

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О. А. Байконурова

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

Пак Александра Евгеньевна

Исследование методов биоремедиации для восстановления земель, загрязненных
нефтепродуктами

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B05206– Инженерная экология

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О. А. Байконурова

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНITU им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующая кафедрой
«Химические процессы и
промышленная экология»
Канд. техн. наук, доцент
Ш. Н. Кубекова
«05» 06 2025г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Исследование методов биоремедиации для восстановления земель, загрязненных
нефтепродуктами»

6B05206– Инженерная экология

Выполнила:



Пак А.Е.

Рецензент
Канд. техн. наук,
ассоциированный профессор
Ажиева Г. И.
«05» 06 2025 г.

Научный руководитель
ДВА, старший преподаватель
кафедры «Химические
процессы и промышленная
экология»
Кезембаева Г. Б.
«04» 06 2025 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О. А. Байконурова

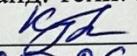
Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

6B05206 – Инженерная экология

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой
«Химические процессы и
промышленная экология»

Канд. техн. наук, доцент

 Ш. Н. Кубекова
«05» 06 2025г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающейся Пак Александре Евгеньевне

Тема: «Исследование методов биоремедиации для восстановления земель, загрязненных нефтепродуктами»

Утверждена приказом Проректора по академическим вопросам № 16-П/0 от "29" 01 2025 г.
Срок сдачи законченной работы «03» июня 2025г.

Исходные данные к дипломной работе: экспериментальные образцы нефтезагрязненной почвы, протоколы лабораторных анализов, состав биопрепаратов

Краткое содержание дипломной работы: исследование метода биоремедиации

а) Анализ существующих методов очистки

б) Анализ результатов очистки

в) Проведение лабораторного эксперимента

г) Расчет экономической целесообразности применения технологии

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):
представлены 10 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 13 наименований учебных материалов

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

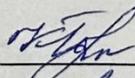
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение, обоснование актуальности, цели и задач	05.03.2025	Выполнено
Проведение лабораторного эксперимента	04.04.2025	Выполнено
Обработка результатов	21.04.2025	Выполнено
Расчет экономической эффективности	12.05.2025	Выполнено
Оформление главы заключения	26.06.2025	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу суказанием относящихся к ним разделов работы

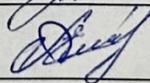
Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтроль	Кезембаева Г. Б., ДВА, старший преподаватель	03.06.25.	

Научный руководитель _____



Кезембаева Г. Б.

Задание приняла к исполнению обучающаяся _____



Пак А. Е.

Дата

" 19 " января 2025г.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс мұнай өнімдерімен ластанған топырақтың биоремедиациясының тиімділігін бағалауға арналған. 45 бетте кіріспе, төрт бөлім, Қорытынды, 13 дереккөз, 9 кесте, 18 сурет және 2 қосымша бар.

Тақырыптың өзектілігі бұзылған жерлерді қалпына келтіру үшін экологиялық және экономикалық негізделген шешімдерді енгізу қажеттілігімен байланысты. Микроорганизмдер мен биоактивті заттарды қолдануға ерекше назар аударылады.

Эксперимент Bio-Solv d-Medium және цианобактерияларды қолдану арқылы ең жақсы нәтижелерге қол жеткізілгенін көрсетті. 1 га тазарту шығындарын есептеу бұл әдіс шығындарды 47,28 млн теңгеге дейін төмендетуге мүмкіндік беретіндігін көрсетті.

Ұсынылған технология экологиялық таза, тиімді және экономикалық тиімді, бұл оны Қазақстанда және мұнай-газ өнеркәсібі бар басқа елдерде қолдану үшін перспективалы етеді.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена оценке эффективности биоремедиации почв, загрязнённых нефтепродуктами. На 45 страницах представлены введение, четыре раздела, заключение, 13 источников, 9 таблиц, 18 рисунков и 2 приложения.

Актуальность темы обусловлена необходимостью внедрения экологически и экономически обоснованных решений для восстановления нарушенных земель. Особое внимание уделено использованию микроорганизмов и биоактивных веществ.

Эксперимент показал, что наилучшие результаты достигнуты при использовании Bio-Solv D-Medium и цианобактерий. Расчёт затрат на очистку 1 га показал, что метод позволяет снизить расходы до 47,28 млн тг.

Предложенная технология экологична, эффективна и экономически выгодна, что делает её перспективной для применения в Казахстане и других странах с нефтегазовой промышленностью.

ANNOTATION

The thesis is devoted to evaluating the effectiveness of bioremediation of soils contaminated with petroleum products. The 45 pages contain an introduction, four sections, a conclusion, 13 sources, 9 tables, 18 figures and 2 appendices.

