

ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертацию Пэн Ичжоу, представленную на соискание ученой
степени кандидата геолого-минералогических наук, на тему:
«Пороговые уровни загрязнения тяжёлыми металлами Cd, Pb и As
красноцветных грунтов по данным фитотестирования
(западная часть Сычуаньской впадины, Китай)»
по специальности 1.6.21. Геоэкология

Актуальность темы исследования и ее своевременность не вызывает сомнений. В южной части Сычуаньской впадины интенсивное сельское хозяйство в сочетании с длительным внесением пестицидов и минеральных удобрений, орошением, дренажем и поверхностным стоком сформировали устойчивый фон многокомпонентного загрязнения, в котором совместное присутствие нескольких тяжёлых металлов стало нормой. При этом действующие унифицированные нормативы качества среды недостаточно учитывают влияние состава и свойства грунт на формы нахождения металлов и характер их взаимодействия. В подобной ситуации вполне очевидно, что одних химических определений концентраций недостаточно для выявления биологически значимых порогов экологического риска для рассматриваемой территории.

Применение регионально значимых сельскохозяйственных культур в стандартизированных фитотестах и получение воспроизводимых пороговых параметров позволяет перейти от чисто концентрационного подхода в оценке качества среды к модели, ориентированной на устойчивость экосистемных функций агроландшафта. Такая биологизированная шкала порогов делает возможным более адекватную идентификацию зон риска, обоснование мер по мониторингу и управлению земельными ресурсами.

Заявленная тематика особенно релевантна для участков с выраженным наследованием свойств материнской породы, высокой аграрной нагрузкой и многокомпонентным загрязнением тяжёлыми металлами: в этих условиях предложенный подход служит методическим основанием для организации

регионально зонированного мониторинга, формирования пороговых границ и выработки практических мер экологического управления.

Структура диссертации объёмом 226 страниц и состоит из введения, 8 глав основного текста, заключения, списка литературы из 193 источников и 5 Приложений. Текст содержит 72 графические иллюстрации и 35 таблиц. Фактический материал данной работы был собран автором в течение трех лет, с 2022 по 2024 год.

Структура диссертации иерархична и отличается стройностью изложения. Названия глав и разделов сформулированы удачно. Диссертация и автореферат написаны в хорошем стиле, профессиональным языком. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

В первой главе дан обзор литературы, посвященной развитию и стандартизации фитотестирования как метода оценки загрязнения грунтов тяжелыми металлами. Освещены методические проблемы, связанные с мультикомпонентным воздействием и адаптацией к местным агрокультурам, обоснован подход к пороговой оценке загрязнения.

Во второй главе приведена характеристика условий формирования красноцветных грунтов западной части Сычуаньской впадины, описано наследование свойств материнских пород. Особый акцент сделан на контрастности содержания карбоната кальция (CaCO_3) в исследуемых грунтах.

В третьей главе описана методика отбора проб и объекты исследования. Представлены данные о минеральном составе и физико-химических свойствах грунтов, выявлены повышенные уровни содержания мышьяка (As) и кадмия (Cd). Обосновано деление выборки на группы по содержанию CaCO_3 для проведения дальнейших экспериментов.

В четвертой главе выполнена оценка современного уровня загрязнения грунтов с использованием геохимических индексов (Igeo, NPI, PERI). На основе результатов анализа источников загрязнения (методы APCs-MLR и PMF) показано доминирование аграрного фактора для

накопления As и Cd, а также влияние промышленных и ирригационно-дренажных факторов на распределение Ni и Zn.

В пятой главе приводятся результаты фитотестирования исходных образцов. Проведено сравнение показателей всхожести и раннего роста с контрольными группами, показано влияние фактического состояния грунтов на растения. С помощью многопараметрических моделей (RDA и XGBoost-SHAP) идентифицированы As, Cd и CaCO_3 как основные контролирующие факторы.

В шестой главе представлена разработанная схема порогового эксперимента и статистические критерии определения токсикологических показателей (EC_{50} , IC_{50}). Разграничены сценарии одиночного и смешанного загрязнения, описана комбинация используемых расчетных методов (TSK, VSL, TU и RGR).

В седьмой главе последовательно изложены спектры пороговых уровней для различных культур и органов растений в грунтах с разным содержанием CaCO_3 . Проанализированы «дозо-эффектные» зависимости, сопоставлены эффекты одиночного и комбинированного воздействия, отмечена более выраженная ингибирующая роль композиций, содержащих As.

В восьмой главе на основе полученных пороговых значений предложены подходы к зонированному управлению территориями и мониторингу, сформулированы рекомендации по формированию базы данных и намечены направления дальнейших исследований.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, представляется высокой. Логика исследования последовательно выстроена: от геолого-геохимической характеристики красноцветных грунтов элювия K_1c и $\text{J}_3\text{p-J}_3\text{s-J}_2\text{s}$ и анализа спектра техногенного загрязнения до фитотестирования на локальных культурах (*Brassica napus* L., *Sorghum bicolor* L.) и расчёта пороговых уровней токсичности Cd, Pb и As при

одиночном и смешанном воздействии. Использование согласованного комплекса аналитических, статистических и «дозо-эффектных» методов обеспечивает внутреннюю непротиворечивость результатов и даёт достаточные основания для формулировки выносимых на защиту положений.

Достоверность полученных результатов обеспечивается воспроизводимыми лабораторными методиками, контролем качества аналитических измерений и едиными условиями проведения всех серий фитотестов. Сходимость химических данных, биологических откликов и модельных оценок взаимодействий металлов подтверждает надёжность сделанных выводов.

