
ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 504.064.2

ISSN 1609-0691

DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/2/116-128>

Поступила в редакцию: 15.02.2024

Принята к публикации: 20.05.2024

Опубликована онлайн: 28.06.2024

Эколого-геохимические исследования в обеспечении устойчивого развития городов

©2024 И. Ф. Вольфсон¹✉, А. С. Хомич²

¹*Федеральное государственное бюджетное учреждение*

"Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов",

ул. Вересаева, 15, 121357, Москва, Российская Федерация

²*Российский государственный геологоразведочный университет имени*

Серго Орджоникидзе, ул. Миклухо Маклая, 23, 117997, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Введение: В оценке экологического состояния городских агломераций большую роль играют геохимические исследования компонентов окружающей среды, в первую очередь почв, донных отложений объектов речной сети, растений, а также атмосферного воздуха. Результаты геохимических исследований позволяют достоверно определять экологическое состояние территорий городов и городских агломераций (урбанизированных территорий) различного функционального назначения с разнообразными природными условиями и уровнем техногенного и антропогенного воздействия. Таким образом, экологическая геохимия с ее богатым опытом фундаментальных и прикладных исследований может оказывать серьезную помощь специалистам, работающим в актуальной области естественных наук, коей является урбаниология. Однако в настоящее время экологическая геохимия в качестве комплементарной урбаниологии дисциплины не рассматривается. Авторы статьи ставят своей целью доказать обратное и продемонстрировать необходимость включения экологической геохимии в перечень дисциплин, определяющих и усиливающих фундаментальное и прикладное предназначение урбаниологии.

Методика: Города являются центрами концентрации не только населения, но и значительных масс техногенных веществ, поступающих в окружающую среду с промышленными, транспортными и муниципальными выбросами, отходами и стоками. В городской среде эти продукты хозяйственной деятельности человека формируют локальные и региональные техногенные аномалии загрязняющих веществ в компонентах ландшафтов. Эколого-геохимические исследования на территориях городских агломераций входят в комплекс необходимых мер, нацеленных на совершенствование правовых, фундаментальных и прикладных методов и подходов для выработки научно-методических основ прогноза, оценки и мониторинга вероятных событий в процессе интенсивной урбанизации. Подробно методика отбора и обработки геохимических проб различных компонентов природной среды отражена в действующих нормативных документах и регламентируется государственными стандартами.

Результаты и обсуждение: Знания, опыт и навыки экологической геохимии играют важную роль в укреплении фундаментальных основ актуального научного направления урбаниологии. Широкий спектр междисциплинарных знаний в системе урбаниологии определяется решением сложных проблем урбанизированных территорий, а также многогранностью способов и альтернативных направлений их реализации. Объективная оценка компонентов такого рода системы возможна при использовании результатов геохимических исследований.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Вольфсон Иосиф Файтлевич, e-mail:rosgeo@yandex.ru

Заключение: Авторы видят сходство экологической геохимии, с одной стороны, и урбаниологии, с другой стороны, в интегративности, междисциплинарности той и другой естественнонаучных дисциплин, изучающих проблемы городов и городских систем с самых разных сторон и в их совокупности. Делается вывод о большом значении экологической геохимии в становлении и развитии актуального научного направления, изучающего особенности развития урбанизированных территорий и систем, в том числе в условиях глобального изменения климата участившихся в последние годы на этом фоне природных и техногенных катастроф.

Ключевые слова: урбанизация, экологическая геохимия, компоненты окружающей среды, экологические риски, зонирование территорий, здоровье населения, урбаниология.

Для цитирования: Вольфсон И. Ф., Хомич А. С. Эколого-геохимические исследования в обеспечении устойчивого развития городов// *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2024. № 2. С. 116–128. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/2/116–128>

Введение

Актуальность эколого-геохимических исследований на урбанизированных территориях

В большинстве стран города стали центрами сосредоточения населения, выпускаемой промышленной продукции и обусловленного этими факторами интенсивного загрязнения городской среды. К 2050 г. по различным оценкам население Мира превысит 9 млрд жителей. Более половины из этого числа будут проживать на урбанизированных территориях. Данное обстоятельство уже сегодня требует большего, чем в прошлом, потребления минеральных и энергетических ресурсов.

Увеличение роста народонаселения, особенно в развивающихся странах, несет в себе возрастающую комплексную угрозу социуму от участившихся в последние годы природных катастроф – многочисленных проявлений вулканической деятельности, землетрясений, угрозы цунами и наводнений. В связи с имеющимся опытом возникновения и преодоления последствий такого рода событий необходима разработка систем прогноза и оценки опасных геологических процессов, обеспечивающих оптимизацию рисков для населения потенциально опасных территорий, включая мегаполисы, и им подобных крупных городских агломераций.

Особое место среди экологических проблем городов занимают качество жизни населения, состояние среды его обитания и осуществления профессиональной деятельности, оценивать которые представляется возможным при помощи методов геохимических исследований, а именно: оценки характера загрязнения компонентов природной среды, в первую очередь почв, донных отложений объектов речной сети, растений, атмосферы, а также изучения степени геохимической трансформации городской среды под воздействием разнообразных по химическому составу и форме находящиеся загрязняющих веществ. Таким образом, в оценке экологического состояния городских агломераций большую роль играют геохимические исследования. Полученные результаты исследований позволяют определить экологическое состояние территорий, отличающихся природными условиями и уровнем природно-техногенного воздействия.

Реальным ответом на вызовы глобальных экологических процессов, таких как изменение климата,

участившиеся на этом фоне случаи масштабных техногенных и природных катастроф, становятся междисциплинарные программы по совместному развитию ряда областей науки и практики в целях обеспечения устойчивого экономического развития отраслей промышленности и повышения безопасности систем жизнеобеспечения населения на урбанизированных территориях. К таким программам авторы относят комплексные исследования, использующие знания, опыт и навыки экологической геохимии, а также урбаниологии.

Относимое авторами к сфере естественных наук, современное научное направление урбаниология, отличается высоким уровнем междисциплинарных знаний в различных научных областях и сферах практической деятельности: физическая и социально-экономическая география, демография, экономика и менеджмент, градостроительство и территориальная планировка, информационные технологии, юриспруденция, иностранный язык. Подобный «конгломерат» формируется благодаря многогранности способов и альтернативных направлений их реализации, многопрофильностью методического аппарата, позволяющего достоверно идентифицировать проблемы функционирования городских систем (транспорт, пешеходная инфраструктура, окружающая среда и пр.), устанавливать общественные потребности и определять меры по их реализации посредством комплексного анализа компонентов городских систем, прогнозирования их развития, составления проектов по использованию земельных, материальных, информационных и природных ресурсов.

Концептуальной основой направления выступает идея устойчивого развития, продвигаемая на уровне Организации Объединенных Наций (ООН) и отраженная в ряде национальных стратегий устойчивого социально-экономического развития, а также концепциях «умный город» в рамках ряда региональных программ. Стратегия ориентирована на обеспечение стабильного развития трех взаимосвязанных и взаимодополняющих компонентов (человека как личности и генератора новых идей; конкурентоспособной экономики; качества окружающей среды) на основе модернизации системы экономических отношений и эффективного управления на всех территориальных уровнях с целью достижения

равновесия между социальным, экономическим и экологическим развитием [1]. Основополагающим элементом и научно-методической основой урбанизации может стать экологическая геохимия [2].

