

Оценка загрязнения тяжелыми металлами территорий городов Челябинска и Магнитогорска

Кожемяченко А. А.¹, Селезнев А. А.^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, kozhemanna1@yandex.ru

² Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, sandrian@rambler.ru

Аннотация. Статья посвящена оценке загрязнения тяжелыми металлами территорий городов Челябинска и Магнитогорска. Цель работы: тестирование подхода оценки экологического состояния городских территорий на основе опробования современных осадков. Исследование проведено на примере крупных городов Челябинской области металлургического профиля – Челябинск и Магнитогорск. Исследовался набор металлов Mg, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Sn, Sb, Pb, Li, Be. Эти металлы являются объектом мониторинга Росгидромета.

Ключевые слова: урбанизированная среда, современные осадки, жилые зоны, многоквартирные дома, снеготаяющая пульпа, снег, загрязнение, металлы, условная фоновая концентрация.

Assessment of heavy metal pollution in the cities of Chelyabinsk and Magnitogorsk

Kozhemyachenko A. A.¹, Seleznev A. A.^{1,2}

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, kozhemanna1@yandex.ru

² Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, sandrian@rambler.ru

Abstract. The article is devoted to the assessment of heavy metal pollution in the cities of Chelyabinsk and Magnitogorsk. The purpose of the work: to test an approach for assessing the ecological status of urban areas based on testing modern precipitation. The study is based on the example of the large cities of the Chelyabinsk region with a metallurgical profile – Chelyabinsk and Magnitogorsk. A set of metals Mg, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Sn, Sb, Pb, Li, Be was studied. These metals are monitored by the Russian Hydrometeorological Service.

Key words: urbanized environment, modern precipitation, residential area, apartment buildings, snow-mud pulp, snow, pollution, metals, conditional background concentration.

Введение

На сегодняшний день больше половины населения планеты проживает в городах, которые занимают не более 1 % суши. Несмотря на это, города и хозяйственная деятельность людей в целом оказывают негативное влияние на окружающую среду и ее качество, что, как следствие, негативно сказывается и на здоровье человека (Mielke et al., 2004).

Вещества, загрязняющие городские экосистемы, подразделяются на жидкие и твердые; преднамеренно собираемые и депонируемые; стоки в виде жидких потоков, содержащих твердые частицы; выбросы с содержанием веществ в твердой, жидкой и газообразной формах в виде воздушных потоков (Каргаполов, 2016). Существует несколько основных поллютантов городской среды: к ним относят тяжелые металлы, твердые частицы (PM) и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) (Горшкова, Лавренникова, 2023).

Источники выбросов вредных веществ классифицируются на стационарные (расположенные в пределах одной территории и занимающие фиксированное положение: котельные, металлургические производства, свалки, мусоросжигательные заводы, электростанции на угле мазуте и т. д.) и нестационарные или передвижные (устройства без конкретного местоположения, которые можно перемещать для работы в разных частях производства). Стационарные источники загрязнения в свою очередь могут подразделяться на организованные (трубы, факелы, очистные сооружения,

отвалы и т. д.) и неорганизованные (утечки, выбросы). Загрязнение от организованных источников загрязнения поддаются контролю, тогда как загрязнение от неорганизованных источников постоянно контролировать нельзя (Игнатович, 2017). Миграции и накоплению загрязнения в городах способствуют различные природные факторы, такие как роза ветров, климат и локальные погодные явления в городах.

Диффузными источниками загрязнения называют такие источники, которые характеризуются неравномерным распределением загрязняющих веществ по площади, нерегулярностью воздействия на объект, тесной связью с метеоусловиями, разнообразным диапазоном концентраций и широким набором токсических элементов (Кочарян, Лебедева, 2015). В городской среде к источникам диффузного загрязнения относится автотранспорт и его выхлопные газы (exhaust) и не выхлопные (non-exhaust) (Liu et al., 2022).

Загрязнение городской среды увеличивается в связи с присутствием пыли, представляющей собой твердые частицы, которые находятся в воздухе под влиянием воздушных течений и оседают на различных поверхностях под воздействием силы земного притяжения или вместе с осадками. Образование пыли связано как с естественными (природными) процессами, такими как выветривание, разрушение горных пород, вулканическая активность, космическая пыль, так и с антропогенными процессами, такими как промышленность, сельское и жилищно-коммунальное хозяйство, транспортная активность (Азаров и др., 2020). Кроме того, дорожная пыль является одним из значимых источников частиц PM10 в воздухе, поэтому в крупных городах мира дорожная пыль все чаще выступает в качестве объекта экогеохимического мониторинга (Demetriades et al., 2015).

