

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу

Шевченко Андрея Викторовича

«Индикаторы современного эколого-геохимического состояния городской среды (на примере малых городов Свердловской области)»,

представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.21 Геоэкология

Диссертационная работа Шевченко Андрея Викторовича посвящена актуальной проблеме эколого-геохимической оценки состояния городской среды малых и средних по численности населения городов. В работе рассматриваются города Свердловской области, для которых характерен высокий уровень урбанизации и техногенной нагрузки за счет функционирования предприятий различных отраслей производства. При этом государственный экологический мониторинг в таких городах либо отсутствует, либо проводится фрагментарно, что создает дефицит информации о качестве окружающей среды. В связи с этим разработка эффективных и обоснованных подходов к оценке состояния городской среды, основанных на исследовании индикационных свойств современных седиментационных объектов (пылегрязевых отложений, снегогрязевой пульпы и снежного покрова), является своевременной и востребованной как в научном, так и в прикладном аспектах.

Объектом исследования выступают жилые зоны малых и средних по численности населения городов Свердловской области (Верхняя Пышма, Качканар, Серов и Алапаевск), различающихся по промышленной специализации и уровню техногенной нагрузки при сходных климатических условиях.

Предметом исследования являются геохимические характеристики пылегрязевых отложений, снегогрязевой пульпы и ненарушенного снежного покрова в жилых кварталах указанных городов.

Цель работы заключается в обосновании использования свойств пылегрязевых отложений и объектов, участвующих в их формировании, в качестве индикаторов эколого-геохимического состояния жилых зон малых и средних городов. Для достижения цели автором поставлены и последовательно решены

шесть задач: от полевого опробования до разработки модели оценки интенсивности образования осадочного материала.

Научная новизна исследования

В диссертации впервые для малых и средних городов Свердловской области:

1. Оценено эколого-геохимическое состояние жилой зоны с использованием комплекса седиментационных объектов: пылегрязевых отложений, снеогрязевой пульпы и снежного покрова, что позволило получить интегральную характеристику процессов загрязнения, накопления и перераспределения вещества в городской среде.

2. Восстановлены начальные геохимические условия для тяжелых металлов и металлоидов в пылегрязевых отложениях. Достижением является учет корреляционных связей «элемент–минерал» при восстановлении фоновых концентраций. Особо показательным является пример с Ni, для которого восстановление фона по серпентину позволило избежать завышенной оценки загрязнения в Алапаевске, где высокие концентрации Ni обусловлены природным присутствием ультраосновных минералов. Эта методическая разработка имеет принципиальное значение для корректной интерпретации геохимических данных в условиях техногенно трансформированных территорий.

3. Проведены количественные оценки пылевой нагрузки, интенсивности образования пылегрязевых отложений и их запасов в жилых зонах исследуемых городов. Автором разработана и верифицирована модель образования осадочного материала USP, объединяющая четыре источника: эрозию дождевыми водами (адаптированная RUSLE), сток талых вод (модифицированная модель Ларионова), истирание покрытий нешипованными шинами (разработанный I-фактор) и шипованными шинами (индекс SPS).

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость работы заключается в развитии представлений о применимости современных седиментационных объектов в качестве эколого-геохимических индикаторов состояния городской среды; совершенствовании методологических подходов к анализу и интерпретации данных о химическом,

минеральном и гранулометрическом составе таких объектов; доказательстве того, что физико-химические свойства пылегрязевых отложений характеризуют уровень техногенной нагрузки на городские территории.

Практическая значимость диссертации определяется тем, что предложенный комплекс показателей и апробированные методики могут использоваться органами местного самоуправления, экологическими службами предприятий и научными организациями для экспрессной оценки загрязнения, экологического зонирования территории и обоснования природоохранных мер. Особо ценной представляется количественная оценка вклада нарушенных участков покрытий в образование осадочного материала (54–78 %), что дает конкретный ориентир для повышения эффективности мероприятий по благоустройству территорий. Данные о запасах и интенсивности образования пылегрязевых отложений могут быть использованы при формировании планов комплексного развития территорий и проектировании объектов коммунальной инфраструктуры. Результаты исследования внедрены в научные отчеты по программам Министерства науки и высшего образования РФ и грантам Российского научного фонда.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (177 наименований) и трех приложений. Объем работы составляет 199 страниц, включая 45 таблиц и 57 рисунков.