Методика проведения эколого-геохимических исследований

Экологическая геохимия (геохимия окружающей среды) – научное направление геохимии, исследующее морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением влияния геохимических полей и геопатогенных аномалий (неоднородностей земной коры) природного и техногенного происхождения на биоту (живые организмы). Эколого-геохимические исследования – это комплексные исследования компонентов природной и техногенной сред, процессов их взаимодействия как между собой, так и с окружающей средой. В различных районах, отличающихся природно-ландшафтными условиями перераспределение элементов происходит под влиянием разных геохимических процессов (опалогенез, глеогенез, кальцитогенез и др.), а компоненты природной среды (почвы, донные отложения, растения и др.) характеризуются различными величинами геохимических параметров.

Теоретические основы экологической геохимии, ее основные понятия, объект и предмет, важнейшие исходные положения, цель и задачи изложены в пользующейся большой популярностью книге Ю. Е. Саэта с коллегами «Геохимия окружающей среды» [3] и ряде других публикаций и методических руководств [4–7]. Фундаментальной основой экологической геохимии является учение академика В. И. Вернадского о геохимической роли человечества, согласно которому преобразование природы деятельностью человека становится в основе своей геохимическим процессом, имеет глобальный характер и есть закономерное явление в геологической истории Земли.

В ходе распространения химических элементов (загрязняющих веществ), поступающих от техногенных источников, в окружающей среде также образуются геохимические ореолы и потоки рассеяния (техногенные геохимические аномалии, а с утилитарной точки зрения, зоны техногенного загрязнения), которые являются своеобразными аналогами вторичных ореолов и потоков рассеяния, формирующихся в районе рудных месторождений. Это *a priori* и должно было позволить применить для выявления и картографирования техногенных геохимических аномалий методы и методические приемы поисковой геохимии.

Важной частью проведения эколого-геохимической оценки городов являются ландшафтно-геохимические исследования, направленные на анализ техногенных потоков загрязняющих веществ в ландшафтах, трансформации природной среды, устойчивости природно-антропогенных ландшафтов к загрязнению.

Такие исследования включают элементы ландшафтно-геохимического картографирования, разработку геоинформационных систем и создание компьютерных баз данных для мониторинга, оценки и функци-

ционального районирования территорий городов, геохимической классификации характеристик городских ландшафтов.

С середины 1970-х гг. прошлого столетия эколого-геохимические исследования становятся самостоятельным видом (стадией) работ по геохимической оценке не только масштабов проявлений различных видов полезных ископаемых, но и по оценке степени воздействия на компоненты окружающей среды (далее ОС) продуктов их переработки и отходов использования в различных областях деятельности человека. Это стало возможным с того момента, когда в Институте минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов были начаты целенаправленные работы по площадному картированию и литогеохимическому опробованию верхнего слоя почв лесопарковой зоны г. Москвы, увенчавшиеся созданием детальной карты техногенного загрязнения столицы в масштабе 1:10000 [3].

Отбор геохимических проб проводится по проектным пунктам исследований, в соответствии с разработанными картами подготовительного этапа. Производство работ осуществляется как комплексными бригадами, которые выполняют опробование по нескольким компонентам природной среды: почвы – растения – вода поверхность – донные отложения, так и раздельными бригадами, если такое разделение диктуется условиями транспортировки, производственной необходимостью или целесообразностью (зимний период отбора проб снега, отбора проб воды в укороченный период летней межени, растений – в единый вегетационный период и т. д.).

Объем отбираемых проб зависит от потребностей предусмотренных аналитических исследований (в т.ч. контрольных анализов), а для проб твердого материала учитывается необходимый объем для дубликата.

Конкретный участок для опробования должен выбираться в соответствии с природно-хозяйственной характеристикой условно однородной квазиоднородной площадки. Особое внимание уделяется опробованию локальных участков геохимической неоднородности (свалки, склады, промышленные объекты, сбросы промышленных вод и т. д.), являющихся источниками загрязнения окружающей среды [3, 6].

Контрастность техногенных аномалий в городской среде определяется путем сравнения с фоновым содержанием химических элементов в природных ландшафтах. Особое значение фоновые аналоги имеют для тех элементов, для которых не разработаны предельно допустимые концентрации (ПДК). При оценке природного геохимического фона основное внимание уделяется региональной либо и биогеохимической специализации эталонных участков, их радиальной и латеральной структуре, выраженной в виде системы ландшафтно-геохимических коэффициентов, параметров и моделей.

Для оценки накопления отдельных элементов или соединений используютmonoэлементные показатели загрязнения. Одним из основных критериев аномальности является коэффициент техногенной концентра-

ции K_c , который представляет собой отношение содержания элемента в рассматриваемом аномальном объекте С к его фоновому содержанию C_f . По экологической опасности для организмов химические вещества делятся на классы: I класс (высоко опасные) – As, Cd, Hg, Se, Pb, F, бенз(а) пирен, Zn; II класс (умеренно опасные) – B, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr; III класс (мало опасные) – Ba, V, W, Mn, Sr. Для многих из этих элементов экспериментально установлены ПДК – гигиенические нормативы загрязнения, которые равны максимальному содержанию загрязняющих веществ в природном объекте или продукции (воде, воздухе, почве, пище), не наносящему вред здоровью человека или других организмов.

При эколого-геохимических исследованиях для оценки уровня химического загрязнения окружающей среды используется система прямых и индикаторных (косвенных) критериев.

Прямые критерии регламентируются государственными стандартами и действующими методическими рекомендациями. К ним относятся предельно-допустимые концентрации (ПДК), предельно-допустимые выбросы (ПДВ). Наибольшее количество ПДК для различных веществ и соединений рассчитано для атмосферы, поверхностных и подземных вод, в меньшей степени – для почв. Для эколого-геохимической оценки горных пород используются фоновые содержания элементов, кларки. *К индикаторным критериям* относятся различные расчетные показатели и коэффициенты.

Таким образом, например, для характеристики техногенных геохимических аномалий в донных отложениях водных объектов используется комплекс показателей. *Коэффициент концентрации химического элемента (K_c)* характеризует уровень концентрирования (уровень аномальности, интенсивность аномалии) элемента в донных отложениях (в зоне загрязнения) относительно его фонового содержания. Согласно нормативным документам, в геохимическую ассоциацию включаются элементы со значениями K_c не менее 1. Однако, в случае с исследованиями в донных отложениях, предлагается рассматривать вещества, концентрация которых превышает фоновые значения в 1.5 раза, так как предполагается, что полученная величина превосходит природную вариацию и возможные ошибки опробования и аналитических исследований, и является минимально-аномальным содержанием. Коэффициент в этом случае рассчитывается по формуле:

$$K_c = C_i / C_f,$$

где C_i – средняя концентрация i -го химического элемента, установленная для данной геохимической выборки, C_f – фоновое содержание этого элемента [4].

Чаще всего за фоновые принимают значения, полученные опытным путем в исследованиях, проведенных до глобальной индустриализации, когда уровень антропогенной нагрузки на водные экосистемы был существенно ниже, чем в настоящее время или же стремился к нулю. Кроме того, за фоновые содержания химических элементов и соединений можно принять их

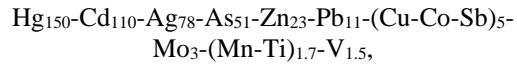
содержание в коренных материнских породах, где, предположительно, донные отложения сохраняются максимально в нативном состоянии [7].

Суммарный показатель загрязнения Z_c представляет собой сумму коэффициентов концентрации K_c элементов (за вычетом фона), входящих в геохимическую ассоциацию, отражает аддитивное превышение фонового уровня группой ассоциирующихся элементов и характеризует уровень техногенного загрязнения. Он рассчитывается по формуле:

$$Z_c = (\sum K_c) - (n - 1),$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го химического элемента, превышающий 1.5; n – число, равное количеству химических элементов, входящих в геохимическую ассоциацию.