Загрязнение городских почв влечет за собой негативные последствия для здоровья городского населения. Проживание в городе, где почва загрязнена токсичными тяжёлыми металлами, может негативно сказаться на здоровье людей. В зависимости от вида металла и его концентрации, возможны разные проблемы со здоровьем. Например, длительное потребление неорганического мышьяка опасно развитием хронического отравления – арсеникоза. Это состояние поражает желудочно-кишечный тракт, кожу, сердце и печень. Токсичные тяжёлые металлы могут вызывать различные проблемы со здоровьем в зависимости от вида металла и его концентрации. Отравление мышьяком может вызвать развитие диабета, болезни костного мозга и крови, сердечно-сосудистые, онкологические заболевания (Исакова и др., 2024). Отравление свинцом наносит неврологический ущерб, приводит к снижению уровня IQ, внимания, к нарушению координации рук, вызывает энцефалопатию, ухудшает состояние костей, гипертонию, болезнь почек (Исакова и др., 2024). Воздействие метилртути, наиболее вредной формы ртути, влияет на развитие мозга, что приводит к снижению уровня IQ. Ртуть приводит к повреждению центральной нервной и желудочной систем, влияет на координацию, зрение и чувство осязания, повреждает почки, сердце, печень. Интоксикация вызывает тревогу, беспокойство, депрессивное состояние, раздражительность, тремор (Тафеева, Петров, 2016). Отравление медью вызывает повреждение головного мозга и почек; цирроз печени, хроническую анемию, желудочное и кишечное раздражение (Исакова, 2022). Никель вызывает аллергический дерматит, при ингаляционном воздействии возникает угроза рака лёгких, носа, горла, желудка. Оказывает токсическое воздействие на иммунную, репродуктивную системы, кровь, имеет нейротоксическое и генотоксическое действие, повреждает печень, вызывает потерю волос. Избыток цинка приводит к головокружению и усталости (Сичко, 2019). Геохимические исследования городской среды позволяют оценить риски от проживания на той или иной территории и сделать выводы о качестве жилья в крупных промышленных городах.

Общая методология геохимических исследований включает геохимическое опробование, аналитические исследования, математическую обработку результатов аналитических исследований и научный анализ и синтез полученных результатов (Кудрик, 2013).

Геохимические исследования в городских экосистемах основаны на изучении функциональных блоков, между которыми происходит обмен загрязняющими веществами (Перельман, Касимов, 2000):

- 1) источники загрязнения: промышленность, жилищно-коммунальное хозяйство и транспорт;
- 2) транзитные среды, где происходит транспортировка и частичная трансформация загрязня-

ющих веществ: атмосфера, атмосферные осадки, поверхностные и грунтовые воды. Транзитная среда атмосферы считается для городских экосистем наиболее опасной, так как является переносчиком многих загрязняющих веществ, среди которых аэрозоли, образующие смог. Кроме того, в атмосферных осадках преобладают тяжелые металлы в формах, растворимых в воде;

3) депонирующие среды, в которых накапливаются и преобразуются загрязняющие вещества: почвы, донные отложения, растения, микроорганизмы, хозяйственные и жилые сооружения.

Геохимические методы, используемые при проведении исследований в городских экосистемах, в большей мере связаны с реальным распределением загрязняющих веществ по аномалиям, чем с их выбросом или сбросом от техногенных источников.

Помимо существующих источников загрязнений городской среды существуют и другие: дорожная пыль, остатки праха людей в крематориях, окислы на памятниках в городах и др.

Определение фоновых концентраций в почве необходимо для оценки степени загрязнённости почв тяжёлыми металлами. Это важно при проведении инженерно-экологических изысканий, чтобы выбрать правильные решения по обращению с загрязнёнными почвами и определить их объёмы, а также соблюсти санитарно-эпидемиологические и экологические требования.