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проведен обзор существующих методологических подходов к оценке экологического состояния городской среды. Обоснована концепция седиментационного каскада как системы последовательных процессов образования, переноса и накопления твердых частиц. Показано, что в условиях урбанизации эти процессы протекают значительно интенсивнее, чем в природных ландшафтах, и определяются особенностями застройки и уровнем благоустройства территории. Автор приходит к выводу о недостаточной изученности процессов

формирования и накопления пылегрязевых отложений, а также роли снеогрязевой пульпы в миграции загрязняющих веществ.

Во **второй главе** детально описаны объекты исследования, методика полевых работ (отбор 40 проб пылегрязевых отложений и по 10 проб снеогрязевой пульпы и снежного покрова в каждом городе), лабораторные методы (гранулометрический, химический, минеральный анализы) и алгоритмы обработки данных, включая метод восстановления начальных геохимических условий на основе линейной связи между загрязняющим и типоморфным элементами. Всего проанализировано 160 проб пылегрязевых отложений, 40 проб снеогрязевой пульпы и 40 проб снежного покрова.

В **третьей главе** представлены результаты анализа вещественного состава объектов опробования. Установлено, что гранулометрический состав отложений характеризуется преобладанием фракции 0,1–1 мм (63–73 %), доля пылевой фракции <0,1 мм не превышает 20%. Минеральный состав отложений в значительной степени трансформирован относительно естественного геологического фона, при этом степень трансформации напрямую зависит от характера антропогенной нагрузки: максимальное сходство с природным фоном сохраняется в Качканаре, а наиболее выраженное техногенное изменение состава наблюдается в Серове и Верхней Пышме. Автором показано, что во всех городах во всех объектах опробования обнаруживаются ассоциации элементов, связанные с невыхлопными и выхлопными выбросами автотранспорта (Sb, Sn, Zn, As, Cu, Mo, Pb, Ba, Cd).

В **четвертой главе** выполнена количественная оценка степени загрязнения жилых зон. На основе восстановленных начальных геохимических условий рассчитаны индексы Кс, Zс, NPI и INPI. Автором показано, что использование кларковых концентраций или средних значений для городских почв в качестве условного фона приводит к завышению уровня загрязнения по сравнению с оценкой по локальному фону. Для каждого города выявлены специфические источники загрязнения: для Верхней Пышмы предприятие цветной металлургии (аномалия Cu, As, Sb); для Качканара пыление хвостохранилищ и карьеров горно-обогатительного комбината (аномалия Fe, V, Ti, Co, Sc); для Серова предприятия черной металлургии (аномалия Cr и Fe); в Алапаевске маркеры современного

промышленного загрязнения отсутствуют. Уровень пылевой нагрузки максимален в Качканаре (около $182 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$) и минимален в Алапаевске ($19 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{сут}$).

В пятой главе представлены результаты оценки образования и накопления пылегрязевых отложений. Запас отложений на 1 м^2 в среднем составил $1,1\text{--}1,4 \text{ кг/м}^2$ в Алапаевске, Серове и Верхней Пышме, тогда как в Качканаре это значение достигает 11 кг/м^2 , что почти в три раза превышает оценку для Екатеринбурга. С использованием разработанной модели USP установлена минимальная интенсивность образования осадка в Верхней Пышме ($0,31 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$) и максимальная в Качканаре ($0,76 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$).

В заключении сформулированы основные выводы выполненного исследования, которые вытекают из содержания работы и соответствуют поставленным задачам.

Степень достоверности результатов

Защищаемые положения и выводы диссертации основаны на вполне достаточном фактическом материале, полученном с применением современных аналитических методов (ICP-MS, рентгенофазовый и термический анализы) в аккредитованных лабораториях по аттестованным методикам. Достоверность результатов обеспечена использованием ранее обоснованных геохимических и статистических подходов, а также верификацией модельных расчетов по данным ^{137}Cs . Обоснованность научных положений подтверждается их апробацией на 9 международных и всероссийских конференциях.