Формула геохимической ассоциации; характеризует качественный (элементный) состав и структуру геохимической аномалии; представляет собой упорядоченную по значениям K_c совокупность (ранжированный ряд) химических элементов. Как правило, ассоциация, характерная для определенного вида (источника) воздействия, отличается своеобразным качественным сочетанием (соотношением значений K_c) элементов. Формула геохимической ассоциации изображается, например, так:



где цифровые индексы около символов химических элементов представляют их K_c .

Негативное влияние на живые организмы оказывает не только излишняя концентрация химических элементов, но и их нехватка (деконцентрация). Деконцентрация химических элементов определяется по коэффициенту рассеяния:

$$K_{pi} = C_{phi} / C_i,$$

а для всех элементов по *суммарному показателю рассеяния* – СПР:

$$\text{СПР} = \sum K_{pi} - (n - 1),$$

где n – количество элементов в пробе с аномальной величиной K_p (с учетом флуктуаций фона обычно принимается $K_c \leq 0.5-0.7$).

Для интегральной оценки проявления процессов концентрации и деконцентрации элементов иногда используется *суммарный показатель концентрации и рассеяния элементов* – СПКР:

$$\text{СПКР} = \text{СПК} + \text{СПР}.$$

Для почв, воздуха и природных вод часто используется *суммарный показатель загрязнения* элементов 1–3 классов гигиенической опасности – СПЗ:

$$\text{СПЗ} = \sum K_{pdk} - (n - 1),$$

где K_{pdk} рассчитывается относительно гигиенических нормативов ПДК (ОДК): $K_{pdk} = C_i / PDK_i$ при $C_i > PDK_i$

В водных объектах основным «депо» загрязняющих веществ являются донные (русловые) отложения,

которые используются в качестве индикаторного компонента для выявления состава, интенсивности и масштаба техногенного воздействия, обычно проявляющегося в формировании в отложениях полизлементных геохимических аномалий, т. е. повышенным (аномальным) накоплением определенной группы химических элементов. Для решения поставленной задачи выполняется комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ, которые позволяют оценить современное состояние донных отложений поверхностных водотоков.

Отбор, транспортировка, подготовка и хранение проб донных отложений осуществляются в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.5.01-80 «Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность» и существующих методических рекомендаций.

Определение химических элементов выполняется высокоточным методом масс-спектрометрии с индуктивно связанный плазмой (ICP MS) на масс-спектрометре ELAN-6100 по методике измерений ПНД Ф 16.1.:2.3:3.11-98.

Определение нефтепродуктов в пробах выполняется на концентратомере КН-3 по методике измерений ПНД Ф 1.1:2.2.22-98.

Обсуждение результатов

Знания, опыт и навыки экологической геохимии играют важную роль в укреплении фундаментальных основ урбанизации, расширяют возможности прикладных исследований в данной области. Широкий спектр междисциплинарных знаний в системе урбанизации определяется решением сложных проблем урбанизированных территорий, а также многогранностью способов и альтернативных направлений их реализации. Объективная оценка компонентов такого рода системы возможна, в том числе, с учетом результатов геохимических исследований.

Рассмотрим данное положение на примерах.

Приоритетные загрязняющие вещества городских почв

Экологическая обстановка большинства городов и урбанизированных территорий России характеризуется как критическая или напряженная. К этому приводит увеличение численности народонаселения, постоянно возрастающее количество жилых и офисных зданий и других объектов строительного комплекса, интенсивные транспортные потоки и разнообразие организаций сферы обслуживания и промышленных предприятий. Города выделяются как центры концентрации веществ, поступающих в окружающую среду от транспортных средств, в виде отходов промышленных и жилищно-коммунальных предприятий и т.д. Попадая в окружающую среду (далее, ОС) отходы хозяйственной деятельности формируют техногенные геохимические аномалии в компонентах ОС, в первую очередь в почве, отложениях речной сети, в атмосфере городов и, таким образом, сами города становятся мощными источниками техногенных материалов,

включающих в себя региональные миграционные циклы. Таким образом, эколого-геохимические исследования на урбанизированных территориях становятся необходимой мерой в целях изучения элементного химического состава компонентов окружающей среды, в первую очередь депонирующих сред – почв и донных отложений.

Угроза качеству городских почв, как и состоянию донных отложений, представляет собой одну из наиболее серьезных экологических проблем, поскольку загрязнение увеличивается в связи с большой концентрацией пыли, вредных загрязняющих веществ и их соединений, на различных поверхностях вместе с выпадающими осадками. Приоритетными загрязняющими веществами городских почв являются:

1. *Тяжелые металлы (ТМ)*. На урбанизированных территориях почва, как правило, характеризуется повышенным уровнем тяжелых металлов и металлоидов, таких как мышьяк, ртуть, кадмий, цинк, хром свинец. Техногенное поступление ТМ обусловлено работой предприятий добычи и переработки полезных ископаемых, автотранспорта, электростанций на ископаемом топливе, предприятий по утилизации отходов и металлообработки, металлургических и агрехимических комбинатов, сбросом сточных вод. Для человека представляют опасность биологическая активность и токсические свойства ТМ. На локальный уровень загрязнения ТМ существенно влияют нестационарные, низкорасположенные и мелкие источники загрязнения. В городской среде это выхлопы, продукты износа рабочих поверхностей, деталей, шин автотранспорта, стоки ливневой канализации.

2. *Углеводороды*. Углеводородное загрязнение почв может формироваться в результате утечек нефти и нефтепродуктов из подземных резервуаров, разливов нефти, неправильной утилизации нефтепродуктов. Попадая в почву, углеводороды имеют свойство накапливаться в ней в течение долгого времени, представляя собой серьезные риски для почвенных организмов и экосистем в целом. Более того, углеводороды способны мигрировать, подавляя деятельность почвенных микроорганизмов, растений, нарушая ход метаболических процессов у животных и человека, вызывая при этом генетические мутации. Постоянное воздействие нефтяных углеводородов может привести к развитию острых или хронических заболеваний, включая болезни дыхательных путей, раздражение кожи и онкологических заболеваний. Восстановление почвы, загрязненной углеводородами, как правило, представляет собой сложную задачу и требует значительного количества времени и применения специализированных методов устранения.

3. *Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)*. ПАУ представляют собой группу органических соединений, которые образуются при неполном сгорании или пиролизе ископаемого топлива, древесины или других органических материалов. ПАУ являются высокомолекулярными органическими соединениями бензольного ряда, которые отличаются не только высокой

токсичностью, но и канцерогенной и мутагенной активностью. Они состоят из множества «сплавленных» ароматических колец, характеризуются низкой растворимостью в воде, а также высокой устойчивостью к разложению в окружающей среде. ПАУ проникают в почву при выпадении атмосферных осадков, через разливы и утечку нефтепродуктов, путем осаждения от промышленных выбросов, сжигания угля или древесины, а также от выхлопных газов автомобилей. ПАУ имеют тенденцию накапливаться в верхних слоях почвенного покрова и мигрировать вследствие эрозии или вымывания. Такие вещества, накапливаясь в почве, способны оказывать негативное воздействие на микроорганизмы и экосистемы почв. Некоторые ПАУ классифицируют как канцерогенные или мутагенные, то есть вызывающие рак или развитие мутаций.