В последние годы используется методы определения геохимического фона, который предусматривает следующие шаги: 1) по результатам проведенного статистического анализа принимается гипотеза о нормальном или логнормальном законе; 2) для участков без явного антропогенного влияния рассчитывается среднее арифметическое C_a или среднее геометрическое C_g соответственно; 3) выполняется оценка заданного доверительного интервала для C_a или C_g ; 4) в качестве фоновое значения C_b принимается C_a или C_g , либо верхняя граница доверительного интервала; 5) аномальными считаются значения, выходящие за пределы доверительного интервала; 6) проводится комплексная оценка превышения концентраций веществ в иных водных объектах относительно установленного фона.

Термин «геохимический базовый уровень» или «базовая линия» (англ. Geochemical baseline), официально введённый в 1993 г., означает содержание элементов в компонентах городской среды в начальный момент, до того, как искусственные и естественные компоненты подверглись какому-либо антропогенному воздействию. Этот термин включает в себя естественные географические концентрации (фоновый уровень) и диффузное антропогенное загрязнение почв (Santos-Francés et al., 2017). Расчёт геохимического базового уровня необходим для оценки текущего состояния окружающей среды, а также для разработки рекомендаций и стандартов качества в природоохранном законодательстве и политике, особенно при оценке загрязнённых почв и оценке экологических рисков (Baize, Sterckeman, 2001).

Цель работы: тестирование подхода оценки экологического состояния городских территорий на основе опробования современных осадков. Исследование проведено на примере крупных городов Челябинской области металлургического профиля – Челябинск и Магнитогорск. Исследовался набор металлов Mg, Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Sn, Sb, Pb, Li, Be. Эти металлы являются объектом мониторинга Росгидромета.

Задачи работы:

- 1) найти информацию о фоновых (кларковых) концентрациях элементов для региона;
- 2) оценить значения суммарных индексов химического загрязнения Z_c осадков относительно найденных фоновых концентраций;
- 3) восстановить фоновые концентрации по новому методу (Селезнев, 2018);
- 4) оценить значения индексов относительно наших фоновых;
- 5) сравнить значения, выявить недостатки, плюсы и минусы подхода.

Материалы и методы

Челябинск – город-миллионник, административный центр одноимённой области. Расположен на границе Урала и Сибири, климат характеризуется умеренной континентальностью. История Челябинска началась в 1736 г. с возведения крепости. К XIX в. город превратился в один из крупней-

ших торговых центров Урала, а к концу столетия – всей страны. Сегодня Челябинск занимает почётное место среди промышленных гигантов России, находясь на 13-й строчке по объёму промышленного производства. В городе расположены такие промышленные гиганты, как Челябинский металлургический комбинат (ЧМК), Челябинский электрометаллургический комбинат (ЧЭМК), Челябинский цинковый завод (ЧЦЗ), Челябинский механический завод (ЧМЗ) и Челябинский трубопрокатный завод (ЧТПЗ). Архитектура Челябинска представляет собой уникальное сочетание исторического наследия и современных тенденций. Город продолжает развиваться и расти, сохраняя при этом свою богатую историю и культуру. Общая протяжённость сети автомобильных дорог Челябинска составляет 1 109.4 км (Горячко, Павлинов, 2017).

Магнитогорск – город в Челябинской области России, расположен на восточном склоне Южного Урала на границе Европы и Азии. Климат города умеренно континентальный. Магнитогорск был основан в 1743 г. как крепость, в XIX в. развивался как центр промышленной добычи железной руды. На сегодняшний день является одним из крупнейших центров чёрной металлургии в мире. Градообразующее предприятие города – Магнитогорский металлургический комбинат (ММК) с дочерними заводами. В настоящее время жилищный фонд Магнитогорска представлен домами таких типов как постройки в стиле «сталинский ампи́р» (1930–1960 гг.), полносборные дома «первых серий» (1960–1970 гг.) и полносборные дома «улучшенной планировки» (1970–1990 гг.) (Корниенко, Чикота, 2014).

