

АННОТАЦИЯ

к диссертационной работе Хожанепесовой Фаризы Мусабековны на тему «Разработка метода очистки нефтезагрязненных почв адсорбционно-иммобилизованными микроорганизмами-деструкторами», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 6D05201 (6D060800) - «Экология»

Оценка современного состояния решаемой научной или научно-технологической проблемы

Стратегия Республики Казахстан по вхождению в число 30 наиболее развитых стран мира тесно связана с переходом к «зеленой экономике». В этом направлении приоритетными задачами являются восстановление загрязненных территорий и эффективное управление производственными отходами. Интенсивное развитие нефтегазовой отрасли, особенно в Западно-Казахстанской и Мангистауской областях, приводит к масштабному нефтяному загрязнению почв. В указанных регионах аридный климат, высокая засоленность и низкая биологическая активность затрудняют восстановление почв. Хотя в мировой практике для иммобилизации микроорганизмов применяются различные носители, использование агропромышленных растительных отходов и их эффективность в засушливых регионах недостаточно изучены, что определяет актуальность научных исследований в данном направлении.

Основа и исходные данные для разработки темы

Основой для разработки темы диссертационной работы послужила актуальность вопросов обеспечения экологической безопасности Республики Казахстан, охраны природной среды нефтегазодобывающих регионов и восстановления нефтезагрязненных почв. Интенсивное развитие нефтедобычи в западных регионах Казахстана, особенно в Мангистауской области, приводит к увеличению уровня загрязнения почвенного покрова нефтяными углеводородами, что вызывает деградацию экосистем и усиление техногенной нагрузки.

Тема исследования выбрана в соответствии с приоритетами научно-технического развития Республики Казахстан, концепцией перехода к «зеленой экономике», а также государственными программами в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Кроме того, в качестве исходных источников исследования использовались результаты лабораторных экспериментов, проведенных автором в предыдущие годы, данные микробиологического, физико-химического и аналитического анализа, а также материалы, полученные в рамках научно-исследовательского проекта (ИРН AP25796069) в рамках программы «Молодой ученый» РК.

Таким образом, тема диссертационной работы вытекает из конкретных экологических проблем, разработана на основе современных научных данных и экспериментальных результатов, и ее научная и практическая значимость полностью обоснована исходными данными.

Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы

В настоящее время интенсивное развитие нефтегазовой промышленности, особенно в западных регионах Казахстана, в том числе в Мангистауской области, приводит к масштабному загрязнению почв нефтяными углеводородами. Нефтяные углеводороды нарушают физико-химические и биологические свойства почв, ограничивая естественное восстановление экосистем. Высокая стоимость традиционных физико-химических методов очистки нефтезагрязненных почв, их экологические риски и низкая эффективность в условиях аридного климата обуславливают необходимость развития экологически безопасных методов биоремедиации.

В последние годы использование углеводородокисляющих микроорганизмов рассматривается как эффективный метод, однако низкая устойчивость свободных клеток к неблагоприятным экологическим факторам ограничивает их практическое применение. В связи с этим совершенствование методов иммобилизации микроорганизмов на носителях является актуальной научной задачей. Литературные данные указывают на ряд недостатков минеральных носителей, что требует поиска дешевых, доступных и экологически чистых альтернативных носителей.

В этом контексте использование растительных носителей на основе агропромышленных отходов является актуальным с научной и практической точки зрения. Их возможности в повышении жизнеспособности микроорганизмов и эффективности биodeградации в условиях аридного климата недостаточно изучены. Поэтому подходы основаны на разработке технологий биоремедиации нефтезагрязненных почв путем иммобилизации углеводородокисляющих микроорганизмов на растительных носителях.

Научная новизна

В ходе диссертационного исследования были получены следующие научные результаты, определяющие его научную новизну:

- Впервые в стандартных лабораторных условиях (25-28°C, pH 7,0-7,5) сравнивалась эффективность биodeградации консорциума *Dietzia maris* 22k и *Rhodococcus erythropolis* AT7, иммобилизованного на минеральные (цеолит, керамзит) и агропромышленные отходы (гречневая и рисовая шелуха), и было обнаружено 1,3-4,7-кратное преимущество органических носителей (гречневая шелуха 58,4%, рисовая шелуха 52,1% относительно цеолита 42%, керамзита 23%).

- На основе адсорбционной иммобилизации и объединения местных агропромышленных отходов разработан метод биоремедиации нефтезагрязненных почв, адаптированных к аридным условиям Мангистауской области. В методе гречневые и рисовые шелухи в качестве носителей были исследованы относительно, в результате чего гречневая

шелуха была определена как оптимальный носитель (целлюлоза 20-27%, лигнин 8-15%, рутин $\geq 28,0$ мг/100 г; эффективность иммобилизации 92,3%, плотность прикрепления $3,2 \pm 0,4 \times 10^6$ × клеток/см²). Эффективность метода была подтверждена в полевых испытаниях: биопрепарат на основе гречневой шелухи показал эффективность деградации 94,0% ТМП. Разница в лабораторных (58,4%) и полевых (94,0%) результатах обусловлена синергизмом с местной микрофлорой, суточными колебаниями температуры и устаревшим составом полевой нефти.

- Обоснована роль рутина (28,8 мг/100 г) в защите микроорганизмов в гречневой шелухе. Гречневая шелуха преобладала над рисовой шелухой во всех исследованных случаях: в стандартных условиях 58,4% против 52,1%, при оптимальной температуре при высокой солености (+32°C, 10% NaCl) 75,0% против 35,0%, при комбинированном стрессе (+42°C, 10% NaCl) 54,0% против 38,4%. Однако по мере усиления экстремальных условий степень доминирования гречихи снижается: в 2,1 раза при +32°C и в 1,4 раза при +42°C разница, что указывает на то, что рутин имеет предел антиоксидантной защитной способности. В полевых испытаниях (+22-28°C) подтверждено преобладание гречневой шелухи: 94,0% против 57,9% (в 1,6 раза).