4. *Промышленные химикаты (ПХ).* ПХ представляют собой группу разнообразных веществ, которые используются в промышленном производстве. Промышленные химикаты вносят большой вклад в экономический и технологический прогресс, однако, их неправильное чрезмерное использование и утилизация приводят к загрязнению почвы. Химикаты попадают в почву путем разливов, утечек, неисправной канализации, а также атмосферного осаждения. Промышленные загрязнители представлены различными растворителями, тяжелыми металлами, гербицидами и пестицидами, антиприренами, пластификаторами и различными органическими или неорганическими соединениями. Как и все поллютанты, ПХ оказывают пагубное воздействие на экосистемы и микроорганизмы почв. Они способны задерживаться в грунтах на долгий период, накапливаться и достигать высоких концентраций. Кроме того, ПХ оказывают влияние на физические, химические и биологические функции почвы, тем самым, изменяя ее влагоудерживающую способность, степень плодородия и круговорот питательных веществ, подавляют рост и развитие растений, а также разрушают почвенные микробные сообщества. Некоторые ПХ, как и ПАУ, могут обладать мутагенными, канцерогенными, а также тератогенными свойствами.

5. *Пестициды и гербициды.* Использование пестицидов и гербицидов в городах с целью ухода за газонами, садами и парковой растительностью, как правило, приводит к загрязнению почв. Такие химические соединения имеют свойство задерживаться в почве и оказывать негативное влияние на экосистемы и организмы, находящихся в почве.

6. *Отходы строительства и сноса.* Эти виды загрязнений относятся, в первую очередь, к материалам, которые образуются в результате строительства, сноса или реконструкции зданий: дерево, металл, бетон, пластик и др. Как видно из таблицы 1 объекты строительного комплекса представляют собой критически важный источник загрязнения окружающей среды токсичными металлами и металлоидами, минералами и органическими соединениями, которые могут оказаться в окружающей среде при городских разрушениях. Случайные смеси и непредсказуемые концентрации потен-

циальных токсикантов в строительстве формируются с течением времени за счет изменения технологии строительства, замены материалов и других факторов. Угрозы здоровью исторически соотносятся с многими материалами, использовавшимися в строительстве. Известны такие токсичные материалы, используемые в строительстве как асбест, свинец, поливинил хлорид, хромированный арсенат меди для обработки древесины от насекомых. Выявление токсичных характеристик привело к существенному снижению использования таких материалов при проведении работ вплоть до полного отказа от них. Несмотря на имеющиеся знания, токсиканты по-прежнему присутствуют в старых зданиях, а некоторые из них поныне используются в современных строительных материалах и зданиях.

7. *Влияние на окружающую среду (ОС) городских экологических угроз (факторов).* Во многих городах на уровне предварительных оценок состояния ОС выявляются повышенные концентрации химических элементов, минералов, органических соединений, патогенных загрязнителей в различных средах, таких как уличная и домашняя пыль, почвы, поверхностные водотоки, и воздух. Экологические факторы могут способствовать перераспределению существовавших ранее загрязнений ОС и в дальнейшем воздействовать на те же самые среды и создаваемую человеком инфраструктуру опасными материалами, содержащими патогены, твердые, жидкые и газообразные токсиканты. Существует много вариантов для преобразования этих материалов в ОС, как, например, ветровой перенос, испарение или улетучивание (волатилизация), перенос, растворение или реакция с водой, окисление, конденсирование или абсорбция газов на поверхностях, фотолитическое разрушение (трансформация), микробная деградация, поглощение растениями, почвами (почвенное секвестрирование). Физическое воздействие может включать разрушение зданий и строений, эрозию и захоронение в осадках водотоков, оползней, селевых потоков.

8. *Опасные материалы и процессы естественного геологического происхождения.* Геологические события могут приводить к драматическим последствиям для человеческого ландшафта. Один из наиболее трагических примеров – уничтожение древнего города Помпеи пирокластическим материалом при извержении вулкана Везувий в 79 году н.э.; облака вулканического пепла с поражением крупного города Манилы и других населенных пунктов на Филиппинах в 1991 году при извержении вулкана Пинатубо; выпадение вулканических аэрозолей, содержащих сернистый газ над европейскими городами после извержения вулкана Лаки Айленд 1783 года в Исландии. Острые проблемы со здоровьем выявляются от воздействия пепла и газов: астма, раздражение и повреждение органов дыхания, обострение других проблем респираторной системы, и сердечно-сосудистые заболевания. Пепел и газы, определяющие экологические и медицинские проблемы, являются комплексной функцией геологического расположения вулкана, состава магмы, типа извержения,

расстояния от объекта воздействия и других факторов. Вулканический пепел содержит крупицы кристаллического кремнезема с биодоступным железом, что может формировать долгосрочные риски здоровью по типу оксидативного стресса и связанных проблем респираторной системы.

Некоторые типы магм могут продуцировать газы и пепел, обогащенные фтором, который может вымываться или выщелачиваться дождевой водой и загряз-

нять источники водоснабжения.

Оползни, селевые потоки, и лахары производят сильный разрушительный физический эффект на городское хозяйство и приводят к многочисленным человеческим жертвам. В декабре 1999 года затяжные дожди привели к оползням и селевым потокам на всем побережье Венесуэлы, жертвами которых стали 30 000 человек – жителей ряда городов, построенных на узких аллювиальных террасах.

Табл.1. Примеры потенциально токсичных соединений, поступающих в компоненты окружающей среды от предприятий строительного комплекса в результате возведения и реконструкции зданий, сноса строений, последствий катастроф и т.д. [8–10]
[Table 1.] Examples of potentially toxic compounds entering environmental components from construction enterprises as a result of the construction and reconstruction of buildings, demolition of buildings, consequences of disasters, etc. [8–10]]

Исходные материалы [Source materials]	Потенциально токсичные вещества [Potential toxicants]
Цемент или цемент содержащие материалы Concrete and concrete-containing products]	Едкие щелочи (в связи с присутствием окислов кальция и магния) [Caustic alkalinity, due to Ca and Mg hydroxides]
Краски [Paints]	Pb*, Cr (VI)*, Hg, полихлорированные дифенилы (или полихлорированные бифенилы (ПХБ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) [Pb*, Cr(VI)*, Hg, PCBs, PAHs]
Древесина, обработанная под давлением, или химическими веществами против насекомых [Pressure-treated or pesticide-treated wood; soils beneath buildings]	Cr (VI)*, As*, дieldrin*, альдрин*, хлордан* и другие хлорорганические пестициды [Cr(VI)*, As*, dieldrin*, aldrin*, Chlordane*, other organochlorine pesticides]
Флюоресцентные осветительные лампы [Fluorescent light bulbs]	Hg
Осветительные лампы [Fluorescent light ballasts]	Полихлорированные дифенилы*(или полихлорированные бифенилы (ПХБ), ди(2-этилгексил) фталат [PCBs*, DEHP]
Противопожарные химические соединения в строительных материалах, пластике, тканях [Fire-retardant chemicals in building materials, plastics, fabrics]	Sb, полибромированные дифениловые эфиры [Sb, PBDEs]
Трубы из поливинил хлорида [PVC pipes]	Pb, другие металлы могут генерировать диоксины и другие органические токсиканты в процессе сжигания (мусора) [Pb, other trace metals, can generate dioxins and other organic toxicants when combusted]
Пластик [Plastics]	Cr (VI), Pb, Cd, другие металлы, полихлорированные дифениловые эфиры (ПБДЭ); могут генерировать диоксины и другие органические токсиканты в процессе сжигания (мусора) [Cr(VI), Pb, Cd, other metals; PBDEs; can generate dioxins and other organic toxicants when combusted]
Стекловата, линолеум, стекловолокнистый картон [Insulation, linoleum, wallboard, drywall mud]	асбест* [Asbestos*]
Древесно-стружечные плиты, древесные клеи [Particleboard, woodglues]	Формальдегид [Formaldehyde]
Терmostаты, термометры [Thermostats, thermometers]	Hg*
Электроника, электронные приборы [Electronics]	Pb*, Cd, Ni, Hg, V, другие металлы и металлоиды; полихлорированные дифенилы (или полихлорированные бифенилы (ПХБ) и различные органические соединения [Pb*, Cd, Ni, Hg, V, other metals or metalloids; PCBs, various organic compounds]
Токсиканты, помеченные *, долгие годы использовались в строительстве и в настоящее время или запрещены к применению или могут быть использованы в крайне низких концентрациях в производимых ныне материалах [Toxicants marked by* have been used historically and should either be absent or present in diminished amounts in currently manufactured materials. DEHP = di(2-ethylhexyl) phthalate; PAHs = polycyclic (polynuclear) aromatic hydrocarbons; PCBs=polychlorinated biphenils; PBDEs = polybrominated diphenil ethers, PVC-polyvinil chloride]	

