

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Иванова Фёдора Дмитриевича «Оценка эффективности индуцированной биоремедиации почв углеотвалов Восточного Донбасса»**, представленную на соискание ученой степени **кандидата биологических наук** по специальности 1.5.19. Почвоведение (биологические науки) и 1.5.15. Экология (биологические науки)

Актуальность темы диссертационного исследования. Донбасс – один из основных угольных бассейнов европейской части России, где многолетняя добыча каменных углей сопровождалась традиционно складированием отходов на дневной поверхности, что привело к загрязнению и деградации чернозёмов – наиболее плодородных почв региона.

В настоящее время чернозёмы обнаруживают уплотнение, ухудшение структуры, обуглероживание органического вещества, закисление поровых вод, усиление лессиважа, обеднение разнообразия почвенной биоты. Визуально выявляются изменения и генетического профиля, сложившегося тысячелетиями. В нём появляются новообразования, не характерные для данного типа педогенеза. На изменение химического статуса чернозёмов определённое влияние может оказывать пирит, обуславливающий сернистость местных углей. Углистые частицы, содержащие пиритную серу, обуславливают в чернозёмах повышение подвижности тяжёлых металлов, а также разложение карбонатов. Окисление пирита (сульфида железа), сопровождающееся выделением серной кислоты, ослабевает лишь при высокой щелочности, когда сульфид вытесняется в почвенный раствор. Чернозёмы такую кислотность практически не имеют, поэтому может проявляться образование сульфатов (солей серной кислоты), в том числе гипса. Однако гипс способствует биодоступности тяжёлых металлов, что угнетает развитие растений, вызывая у них солевую стрессовую реакцию, снижает их способность поглощать воду и питательные вещества.

В этой связи, декарбонитизация и огипсование чернозёмов, как и их обуглероживание, способствуют вокруг отвалов появлению разных локаций современного почвообразования, что осложняет идентификацию чернозёмов на уровне подтипа, а при вовлечении их в биологическую рекультивацию – усугубляют выбор безупречной технологии, включая традиционную фитомелиорацию, нацеленную на реализацию механизмов защиты и самовосстановления загрязнённых экосистем.

В этой связи, оценка Ивановым Фёдором Дмитриевичем эффективности современного способа биорекультивации -

интродуцированной биоремедиации, или лечения жизнью (bios – жизнь, remediatio – лечение) почвенной среды, является актуальным и своевременным. Изучение особенностей извлечения экотоксикантов корневой системой растениями разной экологии и трофической стратегии – пырея ползучего и люцерны посевной, в сочетании с применением химических хелаторов, способствующих переносу химических элементов внутрь растений, позволило диссертанту доказать *in situ* участие технологии в оздоровлении загрязнённых и химически преобразованных чернозёмов. Полученные диссертантом результаты демонстрируют целесообразность применения фиторемедиации для экранирования почвенной поверхности, формирования запаса подвижных элементов, их депонирования растениями.

Впервые Ивановым Фёдором Дмитриевичем получены сведения о вовлечения химически трансформированных чернозёмов – хемозёмов в фиторемедиацию. Полученные диссертантом новые сведения сокращают перечень открытых вопросов о предпочтительности применения тех или иных хелаторов в отношении злаковых и бобовых растений, требовательных к разной кислотности почвенного раствора. Комплексный подход к расшифровке эффективности фиторемедиации химически загрязнённого чернозёма обеспечил диссертанту выявление не только его позитивных сторон, но и ряда дискуссионных моментов. Это чрезвычайно важно при выборе способов восстановления экологического благополучия чернозёмов, испытывающих техногенные нагрузки, особенно вблизи объектов накопленного экологического вреда. Результаты диссертанта свидетельствуют о необходимости корректировки традиционных технологий.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Использование диссертантом метода метагеномики позволило диссертанту акцентировать внимание на современные подходы фиторемедиации за рубежом и в нашей стране, опробировать наиболее перспективные из них в своих исследованиях. Определение основных физико-химических свойств, содержания тяжёлых металлов в чернозёмах, пырее и люцерне, а также выявление жизнеспособных микроорганизмов основных эколого-трофических групп и быстрорастущих штаммов, выполнено по методикам, традиционно используемым в отечественном почвоведении и микробиологии, рекомендуемыми ГОСТами и другими нормативными документами. Проведение лабораторных и вегетационных опытов с фиторемедиантами, химическими хелаторами, растительным субстратом с облигатным микоризообразователем доказывает глубокое погружение диссертанта в сложную проблему и получение им убедительных положений о значимости и необходимости проведения фиторемедиации

чернозёмов. Научные положения, вынесенные на защиту, являются обоснованными, объективными для территории Ростовской области и других регионов добычи и переработки сернистых углей, например Урала. Все выводы диссертанта об улучшении химизма корнеобитаемого слоя на фоне действия фиторемедиации в большинстве случаев подтверждаются большим объемом экспериментальных данных, статистически достоверных. Они логично выстроены, хорошо аргументированы. Результаты исследований могут быть рекомендованы для дальнейшей разработки современных технологий биорекультивации в угледобывающем регионе на юге страны.

