

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук Пэн Ичжоу 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 исследований

Сычуаньская впадина, являясь одним из ведущих аграрных регионов КНР, характеризуется широким распространением красноцветных грунтов. Интенсивная сельскохозяйственная деятельность на протяжении длительного периода привела к существенному риску многокомпонентного загрязнения этих грунтов тяжёлыми металлами. Существующий национальный стандарт качества почвы (GB 15618–2018), будучи универсальным, демонстрирует ограниченную точность и эффективность при оценке уровней загрязнения специфических красноцветных грунтов Сычуаньской впадины. Традиционные химические методы анализа, хотя и обеспечивают высокую точность определения содержания загрязнителей, сопряжены со значительными финансовыми затратами, требуют высококвалифицированного персонала и продолжительного времени, а также не учитывают синергетическое воздействие многокомпонентного загрязнения. В сложившейся ситуации фитотестирование, как биологический метод, основанный на оценке ростовых и развитияных реакций растений, представляет собой перспективное направление. Центральным параметром в данном подходе являются пороговые концентрации токсичных элементов, определяющие предельно допустимый уровень их содержания, при котором растение сохраняет физиологическую целостность в конкретной среде. Для Сычуаньской впадины наиболее рациональным является определение данных пороговых показателей с использованием местных

сельскохозяйственных культур, что позволит обеспечить оперативное выявление потенциально загрязненных агроценозов и своевременное предотвращение экологических рисков.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, 8 глав, заключения, списка литературы из 193 источников, в том числе 11 фондовых, и 5 приложений. Общий объём работы составляет 226 страниц, в том числе 72 иллюстрации и 35 таблиц. Структура работы соответствует цели диссертации и поставленным задачам.

Во **введении** сформулированы цель и задачи работы, обоснована актуальность выполненного исследования, его практическая значимость и научная новизна, приводятся защищаемые положения, сведения об апробации работы и личный вклад автора.

В **первой главе** рассматривается развитие и стандартизация фитотестирования как метода биологической диагностики загрязнения тяжёлыми металлами. Подчёркивается его высокая чувствительность и комплексность по сравнению с традиционными химическими методами при оценке экологического состояния грунтов, водоёмов и отходов. Обобщены механизмы и опыт применения фитотестирования, а также процессы миграции, трансформации и токсичности металлов. Выявлены четыре ключевые проблемы в современных исследованиях: недостаточное изучение многометалльных взаимодействий, влияния свойств почвы, ограниченность выбора тест-растений и недостаток данных об их устойчивости в региональных условиях. Диссертация направлена на использование фитотестирования для оценки экологического состояния почв, анализа пороговых концентраций кадмия, свинца и мышьяка в красноцветных почвах с учётом содержания карбоната кальция, и разработку направлений для улучшения методов восстановления загрязненных территорий.

Вторая глава содержит характеристику геологического строения, условий образования, состава и основных свойств красноцветных грунтов Сычуаньской впадины.

Основные замечания по этой главе сводятся к следующему.

1. На рисунках 2.3 и 2.4 (стр. 33, 34 диссертации) масштаб выражен некорректно. Следует указывать либо численный – «Масштаб 1:20000000», либо именованный – «В 1 сантиметре 200 километров», или «1см = 200 км», либо линейный.

2. В пункте 2.1.3. Поверхностные и подземные воды *гидрогеологические условия* следовало бы проиллюстрировать либо картой, либо разрезом.

Последнее предложение пункта следует выразить правильно: «Химический состав подземных вод в пределах впадины преимущественно **гидрокарбонатный кальциевый**, со средней минерализацией менее 1 г/дм³ и рН в диапазоне 6,5–8,0».

3. Главу 2 в автореферате в части геологических условий следовало бы проиллюстрировать разрезом (для того, чтобы показать положение кор выветривания относительно разновозрастных горизонтов верхней части литосферы).

4. По мнению оппонента, в пункте 2.3.1 Минеральный и гранулометрический состав диссертации не хватает графики, точнее графического представления гранулометрического состава красноцветных грунтов.

В **третьей главе** системно анализируются репрезентативные участки отбора образцов, минеральный и гранулометрический состав красноцветных грунтов, их свойства, а также наследование состава и свойств грунтов от материнской породы и специфика текущего их загрязнения тяжёлыми металлами.