Апробация работы и публикации

По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 7 статей в изданиях, индексируемых международными базами Web of Science и Scopus (из них 3 в журналах перечня ВАК РФ), а также получено 2 свидетельства о регистрации баз данных. Содержание диссертации адекватно отражено в автореферате. Работа хорошо иллюстрирована картографическими материалами и диаграммами, наглядно демонстрирующими пространственное распределение загрязнения и результаты моделирования.

К числу основных достоинств работы следует отнести:

- Репрезентативный фактический материал;
- Комплексный методический подход, объединяющий исследование гранулометрического, химического и минерального состава трех типов седиментационных объектов с последующей интеграцией данных в единую систему оценок;
- Оригинальную методическую разработку по восстановлению начальных геохимических условий с учетом корреляционных связей «элемент–минерал», позволяющую корректно отделять природную составляющую от техногенной;
- Разработку и верификацию модели осадкообразования USP, адаптированной для городских условий, что имеет как теоретическое, так и прикладное значение;
- Практическую направленность результатов;

Замечания и дискуссионные вопросы

При общей положительной оценке работы, считаю необходимым отметить следующие замечания и вопросы для научной дискуссии:

1. В работе для оценки степени загрязнения пылегрязевых отложений автор использует три типа фоновых значений: восстановленные начальные геохимические условия, кларки верхней континентальной коры (по Касимову и Власову, 2015) и средние концентрации элементов в городских почвах (по Алексеенко и Алексеенко, 2014). Автор обоснованно использует эти значения как «наиболее близкий к пылегрязевым отложениям объект», поскольку отложения частично формируются из смытого твердого материала почв (стр. 48). Однако возникает вопрос: не приводит ли использование одновременно кларков верхней континентальной коры и кларков городских почв к избыточности сравнений, учитывая, что последние уже аккумулируют техногенную составляющую и по ряду элементов (Pb, Zn, Cu, Cd) превышают кларки коры в 1,5–2 раза? Не является ли сравнение с кларками городских почв, которые сами по себе отражают уже трансформированную среду, менее

информативным для выявления именно антропогенной составляющей загрязнения пылегрязевых отложений?

2. Автором продемонстрировано, что для Ni восстановление фона по серпентину дает принципиально иную (более корректную) оценку, чем по Al. Однако для других элементов, коррелирующих с минералами (например, Cu с хлоритом в Верхней Пышме, V с магнетитом в Качканаре), автор пишет, что «попытки восстановить фоновую концентрацию через коррелирующий минерал не привели к существенному изменению рассчитываемого значения» (стр. 106). **Чем обусловлено такое различие?** Не является ли это следствием того, что серпентин имеет строго природный генезис, тогда как хлорит и магнетит могут быть связаны как с природными, так и с техногенными процессами (например, привнос пыли с карьера)? Если это так, то критерием выбора минерала для восстановления фона должно быть не только значение коэффициента корреляции, но и оценка его генезиса. **Есть ли у автора предложения по формализации такого критерия?**

3. В работе приведен обширный обзор литературы по геохимии городских сред, однако практически отсутствует системное сопоставление полученных результатов с исследованиями других малых и средних промышленных городов Уральского региона. Например, известны работы по геохимической оценке территории г. Карабаша (Челябинская область), одного из наиболее загрязненных городов Урала, где изучались атмосферные выпадения тяжелых металлов, почвы и донные отложения в зоне влияния медеплавильного производства. Не менее интересны исследования по городам Ревда, Кировград, Первоуральск и другим населенным пунктам Среднего Урала, где также изучались процессы накопления металлов в депонирующих средах. Сравнение геохимических спектров, уровней пылевой нагрузки и ассоциаций элементов-индикаторов, полученных автором для Верхней Пышмы, Качканара, Серова и Алапаевска, с данными по другим промышленным городам Урала позволило бы более полно охарактеризовать региональную специфику техногенной трансформации городской среды и оценить место исследованных городов в общем ряду уральских индустриальных центров. **Проводилось ли автором такое сравнение и если нет, то чем обусловлено ограничение сравнительного анализа только четырьмя городами Свердловской области?**