Научная новизна и практическая значимость работы. Впервые для хемозёмов Ростовской области проведен развёрнутый сравнительный анализ участников индуцированной фиторемедиации. Диссертантом получены новые сведения о взаимозависимости процессов хелатирования и транслокации тяжёлых металлов пыреем ползучим и люцерной посевной, что имеет большое значение при выборе растений для очищения почв разной степени химического загрязнения в широком диапазоне кислотности (рН=2,2 - 8,8 ед.). Результаты диссертанта доказывают, что выбранные для испытаний растения с разными эколого-трофическими характеристиками, неоднозначно реагируют на избыток тяжёлых металлов в присутствии разных химических хелаторов. Установлено, что добавка органических кислот отражается на поглощении Zn и Ni, особенно пыреем. Вероятно, на фоне закисления среды обитания снижается содержание трудно растворимых цинкатов и гидроксидов никеля, образование которых присуще при защелачивании почв. На фоне щавелевой кислоты выявлена тенденция ослабления ожидаемого эффекта в варианте с люцерной, что, возможно, связано с образованием малорастворимых оксалатов кальция и дефицитом металла для азотфиксирующего бактериального партнёра – симбионта.

Диссертантом решены поставленные задачи эффективности индуцированной фиторемедиации чернозёмов, испытывающих влияние отвалов Восточного Донбасса. Полученные новые сведения демонстрируют необходимость корректировки ассортимента химических хелаторов при использовании растений с разными экологическими стратегиями. Диссертация выполнена на стыке дисциплин, раскрывает почвенные и экологические аспекты биоремедиации. Защита работы по 2-м специальностям — почвоведению и экологии представляется обоснованной.

Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы, а также репрезентативность эмпирического материала подтверждены достоверными данными многочисленных исследований почв и их свойств. Формулирование цели и задач работы, анализ и обобщение полученных результатов

выполнены с участием научных руководителей - наставников, известных в нашей стране и за рубежом. Отбор образцов, их подготовка к анализам и выполнение последних проводились лично автором. Метаанализ и статистическая обработка экспериментальных данных – заслуга диссертанта, как и написание самой диссертации. Личный вклад автора прослеживается на всех этапах исследования - от проработки гипотезы, поиска подходов её научного воплощения и подтверждения, анализа и интерпретации полученной информации.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность, подтверждение публикаций автора. Представленная работа является завершённым научным трудом, её содержание отражает выполнение поставленных задач, выводы базируются на многочисленных экспериментальных данных, статистически достоверных. В общей сложности опубликовано 7 научных работ, в том числе журналах «белого списка». Опубликованные в 2023-2025 гг. 4 статьи по теме диссертации, входящие в международные библиографические и реферативные базы данных Scopus и Web of Science, отражают основное содержание работы, из них опубликованы в журналах первого квартиля 3 статьи. Все опубликованные статьи диссертанта тематически соответствуют биологическим наукам по почвоведению и экологии.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы, приложения. Работа изложена на 147 страницах, содержит 22 таблицы, 26 рисунков. Список литературы включает 253 источника, из них 205 на иностранных языках, и включает статьи, в которых участвует диссертант. Полученный материал апробирован на многочисленных отечественных научных платформах, в том числе международного уровня. Диссертантом обсуждены основные позиции диссертации на Всероссийских конференциях, международных школах и форумах, а также съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева.

Анализ диссертации по главам. Первая глава диссертации (стр. 10-27) представляет собой глубокий анализ современной литературы (преимущественно зарубежной) по теме исследования, в ней изложены современные представления о реакции растений и микроорганизмов на техногенное загрязнение, проявление ими защитных механизмов на присутствие избыточного содержания тяжелых металлов и металлоидов.

Во второй главе «Объекты и методы исследования» (стр. 28 - 37) приводится набор точек отбора чернозёмов, соседствующих с отвалами многотоннажных отходов угледобычи двух шахт, закрытых в начале текущего века, но испытывающих по настоящее время негативное влияние от

недропользования. В качестве контроля диссертант использует вариант заповедной территории. Методы определения физико-химических, химических и микробиологических свойств чернозёмов представлены достаточно подробно.