К данной главе имеется одно замечание – глава носит явно методический характер, поэтому это надо было отразить и в её названии

(не просто ...оценка показателей их состава и свойств, а методы изучения и оценка показателей...).

Четвертая глава посвящена оценке существующему уровню загрязнения тяжёлыми металлами красноцветных грунтов западной части Сычуаньской впадины и источников их загрязнения. На основе полученных результатов было сформулировано *первое защищаемое положение*.

К указанной главе имеется также одно замечание – в Таблице 4.1 – Сравнение содержания тяжёлых металлов (ТМ) в красноцветных грунтах различных исследуемых участков с материнской породой, фоновыми значениями и ПДК (GB 15618–2018) (стр. 76) значения ТМ (за исключением Cd) в грунтах пригородных участков ниже, чем в сельских и городских. Чем это обстоятельство объясняется, в тексте диссертации пояснений нет.

В **пятой главе** приводится оценка воздействия красноцветных грунтов из западной Сычуаньской впадины на начальные стадии развития рапса и сорго. Исследование проводилось с применением фитотестирования по методике ГОСТ 18763-2019. Для анализа были выбраны рапс (*Brassica napus* L.) и сорго (*Sorghum bicolor* L.) как репрезентативные и чувствительные сельскохозяйственные культуры, соответствующие международным стандартам фитотоксикологических испытаний. Для выявления основных факторов влияния на рост растений (длина ростков и корней) были использованы 15 показателей грунта (включая pH, плотность, влагоёмкость, содержание CaCO₃ и тяжёлых металлов). Применялись методы RDA и XGBoost–SHAP для построения многовариантной регрессионной модели и многофакторного анализа. Результаты обеих моделей подтвердили, что ключевыми факторами являются тяжёлые металлы Cd и As, а также CaCO₃. Мышьяк (As) показал выраженное ингибирующее действие на рост корней, в то время как кадмий (Cd) и CaCO₃ в определённых пределах оказывали стимулирующий

эффект. Также отмечена положительная корреляция между ростом растений и влагоемкостью/пористостью, и отрицательная – с плотностью грунта. Результаты исследований, изложенные в главе 5, легли в основу *второго защищаемого положения*.

Шестая глава содержит методику экспериментальной оценки пороговых уровней загрязнения тяжёлыми металлами (Cd, Pb и As) красноцветных грунтов в отношении культур рапса (*B. napus* L.) и сорго (*S. bicolor* L.). В ней приводится описание разработанного автором логически последовательного и методически обоснованного подхода к оценке токсичности тяжёлых металлов (Cd, Pb, As) в красноцветных грунтах, основанного на интеграции свойств грунта, поэтапного фитотестирования, количественного анализа загрязнения и идентификации его источников. Полученные результаты позволили установить пороговые концентрации при одиночном и смешанном загрязнении и выявить регулирующую роль CaCO_3 во взаимодействиях металл–растение.

В **седьмой главе** представлены результаты исследования пороговых концентраций кадмия, свинца и мышьяка в красноцветных грунтах, влияющих на рост рапса и сорго. Было установлено, что эти критические уровни зависят от содержания карбоната кальция в грунте. В условиях высокого содержания CaCO_3 (29%) наблюдается стимулирующий эффект низких доз кадмия на рапс, в то время как для сорго он незначителен. Свинец и мышьяк, напротив, в определённых концентрациях (свинца 100–2000 $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$, мышьяка 20–500 $\text{мг} \cdot \text{кг}^{-1}$) вызывают дозозависимое угнетение роста обеих культур. При комбинированном загрязнении токсичность возрастает, особенно в присутствии мышьяка. В почвах с низким содержанием CaCO_3 (5%) пороговые значения оказываются ниже, а негативное воздействие проявляется на более ранних стадиях развития растений.

Механизмы воздействия металлов на растения также различаются в зависимости от содержания CaCO_3 , что влияет на оценку их

фитотоксичности. При одиночном загрязнении каждый металл проявляет свою специфику, а при смешанном загрязнении происходит конкуренция ионов металлов за связывание с Ca^{2+} и CO_3^{2-} , что приводит к изменению их активности и сложным взаимодействиям с растениями.