Объектом исследования являются современные городские осадки. Грязевые осадки на селитебной территории – это поверхностные слои пыли и частиц, которые перемещаются и накапливаются на разных поверхностях и микрорельефе (Селезнев и др., 2017). Время существования грязевых отложений варьируется от нескольких месяцев до нескольких десятилетий, мощность в среднем составляет 5 см (Селезнев, 2018). Грязевые осадки на городских территориях являются транспортирующей загрязнение средой, вторичным и неточечным источником загрязнения, отражают геохимические условия среды и ее изменения (Илгашева и др., 2018). Образование осадка в микроводоемах (лужах) на локальных пониженных участках поверхности в жилых районах возникает из-за сноса частиц с поверхностей, включающих участки территории квартала, построенного в разные годы. Этот осадок состоит из атмосферной пыли, твердых и взвешенных частиц почвы, эрозийного материала и т. д. Твердые осадки перемешиваются внутри лужи. Городские осадки формируются на дворовых территориях внутри кварталов жилых домов. Поверхностные отложения могут быть удалены с территории жилого квартала в результате уборки. Мелкий осадочный материал постоянно перемещается по территории квартала, перераспределяясь поверхностным стоком дождевой воды и колесами автомобилей. Осадки накапливают загрязняющие вещества в пространстве и времени на территории жилого двора, отражая его экологическое состояние.

Для проведения исследования загрязнения тяжелыми металлами было отобрано 60 проб в Челябинске и 41 в Магнитогорске. Образцы были собраны во дворах жилых многоквартирных домов методом нерегулярной сети. В каждой точке выбиралось от 3 до 5 локализаций. Проба является объединенной пробой с внутридворовой территории, масса пробы – от 1 до 1.5 кг. Участок сбора (двор) проб фотографировался. По каждому участку заполнялась анкета, в которой указывался характер застройки («хрущевки», «сталинки», современные панельные дома, бараки и т. д.), наличие озеленения, организованной и неорганизованной парковки, перепада высот. Маршруты были как правило пешие.

Этапы обработки проб:

- сушка и уборка крупных объектов: камни, корни, ветки, листья, мусор;
- грохочение – разделение сыпучих материалов (проб) по крупности частиц;
- ситование – полученный материал квартовался и просеивался через материал толщиной менее 1 мм.

Пробы истирались до порошкообразного состояния с размером частиц 0.074 мм.

Геохимический фон (C_{ϕ}) представляет собой среднее содержание химического элемента в пределах нормального геохимического поля. Для его оценки выбирается та часть площади выпол-

ненной геохимической съемки, где выдержаны ландшафтно-геохимические условия, однотипны по химизму горные породы и отсутствуют явные аномалии. Способы оценки геохимического фона зависят от математического закона, которому подчиняется распределение содержаний элементов в выборке (нормальному или логнормальному). При нормальном законе распределения уровень фона определяется по формуле:

$$C_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}$$

при логнормальном:

$$C_{\phi} = ant \ln \frac{\sum_{i=1}^n \ln C_i}{n}$$

Существует два основных подхода к определению математического закона, который управляет распределением элементов в выборке. Первый метод — графический. Он предполагает создание гистограмм или кумулятивных кривых, которые наглядно показывают, как часто встречаются разные содержания элементов. Это позволяет выдвинуть предположение о типе распределения. Второй метод — математический. С его помощью можно проверить эту гипотезу с использованием специальных критериев согласия, таких как критерий Пирсона и другие. В геохимической интерпретации данных часто используется метод построения гистограмм. Он основан на определении математического закона по форме гистограммы распределения частот встречаемости содержаний элементов. Если гистограмма имеет симметричную форму, где максимальная частота встречаемости находится в середине и постепенно уменьшается к обоим концам, это указывает на нормальное распределение. Асимметричная форма гистограммы характерна для логнормального распределения.

Расчёт базовой линии начинается с определения пороговых значений токсичности для различных загрязняющих веществ, при этом рассчитываются фоновые значения веществ, что соответствует нормальному значению элемента в данной среде (Task et al., 1997). Расчёт фонового уровня часто является сложной задачей, поскольку практически невозможно найти почвы без какого-либо загрязнения из-за атмосферного осаждения микроэлементов на больших расстояниях и деятельности человека (Pinto et al., 2015). Учитывая эти трудности, базовый уровень должен показывать среднее значение и диапазон концентраций тяжёлых металлов для конкретной территории и в конкретный период времени, а также учитывать диффузное поступление этих элементов в почву (Adriano, 2001). Количественно базовый уровень содержания загрязняющих веществ в породах, почвах и донных отложениях представляет собой сумму естественного содержания определяемого вещества с той техногенной добавкой, которая является следствием глобального либо регионального переноса загрязнений от источников выбросов в окружающую среду:

$$BL = B + A, \quad (1)$$

где BL – базовая линия, B – фоновое содержание, A – антропогенный вклад (Matschullat et al., 2000).

