

**ОТЗЫВ официального оппонента  
на диссертацию на соискание ученой степени  
кандидата географических наук Сычевой Дарьи Геннадьевны  
на тему: «Тяжелые металлы и металлоиды в почвах и дорожной пыли  
городов Бурятии в зоне влияния угольных ТЭС: источники загрязнения,  
фракционирование и экологический риск»  
по специальности 1.6.12 – физическая география и биогеография,  
география почв и геохимия ландшафтов**

Сжигание ископаемого топлива угольными электростанциями приводит к выбросам значительного объема загрязняющих веществ, в частности взвешенных частиц, размером до 10 мкм (PM10) и менее, которые играют роль фазы-носителя потенциально токсичных элементов, таких как тяжелые металлы и металлоиды (ТММ). Твердотопливные теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) обеспечивают теплоснабжением и электроэнергией как промышленность, так и жилые объекты, и, как правило, размещены в пределах урбанизированных территорий. Таким образом, ТЭЦ являются значимым источником поступления в окружающую среду ТММ, которые при накоплении в депонирующих средах, таких как почвы и уличная пыль, с одной стороны, представляют экологическую опасность для компонентов городских ландшафтов, с другой, несут угрозу санитарно-эпидемиологическому благополучию населения. В целом, фокус исследований в области урбогеохимии смещен на изучение мегаполисов и крупнейших городов полиотраслевой специализации, тогда как недооценёнными остаются малые города со слабоспециализированной экономикой. Особый интерес приобретает оценка качества городской среды в уникальных природных условиях особо чувствительных регионов, таких как Байкальская природная территория. Данные обстоятельства определяют актуальность оценки геохимического состояния городов Бурятии – Улан-Удэ, Гусиноозерска и Северобайкальска – по данным о содержании ТММ в почвенном покрове, дорожной пыли и их фракции PM10, чему посвящена рассматриваемая диссертационная работа.

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы, включающего 325 источников, и изложена на 188 страницах. Полученные результаты наглядно иллюстрируют 75 рисунков и 36 таблиц.

Во введении обоснованы актуальность и новизна проведенного исследования, сформулированы его цель и задачи и обозначены положения, выносимые на защиту.

Методико-теоретическое значение имеют главы 1–3. В главе 1 изложен обзор современных представлений об угольных ТЭЦ как источниках загрязнения окружающей среды в условиях урбанизации, аргументирован выбор почвенного покрова и дорожной пыли и их фракций PM10 как индикаторов эколого-геохимического состояния городских территорий.

В главе 2 детально охарактеризованы физико-географические условия и антропогенная нагрузка в Улан-Удэ, Гусиноозерске и Северобайкальске. Также глава содержит результаты определения состава и свойств углей и зол ТЭЦ в рассматриваемых городах.

В главе 3 описаны методы полевых, лабораторных исследований и обработки полученных данных, включая расчет геохимических показателей, оценку риска для здоровья населения при воздействии ТММ, поступающих из почв, многомерный статистический анализ.

Основное содержание представлено в главах 4-6, каждая из которых завершается краткими выводами. Обоснованию первого, второго, третьего и четвертого положений посвящены глава 4, где представлены результаты определения ТММ в почвах и дорожной пыли Улан-Удэ и их обсуждение, и глава 5, в которой рассмотрены элементы в почвах Гусиноозерска и Северобайкальска. Подобная структура материала представляется допустимой, позволяет в необходимом и достаточном объеме проанализировать почвенно-геохимический фон, основные физико-химические свойства почв, уровни, пространственное распределение и факторы накопления металлов в почвах и пыли Улан-Удэ, крупного промышленного центра Республики Бурятия со сложной организационной структурой и размещением промышленности, и аналогичным образом геохимию почв малых городов Гусиноозерска и Северобайкальска. Показано, что геохимическая специализация почв и дорожной пыли Улан-Удэ обусловлена воздействием ТЭЦ, промышленности и транспорта, и проявляется в накоплении Cu, Zn, Cd, Sb, Pb. В почвах малых городов с выбросами ТЭЦ в почвы поступают преимущественно Mo, Zn, Cd, Sr, Pb (первое защищаемое положение). Установлено, что геохимические полиэлементные аномалии в почвах Улан-Удэ носят площадной характер, а ключевым фактором дифференциации уровней ТММ выступает содержание органического углерода. Загрязнение почв малых городов соотносится с интенсивностью антропогенного воздействия, а аккумуляция большинства ТММ контролируется хемосорбционным барьером в почвах Гусиноозерска и биогеохимическом органо-минеральном барьером в почвах Северобайкальска (второе защищаемое положение). Изучено фракционирование ТММ в городах Бурятии в зависимости от размерности почвенных частиц. Выявлено, что