На основе результатов исследования пороговых концентраций тяжёлых металлов в красноцветных грунтах, влияющих на рост сельскохозяйственных культур автором были сформулированы *третье* и *четвертое защищаемые положения*.

К данной главе имеется одно замечание – некорректное с применением подстрочного шрифта написание стратиграфических индексов в таблицах ($J_{3p}-J_{3s}-J_{2s}$. Правильно $J_{3p}-J_{3s}-J_{2s}$).

Восьмая глава посвящена разработке стратегии восстановления территорий распространения красноцветных грунтов, загрязнённых тяжёлыми металлами на основе выявленных пороговых значений для сельскохозяйственных культур и перспективам дальнейших исследований. Основная цель главы – разработать научно обоснованную систему управления загрязнением, которая, интегрируя результаты предыдущих исследований с новейшими достижениями в области экологического восстановления, экологической токсикологии и управления загрязнением, обеспечит как теоретическую поддержку, так и практические рекомендации для предупреждения и контроля загрязнения тяжёлыми металлами в Сычуаньской впадине и аналогичных экосистемах.

В **заключении** приводится обобщение результатов исследования, где автор формулирует основные выводы, обоснованные фактическим материалом и подтверждающие научную новизну и защищаемые положения.

Следует заметить несоответствие количества выводов в диссертационной работе (8) и в автореферате (7).

Обоснованность положений, выносимых на защиту, выводов и рекомендаций

Обоснованность положений, выносимых на защиту, а также выводов и рекомендаций, определяется методическим подходом к решению, поставленных перед работой задач, использованием современной методологии научных исследований и репрезентативностью фактографического материала.

Достоверность и научная новизна

Достоверность и научная новизна полученных результатов определяется полнотой и представительностью использованного литературного и фактического материала, полученного автором в ходе экспериментальных исследований, а также применением современных методов обработки результатов.

Научная и практическая значимость работы

1. Реализован комплексный подход к выявлению источников накопления тяжёлых металлов (Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Hg) в красноцветных грунтах с применением моделей APCS-MLR, и PMF, что обеспечило принципиально новую дифференцированную оценку вклада природных и антропогенных факторов.

2. Разработан новый комплексный подход к эколого-геологическому анализу состава и свойств красноцветных грунтов, включающий интегрированную методику фитотестирования (на основе культур *B. napus* L. и *S. bicolor* L.). В сочетании с многофакторными статистическими инструментами (RDA, XGBoost-SHAP) это позволило системно выявить и количественно подтвердить ведущую роль Cd и As в подавлении роста растений.

3. Определены пороговые концентрации (IC_{50} и EC_{150}) Cd, Pb и As при одиночном и комбинированном загрязнении красноцветных грунтов,

выявлена смена антагонистического взаимодействия металлов синергическим и аддитивным при повышенных дозах, что углубляет представления о совокупной токсичности исследуемых тяжёлых металлов и As.

4. На примере грунтов с различным содержанием карбоната кальция (29 и 5%) установлена ведущая роль CaCO_3 в снижении биодоступности и фитотоксичности Cd, Pb и As; раскрыты механизмы миграции и трансформации данных металлов в карбонат-содержащих красноцветных грунтах.

Соответствие содержанию автореферата диссертации

Содержание автореферата полностью соответствует главным положениям диссертации.

Заключение по диссертационной работе

В целом, анализ этой весьма интересной работы показывает её основные достоинства — насыщенность достоверной информацией, последовательность изложения, аргументированность, корректность выводов и представительный фактический материал, положенный в их основу. Сделанные замечания несколько не снижают высокий научный уровень рассматриваемой диссертационной работы.

Считаем, что диссертационная работа Пэн Ичжоу 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, определённым пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание

учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

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

Официальный оппонент:

доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры экологии и географии факультета химико-биологических и географических наук учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»

Галкин Александр Николаевич

26 ноября 2025 г.

Контактные данные:

тел.: +375 212 37-58-45; e-mail: info@mail-vsu.by

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

Адрес места работы:

210038, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский проспект, д. 33, учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова», факультет химико-биологических и географических наук, кафедра экологии и географии. Тел.: +375 212 37-58-45; e-mail: info@mail-vsu.by

Александр Н. Галкин уполномочен
назначен
26.11.2025