Глава 3 - «Методология исследований» (стр. 38 - 56) посвящена методу метаанализа микроорганизмов и описанию закладки опыта. По своей сути она частично представляет собой продолжение предыдущих глав.

В главе 4 «Техногенно нарушенные почвы углеотвалов Восточного Донбасса и их микробные сообщества (стр. 57 - 76) сообщается о физико-химическом и микробиологическом состоянии химически загрязнённых чернозёмов, обсуждается содержание $C_{\text{орг}}$, CaCO_3 , обменных катионов Ca и Mg, сухого остатка и фракций частиц, размерностью $<0,001$ и $<0,01$ мм, значения кислотности. Анализируется количество валовых и подвижных форм Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, приводятся значения суммарного показателя загрязнения почв (Zc). По результатам высева жизнеспособных микроорганизмов на питательные среды делается заключение о влиянии подвижных металлов на состав микробиоты, проявлении стратегии ускоренного роста микроорганизмов в условиях загрязнения.

Глава 5 – «Влияние хелатирующих элементов на биодоступность тяжёлых металлов и структуру микробных сообществ хемозёма» (стр. 77–91) раскрывает особенности действия хелатирующих агентов на подвижность тяжёлых металлов в хемоземе. Показаны изменения содержания валовых и подвижных форм Pb, Ni, Zn, Cu, Cd. Представлена зависимость содержания подвижных форм металлов от концентрации химических хелаторов. Проанализировано накопление металлов в побегах и корнях пырея ползучего и люцерны посевной. Выявлено наибольшее влияние лимонной кислоты на активность накопления металлов, в том числе потенциально токсичных, в растениях. Установлены реакции почвенных микроорганизмов на привнос химических хелаторов в хемозём.

В 6-й главе (стр. 92–110) изучено совместное и отдельное влияние лимонной кислоты и сухих корней плектрантуса, ранее микоризованных грибом *Glomus sp.*, на эффективность ремедиации. Проведена оценка результативности применяемых добавок (хелатор и сухой инокулят) для увеличения фитостабилизационного и фитоэкстракционного потенциала к таким высокотоксичным элементам, как Cd и Pb. Показано, что комбинация индуцирующих добавок не снижает биологическую активность чернозёма, судя по численности жизнеспособных микроорганизмов.

В целом, диссертация Иванова Ф.Д. выполнена на высоком научно-методическом уровне, хорошо иллюстрирована, выводы соответствуют поставленным задачам. Однако есть вопросы и замечания:

1. Следовало бы добавить в первую главу подглаву с обзором современного состояния чернозёмов Восточного Донбасса, поскольку диссертация направлена на исследование фиторемедиации химически загрязнённых чернозёмов. По ходу текста диссертации присутствуют отдельные характеристики, но акцент на проблему сохранения чернозёмов не только регионального, но и государственного масштаба желателен. В Главе 2 уместно было бы представить таблицу с расшифровкой точек отбора проб, их локальными особенностями, вероятно, повлиявшими на выявление крайне низкой и крайне высокой кислотности почвенной среды, а в тт. А4 и МЗ- . микробиологическими характеристиками. Точки отбора расположены вблизи друг от друга, с одной и той же стороны склона, судя по снимкам.

2. Почему диссертант не приводит данные по содержанию серы в исследованных чернозёмах? Ведь угли Донбасса содержат пирит.

3. На стр. 55 диссертант пишет об инокуляции семян посредством внесения сухой массы измельчённых корней плектрантуса, заражённых ранее микоризным грибом. Каково было исходное содержание гиф и спор в сухой массе корней? За какое время гифы и споры гломеромицета приобретали жизнедеятельность и способность к заражению корней пырея и люцерны? Какой процент заражения корней пырея и люцерны был достигнут? Для убедительности микоризообразования необходимо было проведение микроскопирования корней. Учитывая, что выбранный диссертантом микоризообразователь проявляет облигатную симбионтность, чрезвычайно важно знать, насколько быстро он мигрирует от сухих корней бывшего хозяина к новому (как пырею, так и люцерне), чтобы выжить.

5. Какая кислотность была у диссертанта после внесения химических хелаторов в корнеобитаемом слое люцерны? Почему диссертант предпочёл микоризацию вместо бактериализации в отношении люцерны?