Минералы, содержащиеся в оползневых массах или селевых потоках, формирующие пылевое загрязнение в связи с ними, могут представлять собой потенциальную опасность ОС и здоровью населения. Особенно, если первичные породы и почвы обогащены минералами-токсикантами (например, асбестом), металлами-токсикантами (обогащенные металлами черные сланцы), патогенными микроорганизмами, и, если содержат токсичный антропогенный мусор. В 1999 венесуэльский оползень привел к загрязнению территории возле порта Ла Гуайра из-за разрушения контейнеров с химическими веществами и загрязненные дождевые воды с пораженной территорией привели к закрытию сотен километров побережья для рыбной ловли и купания.

Вспышка «долинной лихорадки» в 1994 г., последовавшей после землетрясения в Нортридже (Калифорния) была вызвана воздействием пыли, содержащей споры грибков – кокцидий (*Coccidioides immitis*). Вслед за землетрясением последовали оползни и облака пыли, сформированные из почв на морских осадочных отложениях, которые и физически и химически благоприятствуют росту численности грибков относительно других почвенных бактерий [10, 11].

Функциональное зонирование как фактор дифференциации эколого-геохимического состояния городских территорий

Функциональное зонирование можно рассматривать как фактор дифференциации экологического и геохимического состояния урбанизированных территорий в зависимости от их целевого назначения. Зонирование предполагает разделение городских территорий на категории (или зоны) в соответствии с их назначением, например промышленные, транспортные, селитебные и рекреационные. Различные виды землепользования могут приводить к изменениям экологических параметров окружающей среды, изменению степени загрязнения почв, донных отложений, атмосферы.

Промышленные зоны характеризуются наличием большого количества производственных предприятий, складских помещений, заводов и иных промышленных объектов. Промышленная деятельность, как правило, связана с использованием опасных веществ и их соединений, таких как тяжелые металлы, химикаты и различные органические загрязнители и характеризуется широким спектром поллютантов в ОС – тяжелые металлы – свинец, хром, кадмий и ртуть, а также летучие органические соединения (ЛОС), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), различные растворители. Такие загрязняющие вещества сохраняются в почве в течение длительного времени и представляют опасность для природных экосистем, а также для здоровья человека [10, 12].

Автотранспорт является основным поставщиком тяжелых металлов – медь, кадмий, цинк, ванадий и хром в компоненты природной среды и в городские системы. Добавим, что содержание токсичных элементов

в пыли проезжих частей на сегодняшний день никак не нормируется несмотря на то, что современные исследования в данной области показывают высокие содержания – выше предельно допустимого уровня – опасных элементов в воздухе, почве и растениях вблизи автомобильных трасс [13–15].

Жилые районы оказывают значительное влияние на окружающую среду. Селитебная функциональная зона характеризуется специфической практикой землепользования, такой как строительство, а также озеленение и садоводство с использованием удобрений и пестицидов. Такие виды деятельности способствуют распространению химических соединений в окружающей среде, нарушению баланса питательных веществ в почвах, в грунтовых водах и донных отложениях и, как следствие, оказывает пагубное влияние на биоразнообразие.

В селитебных зонах образуется значительное количество сточных вод и стоков канализации. Некорректная утилизация и недостаточная очистка сточных вод могут приводить к деградации городских почв за счет инфильтрации загрязняющих веществ. Как правило, сточными водами переносятся тяжелые металлы, различные органические соединения и патогенные микроорганизмы.

Стоит отметить, что селитебные зоны связаны с различными элементами городской инфраструктуры, включая тротуары, дороги и различные здания. Такие сооружения способствуют уплотнению почвы и изменению естественного дренажа. Уплотнение почвы влечет за собой снижение ее проницаемости, что приводит к увеличению поверхностного стока и снижению инфильтрации и в результате приводит к изменению уровня влажности почвы и доступности питательных веществ, необходимых для вегетации растений и жизнедеятельности полезных почвенных микроорганизмов.

Как и транспортная функциональная зона, селитебная территория характеризуется повышенным уровнем шума и загрязнения воздуха в результате движения автотранспорта, а также близкого расположения промышленных зон.

Рекреационные зоны

Рекреационные зоны – это специально выделяемые территории в пригородной местности или в городе, предназначенные для организации мест отдыха населения и включающие в себя парки, сады, городские леса, лесопарки, пляжи, спортивные площадки, игровые площадки и открытые пространства, которые используются населением, заинтересованным в занятиях спортом, отдыхом на природе и другими видами активного досуга. В рекреационные зоны могут включаться особо охраняемые природные территории и природные объекты.

На сегодняшний день, обустройство зеленых территорий занимает значительное место в процессе преображения мегаполисов, поскольку рекреационные зоны представляют собой «легкие» городов, способ-

ные поглощать шум, подавлять развитие болезнетворных бактерий, играть роль воздушных фильтров. Тем не менее, несмотря на высокое социальное и культурное значение рекреационных зон, высокая степень интенсивности их использования зачастую приводит к уплотнению верхнего слоя почвы, ее деградации и процессам эрозии. Уплотненные почвы характеризуются уменьшенным поровым пространством, что приводит к плохой инфильтрации воды и ограничению роста корней. Эрозия, в свою очередь, приводит к потере верхнего слоя почвы и обнажению подпочвы, изменяя ее профиль и проникающую способность.

В зонах отдыха, как правило, формируется большое количество отходов, таких как пищевые и упаковочные материалы. Неправильная утилизация отходов и ненормированные методы управления ими приводят к накоплению загрязняющих веществ в почве, донных отложениях и в грунтовых водах.

Рекреационные зоны зачастую требуют ухода, который включает в себя использование пестицидов и гербицидов. Такие химикаты, как правило, применяются для ухода за газонами, предотвращения деятельности насекомых или для борьбы с нежелательной растительностью. Избыточное и некорректное использование пестицидов и гербицидов приводит к загрязнению почвы, вымыванию загрязняющих веществ в грунтовые воды или же накоплению остатков химикатов.

Зоны отдыха включают в себя водоемы – пруды или фонтаны. Подобные водные объекты могут повысить эстетическую ценность территории, однако, неправильное их использование, например, сброс загрязняющих веществ или чрезмерное их поступление в такие экосистемы, приводит к загрязнению таких водоемов. Кроме того, загрязнение городских водных объектов негативно отражается на качестве почв через сток или же инфильтрацию, приводит к утрате биоразнообразия.