Значение базовой линии должно соответствовать статистически значимому отклонению от суммы среднего арифметического (или геометрического) значения, умноженного на два значения стандартного отклонения для каждого исследуемого элемента. Таким образом, формулу (1) можно представить в виде:

$$BL = B + 2\delta, \quad (2)$$

где B – фоновое содержание, 2δ – величина антропогенного вклада.

Можно считать, что BL – это верхний предел фонового содержания вещества, учитывающий его природные (B) и антропогенные (A) вариации в условиях диффузного загрязнения. На основе определения базовых геохимических показателей региона можно установить стандарты качества почвы (например, контрольные и предельные уровни веществ в почвах).

Для вычисления восстановленного геохимического фона вводится функция веса W , обратно пропорциональную концентрации поллютанта:

$$W_i = \frac{1}{(y_i - 0,95 \cdot \min(y_{i-5} \dots y_{i+5}))^\delta}, \quad (3)$$

где δ – показатель степени, i – номер при ранжировании концентраций элемента в выборке по возрастанию, y – концентрация поллютанта.

Для оценки состояния почв используется суммарный индекс химического загрязнения Z_c :

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1), \quad (4)$$

где n – количество суммируемых веществ; K_c – коэффициент концентрации:

$$K_c = C_i / C_{\Phi i}, \quad (5)$$

где C_i – фактическое содержание определенного вещества в почве в мг/кг; $C_{\Phi i}$ – региональное фоновое содержание элемента (Сагт и др., 1990).

Литературные данные были отобраны из литературных источников: кларковые концентрации – по А. П. Виноградову (1962), фоновые концентрации – ежегодник «Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2022 г.».

Результаты

В табл. 1 приведены найденные литературные данные по загрязняющим веществам Челябинска и Магнитогорска, а также рассчитанные статистическими методами фоновые значения загрязняющих веществ.

Таблица 1. Показатели кларковых и фоновых значений загрязняющих веществ в Челябинске и Магнитогорске

Table 1. Indicators of clark and background values of pollutants in Chelyabinsk and Magnitogorsk

Город	Челябинск			Магнитогорск		
	Кларк (мг/кг)	Фон из лит. данных (мг/кг)	Фон рассчитанный	Кларк (мг/кг)	Фон из лит. данных (мг/кг)	Фон рассчитанный
Mg	18700	н.о.	9959.99	н.о.	н.о.	н.о.
Al	80500	1	53241.95	80500	1	242.37
Ti	4500	н.о.	2994.98	4500	н.о.	120.41
V	90	н.о.	30.48	90	н.о.	40.41
Cr	83	1	51.08	83	116	44.31
Mn	1000	116	77.59	1000	н.о.	90.72
Fe	46500	н.о.	211.86	46500	н.о.	217.66
Co	18	1	9.48	18	1	11.69
Ni	58	116	25.55	58	2.2	24.99
Cu	47	4	22.55	47	4	23.18
Zn	83	17	54.59	83	17	49.02
As	1.7	5	6.83	1.7	н.о.	6.94
Rb	н.о.	н.о.	н.о.	150	н.о.	22.77
Mo	1.1	н.о.	0.34	1.1	н.о.	0.4
Cd	н.о.	н.о.	н.о.	0.16	0.4	
Sn	2.5	н.о.	1.58	2.5	н.о.	1.33
Sb	0.5	н.о.	0.15	0.5	н.о.	0.11
Ba	н.о.	н.о.	н.о.	650	н.о.	63.64
W	н.о.	н.о.	н.о.	1.3	н.о.	1.84
Pb	16	5	23.99	16	5	17.92
Li	32	н.о.	13.84	н.о.	н.о.	н.о.
Be	3.8	н.о.	0.18	н.о.	н.о.	н.о.

Применчение. н.о. – не определялись.

