«УТВЕРЖДАЮ»
Исполняющий обязанности директора Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», доктор географических наук

_____ Д.Н. Козлов

МП

6 октября 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», на диссертацию **Харитонова Александра Эдуардовича** «Разработка методологического подхода для определения фитотолерантности к токсическому воздействию поллютантов с использованием гидропоники как модельной среды», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.5.15 – Экология (технические науки), в диссертационный совет РХТУ.1.5.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Актуальность темы диссертационной работы Харитонова Александра Эдуардовича определяется несколькими аспектами, важными как с научной, так и с практической точки зрения. Почвы промышленных регионов Российской Федерации, прилегающие к горнодобывающим и нефтегазовым предприятиям, испытывают интенсивную техногенную нагрузку. По данным экологического мониторинга, в почвах, прилегающих к горнодобывающим предприятиям, зафиксированы систематические превышения предельно допустимых концентраций тяжелых металлов в 30 и более раз. Для нефтегазодобывающих регионов приоритетными поллютантами являются высокомолекулярные углеводороды и анионные поверхностно-активные вещества, используемые при бурении, заводнении пластов и подготовке нефти.

Установление пределов толерантности высших растений к поллютантам является важной экологической задачей. Количественные показатели фитотолерантности служат основой для организации биоиндикационного мониторинга загрязнённых территорий, а также для подбора растений на биологическом этапе рекультивации нарушенных земель. Вместе с тем, классические подходы к определению фитотолерантности имеют серьезные ограничения: они требуют длительных полевых испытаний, длящихся несколько вегетационных сезонов, а многофакторность почвенной среды не позволяет оценить реакцию растения в «чистом виде».

Предложенный автором подход, основанный на использовании гидропоники как модельной среды, введении коэффициента пересчёта «*k*» и разработке программного комплекса «*PhytoRemediator*» для автоматизированного подбора растений-фиторемедиантов, является оригинальным и комплексным. Работа соответствует приоритетным направлениям государственной политики в области экологической безопасности и восстановления нарушенных земель, закреплённым в национальном проекте «Экологическое благополучие» и федеральных программах по биологической рекультивации.

Научная новизна исследования. В ходе диссертационного исследования разработана и экспериментально обоснована методология количественной оценки фитотолерантности высших растений с использованием гидропоники как модельной среды. Методология включает стандартизированный семиэтапный протокол, регламентирующий все стадии эксперимента – от подготовки семенного материала до расчёта пределов толерантности и внесения данных в базу программного комплекса.

- Создан и запатентован оригинальный питательный раствор с микроэлементами в хелатной форме (*патент RU2808836C1*), обеспечивающий стабильность pH и повышенную биомассу тест-культур.
- Проведены пять серий вегетационных экспериментов с трёхкратной биологической повторностью, в ходе которых установлены численные значения пределов фитотолерантности для восьми видов растений по шести классам поллютантов
- Определены коэффициенты биоаккумуляции и транслокации, на основе которых проведено ранжирование видов по фиторемедиационным стратегиям.
- Введён и экспериментально обоснован коэффициент пересчёта «*k*», позволяющий переносить гидропонные данные в почвенные эквиваленты. Доказана статистически значимая корреляция (r = 0,89) между результатами, полученными в гидропонике и в почвенных условиях.
- Исследовано влияние хелатирующего агента ЭДТА на смещение предела фитотолерантности; установлено, что его добавление повышает КБА и КТ, что открывает возможности для интенсификации фитоэкстракции.
- Разработан и зарегистрирован программный комплекс «PhytoRemediator», содержащий базу данных по 150 видам растений, 11 регионам, 11 типам почв и 10 классам поллютантов.
- Подготовлены и внедрены методологические рекомендации по применению разработанного подхода для планирования биологического этапа рекультивации и организации биоиндикационного мониторинга. Получен акт о внедрении в производственном кооперативе «Модуль».

Достоверность и обоснованность результатов исследования. Автор проводил исследования в течение нескольких лет, принимая непосредственное участие в разработке методологии, проведении пяти серий вегетационных экспериментов с трёхкратной биологической повторностью, лабораторных анализах, обработке и интерпретации полученных данных. Экспериментальные исследования выполнены на сертифицированном оборудовании с использованием стандартизированных методик (ГОСТ Р 70575 – культивирование растений в гидропонных системах, ГОСТ Р ИСО 22030 – оценка фитотоксичности, ААС для определения содержания тяжёлых металлов в биомассе). Разброс значений между повторными опытами не превышал 23 %.

Статистическая обработка результатов проведена методами дисперсионного и регрессионного анализа. Полученные данные по пределам фитотолерантности для некоторых видов растений согласуются с известными литературными данными, что подтверждает их достоверность. Результаты работы опубликованы в 14 печатных работах, в том числе в журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus и GeoRef, и доложены на 20 научных мероприятиях.