The relevance of the topic is due to the need to introduce environmentally and economically sound solutions for the restoration of disturbed lands. Special attention is paid to the use of microorganisms and bioactive substances.

The experiment showed that the best results were achieved using Bio-Solv D-Medium and cyanobacteria. The calculation of the cost of cleaning 1 ha showed that the method reduces costs to 47.28 million tenge.

The proposed technology is environmentally friendly, efficient and economically beneficial, which makes it promising for use in Kazakhstan and other countries with the oil and gas industry.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Теоретические основы загрязнения почв нефтепродуктами и биоремедиации	8
1.1 Источники загрязнения и масштабы проблемы	8
1.2 Влияние нефтепродуктов на почвенные экосистемы	9
1.3 Почвенные микроорганизмы: чувствительность и адаптация к загрязнению нефтепродуктами	11
1.4 Биоремедиация и методы биоремедиации нефтезагрязнённых почв	13
2 Экспериментальное исследование биоремедиации почвы, загрязненной нефтепродуктами.	20
2.1 Цель исследования	20
2.2 Объект и предмет исследования	21
2.3 Характеристика исследуемого объекта	23
2.4 Методика проведения эксперимента	24
2.5 Используемые препараты и их дозировка	25
2.6 Распределение препаратов по дням эксперимента	29
2.7 Результаты исследования и их анализ	36
3 Экономическая оценка эффективности применения биоремедиации для восстановления нефтезагрязнённой почвы	39
3.1 Обоснование необходимости экономической оценки	39
3.2 Расчёт затрат на биоремедиацию загрязнённого участка (1 га)	39
3.3 Сравнение с альтернативными методами	42
3.4 Анализ экономической целесообразности применения биоремедиации	42
3.5 Итоговая оценка экономической эффективности	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	46
Приложение А	47
Приложение Б	48

ВВЕДЕНИЕ

Рост промышленного производства, особенно в нефтегазовом секторе, приводит к усилению антропогенного влияния на природные системы. Одной из наиболее острых экологических проблем остаётся загрязнение почв, влекущее за собой ухудшение структуры грунта, снижение его плодородия и возникновение рисков для здоровья человека и окружающей среды.

Причинами загрязнения часто становятся аварии, неправильное обращение с отходами и утечки при транспортировке сырья. Проникая в почву, нефтепродукты нарушают её естественные характеристики, подавляют микробиологическую активность и затрудняют восстановление растительности.

В качестве экологически щадящего решения активно применяется биоремедиация — метод, при котором с загрязнением борются с помощью микроорганизмов и растений. Этот подход способствует восстановлению почвы без выемки или разрушения её структуры, обладает низкой затратностью и соответствует принципам устойчивого природопользования.

Цель данного исследования определить результативность различных биологических подходов к очистке почв, загрязнённых нефтепродуктами, на основе проведённого эксперимента. В рамках практической части были выполнены работы по подготовке и загрязнению почвенного материала, применению выбранной технологии биологической очистки, а также проведён анализ изменений в характеристиках и составе исследуемой среды.

Объектом исследования выступает почва, подвергшаяся воздействию нефтепродуктов, а предметом – биологические процессы, протекающие в ходе её очистки с использованием методов биоремедиации.

Актуальность исследования заключается в растущей потребности в экологически безопасных и научно обоснованных методах восстановления почв, подвергшихся нефтезагрязнению. Разработка таких подходов способствует снижению последствий промышленного воздействия и может быть использована при формировании практических мер по оздоровлению деградированных земель. Согласно статье 139 Экологического кодекса Республики Казахстан, предусмотрено составление программ по ремедиации почв, и предложенное в работе решение полностью соответствует требованиям по внедрению таких программ [1].

Задачи:

- 1) Исследовать этапы проведения биоремедиации нефтезагрязнённых почв;
- 2) Разработка плана проведения эксперимента;
- 3) Проведение мониторинга изменений состояния почвы;
- 4) Рассмотреть экономическую оценку эффективности;
- 5) Анализ эффективности выбранной методики биоремедиации.

1 Теоретические основы загрязнения почв нефтепродуктами и биоремедиации

1.1 Источники загрязнения и масштабы проблемы

Почвы являются одной из наиболее уязвимых составляющих природной среды в условиях интенсивной техногенной деятельности человека. Особенно остро проблема загрязнения стоит в регионах, где активно развиты отрасли нефтедобычи, переработки и транспортировки углеводородного сырья. Наиболее типичными путями попадания нефтепродуктов в почвенный слой выступают: аварийные утечки на магистральных трубопроводах, проливы при перекачке топлива, несанкционированные сливные участки, а также просачивание нефтесодержащих жидкостей через технические неполадки в резервуарах для хранения.