ТММ имеют сродство с фракцией PM10 почв Улан-Удэ, тогда как в почвах малых городов подобная тенденция отсутствует. Также отмечено, что доля ТММ в частицах PM10 дорожной пыли выше, чем в почвах (третье защищаемое положение). С помощью рецепторной модели положительной матричной факторизации, разрабатываемой Агентством по охране окружающей среды США (EPA PMF 5.0), хорошо зарекомендовавшей себя для определения источников загрязняющих веществ в почвах, атмосферном воздухе, аэрозолях и взвешях, грунтовых водах и др., автором были качественно и количественно оценены потенциальные источники металлов и металлоидов в почвах и их фракциях PM10, в том числе с учетом функционального зонирования территорий. В качестве основных источников, объясняющих 67-83% дисперсии ТММ, определены сжигание угля, автотранспорт и складирование бытовых отходов, тогда как железнодорожный транспорт и промышленность имеют второстепенное значение (четвертое защищаемое положение).

Заключительная глава 6 посвящена сравнительному анализу суммарного загрязнения, экологических и санитарно-эпидемиологических рисков воздействия ТММ в почвах трех городов Бурятии. Чрезвычайно опасный и опасный уровень суммарного загрязнения почв в пределах Улан-Удэ и малых городов, соответственно, определены в почвах единичных участков, тогда как в целом селитебные и рекреационные зоны городов характеризуется допустимым загрязнением, а промышленная зона и транспортная инфраструктура – умеренно опасным загрязнением. Оценка рисков для здоровья населения показала, что в среднем, суммарный неканцерогенный риск классифицируется как средний для детей и низкий для взрослых, а суммарный канцерогенный риск не превышает допустимого уровня. Канцерогенная опасность ТММ убывает в ряду: As > Pb > Co > Ni > Cd (пятое защищаемое положение).

В заключении сформулированы основные выводы диссертации.

Анализ диссертационной работы показал, что научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы и достоверны, обеспечены обширным фактическим материалом, отвечающим требованиям массовости и однородности. Исходные данные получены с использованием общепринятых современных лабораторных методов, а их обработка и анализ выполнены с применением системы индивидуальных и суммарных геохимических и санитарно-гигиенических показателей, модели оценки риска для здоровья человека при воздействии загрязняющих веществ, пространственного, разведочного и многомерного статистического анализа. Новизна полученных результатов

состоит в формировании пространственной базы данных физико-химических свойств, содержаний широкого ряда ТММ в почвах, дорожной пыли и их мелкодисперсной фракции PM10 и производных расчётных показателей загрязнения, экологического и эпидемиологического риска потенциально опасных элементов в почвах трех городов Байкальского региона. Важным результатом работы являются выводы о природных и антропогенных факторах накопления загрязняющих веществ и источниках их поступления. Впервые в отечественной практике эколого-геохимических исследований городских почв апробирована модель EPA PMF 5.0, позволившая количественно оценить вклад отдельных источников загрязнения и их геохимический профиль. В качестве важного практического результата диссертационного исследования нельзя не отметить зонирование урбанизированных территорий по уровням риска возникновения неблагоприятных общетоксических и канцерогенных эффектов воздействия ТММ, поступающих с почвенными частицами. Полученные выводы могут быть основой для экологически обоснованного территориального и градостроительного планирования, в том числе с учетом особого статуса Байкальской природной территории.

Диссертационное исследование поддержано научными фондами. Основные положения и выводы исследования представлены на научных мероприятиях разного уровня. По теме диссертации опубликовано 14 работ, из них 5 в журналах, индексируемых Scopus, Web of Science, RSCI.

