ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Харитонова Александра Эдуардовича на тему «Разработка методологического подхода для определения фитотолерантности к токсическому воздействию поллютантов с использованием гидропоники как модельной среды» представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.5.15 – Экология (технические науки)

Диссертационная работа А.Э. Харитонова посвящена **актуальной задаче** – разработке методологии количественной оценки фитотолерантности растений с использованием гидропоники как модельной среды. Особый интерес представляет создание программного комплекса «*PhytoRemediator*», который интегрирует экспериментальные данные и обеспечивает автоматизированный подбор растений для конкретных условий загрязнения. Актуальность темы подтверждается необходимостью сокращения сроков и повышения точности подбора видов-фиторемедиантов при биологической рекультивации нарушенных земель.

Научная новизна диссертационного исследования определяется совокупностью оригинальных результатов, полученных впервые. Обоснован методологический подход, основанный на использовании гидропоники как стандартизированной модельной среды, устраняющей влияние неконтролируемых факторов почвенной среды и обеспечивающей воспроизводимость экспериментальных данных. Впервые в единых стандартизированных условиях получены численные значения пределов фитотолерантности ($LimP_H$) для восьми видов растений по шести типам поллютантов (Cd, Ni, Zn, Hg, анионные ПАВ, высокомолекулярные углеводороды), характерных для почв в зонах влияния горнодобывающих и нефтегазовых предприятий. Предложен и экспериментально обоснован коэффициент пересчёта «*k*», позволяющий с точностью около 75 % переносить лабораторные гидропонные данные ($LimP_H$) в почвенные эквиваленты ($LimP_S$). Установлено положительное влияние хелатирующего агента ЭДТА на смещение предела фитотолерантности высших растений к тяжёлым металлам (на 35-40 %). Разработан и зарегистрирован программный комплекс «*PhytoRemediator*» (свидетельство № 2026615895), включающий базу данных по 150 видам растений, 11 регионам РФ, 11 типам почв и 10 классам поллютантов, автоматизирующий научно обоснованный подбор растений-фиторемедиантов и биоиндикаторов на основе количественных показателей фитотолерантности.

Алгоритм работы комплекса включает шесть последовательных этапов: ввод исходных параметров (*тип среды, регион, тип почвы, концентрации поллютантов, площадь участка и глубина загрязнённого слоя*); расчёт скорректированного почвенного предела толерантности ($LimP_S = LimP \times k$); отбор видов по индексу применимости (ИП = $LimP_S$ / $C_{факт}$ × 100 %, отбор при ИП ≥ 110 %); сортировка видов по потенциалу фитоэкстракции ($P = КБА \times КТ \times Урожайность \times C_{факт}$); расчёт

параметров рекультивации *(масса поллютанта, число циклов посадки, суммарная биомасса, стоимость утилизации)*; формирование итогового отчёта в формате PDF.

Программа апробирована в производственном кооперативе «Модуль» на объекте промышленного предприятия в Удмуртской области с загрязнением почвы Cd^{2+} (5 мг/кг), Ni^{2+} (10 мг/кг), Zn^{2+} (50 мг/кг). По результатам апробации рекомендованы виды-биоиндикаторы: базилик, кресс-салат, мятлик луговой, щавель. Совпадение рекомендаций программного комплекса с независимым экспертным заключением составило не менее 75 %.

Теоретическая значимость работы состоит в обосновании гидропоники как стандартизированной модельной среды для количественной оценки фитотолерантности, а также в установлении количественных закономерностей реакции растений на поллютанты различной природы. Показано, что введение коэффициента пересчёта *«k»* позволяет разделить физиологическую чувствительность растения и почвенную специфику, что создаёт научную базу для прогнозирования состояния растительных сообществ при биоиндикационном мониторинге.

Практическая значимость подтверждается внедрением разработанной методологии и программного комплекса в деятельность ПК «Модуль» (акт о внедрении от 12.11.2025), использованием материалов диссертации в просветительских лекциях «*ПроАгро Лекторий*» от ПАО «ФосАгро» и в учебном процессе кафедры ЮНЕСКО «Зелёная химия для устойчивого развития» РХТУ им. Д.И. Менделеева в 2024–2026 учебных годах.

Достоверность полученных результатов обеспечена значительным объёмом экспериментальных данных, трёхкратной биологической повторностью экспериментов, использованием сертифицированного оборудования и стандартизированных методик. Полученные данные согласуются с общеизвестными литературными источниками.

Замечания по автореферату:

1. О выборе поллютантов. В работе исследованы четыре тяжёлых металла (Hg, Cd, Ni, Zn), тогда как база данных «*PhytoRemediator*» включает и другие поллютанты: Pb, Cu, As, Cr. Чем обусловлен выбор именно этих тяжёлых металлов для экспериментальной части?
2. О категории коэффициента $k = 1,0$. В тексте автореферата (перед таблицей 8) приведены две категории: $k > 1$ (биодоступность в почве ниже) и $k < 1$ (биодоступность в почве выше). При этом в таблице 8 присутствуют значения $k = 1,0$, для которых категория не определена. Как интерпретируется такой случай?
3. Об утилизации фитомассы. В алгоритме программного комплекса «PhytoRemediator» предусмотрен расчёт «стоимости утилизации». Какие именно предполагаются методы утилизации фитомелиорантов, накапливающих поллютанты? Особенно это актуально для растений с

большой фитомассой (дайкон, томат), поскольку возврат загрязнённой биомассы в окружающую среду свёл бы на нет эффект фиторемедиации.

4. О базе данных программного комплекса. База данных «*PhytoRemediator*» включает 150 видов растений и 10 классов поллютантов, тогда как экспериментальная часть работы выполнена для восьми видов по шести типам поллютантов. Как обеспечивается сопоставимость заимствованных из других исследований данных с собственными результатами?

Высказанные замечания не затрагивают сути защищаемых положений и не ставят под сомнение достоверность полученных результатов; они носят уточняющий характер и могут быть учтены автором в дальнейших исследованиях.

Автореферат написан научным языком, логично построен, удачно иллюстрирован и снабжён табличным материалом. Положения, выносимые на защиту, аргументированы и подтверждены экспериментальными данными. Диссертационная работа Харитонова Александра Эдуардовича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, отвечающую критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней в РХТУ им. Д.И. Менделеева. **Автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук** по специальности 1.5.15 – Экология (технические науки).

Старший преподаватель кафедры
геоэкологии, к.т.н.
Сучков Денис Вячеславович (подпись) Д.В. Сучков

«21» сентября 2026 года

Контактная информация:
Адрес: 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2
Телефон: +7 (931) 533-03-62
Электронная почта: Suchkov_DV@pers.spmi.ru МП

Организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

Подпись Д.В. Сучкова
Заверяю:
Начальник управления делопроизводства
и контроля документооборота
Е.Р. Яковлева
21.09.2026