Подобные случаи особенно часто фиксируются вблизи крупных нефтяных объектов, где уровень контроля за состоянием оборудования зачастую оказывается недостаточным, а степень износа технологических систем — высокой. Это способствует возникновению разливов, способных охватывать обширные территории. Помимо единичных катастрофических инцидентов, значительный вклад в общее загрязнение вносят постоянные, малозаметные на первый взгляд утечки, которые в совокупности приводят к постепенному и устойчивому накоплению нефтепродуктов в верхнем гумусовом горизонте почвы.

Значительная часть подобных загрязнений наблюдается и в пределах урбанизированных территорий. Это, прежде всего, автозаправочные комплексы, зоны технического обслуживания транспортных средств, железнодорожные узлы и логистические терминалы, где осуществляется разгрузка, хранение и перекачка топлива. Даже при соблюдении действующих санитарных регламентов, наличие улавливающих систем и герметичных ёмкостей не исключает возможность утечек, особенно при интенсивной эксплуатации.

По оценкам различных экспертных и природоохранных организаций, масштабы загрязнения земель нефтепродуктами в отдельных регионах Казахстана достигают тысяч гектаров. Особенно высокая концентрация таких участков отмечается в западных и юго-западных регионах республики, где сосредоточены основные мощности нефтегазовой промышленности. При этом существенная доля загрязнённых земель остаётся без проведения мероприятий по рекультивации, что увеличивает риск хронизации экологической нагрузки на локальные экосистемы.

Усугубляет ситуацию высокая устойчивость нефтяных соединений в природной среде. Благодаря своей химической стабильности и липофильным свойствам, они медленно поддаются естественному распаду, сохраняясь в почве десятилетиями. Постепенно нефтепродукты мигрируют по профилю почвы, проникая в нижние горизонты и достигая водоносных пластов, что создаёт

дополнительные угрозы – уже для качества питьевой воды и санитарного благополучия населения.

Таким образом, проблема загрязнения почв нефтепродуктами имеет многоплановый и междисциплинарный характер. Она охватывает сферы экологии, гидрогеологии, сельского хозяйства и промышленной безопасности, требуя не только жёсткого контроля за источниками загрязнения, но и активного внедрения экологически ориентированных технологий восстановления, таких как биоремедиация. Именно биологические методы, ориентированные на использование природных процессов, в настоящее время рассматриваются как наиболее эффективное и экологически безопасное решение проблемы деградации нефтезагрязнённых земель.

1.2 Влияние нефтепродуктов на почвенные экосистемы

1.2.1 Нарушение физико-химических свойств почвы

Физические изменения

Нефтепродукты обладают гидрофобными свойствами. При попадании на поверхность почвы они создают водоотталкивающую плёнку, нарушая естественные процессы инфильтрации и испарения воды. Это приводит к ухудшению влагообеспеченности, особенно в верхнем слое, что критично для прорастания семян и развития корневой системы. Также наблюдается изменение почвенной структуры: агрегаты слипаются, поры заполняются нефтяными компонентами. Плотность почвы увеличивается, уменьшается количество пор, необходимых для аэрации. Это ограничивает доступ кислорода к корням растений и почвенным организмам, нарушает газообмен, а в дальнейшем может привести к анаэробным условиям. Особенно страдают песчаные и супесчаные почвы, которые обладают высокой фильтрационной способностью. В них нефтепродукты могут быстро проникать в более глубокие горизонты, распространяя загрязнение на значительные площади и затрудняя очистку.

Химические изменения

Под действием нефтепродуктов существенно меняется кислотно-щелочной баланс почвы. В зависимости от состава загрязнения и исходных характеристик почвы может наблюдаться как закисление, так и защелачивание. Это оказывает влияние на доступность питательных веществ и токсичность элементов для растений. Кроме того, в загрязнённой почве уменьшается содержание подвижных форм азота, фосфора и калия – ключевых макроэлементов для роста растений. Это происходит как из-за разрушения микробных сообществ, участвующих в минерализации органики, так и вследствие химической блокировки соединений. Некоторые из них, особенно фосфаты, могут осаждаться и становиться недоступными для растений. Нефтепродукты, особенно тяжелые фракции, способны сорбировать и удерживать на своей поверхности тяжелые металлы. Это создаёт кумулятивный эффект загрязнения: вместе с углеводородами накапливаются токсичные

элементы, такие как свинец, кадмий, ртуть и медь. В результате возникает вторичное загрязнение, ещё более усложняющее восстановление почвенного покрова. Также нарушаются процессы ионного обмена, буферность и окислительно-восстановительный потенциал. Все эти параметры важны для нормального функционирования почвенной экосистемы, а их изменение может вызывать токсический эффект даже при незначительном содержании загрязняющих веществ.