4. В работе показано (стр. 76–87, рис. 3.9–3.15), что основные токсичные элементы (Sb, Cd, Zn, Pb, Cu, Bi) концентрируются в пылевой фракции $<0,1$ мм. Однако доля этой фракции в пылегрязевых отложениях составляет всего 10–20 % (рис. 3.1), а основная масса приходится на инертную фракцию 0,1–1 мм (63–73 %). При анализе валового содержания элементов в пробе происходит «разбавление» токсикантов инертным песчаным материалом. **Рассматривался ли автором вариант расчета индексов загрязнения отдельно для фракции $<0,1$ мм, что позволило бы получить более корректную оценку экологической опасности, особенно с учетом того, что именно мелкодисперсные частицы представляют наибольший риск при ингаляционном поступлении?**

5. Разработанная модель объединяет четыре источника образования осадочного материала. Как следует из текста (стр. 144–145), верификация выполнена только для RUSLE-части модели на основе сопоставления с массой донных отложений, восстановленной по ^{137}Cs . Вклад от износа покрытий нешипованными и шипованными шинами оценен теоретически с использованием литературных данных (I-фактор, индекс SPS). **Проводилась ли какая-либо верификация итоговой оценки интенсивности образования осадка (0,31–0,76 кг/м²·год) путем сопоставления с прямыми измерениями массы накопленных пылегрязевых отложений на пробных площадках или с данными о фактическом износе дорожных покрытий в исследованных городах?** Без такой верификации модель сохраняет элемент неопределенности, и оценка остается преимущественно теоретической.

6. В работе (стр. 30) город Алапаевск характеризуется как город без современного крупного производства, используемый в качестве фонового для оценки атмосферных выпадений в моногородах. Однако по данным табл. 4.10 степень трансформации геохимических условий в Алапаевске относительно природного фона (п. Мариинск) является максимальной среди всех исследованных городов (Алапаевск > Серов > В. Пышма > Качканар). Автор убедительно показывает, что высокие концентрации Ni в Алапаевске обусловлены присутствием серпентина, что подтверждает корректность восстановления фона по минералу. **Однако не возникает ли методологического противоречия при использовании Алапаевска в качестве фонового для снежного покрова, если**

его пылегрязевые отложения демонстрируют столь значительную трансформацию геохимического фона ($Z_c = 30$)? Не целесообразнее ли было бы использовать для снежного покрова региональный фон из п. Мариинск, где ведутся многолетние наблюдения силами ФГБУ «Уральское УГМС», а не Алапаевск?

Высказанные замечания носят дискуссионный характер, не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и не ставят под сомнение ее научную и практическую значимость. Они могут быть учтены при дальнейших исследованиях и в практической деятельности.

Заключение

Диссертация Шевченко Андрея Викторовича «Индикаторы современного эколого-геохимического состояния городской среды (на примере малых городов Свердловской области)» представляет собой завершенное научное исследование, в котором решена важная научно-практическая проблема по разработке методологических подходов к эколого-геохимической оценке состояния городской среды малых и средних городов на основе современных седиментационных объектов.

Работа соответствует паспорту специальности 1.6.21 – Геоэкология (пункты 1.6 «Глобальные и региональные экологические кризисы, комплексные изменения окружающей среды, приводящие к резкому ухудшению условий жизни и хозяйственной деятельности. Геоэкологические последствия природных и техногенных катастроф»; 1.8 «Природная среда и геодинамика и ее изменения под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности человека: химическое и радиоактивное загрязнение почв, пород, поверхностных и подземных вод, сокращение их ресурсов, физические поля, изменения в криолитозоне»).

По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, объему фактического материала и обоснованности выводов диссертация полностью соответствует требованиям пп. 9–11 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским

диссертациям по специальности 1.6.21 – Геоэкология. Автор диссертации, Шевченко Андрей Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук.

Официальный оппонент:

Заведующая лабораторией биотехнологий Hi-Bio,
доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы географического факультета,
старший научный сотрудник лаборатории экологии и природопользования
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Пермский государственный национальный
исследовательский университет»

Россия, 614099, г. Пермь, ул. Букирева, д. 15

+7-919-70-99-303, aea_eco@mail.ru

Кандидат географических наук (1.6.21 Геоэкология)



Екатерина Алексеевна Дзюба

03 сентября 2026 года

Я, Дзюба Екатерина Алексеевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись

Дзюба Екатерины Алексеевны заверяю