Суммарный индекс химического загрязнения Z_c был рассчитан относительно кларковых значений, фоновых значений и полученных по новому методу значений фона. Полученные значения суммарного индекса химического загрязнения были нанесены на карты городов Челябинск и Магнитогорск (рис. 1).

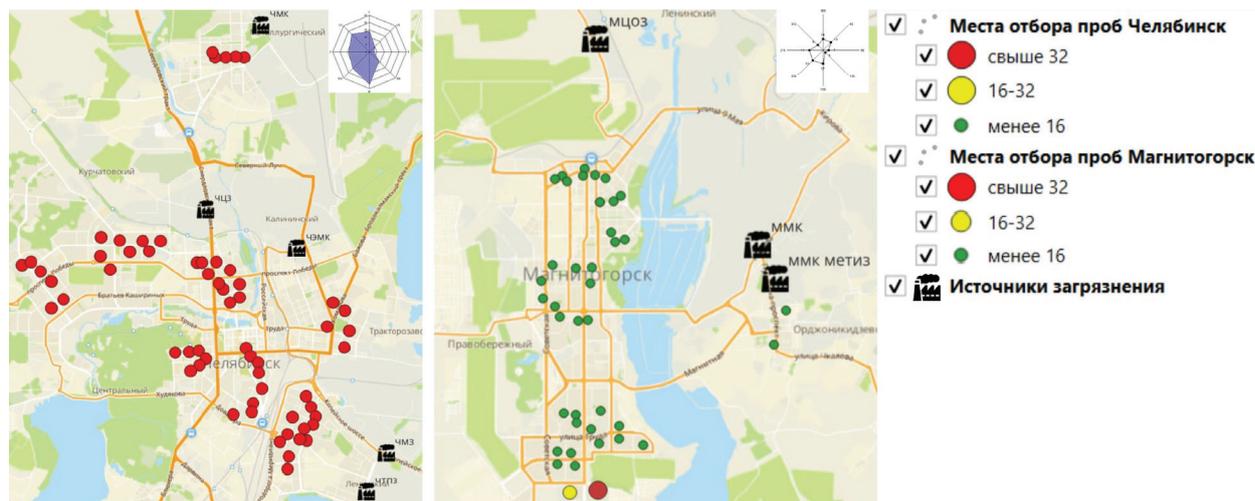


Рис. 1. Суммарный индекс химического загрязнения Z_c относительно восстановленного фона для Челябинска и Магнитогорска

Fig. 1. The total index of chemical pollution Z_c relative to the restored background for Chelyabinsk and Magnitogorsk

Рассчитанные индексы демонстрируют высокий уровень загрязнения города Челябинска и низкий уровень загрязнения Магнитогорска. Полученные по новому методу значения восстановленного фона отличаются от литературных данных в меньшую сторону. Высокий уровень загрязнения металлами Pb, Zn и Cu ожидалось из-за высоких автомобильных и промышленных выбросов в двух крупных индустриальных городах. Распространение загрязнения в городах вызвано розой ветров и распространением выбросов от стационарных источников загрязнений.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20036, <https://rscf.ru/project/24-17-20036/>, и при поддержке Правительства Свердловской области (проект № 24-17-20036).

Литература

1. Азаров В. Н. и др. Исследование дисперсного состава пыли городской среды // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15, № 3. С. 432–442.
2. Аляев А. А., Варава Л. Ф. Экологические проблемы промышленных зон Урала // Сб. науч. трудов Международной науч.-техн. конф. Магнитогорск. Изд-во: МГМА, 1998. Т. 1. С. 29–34.
3. Воздействие взвешенных частиц на здоровье / Официальный портал Всемирной организации здравоохранения. Европейское бюро [Электронный ресурс] URL: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulatematter-final-Rus.pdf.
4. Горшкова П. П., Лавренникова О. А. Загрязнение почв тяжелыми металлами // Символ науки. 2023. № 1-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zagryaznenie-pochv-tyazhelymi-metallami>.
5. Горячко М. Д., Павлинов П. С. Большая Российская энциклопедия: [в 30 т.] / научно-редакционный совет: председатель – Ю. С. Осипов и др. Москва : Научное издательство «Большая российская энциклопедия», 2017. Т. 34: Хвойка – Шервинский. С. 433–435. 797 с.
6. Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2022 г. Обнинск. Изд-во: ФГБУ «НПО «Тайфун». 2023. 13 с.
7. Иванов Д. В. Фоновое содержание загрязняющих веществ как мера нормирования качества природных сред (обзор) // Российский журнал прикладной экологии. 2021. № 4 (28). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fonovoe-soderzhanie-zagryaznyayuschih-veschestv-kak-mera-normirovaniya-kachestva-prirodnysred-obzor>.
8. Игнатович И. А. Анализ статистики вредных выбросов в атмосферный воздух // Молодой учёный. 2017. Т. 50. С. 129.

