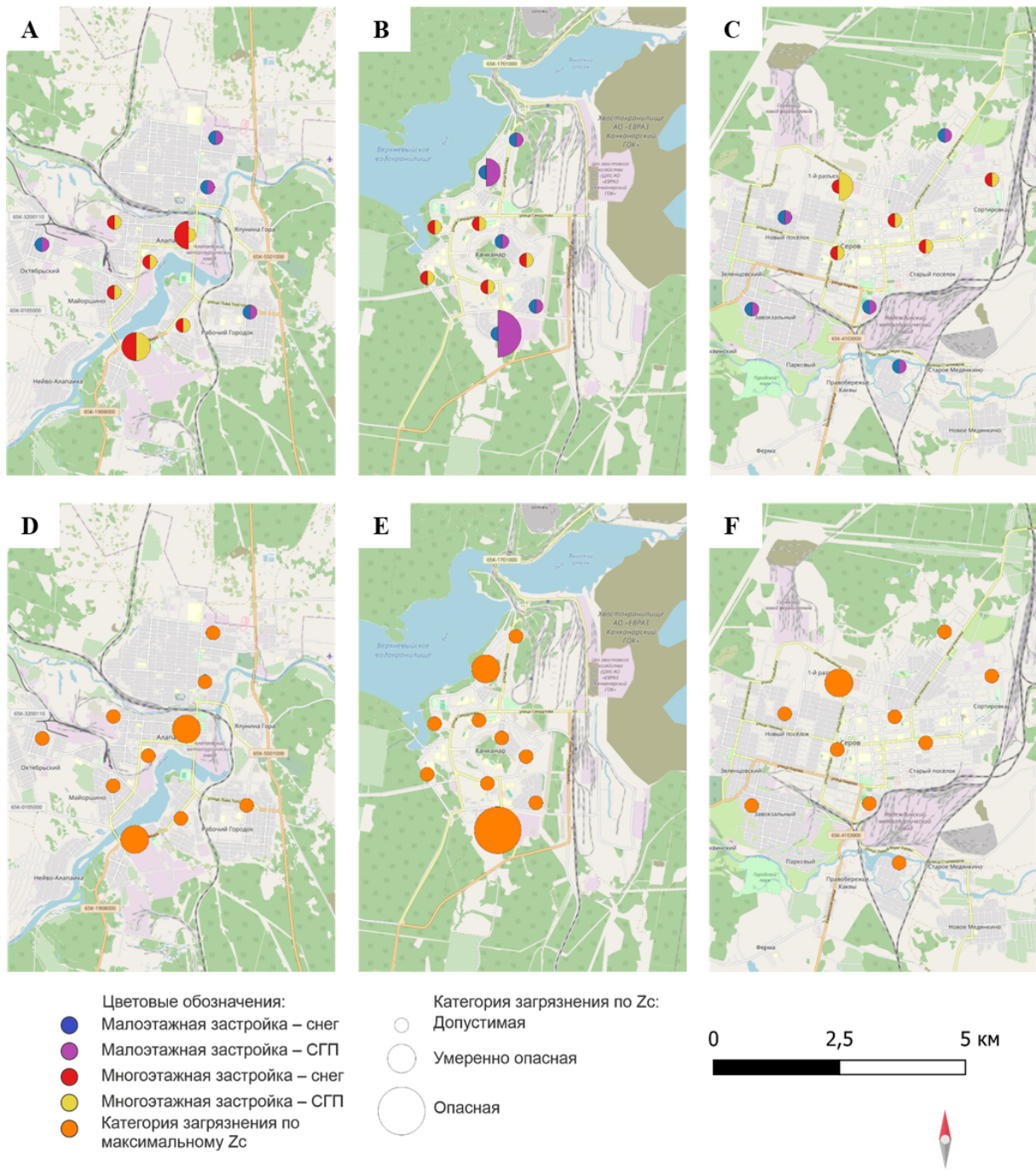


Рис. 4. Категории загрязнения снега и СГП по Z_c на площадках: **А** – Алапаевск, **В** – Качканар, **С** – Серов; категории загрязнения площадок по максимальному значению Z_c , выбранному между Z_c в снеге и СГП: **Д** – Алапаевск, **Е** – Качканар, **Ф** – Серов.