Основные положения, выносимые на защиту:

- В результате сравнительного исследования иммобилизации консорциума *Dietzia maris* 22K и *Rhodococcus erythropolis* AT7 на минеральных (цеолит, керамзит) и органических (гречишная и рисовая шелуха) носителях установлено, что эффективность биодеградации нефтяных углеводородов на органических носителях в 1,3-4,7 раза выше, чем на минеральных: гречишная шелуха — 58,4%, рисовая шелуха — 52,1%, цеолит — 42%, керамзит — 23% (стандартные условия: 25-28°C, pH 7,0-7,5).

- Разработан метод биоремедиации нефтезагрязненных почв, основанный на использовании местных агропромышленных отходов в качестве носителей для адсорбционной иммобилизации. Гречишная шелуха обоснована как оптимальный носитель: содержание целлюлозы 20-27%, лигнина 8-15%, эффективность иммобилизации 92,3%, плотность закрепления $3,2 \pm 0,4 \times 10^6$ КОЕ/см². Деградация соответствует кинетике первого порядка ($R^2 > 0,95$, $k = 0,0187$ сут⁻¹). Эффективность метода подтверждена в полевых условиях Мангистауской области — деградация общих нефтепродуктов достигла 94,0%.

- Экспериментально доказана роль рутина (28,8 мг/100г) в гречишной шелухе в защите микроорганизмов от абиотического стресса. Эффективность биодеградации гречишной шелухи превосходила рисовую шелуху во всех исследованных условиях: в стандартных условиях в 1,1 раза (58,4% и 52,1%), при повышенной температуре и солености (+32°C, 10% NaCl) в 2,1 раза (75,0% и 35,0%), при комбинированном стрессе (+42°C, 10% NaCl) в 1,4 раза (54,0% и 38,4%). Показано, что при усилении экстремальных условий антиоксидантная защитная способность рутина имеет ограничения.

Практическая значимость работы

Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, вносят значительный вклад в развитие теоретических и методологических основ метода биоремедиации нефтезагрязненных почв.

В ходе исследования получены новые научные знания о механизмах адсорбционной иммобилизации микроорганизмов на растительных материалах, закономерностях влияния абиотических факторов аридного климата (высокая температура, засоленность) на активность иммобилизованных биодеструкторов, кинетических закономерностях биодеградации нефтяных углеводородов в нефтезагрязненных почвах, а также условно-зависимом влиянии биохимического состава растительных носителей (рутин, лигнин) на микробную активность.

Результаты диссертационного исследования могут стать теоретической и методологической основой для постановки новых фундаментальных и прикладных исследовательских задач в области использования агропромышленных отходов, разработки инновационных методов биоремедиации и реализации принципов перехода к «зеленой экономике».

Разработанный метод может быть применен в нефтедобывающих регионах Западного Казахстана (Мангистауская, Атырауская области) для очистки нефтезагрязненных почв, промышленных площадок, шламонакопителей, а также для ликвидации последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Экономическая эффективность метода составляет 30-40% по сравнению с традиционными физико-химическими методами за счет использования доступного растительного сырья (рисовая и нутовая шелуха) и отсутствия необходимости в дорогостоящем оборудовании.

По разработанному методу подана заявка на получение патента на полезную модель Республики Казахстан, что подтверждает инновационный характер метода и возможность его применения в промышленности.

Материалы диссертационной работы могут быть использованы в высших учебных заведениях при подготовке студентов по специальностям «Экология», «Биотехнология», «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», а также при обучении экологических работников нефтегазовых компаний.

Личный вклад автора

Автор определил задачи исследования биоремедиации нефтезагрязненных почв (Мангистауская область), отобрал образцы проб, провел лабораторные микробиологические и физико-химические анализы. Выполнил экспериментальные работы по иммобилизации микроорганизмов на растительных носителях, определению оптимальных параметров и изучению кинетики биодеградации. Провел статистический анализ и комплексное обобщение полученных результатов.

Апробация работы

Результаты исследования были доложены и обсуждены на следующих международных научно-практических конференциях: Международная

научно-практическая конференция «Современная наука: новые подходы и актуальные исследования» (Modern science: New approaches and actual studies), диплом 3-й степени за участие в конкурсе «Лучшая научная работа» в секции «Биологические науки»; 21 апреля 2020 года, Прага, Чехия; XVI Республиканская научно-практическая конференция студентов, магистрантов, PhD докторантов «Молодежь, наука и инновации»; 9 апреля 2020 года, Актобе; Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Мир Фараби»; 6-9 апреля 2020 года, Алматы; Международный научно-образовательный форум «Каспийский регион на стыке эпох и культур: проблемы и перспективы парадигмы устойчивого развития», 22-26 сентября 2025 года, Актау; принята статья на 16-ю Международную конференцию «Будущая окружающая среда и энергетика» (ICFEE 2026), 6-8 марта 2026 года, Фукуока, Япония (будет опубликована в издании E3S Web of Conferences, индексируемом Scopus).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе: 3 статьи в журналах, рекомендованных КНМОН МНиВО РК, 2 публикации в журналах, входящих в базу данных Scopus. Остальные статьи опубликованы в сборниках международных научных и научно-практических конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, 194 списков использованной литературы и приложений. Общий объем работы состоит из 27 таблиц и 125 страниц, включая 15 рисунков.

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Экология и безопасность жизнедеятельности» Каспийского университета технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова.