

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Барбашева Андрея Игоревича**
на тему: «Полициклические ароматические углеводороды в системе
почва-растение техногенно-нарушенных территорий Ростовской
области», представленную на соискание ученой степени
кандидата биологических наук по специальности 1.5.19. – Почвоведение
(биологические науки)

Актуальность темы диссертационного исследования.

Представленная диссертация посвящена изучению содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почвах и поиску возможных путей ремедиации. ПАУ являются одними из приоритетных загрязняющих веществ, обладающих канцерогенными свойствами и вызывающих мутагенные, тератогенные эффекты у живых организмов. Одними из основных источников поступления ПАУ в экосистемы являются предприятия топливно-энергетического комплекса, автомобильный транспорт и пожары. В качестве объектов для исследования подобраны участки в окрестностях Новочеркасской ГРЭС и территории бывшего шламонакопителя, характеризующиеся повышенным содержанием исследуемых поллютантов. Выявление биodeградиционного потенциала микробных сообществ, скорости и закономерностей аккумуляции ПАУ в различных растениях являются крайне актуальным для возможного регулирования содержания поллютантов в почвах загрязненных территорий.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается существенным объемом лабораторных и полевых данных, четкостью методологии проведенных исследований и необходимой статистической обработкой результатов.

Научная новизна и практическая значимость работы.

Установлены закономерности накопления и трансформации ПАУ в системе почва-растение на примере двух химически загрязненных объектов.

Полученные результаты могут быть востребованы при ремедиации химически загрязненных почв широкого спектра почв Юга России. Выявлены количественные характеристики использования бактериальных деструкторов ПАУ совместно с применением биоугля.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций. Достоверность научных положений и выводов обеспечена значительным объемом аналитического материала по состоянию естественных и антропогенно-преобразованных почв, широким спектром современных методов исследования почв и растений. Модельные эксперименты содержат необходимое число повторностей. Проведено детальное сравнение полученных результатов с литературными данными.

Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы, а также репрезентативность эмпирического материала. Автором лично выполнены все этапы экспериментальных исследований, интерпретация, статистическая обработка и обобщение данных. В двух из шести основных статей диссертант является первым автором.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность, подтверждение публикаций автора. Представленная работа является завершенным научным трудом, её содержание отражает выполнение поставленных задач, выводы базируются на многочисленных экспериментальных данных, статистически достоверных. В общей сложности опубликовано 12 научных работ, в том числе шесть статей в журналах различного уровня входящих в «белый список», из них четыре в журналах, входящих в международные библиографические и реферативные базы данных Scopus и Web of Science, в которых отражено основное содержание работы. Все опубликованные статьи диссертанта тематически соответствуют биологическим наукам по почвоведению.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, выводов, списка литературы. Работа изложена на 157 страницах печатного текста, содержит 15 таблиц, 19 рисунков. Список

литературы включает 285 источников, в том числе 241 на иностранном языке.

Анализ диссертации по главам. Глава 1 (обзор литературы) состоит из пяти сгруппированных подразделов. Автором подробно описаны полициклические ароматические углеводороды как класс приоритетных органических загрязнителей, проведен детальный анализ источников поступления ПАУ в окружающую среду, химические и физические свойства индивидуальных соединений. Проанализированы основные методы определения ПАУ в почвах и растениях, рассмотрены их преимущества и недостатки. Оценены примеры применения биоугля для рекультивации загрязненных почв, раскрыты особенности микробиомов, приводящих к деструкции ПАУ.

Вторая глава посвящена объектам и методам исследования. В **подразделе 2.1** подробно описаны полевые объекты исследования. Охарактеризованы уровни современного загрязнения, приведено расположение точек отбора образцов и базовые характеристики исследуемых почв. Подробно описан модельный эксперимент, применяемые биоуголь, растения и штаммы микроорганизмов.

Подраздел 2.2 посвящен анализу методов исследования. В нем представлены методики извлечения ПАУ, используемые в работе. Продемонстрированы преимущества использования реактора с применением воды в субкритичном состоянии для экстрагирования ПАУ из анализируемых проб. Показано, что детектирование 12 ПАУ осуществляли на системе высокоэффективной жидкостной хроматографии, оснащенной флуориметрическим детектором. В отдельном подразделе описаны методы экстракции ДНК и методы биоинформационной обработки результатов секвенирования. Детально описаны условия получения биочара из лузги подсолнечника. Раскрыты его физические и химические свойства. Подробно описаны методы контроля морфолого-физиологических характеристик и функциональной активности фотосинтетического аппарата модельных видов

растений, используемых в работе. Приведены используемые коэффициенты и подходы к статистической обработке результатов.

Третья глава содержит полученные результаты и их обсуждение. Глава состоит из трех основных подразделов. **Первый подраздел третьей главы** содержит результаты содержания ПАУ в почвах и растениях исследуемых техногенно-загрязненных ландшафтов. В разделе проанализированы коэффициенты накопления растениями двенадцати ПАУ. Представлены результаты акропетального коэффициента ПАУ различными видами растений импактной зоны НчГРЭС и бывшего шламонакопителя. На основании полученных результатов автором выведено уравнение, описывающее изменение содержания ПАУ от липофильности молекул и его содержания в почве.

Второй подраздел третьей главы посвящен оценке способности микроорганизмов к разложению высокотоксичных органических соединений. Показано, что бактериальный комплекс играет важную роль в процессах самоочищения экосистем от ПАУ. Представлены результаты метагеномного скрининга генов четырех образцов почв техногенно-загрязненных и условно-фоновых ландшафтов. Полученные результаты позволили автору выявить, что гены/опероны катаболизма ПАУ исследуемых почв представлены схожим распределением по количеству прочтений с доминированием трех родов микроорганизмов. Показано, что сообщества химически загрязненных почв характеризуются высоким микробным разнообразием. Продемонстрировано, что количество генов катаболизма ПАУ сопоставимо во всех исследованных пробах, независимо от уровня техногенной нагрузки.

Раздел 3.3 содержит результаты модельного эксперимента. Результаты, полученные в ходе эксперимента, убедительно показывают, что интродукция штаммов бактерий-деструкторов ПАУ обеспечивает эффективную деградацию данных соединений. При этом максимальное снижение наблюдалось при совместном применении бактериального консорциума и биочара, сокращая период полураспада БаП в 19 раз по сравнению с

естественным ходом разложения. На основании анализа коэффициентов накопления показано наличие у растений эффективных физиолого-биохимических барьерных механизмов, ограничивающих поступление ПАУ из почвы в корневую систему. Выявлено, что загрязнение оказывает существенное влияние на длину корней и длину стебля ячменя. Продemonстрировано, что такой показатель, как квантовый выход системы, может являться чувствительным индикатором токсического воздействия ПАУ. Автором выявлено, что при внесении в загрязненную почву внешних бактериальных штаммов-деструкторов наблюдается снижение численности микромицетов по сравнению с вариантом без ремедиации. Показано, что индуцированные штаммы обладают конкурентным преимуществом перед аборигенной микробиотой в присутствии загрязнения ПАУ и оказывают положительное влияние на процесс биоремедиации.

Выводы вытекают из данных экспериментальных исследований, достаточно обоснованы. Представленный материал статистически грамотно обработан. Защищаемые положения и выводы подкреплены значительным аналитическим материалом.

При этом к работе имеются некоторые вопросы и замечания:

1. В работе отсутствуют морфологические описания почв. Можно лишь догадываться, какие горизонты почв исследовали. Неясно, насколько верхние горизонты хемоземов отличаются от почв условно-фоновых ландшафтов по морфологическим свойствам. В работе отсутствует описание методов определения базовых свойств почв (кислотность, гумус, гранулометрический состав).
2. Одним из основных критериев выделения горизонта AU для черноземов является содержание гумуса 7–12 % (КиДПР, 2004). В таблице 1 содержание почти во всех пробах меньше 4,7 %. Вероятно, данный факт требует дополнительного обсуждения.

3. Следовало бы более детально обосновать дозы биоугля (5 %) и дозы бактерий 10^{10} КОЕ/кг, а также срок инкубации 35 суток, используемые в модельном эксперименте.
4. Известно, что угли сами по себе содержат значительное количество ПАУ. Определяли ли содержание ПАУ в биочаре? Учитывали ли данный факт в работе?
5. Неясным остается механизм, приводящий к уменьшению ПАУ в модельном эксперименте при внесении биочара. Каков был размер углистых частиц, вносимых в модельном эксперименте? Удаляли ли углистые частицы при анализе образцов почв при завершении модельного эксперимента (рисунки 13 и 14 диссертации)? Если почвенный образец по окончании эксперимента включал в себя и биоуголь, то необходимо объяснение уменьшения ПАУ по сравнению с контрольным вариантом эксперимента.
6. Из работы неясно, как проходила отмывка корней от почвы при подготовке их к анализу. Уточните, как учитывали ПАУ, находящиеся на поверхности растений?
7. Можно ли на основании данных, полученных соискателем, а также с учетом биомассы растений и скорости их роста предположить, какие из анализируемых растений могут быть рекомендованы для фиторемедиации загрязненных территорий?

Общее заключение. Диссертация Барбашева А.И. является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные результаты, выводы и защищаемые положения научно обоснованы, подтверждены значительным аналитическим материалом. Поставленные задачи решены, цель достигнута, работа прошла успешную апробацию на многих международных и всероссийских конференциях. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Результаты работы вносят существенный вклад в понимание представлений о поведении ПАУ в системе почва-растение и ремедиации почв техногенно-нарушенных территорий.

Диссертационная работа и автореферат Барбашева Андрея Игоревича на тему: «Полициклические ароматические углеводороды в системе почва-растение техногенно-нарушенных территорий Ростовской области» отвечают требованиям «Положения о присуждении ученых степеней в ЮФУ» (№32-ОД от 27.02.2026 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. А ее автор, Барбашев Андрей Игоревич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук специальности 1.5.19. Почвоведение (биологические науки).

Официальный оппонент:

Дымов Алексей Александрович – доктор биологических наук (03.02.13 – Почвоведение (биологические науки), 03.02.08 – Экология (биологические науки)), доцент (03.02.08 – Экология (биологические науки)), Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), ведущий научный сотрудник
тел: 8(8212)-24-51-15, e-mail: dymov@ib.komisc.ru, <https://ib.komisc.ru>
Адрес места работы:

167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая д. 28,

Тел: 8(8212)-24-51-15, e-mail: dymov@ib.komisc.ru

Дымов Алексей Александрович

10.08. 2026