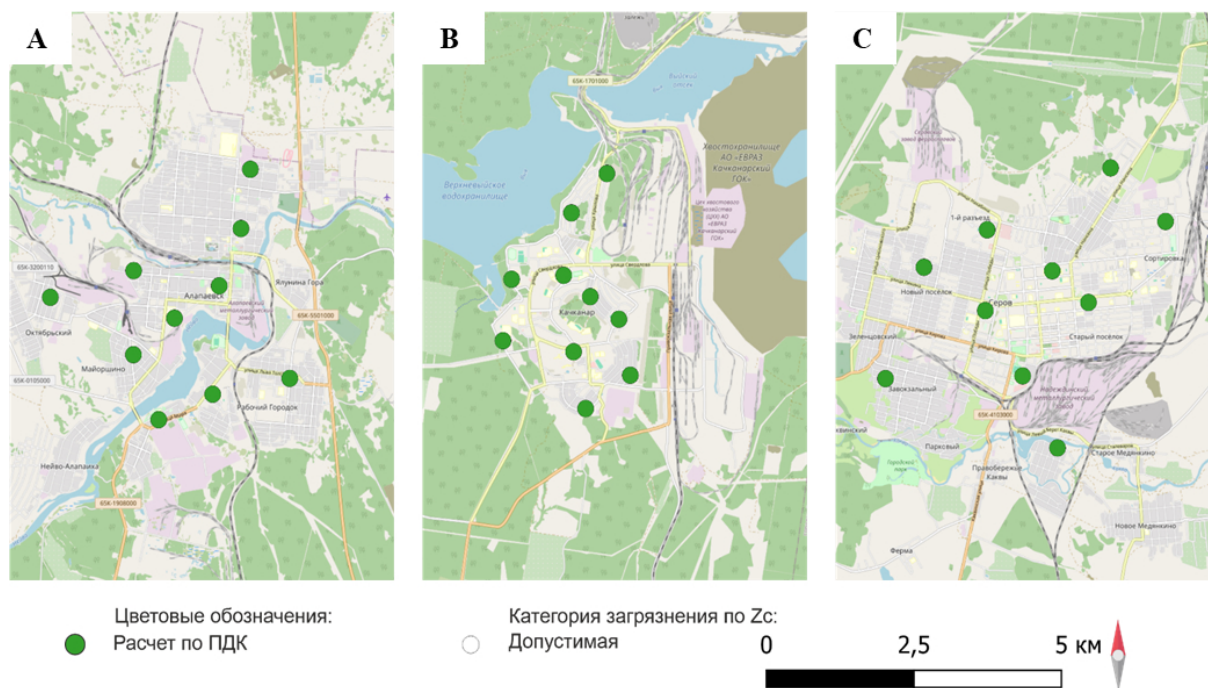


Рис. 5. Распределение Z_c в снеге и СГП, рассчитанного относительно ПДК: А – Алапаевск, В – Качканар, С – Серов.

Протестированные условные фоновые объекты имеют свои недостатки. Так минимальные концентрации различных элементов в снеге могут находиться не в одной, а в разных пробах выборки. Пестрое распределение Z_c по территории города на Рис. 4 сложно воспринимать. При этом оно приближено к реальной экологической и геохимической обстановке в городе.

Оценка максимального значения Z_c в снеге или СГП на пробной площадке относительно ПДК (Рис. 5) позволяет получить допустимую категорию загрязнения для территории города. ПДК элементов в водорастворимой фазе не связана с литологическими и геохимическими особенностями территорий городов. Получившиеся допустимые значения Z_c не отражают геохимической и экологической ситуации на исследуемой территории, не показывают геохимических аномалий, связанных с основными стационарными источниками загрязнения города.

Выбор условной фоновой концентрации для конкретной территории обусловлен локальными особенностями ее развития, комплексом процессов техногенной геохимической трансформации, геологическими условиями, розой ветров, природными климатическими условиями. СГП представляет собой неоднородный антропогенно трансформированный объект, депонирующая среда, а ненарушенный снег – «естественный планшет-накопитель», который в течение холодного сезона послойно накапливает загрязнение из атмосферы. Поэтому наиболее подходящим с точки зрения связи с особенностями территории и учета выбросов стационарных и неточечных источников загрязнения будет использование в качестве условного фоновой объекта для СГП на площадке снега на той же пробной площадке (Рис. 6).

Заключение

Проведенное исследование позволило разработать подход к оценке экологического состояния города на основе данных о составе СГП. При определении степени загрязнения СГП в городе следует использовать снег на пробной площадке в качестве условной фоновой пробы. Концентрации поллютантов в условном фоновом объекте отражают текущую экологическую и геохимическую обстановку в городе. Полученные оценки загрязнения городских территорий позволяют охарактеризовать происходящие в городах процессы геохимической трансформации окружающей среды. Такой способ наиболее удобен и позволяет получить информацию о локальных процессах миграции и накопления загрязнения природно-антропогенного характера, происходящих на исследуемых территориях. В нашей работе СГП служит отдельным независимым геоиндикаторным объектом. Такое применение СГП в практике эколого-геохимических исследований опробовано впервые.