9. Илгашева Е. О., Селезнев А. А., Ярмошенко И. В., Шагалов Е. С., Леонова Л. В. Минеральный состав и техногенные образования в поверхностном грязевом осадке города Екатеринбурга // IX Всероссийская молодежная научная конференция «Минералы: строение, свойства, методы исследования». Екатеринбург, 2018. Изд-во: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2018. С. 79–81.
10. Исакова Д. А. Токсичность меди и источники её загрязнения // Приоритетные направления развития образования и науки. 2022. С. 134–135.
11. Исакова Д. Т., Хафизова Н.Р., Аронбаев С. Д., Аронбаев Д. М. Тяжелые металлы и их влияние на здоровье человека // In The World Of Science and Education. 2024. № 15 ноябрь ХН. Изд-во: Общественный фонд «Исследовательский центр «Endless Light in Science». С. 3–8.
12. Каргаполов Н. В. Вредные вещества городских экосистем // Тенденции формирования науки нового времени: сб. трудов Междун. научно-практич. конф.: в 4 частях. Т. 3. Изд-во: Башкирский государственный университет, 2014. С. 239.
13. Каргаполов Н. В. Геохимические исследования в городских экосистемах // Социально-экологические технологии. 2016. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geohimicheskie-issledovaniya-v-gorodskih-ekosistemah> (дата обращения: 22.11.2024).
14. Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия: География. 2015. № 2. С. 7–17.
15. Корниенко В. Д., Чикота С. И. Проблемы современного российского градостроительства (на примере г. Магнитогорска) // Жилищное строительство. 2014. № 11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemu-sovremenного-rossiyskogo-gradostroitelstva-na-primere-g-magnitogorska>.
16. Кочарян А. Г., Лебедева И. П. Диффузные источники загрязнения на водосборных территориях и оценка их токсического воздействия на водные и почвенные экосистемы // Природообустройство. 2015. № 5. С. 40–44.
17. Кравчук Н. В., Морозов В. Е., Сергеев Р. Д., Оленьков В. Д. Градостроительное развитие Челябинска (1930–н. в.) // 8-я научная выставка-конференция научно-технических и творческих работ студентов "Молодой исследователь": сб. трудов конф. Челябинск. Изд-во: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. С. 34–38.
18. Кудрик И. Д. Экологическая геохимия: конспект лекций для студентов направления 6.040106 «Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование» дневной и заоч. формы обучения. 2013.
19. Куролап С. А., Епринцев С. А., Клепиков О. В., Мамчик Н. П. Оценка риска для здоровья населения, связанного с техногенным загрязнением города Воронежа // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 3. С. 42–49.
20. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М. Изд-во: ЦИНАО, 1992. 60 с.
21. Методические указания. Проведение расчётов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков: РД 52.24.622–2001. М. Изд-во: Росгидрометслужба, 2001. 68 с.
22. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М. Изд-во: МГУ, 2000.
23. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М. Изд-во: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
24. Развитие улично-дорожной сети города Челябинска на 2021–2025 годы. Администрация Челябинска: <https://cheladmin.ru/sites/default/files/n/document/51036/pasportuds21-25.doc>.
25. Саэт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. М. Изд-во: Недра, 1990. 335 с.
26. Селезнев А. А. Тяжелые металлы в поверхностном грязевом осадке города Екатеринбурга // Известия Уральского государственного горного университета. 2018. № 1 (49). С. 46–54.
27. Селезнев А. А., Илгашева Е. О., Ярмошенко И. В. Поверхностный грязевой осадок на урбанизированной территории: свойства, гранулометрический и минеральный состав, содержание металлов // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий. 2017. № 5. С. 394–399.
28. Сичко Н. О. Последствия загрязнения почвы тяжелыми металлами // Актуальные проблемы и перспективы развития сельского хозяйства Юга России. 2019. С. 200–204.
29. Тафеева Е. А., Петров И. В. Эколого-гигиеническая оценка влияния загрязнения почвы на здоровье населения // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 4. С. 75–75.
30. Тюрин А. М., Политыкина М. А., Панкратьев П. В., Колomoец А. В. Бассейн карбонатной седиментации в Магнитогорском прогибе Южного Урала и перспективы его нефтегазоносности // Недра Поволжья и Прикаспия. 2019. № 98. С. 25–36.
31. Цибарт А. С., Геннадиев А. Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение (обзор) // Почвоведение. 2013. № 7. С. 788–788.