6. Как подходил диссертант к выбору проб корней и надземной части растений для определения в них металлов? Известно, что пырей имеет корневище и корни, а также многочисленные побеги. Те и другие развиваются чрезвычайно быстро, визуализируются хорошо. Были использованы отдельные фрагменты или вся корневая система?

7. С какой целью использована «сырая» биомасса растений?

8. Почему использовались ячейки почвенных сит диаметром 3 мм?

9. На рис. 26 диссертации и на рис. 12 автореферата подписи к ним не соответствуют друг другу. Почему хемозём (в диссертации, стр.110) оказался

эмбриозёмом (в автореферате, стр. 22)? Рисунки одинаковые. Это техническая ошибка?

10. В названии диссертации и по ходу текста встречается словосочетание «почвы отвалов», что не корректно. Исследованные диссертантом чернозёмы находятся за пределами отвалов (вблизи их, у подножья и т.д.), и в них априори должен присутствовать генетический профиль. К сожалению, диссертант приводит описание генетических горизонтов лишь для фоновой почвы (Приложение А, Табл. 22). Почему отсутствует характеристика профиля загрязнённых чернозёмов и хемозёма, а также пелозёма?

11. Что является почвообразующей породой пелозёма – техногенный элювий или обнажённые горизонты генетического профиля скальпированного чернозёма? У диссертанта пелозёмы (т.т. А6-А9) развиваются за границей самого углеотвала, как показано на снимке (Рис.3, стр. 29 диссертации), у его подножья. Обычно в пелозёмах присутствует маломощный торфяной слой. Судя по расположению исследованного диссертантом пелозёма и его формированию в гидроморфных условиях, скорее всего в нём присутствует перегнойно-торфяная толща или её фрагменты. Это подтверждается и высокой заселённостью пелозёма аммонификаторами и прототрофами в отличие от хемозёма. Пелозёмы относятся к отделу слаборазвитых почв, поэтому важно понимать их происхождение в гумидной зоне в техногенном ландшафте. Необходимо было сделать почвенный разрез или хотя бы прикопку, тогда прояснилось бы происхождение почвоподобного образования. Что думает сам диссертант о происхождении пелозёма?

12. Хемозём и пелозём по количеству КОЕ микромицетов в т.т. А5 и А6 (Рис. 17 диссертации, рис.7 автореферата) схожи. Определял ли диссертант содержание гиф, спор и конидий прямым микроскопированием проб? Известно, что гифы содержат больше генетического материала, нежели споры и конидии, отчего число КОЕ на питательных средах может быть высоким из-за фрагментов жизнеспособного мицелия. Какие представители родов микромицетов преобладали на агаризованных питательных средах уже при подсчёте колоний в пробах хемозёма и пелозёма?

13. Каково будущее химически преобразованных почв? Сократится набор химически-преобразованных чернозёмов (согласно выделению таковых М.И. Герасимовой) или, выявленный тренд изменения чернозёмов при химическом загрязнении сохранится?

14. Как будет проявляться действие индуцированной биоремедиации в полевых условиях? Как повлияет возвращение подвижных элементов с

опадом люцерны в корнеобитаемый слой на продуктивность бобового растения через 2-3 года вегетации, когда продуктивность достигает наибольших значений в агроценозах? Что думает по этому поводу диссертант?

Общее заключение.

Несмотря на изложенные замечания и вопросы, диссертация Иванова Фёдора Дмитриевича является чрезвычайно интересным, ценным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком современном уровне. Автореферат диссертации достаточно полно отражает содержание диссертации. Полученный материал представляет собой фундаментальную основу для продолжения научного поиска новых подходов к спасению чернозёмов – национального богатства страны.

Диссертация Иванова Фёдора Дмитриевича на тему: «Оценка эффективности индуцированной биоремедиации почв углеотвалов Восточного Донбасса», соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней в ЮФУ» (№66-ОД от 29.03.2024 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. А ее автор, Иванов Федор Дмитриевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук специальностям 1.5.19. Почвоведение (биологические науки) и 1.5.15. Экология (биологические науки).

Официальный оппонент:

Артамонова Валентина Сергеевна, доктор биологических наук по специальности 03.00.27 – почвоведение (биологические науки), доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории рекультивации почв Института почвоведения и агрохимии СО РАН.



27 11 2025 года

Россия, 630090, Новосибирская область, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, «Институт почвоведения и агрохимии СО РАН».

Тел. +7 (913) 951-57-33, e-mail: artamonovavs@yandex.ru; soil@issa-siberia.ru



Заверяю: Зав. канцелярией


11 2025