При прочтении работы возникли следующие вопросы и замечания:

1. Что автор понимает под функциональным зонированием городских территорий? Как часть территориального планирования функциональное зонирование предполагает установление типологии, количества, местоположения функциональных зон как территорий в определенных границах, предназначенных для преобладающего вида деятельности с соответствующим характером хозяйственного использования, в том числе перспективного. В этом смысле, возможно ли выделение пустырей в качестве функциональной зоны в пределах г. Гусиноозерска (рис. 14)?
2. Спорно использование обозначения CF для коэффициента концентрации вместо общепринятого Kc (стр. 62). Фактор загрязнения CF (англ. contamination factor), предложенный Ларсом Хакансоном (Hakanson, 1980), представляет собой отношение содержания металла в поверхностных отложениях к его доиндустриальному референтному значению.
3. В исследованных городах встречаются песчаные и супесчаные почвы, а также кислые почвы (таблицы 14, 24 и 25), но для санитарно-гигиенической оценки почв используются «для As, Cd, Ni, Pb, Cu, Zn – ОДК в суглинистых нейтральных почвах с pH > 5.5» (стр. 64). Отсутствуют результаты

корреляционного анализа между содержаниями поллютантов и свойствами почв (стр. 67). Чем обусловлена слабокислая реакция среды в фоновых каштановых и лугово-каштановых почвах в окрестностях Улан-Удэ?

4. В работе соотношение Са к Al служит косвенным показателем обогащения почв техногенным материалом (стр. 70–71, 107, 109), а оксиды Fe (III) и Mn выступают факторами аккумуляции ТММ в почвах (таблицы 17, 30 и 31). Однако, методы и результаты определения данных элементов не описаны.

5. Требуется уточнений оценка риска здоровью населения при воздействии тяжелых металлов и металлоидов, загрязняющих среду обитания. Формула среднесуточной дозы ADD<sub>Inhal</sub> записана с ошибкой, коэффициент пересчета CF не требуется. Значения референтных доз (RfD) и факторов канцерогенного потенциала (SF) веществ, поступающих ингаляционным и трансдермальным путем, являются расчетными величинами, но формулы в работе не приведены. Приоритетным источником первого уровня значимости для поиска RfD и SF является Интегрированная база данных с параметрами для оценки риска (англ. Integrated Risk Information System, IRIS U.S. EPA), ссылка на нее отсутствует. Пожизненные суточные дозы (LADD) ТММ для разных возрастных групп по трем путям поступления в работе не описаны, таблицы 33-35 содержат усредненные значения ADD. Для наглядности стоило представить размахи значений индексов опасности (HI и HQ) и канцерогенных рисков (ILCR и TR) в таблицах или графически. Риски опасности развития неканцерогенных и канцерогенных эффектов не могут «отсутствовать» (рис. 74), на минимальном уровне считаются незначимыми (Р 2.1.10.3968-23, таблица 6.7).

6. При описании пространственного распределения ТММ и геохимических аномалий автор использует топонимы (например, о. Конный, мкр. Матросова, п. Старый Зеленый и др.), не отмеченные на картах.

7. Почему при обсуждении результатов матричной факторизации (PMF) не рассматривается природное происхождение ТММ, а именно поступление из почвообразующих пород? На чем основано выделение в качестве источника ТММ печного отопления исключительно при анализе дорожной пыли? Согласно методике Urban Geochemical Mapping Manual (Demetriades, Birke, 2015), при выборе участков отбора необходимо избегать замусоренных нарушенных почв со слоями явно антропогенного происхождения, в этой связи вызывает сомнение обоснованность выделения бытового мусора как источника ТММ в почвах и их фракции PM<sub>10</sub>.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени

М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.12 – физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (по географическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Дарья Геннадьевна Сычева заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.12 – физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов.

Официальный оппонент:

кандидат географических наук,

старший научный сотрудник

фронтирной лаборатории «Биоинженерия ризосферы»

Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»

КОНСТАНТИНОВА Елизавета Юрьевна

«29» апреля 2025 г.

Контактные данные:

тел.: +7(982)782-37-54, e-mail: konstantliza@gmail.com

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

Адрес места работы:

344090, Ростов-на-Дону, просп. Стачки, д. 194/1,

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», фронтирная лаборатория

«Биоинженерия ризосферы» Академии биологии и биотехнологии им. Д.И.

Ивановского. Тел.: +7(863) 218-40-00 доб.11413; e-mail: kons@sfedu.ru

Подпись официального оппонента Е.Ю. Константиновой заверяю

Директор Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского

федерального государственного автономного образовательного учреждения

высшего образования «Южный федеральный университет»

К.Ш. Казеев