Практическая и теоретическая значимость работы.

Рецензируемая диссертационная работа А.Э. Харитонова является логическим продолжением исследований в области разработки методов биологической рекультивации нарушенных земель и организации системного экологического мониторинга загрязнённых территорий. Автором разработана и внедрена методология гидропонного эксперимента, позволяющая определять пределы фитотолерантности за 14–38 суток с коэффициентом вариации 10–15 %, что в что в несколько раз быстрее традиционных почвенных методов.

Разработанный питательный раствор на хелатной основе (*патент RU2808836C1*) обеспечил прирост биомассы кресс-салата на 40±4 %, дайкона – на 42±7 % по сравнению с коммерческим аналогом GHE, а также более стабильный уровень pH (6,2±0,3 против 7,0±0,5 у GHE), что подтверждает его пригодность для токсикологических экспериментов.

Результаты систематизации количественных показателей фитотолерантности и коэффициентов пересчёта «*k*» для разных типов почв имеют практическое значение, являясь примером научно обоснованного подхода к подбору растений для биологического этапа рекультивации и организации биоиндикационного мониторинга. Разработанный программный комплекс «*PhytoRemediator*» внедрён в деятельность производственного кооператива «Модуль» (*акт о внедрении от 12.11.2025*), материалы диссертации использованы в просветительских лекциях «ПроАгро Лекторий» от ПАО «ФосАгро» и в учебном процессе кафедры ЮНЕСКО «Зелёная химия для устойчивого развития» РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Экономический анализ показал, что гидропонный скрининг (79–105 тыс. руб., 14–38 суток) в 2,4–4,9 раза быстрее почвенного метода, а фиторемедиация горчицей на 1 га (CAPEX 648 тыс. руб.) окупается за 1–2 месяца и в 6–12 раз дешевле физико-химических альтернатив.

Объем и структура работы. Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы (115 источников, из них 35 на иностранных языках) и приложений. Общий объем работы 168 страниц, основной текст содержит 98 рисунков и 29 таблиц. Приложения включают свидетельство о регистрации программы для ЭВМ, акт о внедрении и методологические рекомендации.

Общая характеристика работы. Во введении приведена актуальность, цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, защищаемые положения, степень достоверности результатов исследования и личный вклад автора. Работа была апробирована на 20 региональных, всероссийских и международных конференциях.

Первая глава является обзором литературы и нормативной базы по проблеме техногенного загрязнения почв тяжёлыми металлами, углеводородами и ПАВ. Автором проанализированы источники поступления поллютантов от горнодобывающих и нефтегазовых предприятий, механизмы фитотоксичности и адаптации растений, а также существующие методологические подходы к оценке фитотолерантности. Представленный анализ литературных данных обширен и наглядно показывает масштабы техногенного загрязнения почв России. Глава также показала преобладание у автора упрощенного механистического подхода к определению пределов фитотолерантности без учёта взаимодействий, осуществляемых в природе в системе «загрязняющее вещество-почва-растение». Во главу угла ставится изучение влияния загрязняющих веществ на растения в условиях гидропонных систем. Проблеме переноса получаемой информации на реальные природные условия уделяется слишком мало внимания. Предложенный коэффициент «*k*» видится слишком упрощенным.

Вторая глава содержит подробное описание объектов, материалов и методов исследования. Автором разработана и описана 7-этапная методология гидропонного эксперимента, включающая подготовку растительного материала, приготовление питательного раствора, формирование концентрационных рядов поллютантов, измерение морфометрических параметров, расчёт эффекта и предела фитотолерантности через уравнение Хилла, статистическую обработку и внесение данных в базу программного комплекса «*PhytoRemediator*». Введён коэффициент пересчёта «*k*» для экстраполяции гидропонных данных на почвенные условия. В рамках принятой автором парадигмы набор и дизайн проводимых экспериментов следует считать достаточным.

Третья глава является основной и содержит результаты пяти серий вегетационных экспериментов. Установлены количественные пределы фитотолерантности для восьми видов растений по шести типам поллютантов. Выявлена статистически значимая корреляция между гидропонными и почвенными данными (r = 0,89). Определены коэффициенты пересчёта «*k*» для трёх типов почв. К сожалению, в работе совершенно не рассматриваются различия в свойствах трёх изученных типов почв. Исключение составляют лишь величины pH, несомненно, имеющие важное значение на биологическую доступность ТМ, но этого совершено недостаточно.

Четвёртая глава содержит описание разработанного программного комплекса «*PhytoRemediator*», его структуры, базы данных, алгоритма работы и интерфейса. Приведены результаты апробации комплекса на производственном объекте в Удмуртской области. Разработаны методологические рекомендации по внедрению результатов диссертационной работы.

В заключении диссертации сделано 7 выводов, основанных на экспериментальных данных, обоснованных и достоверных.