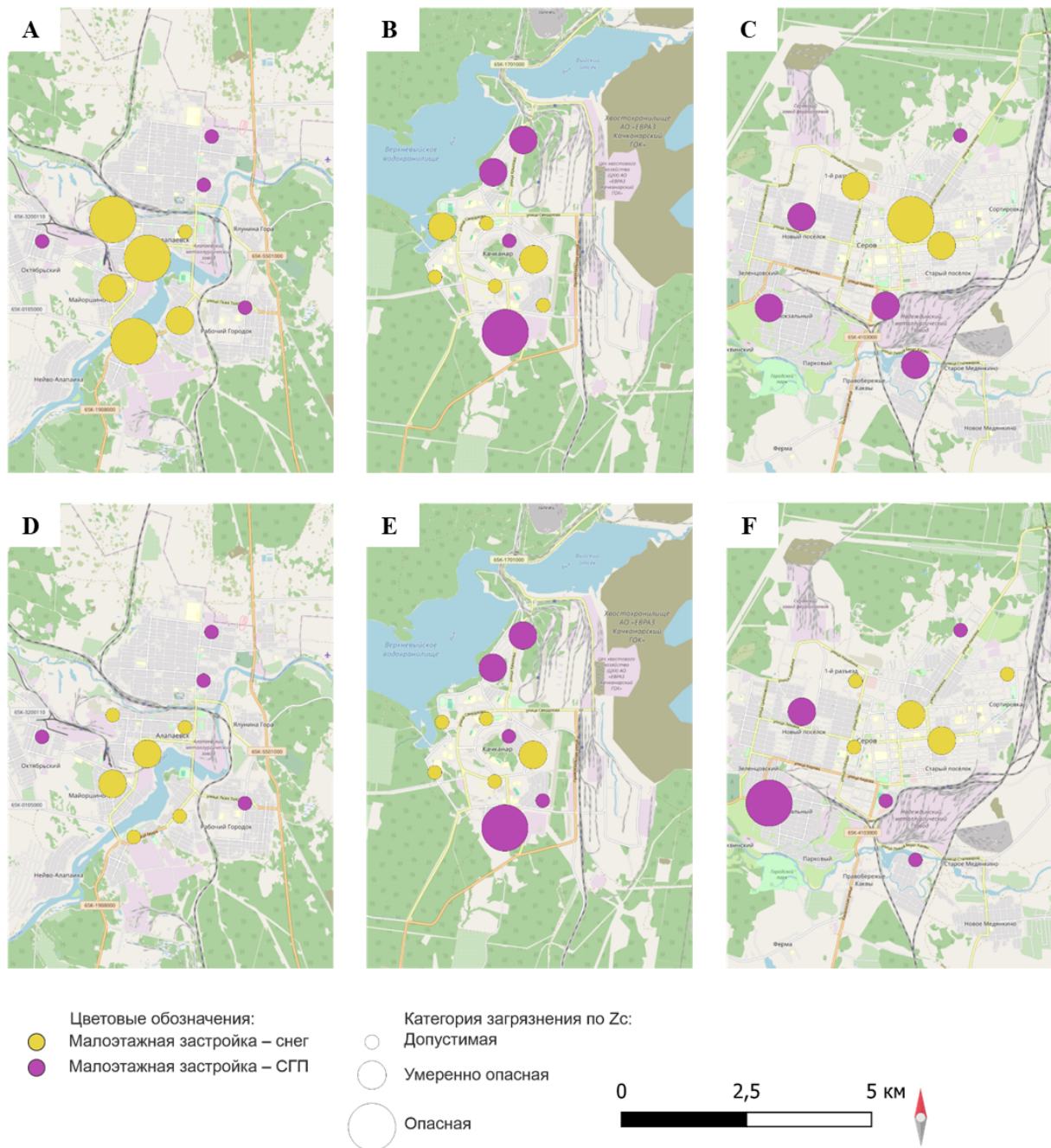


Рис. 6. Распределение Z_c для СГП. Условный фон: минимальная концентрация поллютанта в выборке проб снега для каждого города (А – Алапаевск, В – Качканар, С – Серов); концентрация поллютанта в снеге на этой же площадке (D – Алапаевск, E – Качканар, F – Серов).

Независимые наблюдения за состоянием окружающей среды районов города с малоэтажной застройкой позволяют выявлять загрязненные участки на таких территориях для планирования мероприятий по уменьшению воздействия на человека. Полученные данные существенно дополняют и детализируют картину миграции и накопления поллютантов в урбанизированной среде. Результаты подобных исследований могут использоваться предприятиями, проводящими экологический мониторинг, экологическими службами города, службами по благоустройству городских территорий, надзорными органами, МЧС при ликвидации последствий аварийных и чрезвычайных ситуаций в малых городах с опасными производственными объектами.

Список литературы

- Васильчук, Д.Ю., 2023. Фракционирование тяжелых металлов и металлоидов в снеге, дорожной пыли, почвах и донных отложениях в бассейне реки Сетунь (юго-запад Москвы). *Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук*. Москва, Россия, 26 с.
- Зубкова, Т.А., Кавтарадзе, Д.Н., Попова, Н.В., 2022. Почвы городских экосистем. Экологические и социальные риски. *Экология урбанизированных территорий* 1, 70–79. <https://www.doi.org/10.24412/1816-1863-2022-1-70-79>
- Касимов, Н.С., Власов, Д.В., 2018. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета). *Вестник Московского университета. Серия 5: География* 3, 14–22.
- Климат России, 2001. Н.В. Кобышева (ред.). Гидрометеиздат, Санкт-Петербург, Россия, 656 с.
- Косинова, И.И., Бударина, В.А., Базарский, О.В., Игнатенко, И.М., Кочетова, Ж.Ю., 2023. Эколого-геохимические исследования: проблемы и совершенствование методики проведения. *Вестник ВГУ. Серия: Геология* 3, 124–132. <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/3/124-132>
- Кравчук, А.Ю., 2019. Оценка степени загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами (Pb, Cu, Cr, и Ni) центральных районов и окраин г. Тюмени. *Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация)*. Тюмень, Россия, 35 с.
- Кричкер, Д.Р., Шимова, Е.В., 2018. Современная экологическая ситуация и проблемы экологической безопасности Свердловской области. *Молодежь и наука* 1, 54–58.
- Лаптева, А.К., Шишкин, М.А., 2010. Технофильные металлы в депонирующих средах на территории г. Перми. *Вестник Пермского федерального исследовательского центра* 2, 17–25.
- Лебедев, С.В., Агафонова, Е.К., 2017. Эколого-геохимическая оценка загрязнения окружающей среды по данным мониторинга содержания тяжелых металлов в почвогрунтах и снежном покрове (на примере Василеостровского района Санкт-Петербурга). *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле* 62 (4), 357–369.
- Лукьянов, А.И., Дахова, Е.В., Майорова, Л.П., 2022. Оценка загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами как один из методов мониторинга атмосферного воздуха на примере населенных пунктов Дальнего Востока. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности* 30 (3), 407–416. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-407-416>
- Мельчаков, Ю.Л., Янцер, О.В., Абраменко, А.В., 2018. Анализ природной среды г. Качканара и окрестностей на основе использования двух методик геоэкологических исследований. *Материалы Международного молодежного форума «Образование, экология, практика», Воронеж, 31 марта – 22 июня 2018 г.* Издательство Воронежского государственного университета, Воронеж, Россия, 106–108.
- Меньшикова, Е.А., Блинов, С.М., Караваева, Т.И., 2019. Состояние окружающей среды в районе Качканарского ГОКа и направления достижения эколого-экономического баланса природопользования. В: Осипов, В.И. и др. (ред.), *Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных регионах (Материалы XXI ежегодной конференции «Сергеевские чтения», Пермь, 02–04 апреля 2019 г. – годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Вып. 21)*. Издательство Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь, Россия, 76–80.