Научная новизна работы состоит в формировании целостного эколого-геологического подхода к изучению поведения тяжёлых металлов в красноцветных грунтах Сычуаньской впадины: реализована комплексная идентификация природных и антропогенных источников загрязнения (APCS–MLR, PMF); предложена интегрированная схема фитотестирования с применением культур рапса и сорго в сочетании с многофакторным анализом (RDA, XGBoost–SHAP); определены пороговые концентрации EC_{150} и IC_{50} для Cd, Pb и As при одиночном и смешанном загрязнении и показана смена антагонистических взаимодействий на аддитивные и синергические при повышенных дозах; обоснована регулирующая роль $CaCO_3$ в миграции и фитотоксичности указанных металлов.

Научная и практическая значимость работы заключается в том, что на основе анализа состава и свойств красноцветных грунтов сельскохозяйственных угодий Сычуаньской впадины выделены приоритетные загрязнители и охарактеризованы их источники, а рассчитанные пороговые уровни токсичности (EC_{150} , IC_{50}) при одиночном и совместном воздействии Cd, Pb и As задают ориентиры для оценки риска угнетения локальных культур и планирования мероприятий по фиторемедиации. Использование в качестве тест-объектов широко возделываемых культур (рапс и сорго) обеспечивает прямую прикладную

интерпретацию результатов для системы агромониторинга и создаёт основу для разработки регионально адаптированных экологических нормативов. Сформированная модель миграции и биологической доступности Cd, Pb и As с учётом химико-минералогического состава и содержания CaCO_3 , а также учёт выявленных «дозо-эффектных» соотношений при совместном воздействии металлов повышают информативность прогнозов загрязнения в системе «грунт–растение» и могут быть использованы при оптимизации подходов к управлению и восстановлению территорий распространения красноцветных грунтов.

Вместе с тем оппонент считает необходимым высказать ряд замечаний.

1. Геологические различия между элювием K_1c и элювием $J_3p-J_3s-J_2s$ раскрыты недостаточно. В работе лишь констатируется различие содержаний CaCO_3 , но практически не обсуждаются седиментационная обстановка, палеоклимат и особенности тектонической эволюции, определившие эти различия. Целесообразно в разделе о составе и распространении красноцветных грунтов выделить отдельный подраздел с кратким обзором генезиса толщ K_1c и $J_3p-J_3s-J_2s$ и геологическим объяснением контраста по CaCO_3 .
2. В разделе Фактический материал нет четких указаний на то, сколько именно было отобрано образцов грунта и что это за грунты. Желательно было бы дать их описание, коль автор говорит далее (с.6 автореферата) что, основными источниками повышенного содержания Cr, Cu и Pb красноцветных грунтов являются исходные породы. Неплохо было бы привести обобщенный состав этих (исходных, материнских) пород, хотя бы по набору указанных тяжелых металлов, коль уж речь далее идет об «литолого-химической наследственности» образцов красноцветных грунтов, использованных в настоящем исследовании. Эта «унаследованность» становится еще более сомнительной, если учесть тот факт, что автором утверждается (с.12 автореферата), что в вертикальном профиле содержание Cr, Cu и Pb в

горизонтах 0–30 см и 30–60 см близко, хотя известно, что если имеется установленное унаследованное влияние геохимической специализации исходных пород, то концентрация вышеупомянутых элементов с глубиной должна увеличиваться.

3. Есть некоторые стилистические неточности, например: «Различия между верхним и нижним слоями (0–30 см) и (30–60 см) в минеральном и гранулометрическом составе, содержании основных оксидов не превышают 3 %»(С.11 автореферата) – что здесь имеется ввиду??? Тут, по-видимому, речь должна идти не о слоях, а об интервалах, поскольку в термин слои вкладывается некий генетический смысл.
4. Обоснование выбора Cd, Pb и As в качестве основных элементов исследования выглядит недостаточно строгим. В качестве критериев названы «представительность», частота превышения фонового уровня и история атмосферного поступления, но не использованы данные длительного мониторинга. Желательно привлечь материалы наблюдений и публикаций за последние 5–10 лет по территории исследования и количественно показать, почему именно Cd, Pb и As имеют приоритет по сравнению с другими металлами.
5. Репрезентативность рапса (*Brassica napus*) и сорго (*Sorghum bicolor*) для агросистемы района обоснована в основном качественно. Приведены лишь общие сведения о значении культур, без использования статистических показателей. Целесообразно дополнить описание данными за 5–10 лет о структуре посевов, площади и урожайности, чтобы количественно подтвердить выбор этих растений в качестве тест-культур.
6. Сопоставление действующих нормативов с полученными пороговыми значениями выполнено не в полной мере. Обоснованно отмечаются ограничения единых ПДК для специфических красноцветных грунтов, однако отсутствует сводное числовое сравнение китайских стандартов и рекомендаций ЕС/ВОЗ с интервалами ЕС₁₅₀ и IC₅₀, полученными в

работе. Представляется целесообразным включить таблицу или схематичное сравнение с указанием величины и направления расхождений.

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 1.6.21. Геоэкология (по геолого-минералогическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Пэн Ичжоу заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21. Геоэкология.

Официальный оппонент:

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
заведующий кафедрой урбоэкологии экологического
факультета Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Российский государственный
геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)

Лаврусевич Андрей Александрович

03.12.2025

Контактные данные:

тел.: +7(495)2282121, e-mail:

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 25.00.36 «Геоэкология» науки о Земле

Адрес места работы:

117997, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23,
ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный
университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ),
экологический факультет, кафедра урбоэкологии

Тел.: +7 (495) 255-15-10; e-mail:

Подпись сотрудника «Российского государственного геологоразведочного
университета имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) А.А.Лаврусевича
удостоверяю:

Директор по административным

дата: 03.12.2025г.

вопросам

Креку