32. Челябинская область – статистика по региону: <https://russia.duck.consulting/regions/74#collapse473558>.
33. Численность постоянного населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2024 года.
34. Шабанов М. В., Стрекулев Г. Б. Геохимические процессы накопления тяжелых металлов в ландшафтах Южного Урала // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 1. С. 184–192.
35. Adriano D. C. Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals. New York: Springer, 2001. V. 860.
36. Baize D., Sterckeman T. Of the necessity of knowledge of the natural pedo-geochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements // Science of the total environment. 2001. V. 264, No. 1–2. P. 127–139.
37. Bern C. R., Walton-Day K., Naftz D. L. Improved enrichment factor calculations through principal component analysis: Examples from soils near breccia pipe uranium mines, Arizona, USA // Environmental pollution. 2019. V. 248. P. 90–100.
38. Charzyński P., Plak A., Hanaka A. Influence of the soil sealing on the geoaccumulation index of heavy metals and various pollution factors // Environmental Science and Pollution Research. 2017. V. 24. P. 4801–4811.
39. Demetriades A., Johnson C. C., Birke M. Urban geochemical mapping: the EuroGeoSurveys Geochemistry Expert Group's URGE project // Journal of Geochemical Exploration. 2018. V. 187. P. 1–5.
40. Liu Y., Haibo Chen, Ying Li, Jianbing Gao, Kaushali Dave, Junyan Chen, Tiezhu Li, Ran Tu. Exhaust and non-exhaust emissions from conventional and electric vehicles: A comparison of monetary impact values // Journal of Cleaner Production. 2022. V. 331. P. 129965.
41. Matschullat J., Ottenstein C., Reimann C. Geochemical background – can we calculate it? // Environmental geology. 2000. V. 39(9). P. 990–1000.
42. Mielke H. W., Guangdi W., Christopher R. Gonzales, Eric T. Powell, Bin Le, V. Nancy Quach. PAHs and metals in the soils of inner-city and suburban New Orleans, Louisiana, USA // Environmental toxicology and pharmacology. 2004. V. 18, No. 3. P. 243–247.
43. Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // Geojournal. 1969. V. 2. P. 108–118.
44. Pinto M. M. S., Ferreira da Silva E., Silva M.M.V.G, Melo-Gonçalves, P. Heavy metals of Santiago Island (Cape Verde) top soils: Estimated background value maps and environmental risk assessment // Journal of African Earth Sciences. 2015. V. 101. P. 162–176.
45. Santos-Francés F, Martínez-Graña A, Alonso Rojo P, García Sánchez A. Geochemical Background and Baseline Values Determination and Spatial Distribution of Heavy Metal Pollution in Soils of the Andes Mountain Range (Cajamarca-Huancavelica, Peru) // Int J Environ Res Public Health. 2017. V. 14(8). P. 859. doi: 10.3390/ijerph14080859. PMID: 28788105; PMCID: PMC5580563.
46. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergeev A. P. Method for reconstructing the initial baseline relationship between potentially harmful element and conservative element concentrations in urban puddle sediment // Geoderma. 2018. V. 326. P. 1–8.
47. Seleznev A., Rudakov M. Some geochemical characteristics of puddle sediments from cities located in various geological, geographic, climatic and industrial zones // Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2019. V. 14, No. 1. P. 95–106.
48. Tack F. M. G., Verloo M. G., Vanmechelen L., Van Ranst E. Baseline concentration levels of trace elements as a function of clay and organic carbon contents in soils in Flanders (Belgium) // Science of the Total Environment. 1997. V. 201. No. 2. P. 113–123.