- Новикова, Н.В., Черей, А.В., 2014. Стратегические направления экономического развития моногородов региона (на примере Свердловской области). *Известия Уральского государственного экономического университета (Journal of New Economy)* 5 (55), 95–103.
- Романова, И.А., Королев, В.А., 2019. Мониторинг содержания в дорожных остатках противогололедных реагентов в ЮЗАО города Москвы. *Материалы третьей Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве», Москва, 26 апреля 2019 г.* Издательство Геомаркетинг, Москва, Россия, 99–103.
- Росман, Г.И., Королева, Н.Л., 2016. Прогнозная оценка степени заболеваемости населения от экологического воздействия объектов минерально-сырьевого комплекса. *Разведка и охрана недр* 6, 51–59.
- Сает, Ю.Е., Ревич, Б.А., Янин, Е.П. и др., 1990. Геохимия окружающей среды. Недр, Москва, СССР, 335 с.
- Тигеев, А.А., Аксёнов, Н.В., Московченко, Д.В., Пожитков, Р.Ю., 2021. Оценка пылевого загрязнения атмосферы наземными и дистанционными методами (на примере г. Тобольск). *Географический вестник* 2 (57), 121–134. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-121-134>
- Belcik, M., Grzegorzec, M., Canales, F.A., Struk-Sokolowska, J., Kazmierczak, B., 2024. Examination of interactions between heavy metals and benzotriazoles in rainwater runoff and snowmelt in an urban catchment in Poland. *Water Resources and Industry* 31, 100236. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2023.100236>
- Bezberdaya, L., Chernitsova, O., Lychagin, M., Aseeva, E., Tkachenko, A. et al., 2024. Pollution of a Black Sea coastal city: Potentially toxic elements in urban soils, road dust, and their PM10 fractions. *Journal of Soils and Sediments* 24, 3485–3506. <https://doi.org/10.1007/s11368-024-03893-9>
- Chand, R., Putna-Nīmane, I., Vecmane, E., Lykkemark, J., Dencker, J. et al., 2024. Snow dumping station – A considerable source of tyre wear, microplastics, and heavy metal pollution. *Environment International* 188, 108782. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108782>
- Engelhard, C., De Toffol, S., Lek, I., Rauch, W., Dallinger, R., 2007. Environmental impacts of urban snow management – The alpine case study of Innsbruck. *Science Of the Total Environment* 382 (2–3), 286–294. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.008>
- Kuoppamäki, K., Setälä, H., Rantalainen, A.L., Kotze, D.J., 2014. Urban snow indicates pollution originating from road traffic. *Environmental Pollution* 195, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.08.019>
- Sakai, H., Sasaki, T., Saito, K., 1988. Heavy metal concentrations in urban snow as an indicator of air pollution. *Science Of the Total Environment* 77 (2–3), 163–174. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(88\)90053-8](https://doi.org/10.1016/0048-9697(88)90053-8)
- Seleznev, A., Yarmoshenko, I., Malinovsky, G., Ilgasheva, E., Baglaeva, E. et al., 2019. Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment. *Scientific Reports* 9 (1), 17241. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53793-z>
- Seleznev, A., Shevchenko, A., Malinovsky, G., Ivanchukova, N., Glukhov, V. et al., 2024. Assessment of the total amount of surface deposited sediments in small towns. *Urban Science* 8 (4), 178. <https://doi.org/10.3390/urbansci8040178>