Влияние деятельности городской среды на здоровье населения

Процесс урбанизации является показателем непрерывного совершенствования сфер жизнедеятельности человека: налаживание транспортных сетей; создание кластеров высокотехнологичных предприятий; возведение многоэтажных жилых комплексов, оснащенных придомовыми удобствами; обустройство территорий для проведения культурных мероприятий на открытом воздухе. Безусловно, урбанизация содействует развитию промышленности, но и требует большого внимания к экологическим аспектам, рациональному использованию ресурсов и безопасности здоровья населения.

Промышленное производство, движение автотранспорта и иные процессы урбанизации сопровождаются выбросами загрязняющих веществ, таких как оксиды азота, тяжелые металлы, диоксид серы, пылевые частицы. Данные поллютанты способны вызывать

аллергию, астму, бронхит, хроническую обструктивную болезнь легких (ХОБЛ).

Нельзя не упомянуть тот факт, что транспортная инфраструктура вместе с соответствующими непроницаемыми поверхностями может способствовать возникновению «эффекта городского острова тепла» (Urban Heat Island Effect–UHI).

В результате нарушения температурного режима в городах, наблюдаются значительные температурные колебания несмотря на то, что количество выпадающих осадков в условиях меняющегося климата стремительно увеличивается. Причиной данного процесса является интенсивное загрязнение атмосферы, а именно наличие так называемого «теплового купола». Источниками его формирования могут быть различные факторы. Наибольший эффект создают стены зданий, асфальтовое покрытие, а также разнообразные по составу отходы торговых и развлекательных центров, предприятий общепита и автотранспорт – именно они накапливают тепло в дневное время, а в ночное – активно «отдают» его в окружающую среду. В результате, формируется тепловой купол, который представляет собой достаточно серьезный барьер, препятствующий выносу и рассеиванию загрязняющих веществ [16].

Избыток тепла в городских районах способен изменить не только температуру почвы, уровень влажности и доступность питательных веществ, но и вызвать тепловые стрессы и увеличить риск тепловых ударов у населения.

Как уже отмечалось, одной из значимых причин загрязнения природной среды пылью является автотранспорт (табл. 2). Урбанизированные территории загрязняются при этом тонкой и грубой пылью (ингаляционные частицы размером менее $< -10-20 \mu\text{m}$ (крупицы) и вдыхаемые, размером менее $<2.5\mu\text{m}$, содержащиеся в пыли). Согласно оценкам Федеральной службы по охране окружающей среды ФРГ, данное обстоятельство может являться причиной увеличивающихся случаев преждевременной смерти среди участников автомобильного движения – в среднем, около 44 лет при средней продолжительности жизни в Германии около 76 лет.

Частицы поступающей пыли имеют свойство осаждаться на обочинах проезжей части, растениях и поверхности почвы, в результате чего становится частью процесса миграции химических элементов посредством попадания в сточные и грунтовые воды, а также в воздушные потоки. Кроме того, пыль способна закрепиться в круговороте веществ природной среды, следовательно, стать частью пищевых цепей растений, животных и человека.

Городская среда, как правило, характеризуется высоким уровнем шума от строительства, движения автотранспорта, деятельности промышленных предприятий, что приводит к снижению уровня иммунитета, вызывает бессонницу, стресс и, как следствие, повышает риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний граждан.

Табл. 2. Источники поступления химических элементов от механизмов и частей автомобильного транспорта и дорожного комплекса в компоненты окружающей среды [13–16]
[Table 2. Sources of chemical elements from mechanisms and parts of motor transport and road complexes into environmental components [13–16]]

Источник [Source materials]	Элемент [Chemical elements]
Выхлопные газы [Traffic fumes]	Pb, Ni
Износ проезжей части [Wear of the roadway]	Si, Ca, Mg, тяжелые металлы
Износ колес [Wheel wear]	Cd, Zn, Pb, Cr, Cu, Ni
Износ тормозных колодок [Brake pad wear]	Cr, Cu, Ni, Pb, Zn
Горюче-смазочный материал [Fuels and lubricants]	Pb, Ni, Zn, Cu, Vn, Cr
Коррозия автомобилей [Car corrosion]	Cu, Pb, Zn
Антигололедные средства [Anti-icing products]	Na, Ca, Mg, Cl

Заключение

Экологическая геохимия и урбанизация

Урбанизация – актуальное быстроразвивающееся направление естественных наук, изучающее различные аспекты устройства городского хозяйства, своеобразный интегратор научного анализа всего процесса урбанизации, включая зонирование территорий по основным видам деятельности и инструменты управления ими. Урбанизация является базовым научным направлением для исследования истории города от истоков его генезиса и процесса функционирования вплоть до рассмотрения отдельных сторон городского организма, его влияния и взаимодействия с социальными, экономическими, экологическими, политическими и другими общественными процессами, образно говоря «от геологии до идеологии». Авторы данной публикации видят сходство экологической геохимии и урбанизации, в целом, в интегративности, междисциплинарности той и другой естественнонаучных дисциплин, изучающих проблемы городов и городских систем с самых разных сторон и в их совокупности.

Оба эти научные направления – экологическая геохимия и урбанизация, несущие глубокий прикладной потенциал, основаны на знаниях и навыках множества естественнонаучных, социальных, экономических, политических дисциплин. Их появление стало возможным благодаря широкому внедрению и использованию результатов междисциплинарных исследований на территориях городских агломераций и более крупных по масштабу единиц – урбанизированных и промышленных территорий.

Комплексное изучение истории и настоящего городов важно для разработки общей теоретической основы процессов как урбанизации, так и общественного прогресса в целом, так как именно в рамках города в относительно компактном географическом и социальном пространстве наиболее рельефно отражены взаимосвязи и переплетения различных сторон развития общества, видов деятельности людей и их взаимодействия. В тоже время, знания, опыт и навыки геологических дисциплин позволяют охарактеризовать в деталях физические, химические и микробиологические особенности материалов, произведенных в результате деятельности городских систем и нарушения ими экологического баланса.

Экологическая геохимия позволяет определить

основные особенности загрязнителей в компонентах окружающей среды, точно установить их место в пространстве и времени, а также создать научно-методические основы мониторинга, картирования и создания моделей распространения в пространстве потенциально опасных материалов. Процессно-ориентированный подход, широко используемый в экологической геохимии, играет ключевую роль в понимании того, как события, происходящие в окружающей среде, преобразуют опасные материалы, и позволяет понять качественные параметры состояния экологических условий в границах городов, определить масштабы их влияния на смежные территории, оптимизировать их возможное воздействие на здоровье людей.

Исследования в области экологической геохимии являются необходимыми в понимании характеристик и механизмов воздействия опасных материалов на здоровье населения городов и урбанизированных территорий и экосистемы. Благодаря этой информации, связи между воздействием опасных материалов и непосредственно состоянием окружающей среды и здоровьем городского населения становятся более понятными при различных сценариях, включая те из них, которые обусловлены набирающими интенсивность климатическими изменениями и участвующими на этом фоне проявлениями геологических и антропогенных угроз и катастроф.

Приведенные в данной работе примеры убеждают в том, что роль эколого-геохимических исследований в современных условиях роста городских агломераций возрастает. Масштабы явлений и событий, требующих участия специалистов в области геохимии окружающей среды год от года увеличиваются.