Замечания по диссертационной работе. К диссертации имеется ряд замечаний:

1. Основное замечание связано с принятием автором механистического подхода к изучению фитотолерантности. В качестве положительного опыта экспериментов с гидропоникой заявляется прямое влияние всего количества загрязняющих веществ, добавленных в систему в доступной для растений форме. Это снижает варьирование результатов экспериментов по сравнению с традиционными вегетационными опытами с почвами. Однако в этом случае мы полностью теряем информацию о том, как почва влияет на биодоступность загрязняющих веществ и отрываем результаты экспериментов с гидропоникой от понимания реальной ситуации на конкретных территориях, характеризующихся своими особенностями почвенного покрова, ради чего все исследования и затевались. Расчёт коэффициента «*k*» теоретически должен решить эту проблему, однако здесь мы видим упрощённый подход, не учитывающий всех взаимодействий в системе «загрязняющее вещество-почва-растение». Хочется надеяться, что автор продолжит исследования и попытается это сделать.

2. Автор плохо знаком с методикой опытного дела, важным разделом агрохимии - это система принципов, правил и конкретных приёмов, которые обеспечивают достоверность, точность и воспроизводимость результатов исследований эффективности удобрений, мелиорантов и других агрохимических приёмов. Поэтому нельзя без удивления читать про 250-300% разброс значений в полевых и лабораторных опытах с системой «почва-растение».

Следующие замечания носят частный характер.

3. Не понятно, как при расчёте концентрации ТМ в питательном растворе автор переходил от содержания ТМ в почве (величины ПДК и ОДК) к их концентрации в жидкой фазе.

4. Не понятно, почему при расчёте концентрации ТМ в питательном растворе автор руководствовался величинами ОДК для валового содержания для кадмия, и ПДК для подвижных форм для цинка и никеля.

5. В ряде случаев внесение в питательный раствор солей ТМ сопровождалось дополнительным поступлением в систему дополнительных элементов питания (например, нитрат кадмия), что не могло не повлиять на результат определения фитотолерантости.

6. Большинство типов почв, включённых в базу данных программного комплекса «PhytoRemediator» не относятся ни к одной из известных классификаций. Совершенно непонятно, что такое «универсальная» почва.

Указанные замечания не умаляют ценность диссертационной работы, а лишь показывают сложность решаемых задач и указывают направления дальнейших исследований. Цели и задачи, поставленные диссертантом, выполнены полностью. Актуальность и значимость полученных автором результатов не вызывает сомнений. Автор лично получал материал в ходе экспериментальных исследований, анализировал полученные данные и участвовал в их обработке и публикации. Автореферат полностью соответствует структуре диссертации и отражает её содержание.

Заключение по диссертационной работе.

Диссертация Харитонова Александра Эдуардовича «Разработка методологического подхода для определения фитотолерантности к токсическому воздействию поллютантов с использованием гидропоники как модельной среды» соответствует паспорту специальности 1.5.15 – «Экология» (технические науки) и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой разработан и экспериментально обоснован методологический подход к количественной оценке фитотолерантности растений, включающий стандартизированную гидропонную процедуру, коэффициент пересчёта «*k*» и программный комплекс «*PhytoRemediator*» для автоматизированного подбора видов-фиторемедиантов и биоиндикаторов. Полученные результаты вносят значительный вклад в развитие методов биологической рекультивации нарушенных земель и организации системного экологического мониторинга загрязнённых территорий.

Содержание и структура диссертационной работы и автореферата соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (утверждённым приказом и. о. ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.09.2023 г. № 103 ОД в действующей редакции), а её автор, Харитонов Александр Эдуардович, **заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.5.15 – Экология (технические науки).**

Диссертационная работа Харитонова Александра Эдуардовича «Разработка методологического подхода для определения фитотолерантности к токсическому воздействию поллютантов с использованием гидропоники как модельной среды» и отзыв на неё рассмотрены и обсуждены на заседании отдела химии и физико-химии почв ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», протокол № 2 от 6 октября 2026 года.

Ладонин Дмитрий Вадимович,
доктор биологических наук, доцент,
заведующий отделом химии и физико-химии почв
ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт
им. В.В. Докучаева»

_____ Д.В. Ладонин
(подпись)

Адрес:119017, Москва, Пыжёвский пер., д. 7, стр. 2
Телефон: 8(495)951-50-37
E-mail: ladonin@inbox.ru

6 октября 2026 г.

Козлов Даниил Николаевич,
доктор географических наук, и.о. директора ФГБНУ
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» Д.Н. Козлов

(подпись)

МП

6 октября 2026 г.

ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»
Адрес: 119017, Москва, Пыжёвский пер., д. 7, стр. 2
Тел./факс 8(495)951-50-37
Почта: secretary@esoil.ru
Сайт: https://www.esoil.ru