Vlasov, D.V., Vasilchuk, J.Y., Kosheleva, N.E., Kasimov, N.S., 2023. Contamination levels and source apportionment of potentially toxic elements in size-fractionated road dust of Moscow. *Environmental Science and Pollution Research* **30** (13), 38099–38120. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24934-1>

Yarmoshenko, I., Malinovsky, G., Baglaeva, E., Seleznev, A. et al., 2020. A landscape study of sediment formation and transport in the urban environment. *Atmosphere* **11** (12), 1320. <https://doi.org/10.3390/atmos11121320>

References

Belcik, M., Grzegorzec, M., Canales, F.A., Struk-Sokolowska, J., Kazmierczak, B., 2024. Examination of interactions between heavy metals and benzotriazoles in rainwater runoff and snowmelt in an urban catchment in Poland. *Water Resources and Industry* **31**, 100236. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2023.100236>

Bezberdaya, L., Chernitsova, O., Lychagin, M., Aseeva, E., Tkachenko, A. et al., 2024. Pollution of a Black Sea coastal city: Potentially toxic elements in urban soils, road dust, and their PM10 fractions. *Journal of Soils and Sediments* **24**, 3485–3506. <https://doi.org/10.1007/s11368-024-03893-9>

Chand, R., Putna-Nīmane, I., Vecmane, E., Lykkemark, J., Dencker, J. et al., 2024. Snow dumping station – A considerable source of tyre wear, microplastics, and heavy metal pollution. *Environment International* **188**, 108782. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108782>

Engelhard, C., De Toffol, S., Lek, I., Rauch, W., Dallinger, R., 2007. Environmental impacts of urban snow management – The alpine case study of Innsbruck. *Science Of the Total Environment* **382** (2–3), 286–294. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.04.008>

Kasimov, N.S., Vlasov, D.V., 2018. Tyazhelye metally i metalloidy v pochvakh rossiiskikh gorodov (po dannym ezhegodnykh dokladov Rosgidrometa) [Heavy metals and metalloids in soils of Russian cities (according to annual reports of Roshydromet)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya [Vestnik of Moscow University. Series 5: Geography]* **3**, 14–22. (In Russian).

Klimat Rossii [Climate of Russia], 2001. N.V. Kobysheva (ed.). Gidrometeoizdat, Saint Petersburg, Russia, 656 p. (In Russian).

Kosinova, I.I., Budarina, V.A., Bazarsky, O.V., Ignatenko, I.M., Kochetova, Zh.Yu, 2023. Ekologo-geokhimicheskie issledovaniya: problemy i sovershenstvovanie metodiki provedeniya. [Ecological and geochemical studies: problems and improvement of methodology of conducting]. *Vestnik VGU. Seriya: Geologiya [Vestnik VSU. Series: Geology]* **3**, 124–132. (In Russian). <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/3/124-132>

Kravchuk, A.Yu., 2019. Otsenka stepeni zagryazneniya snezhnogo pokrova tyazhelymi metallami (Pb, Cu, Cr i Ni) tsentralnykh raionov i okrain g. Tyumeni [Assessment of the degree of snow cover pollution with heavy metals (Pb, Cu, Cr, and Ni) of the central districts and suburbs of Tyumen]. *Graduation master's thesis*. Tyumen, Russia, 35 p. (In Russian).