Эколого-геохимические исследования требуют всемерной поддержки от ведомств и лиц, ответственных за принятие решений в области формирования предметной базы экологического образования в высшей школе и за разработку экологической политики на муниципальном, региональном и федеральном уровнях.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красовский К. К. Сидорович А. А., Абрамова И. В. Урбанизация как перспективная географическая специальность // Вучончыя запіскі Брэсцкага універсітэта: зб. науак. пр.

- БрДУімя А. С. Пушкіна. 2020. Ч. 2. Вып. 16. С. 146–152.
2. Вольфсон И. Ф., Хомич А. С. Геоэкологические исследования и устойчивое развитие урбанизированных территорий. Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов: сб. материалов международной конференции. Брест: БрГУ, 2023. Ч. 1. С. 10–13
3. Саэт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П., Смирнова Р. С., Башаркевич И. Л., Онищенко Т. Л., Павлова Л. Н., Трефилова Н. Я., Ачкасов А. И., Саркисян С. Ш. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
4. Янин Е. П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). М.: ИМГРЭ, 2002. С. 52
5. Спиридовон И. Г., Левченко Е. Н., Бобков Р. А., Вольфсон И. Ф. Актуальные проблемы экологической геохимии. // Разведка и охрана недр. 2021. № 10. С. 40–45
6. Спиридовон И. Г., Левченко Е. Н. Минералого-геохимические критерии оценки экологической опасности горнопромышленных территорий: метод. рекомендации НСОММИ № 200. М.: ВИМС, 2020. 53 с.
7. Томилина И. И., Гапеева М. В., Ложкина Р. А. Оценка качества воды и донных отложений каскада водохранилищ реки Волга по показателям токсичности и химического состава // Труды Института биологии внутренних вод РАН. 2018. №. 82 (85). С. 106–131.
8. Бобков Р. А., Вольфсон И. Ф. Актуальные задачи геохимических исследований на территориях экологического риска и пути их решения // Разведка и охрана недр. 2022. № 11. С. 65–74. DOI 10.53085/0034-026X_2022_11_65
9. Подлесных А. И., Лаврусевич И. А. Геоэкологические проблемы цементного производства. // Разведка и охрана недр. 2016. № 6. С.46–51
10. Geoffrey S. Plumlee, Suzette A. Morman, and Angus Cook. Environmental and Medical Geochemistry in Urban Disaster Response and Preparedness // Elements. 2012. Vol. 8. P. 451–457. DOI: 10.2113/gselements.8.6.451
11. Суздалева А. Л., Кучкина М. А., Жаргалсайхан Б. Опасные геологические процессы в условиях техногенеза земной коры: угрозы нарушения жизнедеятельности населения и ухудшения состояния окружающей среды // Вестник Евразийской науки. 2020. № 4. DOI: 10.15862/67SAVN420Хомич В.А. Экология городской среды: учеб. пособие для ВУЗов. Омск: Изд-во СибАДИ, 2002. С. 232
12. Ачкасов А. И., Башаркевич И. Л., Варава К. В. Самаев С. Б. Загрязнение снегового покрова под влиянием противогололедных реагентов // Разведка и охрана недр. 2006. № 9–10. С. 132–137
13. Кошелева Н. Е., Набелкина К. С., Рыжов А. В., Власов Д. В. Физико-химические свойства дорожной пыли Москвы. Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: технология, климат и экология: материалы международной конференции. Иркутск: ИНИТУ, 2018. С. 86–91
14. Кайгородов Р. В., Тиунова М. И., Дружинина А. В. Зараждающие вещества в пыли проезжих частей дорог и в древесной растительности придорожных полос городской зоны // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2009. № 10 (36). С. 141–146
15. Селезнев А. А., Ханфи Мохамед Юссиф Мохамед Современные антропогенные отложения в локальных понижениях микрорельефа на урбанизированных территориях: состав и свойства. XIX Уральская молодежная научная школа по геофизике: сб. науч. материалов. Екатеринбург: УрФУ, 2018. С. 155–157
16. Зайко П. О., Лысенко С. А. Статистическое и численное моделирование городских «островов тепла» на территории Беларуси. Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов: сб. материалов международной конференции. Брест: БрГУ, 2023. Ч. 2. С. 241–244

Вольфсон Иосиф Файтелеевич, к.г.-м.н., гл.н.с. Институт минералогии, геохимии, кристаллохимии редких элементов (ФГБУ «ИМГРЭ»); Москва, Российская Федерация; e-mail: rosgeo@yandex.ru; ORCID 0000-0002-7086-3931

Хомич Анастасия Сергеевна, студентка Российской государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе; Москва, Российская Федерация; e-mail: khomich.nst@mail.ru; ORCID 0009-0002-3696-8489

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Iosif F. Volkson, PhD in Geol.-Min., Chief Researcher, Department of Environmental Geochemistry of the Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements (FSBI "IMGRE"); Moscow, Russian Federation; e-mail: rosgeo@yandex.ru; ORCID 0000-0002-7086-3931

Anastasia S. Khomich, Student, Russian State University for Geological Prospecting named after Sergo Ordzhonikidze; Moscow, Russian Federation; e-mail: khomich.nst@mail.ru; ORCID 0009-0002-3696-8489

Authors have read and approved the final manuscript.

HYDROGEOLOGY, GEOECOLOGY

UDC: 504.064.4

ISSN 1609-0691

DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/2/116-128>

Received: 15.02.2024

Accepted: 20.05.2024

Published online: 28.06.2024

Ecological and geochemical research in ensuring sustainable urban development

©2024 I. F. Volfson¹ , A. S. Khomich²

¹*Federal State Budgetary Institution "Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements", st. Veresaeva, 15, 121357, Moscow, Russian Federation*

²*Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze, st. Miklouho Maklaya, 23, 117997, Moscow, Russian Federation*

Abstract

Introduction: In assessing the ecological state of urban agglomerations, geochemical studies of environmental components, primarily soils, bottom sediments of river network objects, plants, and atmospheric air play an important role. The results of geochemical studies make it possible to reliably determine the ecological state of the territories of cities and urban agglomerations (urbanized areas) of various functional purposes with various natural conditions and the level of technogenic and anthropogenic impact. Thus, environmental geochemistry, with its rich experience in fundamental and applied research, can provide serious assistance to specialists working in the current field of natural sciences, which is urbanology. However, to date, environmental geochemistry is not considered today as a complementary discipline to urbanology. The authors of the article aim to prove the opposite and demonstrate the need to include environmental geochemistry in the list of disciplines that define and strengthen the fundamental and applied purpose of urbanology.

Methodology: Cities are centers of concentration not only of the population, but also of significant masses of man-made substances entering the environment through industrial, transport and municipal emissions, waste and drains. In the urban environment, these products of human economic activity form local and regional technologic anomalies of pollutants in landscape components. Ecological and geochemical studies in the territories of urban agglomerations are part of a set of necessary measures aimed at improving legal, fundamental and applied methods and approaches for developing scientific and methodological foundations for forecasting, assessing and monitoring probable events in the process of intensive urbanization. The detailed methodology for collecting and processing geochemical samples of various components of the natural environment is reflected in the regulatory documents and is managed by state standards.

Results and discussion: Knowledge, experience and skills in environmental geochemistry play an important role in strengthening the fundamental foundations of urban science. A wide range of interdisciplinary knowledge in the system of "urbanology and city management" is determined by the solution of complex problems of urbanized territories, as well as the versatility of methods and alternative directions for their implementation. An objective assessment of the components of this kind of system is possible using the results of geochemical research.