Krichker, D.R., Shimova, E.V., 2018. Sovremennaya ekologicheskaya situatsiya i problemy ekologicheskoi bezopasnosti Sverdlovskoi oblasti [Contemporary ecological situation and problems of environmental safety of the Sverdlovsk region]. *Molodezh i nauka [Youth and Science]* **1**, 54–54. (In Russian).

Kuoppamäki, K., Setälä, H., Rantalainen, A.L., Kotze, D.J., 2014. Urban snow indicates pollution originating from road traffic. *Environmental Pollution* **195**, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.08.019>

- Lapteva, A.K., Shishkin, M.A., 2010. Tekhnofilnye metally v deponiruyushchikh sredakh na territorii g. Permi [Technophilic metals in depositing environments on the territory of Perm]. *Vestnik Permskogo federalnogo issledovatel'skogo tsentra [Bulletin of the Perm Federal Research Centre]* 2, 17–25. (In Russian).
- Lebedev, S.V., Agafonova, E.K., 2017. Ekologo-geokhimicheskaya otsenka zagryazneniya okruzhayushchei sredy po dannym monitoringa sodержaniya tyazhelykh metallov v pochvogruntakh i snezhnom pokrove (na primere Vasileostrovskogo raiona Sankt-Peterburga) [Environmental and geochemical assessment of environmental pollution according to the monitoring of heavy metal content in soil and snow cover (on the example of Vasileostrovsky district of St. Petersburg)]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta [Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences]* 62 (4), 357–369. (In Russian).
- Lukyanov, A.I., Dakhova, E.V., Mayorova, L.P., 2022. Otsenka zagryazneniya snezhnogo pokrova tyazhelymi metallami kak odin iz metodov monitoringa atmosfernogo vozdukha na primere naselennykh punktov Dalnego Vostoka [Assessment of snow cover pollution by heavy metals as one of the methods of atmospheric air monitoring on the example of settlements of the Far East]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatel'nosti [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and Life Safety]* 30 (3), 407–416. (In Russian). <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-407-416>
- Melchakov, Y.L., Yantser, O.V., Abramenko, A.V., 2018. Analiz prirodnoi sredy g. Kachkanara i okrestnostei na osnove ispolzovaniya dvukh metodik geoekologicheskikh issledovaniy. [Analysis of the natural environment of Kachkanar and its surroundings based on the use of two methods of geoecological research]. *Materialy Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma "Obrazovanie, ekologiya, praktika" [Proceedings Of The International Youth Forum "Education, Ecology, Practice"]*, Voronezh, 31 March – 22 June 2018. Voronezh State University, Voronezh, Russia, 106–108. (In Russian).
- Menshikova, E.A., Blinov, S.M., Karavaeva, T.I., 2019. Sostoyanie okruzhayushchei sredy v raione Kachkanarskogo GOKa i napravleniya dostizheniya ekologo-ekonomicheskogo balansa prirodopolzovaniya [The state of the environment in the area of Kachkanar GOK and directions for achieving the ecological and economic balance of nature management]. In: Osipov, V.I. et al. (eds.), *Ekologo-ekonomicheskii balans prirodopol'zovaniya v gornopromyshlennykh regionakh (Materialy XXI ezhegodnoi konferentsii "Sergeevskie chteniya", Perm', 02–04 aprelya 2019 g. – godichnoi sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoi geologii i gidrogeologii. Vyp. 21 [Ecological and Economic Balance of Nature Management in Mining and Industrial Regions (Proceedings of the XXI Annual Conference "Sergeyev Readings", Perm, 02–04 April 2019 – Annual Session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on Problems of Geoecology, Engineering Geology and Hydrogeology)]*. Perm State National Research University, Perm, Russia, 76–80. (In Russian).
- Novikova, N.V., Cherey, A.V., 2014. Strategicheskie napravleniya ekonomicheskogo razvitiya monogorodov regiona (na primere Sverdlovskoi oblasti) [Strategic directions of economic development of monotowns in the region (on the example of the Sverdlovsk region)]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Journal of New Economy]* 5 (55), 95–103. (In Russian).
- Romanova, I.A., Korolev, V.A., 2019. Monitoring solesoderzhaniya v dorozhnykh ostatkakh protivogolodnykh reagentov v YuZAO goroda Moskvy [Monitoring of salt content in road residues of anti-icing reagents in South-West Administrative District of Moscow]. *Materialy tret'ei Obshcherossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh spetsialistov "Inzhenernye izyskaniya v stroitel'stve" [Proceedings of the Third All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Specialists "Engineering Surveys in Construction"]*, Moscow, 26 April 2019. Geomarketing Publishing House, Moscow, Russia, 99–103. (In Russian).

- Rossmann, G.I., Koroleva, N.L., 2016. Prognostnaya otsenka stepeni zabolevaemosti naseleniya ot ekologicheskogo vozdeistviya obektov mineralno-syrevogo kompleksa [Prognostic assessment of the degree of morbidity of the population from the environmental impact of objects of mineral resource complex]. *Razvedka i okhrana nedr [Exploration and Protection of Subsoil]* **6**, 51–59. (In Russian).
- Sakai, H., Sasaki, T., Saito, K., 1988. Heavy metal concentrations in urban snow as an indicator of air pollution. *Science Of the Total Environment* **77** (2–3), 163–174. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(88\)90053-8](https://doi.org/10.1016/0048-9697(88)90053-8)
- Saet, Y.E., Revich, B.A., Yanin, E.P., 1990. Geokhimiya okruzhayushchei sredy [Geochemistry of the environment]. Nedra, Moscow, USSR, 335 p. (In Russian).
- Seleznev, A., Yarmoshenko, I., Malinovsky, G., Ilgasheva, E., Baglaeva, E. et al., 2019. Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment. *Scientific Reports* **9** (1), 17241. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53793-z>
- Seleznev, A., Shevchenko, A., Malinovsky, G., Ivanchukova, N., Glukhov, V. et al., 2024. Assessment of the total amount of surface deposited sediments in small towns. *Urban Science* **8** (4), 178. <https://doi.org/10.3390/urbansci8040178>
- Tigeev, A.A., Aksonov, N.V., Moskovchenko, D.V., Pozhitkov, R.Yu., 2021. Otsenka pylevogo zagryazneniya atmosfery nazemnymi i distantsionnymi metodami (na primere g. Tobolsk) [Assessment of dust pollution of the atmosphere by ground and remote sensing methods (on the example of Tobolsk)]. *Geograficheskii vestnik [Geographical Bulletin]* **2** (57), 121–134. (In Russian). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-121-134>
- Vasilchuk, D.Yu., 2023. Fraktsionirovanie tiazhelykh metallov i metalloidov v snege, dorozhnoi pyli, pochvakh i donnykh otlozheniyakh v basseine reki Setun' (iugo-zapad Moskvy) [Fractionation of heavy metals and metalloids in snow, road dust, soils and bottom sediments in the Setun River basin (south-west of Moscow)]. *PhD in Geographical Sciences thesis abstract*. Moscow, Russia, 26 p. (In Russian).
- Vlasov, D.V., Vasilchuk, J.Y., Kosheleva, N.E., Kasimov, N.S., 2023. Contamination levels and source apportionment of potentially toxic elements in size-fractionated road dust of Moscow. *Environmental Science and Pollution Research* **30** (13), 38099–38120. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24934-1>
- Yarmoshenko, I., Malinovsky, G., Baglaeva, E., Seleznev, A. et al., 2020. A landscape study of sediment formation and transport in the urban environment. *Atmosphere* **11** (12), 1320. <https://doi.org/10.3390/atmos11121320>
- Zubkova, T.A., Kavtaradze, D.N., Popova, N.V., 2022. Pochvy gorodskikh ekosistem. Ekologicheskie i sotsialnye riski [Soils of urban ecosystems. Ecological and social risks]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii [Ecology of Urbanised Territories]* **1**, 70–79. (In Russian). <https://www.doi.org/10.24412/1816-1863-2022-1-70-79>