Conclusion: The authors see the similarity between environmental geochemistry, on the one hand, and urbanology, on the other hand, in the integrativeness and interdisciplinarity of both natural science disciplines that study the problems of cities and urban systems from a variety of angles and in their totality. A conclusion is drawn about the great importance of environmental geochemistry in the formation and development of a current scientific direction that studies the features of the development of urbanized territories



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

 Iosif F. Volfson, e-mail: rosgeo@yandex.ru

and systems, including under conditions of global climate change, against the background of natural and man-made disasters.

Keywords: urbanization, environmental geochemistry, environmental components, environmental risks, zoning of territories, public health, urbanology.

For citation: Volfson I. F., Khomich A. S. Ecological and geochemical research in ensuring sustainable urban development // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2024, no. 2, pp. 116–128. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/2/116-128>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Krasovskij K. K., Sidorovich A. A., Abramova I. V. Urbanologiya kak perspektivnaya geograficheskaya special'nost' [Urbanology as a promising geographical specialty]. *Vuchonyya zapiski Bresckaga universiteta zbir. navuk. pr. BrD Uimya A. S. Pushkina – Scientific notes of the Brest University*, 2020, vol. 16, pt. 2, pp. 146–152 (In Russ.)
2. Vol'fson I. F., Homich A. S. Geoekologicheskie issledovaniya i ustojchivoe razvitiye urbanizirovannyh territorij [Geoenvironmental research and sustainable development of urbanized territories]. *Aktual'nye problemy nauk o Zemle: issledovaniya transgranichnyh regionov*: sb. materialov mezhdunarodnoj konferencii [Actual problems of Earth sciences: studies of transboundary regions: coll. art. all-International conference]. Brest: BrGU publ., 2023, p. 1, pp. 10–13 (In Russ.)
3. Saet Yu. E., Revich B. A., Yanin E.P., Smirnova R. S., Basharkevich I. L., Onishchenko T. L., Pavlova L. N., Trefilova N. Ya., Achkasov A. I., Sarkisyan S. Sh. *Geohimiya okruzhayushchej sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow, Nedra publ., 1990, 335 p. (In Russ.)
4. Yanin E. P. *Technogennie geochemicheskie associacii v donnykh otlozheniyakh malykh rek* (sostav, osobennosti, metodiotsenki). [Technologic geochemical association in bottom sediments of small rivers]. Moscow, IMGRE publ., 2002, 52 p. (In Russ.)
5. Spiridonov I. G., Levchenko E. N., Bobkov R. A., Vol'fson I. F. Aktual'nye problemy jekologicheskoy geohimii [Actual problems of ecological geochemistry]. *Razvedka i ohrana nedr. – Prospect and protection of mineral resources*, 2021, vol. 10, pp. 40–45 (In Russ.)
6. Spiridonov I. G., Levchenko E. N. *Mineralogical and geochemical criteria for assessing the environmental hazard of mining areas*: method. recommendations of NSOMMI no. 200. Moscow, VIMS publ., 2020, 53 p. (In Russ.)
7. Tomilina I. I., Gaapeeva M. V., Lozhkina R. A. Ocenka kachestva vody i donnykh otlozhenij kaskada vodokhranilishch reki Volga po pokazatelyam toksichnosti i khimicheskogo sostava [Assessment of the quality of water and bottom sediments of the Volga River reservoir cascade based on toxicity and chemical composition indicators]. *Trudy Instituta biologii vnutrennikh vod RAN* [Transactions of the Institute of Inland Water Biology]. RAS publ., 2018, no. 82 (85), pp. 106–131 (In Russ.)
8. Bobkov R. A., Volfson I. F. Aktual'nye zadachi geochemicheskikh issledovanij na territoriyah ekologicheskogo risika i puti ih resheniya [Actual problems of geochemical research in the territories of environmental risk and ways to solve them]. *Razvedka i ohrana nedr. – Prospect and protection of mineral resources*, 2022, no. 11, pp. 65–74. DOI 10.53085/0034-026X_2022_11_65 (In Russ.)
9. Podlesnyh A. I., Lavrusevich I. A. Geokologicheskie problemy cementnogo proizvodstva [Geocological problems of cement production]. *Razvedka i ohrana nedr. – Prospect and protection of mineral resources*, 2016, no. 6, pp. 46–51 (In Russ.)
10. Geoffrey S. Plumlee, Suzette A. Morman, and Angus Cook. Environmental and Medical Geochemistry in Urban Disaster Response and Preparedness. *Elements*, 2012, vol. 8, pp. 451–457. DOI: 10.2113/gselements.8.6.451
11. Suzdaleva A. L., Kuchkina M. A., Zhargalsajhan B. Opasnye geologicheskie processy v uslovijah tehnogeneza zemnoj kory: ugrozy narushenija zhiznedejatel'nosti naselenija i uhudsheniya sostojaniya okruzhajushhej sredy [Hazardous geological processes in the conditions of technogenesis of the earth's crust: threats of disruption to the life of the population and deterioration of the environment]. *Vestnik Evrazijskoj nauki – Eurasian Scientific Journal*, 2020, vol. 4 (In Russ.) DOI: 10.15862/67SAVN420
12. Achkasov A. I., Basharkevich I. L., Varava K. V., Samaev S. B. Zagryaznenie snegovogo pokrova pod vliyaniem protivogolodnyh reagentov [Pollution of snow cover under the influence of deicing reagents]. *Razvedka i ohrana nedr. – Prospect and protection of mineral resources*, 2006, no. 9–10, pp. 132–137 (In Russ.)
13. Kosheleva N.E., Nabelkina K.S., Ryzhov A.V., Vlasov D.V. Fiziko-khimicheskie svojstva dorozhnoj pyli Moskvy [Physico-chemical properties of Moscow Road dust]. *Snezhnyj pokrov, atmosfernye osadki, aerosoli: tekhnologiya, klimat i ekologiya: materialy mezhdunarodnoj konferencii* [Snow cover, precipitation, aerosols: technology, climate and ecology: coll. art. all-International conference Irkutsk, INITU publ., 2018, pp. 86–91 (In Russ.)
14. Kajgorodov R.V., Tiunova M.I., Druzhinina A.V. Zagryaznyayushchie veshchestva vpyli proezzhih chastej dorog i v drevesnoj rastitel'nosti pridorozhnykh polos gorodskoj zony [Pollutants in the dust of roadways and in the woody vegetation of roadside lanes of the urban zone]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya – Proceedings of Perm State University. Series: Biology*, 2009, vol. 10 (36), pp. 141–146 (In Russ.).
15. Seleznev A. A., Kanfi Mokhamed Yussef Mokhamed Sovremennyye antropogennye otlozheniya v lokal'nyh ponizheniyakh mikrorel'eфа na urbanizirovannykh territoriyakh: sostav i svojstva [Modern anthropogenic depositions in local depressions of the microrelief in urbanized areas: composition and properties]. *XIX Ural'skaya molodezhnaya nauchnaya shkola po geofizike: sb. nauch. materialov*. Ekaterinburg: URFU [19th Urals youth school on geophysics: materials of the meeting]. Ekaterinburg, UrFU publ., 2018, pp. 155–157 (In Russ.)
16. Zaiko P. O., Lysenko S. A. Statisticheskoe i chislennoe modelirovanie gorodskikh "ostrovov tepla" na territorii Belarusi [Statistical and digital modeling of Urban Hit Islands]. *Aktual'nye problemy nauk o Zemle: issledovaniya transgranichnykh regionov*: sb. materialov mezhdunarodnoj konferencii [Actual problems of Earth sciences: studies of transboundary regions: coll. art. all-International conference]. Brest, BrGU publ., 2023, ch. 2, pp. 241–244 (In Russ.).