Влияние на биогеохимические циклы

Физико-химическое разрушение почвы влияет на ключевые биогеохимические циклы – углеродный, азотный, серный. В условиях недостатка кислорода и изменения рН микроорганизмы теряют способность эффективно разлагать органику. Это приводит к накоплению трудноразлагаемых остатков, снижению гумусного горизонта и ухудшению плодородия. Отдельно стоит отметить, что многие нефтепродукты обладают токсическим действием даже в малых дозах, и способны вызывать длительное угнетение почвенной микрофлоры. Таким образом, даже частичное загрязнение приводит к существенным последствиям, аналогичным по масштабу катастрофическим техногенным воздействиям.

1.2.2 Воздействие на почвенную микрофлору

Одним из наиболее чувствительных к загрязнению компонентов почвы является микробное сообщество. Микроорганизмы выполняют важнейшие функции: минерализуют органическое вещество, участвуют в азотном и углеродном цикле, формируют гумус. Под воздействием нефтепродуктов происходит резкое снижение общей численности микроорганизмов, особенно в верхнем горизонте почвы.

Чувствительные группы бактерий – нитрификаторы (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*), азотфиксирующие формы (*Azotobacter*, *Clostridium*), а также некоторые грибы и актиномицеты — быстро погибают или переходят в неактивное состояние. Это приводит к снижению биологической активности почвы, нарушению процессов азотфиксации и минерализации органики. В почве снижается содержание биологически доступного азота и фосфора, что напрямую отражается на росте растений и урожайности.

1.2.3 Экологические последствия

Разрушение микробиологического баланса в почве имеет долговременные последствия. Уменьшение разнообразия и численности микроорганизмов нарушает трофические цепи, снижает способность почвы к самоочищению и восстановлению. При длительном воздействии нефтепродуктов в почве происходят глубокие деградационные процессы, которые могут привести к полной утрате биопродуктивности и необходимости капитальной рекультивации.

Нарушения в работе микробных сообществ также влияют на растения, которые теряют доступ к симбиотическим микроорганизмам (например,

микоризным грибам), необходимым для усвоения питательных веществ. Это ведёт к угнетению роста и даже гибели растительности, особенно в начальные фазы загрязнения.

1.3 Почвенные микроорганизмы: чувствительность и адаптация к загрязнению нефтепродуктами

Почвенные микроорганизмы играют фундаментальную роль в функционировании экосистемы, выполняя широкий спектр процессов — от разложения органических веществ и трансформации элементов до поддержания структуры и плодородия почвы. Их численность, разнообразие и метаболическая активность являются чувствительными индикаторами экологического состояния почвы. Загрязнение нефтепродуктами оказывает на микробное сообщество выраженное стрессовое воздействие, нарушая равновесие и функциональность экосистемного механизма.

1.3.1 Чувствительность почвенных микроорганизмов к углеводородному загрязнению

Большинство представителей микрофлоры почвы, особенно специализированные формы, имеют низкую устойчивость к токсическому действию нефтепродуктов. Среди наиболее уязвимых:

- Азотфиксирующие бактерии (*Azotobacter*, *Clostridium*, *Rhizobium*), обеспечивающие поступление биологического азота в почвенный цикл;
- Нитрифицирующие бактерии (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*), участвующие в окислении аммония и нитритов;
- Целлюлозоразлагающие микроорганизмы, которые способствуют разложению растительных остатков;
- Актиномицеты и почвенные грибы, поддерживающие гумусообразование и структурную устойчивость почвы.

Указанные группы быстро теряют активность при поступлении в почву даже умеренных доз нефтепродуктов. Алканы, ароматические и циклические углеводороды нарушают проницаемость клеточных мембран, дестабилизируют ферментативные системы и ингибируют репликацию ДНК. В результате происходит сокращение численности и видового разнообразия, особенно в аэробных зонах почвы, где микрофлора наиболее активна.

1.3.2 Формирование адаптированных сообществ

Несмотря на общее снижение микробного разнообразия, в загрязнённой почве постепенно начинают доминировать устойчивые к нефти виды микроорганизмов. Это связано с селективным отбором тех форм, которые способны использовать углеводороды как источник углерода и энергии. Такой метаболизм требует наличия специализированных ферментативных путей, позволяющих разлагать устойчивые органические соединения [2].

Наиболее изученные и эффективные нефтеразлагающие микроорганизмы относятся к следующим родам:

- *Pseudomonas* – аэробные грамотрицательные бактерии, обладающие способностью к разложению широкого спектра ароматических и алифатических углеводов. У них обнаружены ключевые ферменты - моно- и диоксигеназы;
- *Rhodococcus* – актинобактерии с высокой устойчивостью к токсическим соединениям, способные к биосорбции и метаболизму тяжёлых фракций нефти.
- *Acinetobacter*, *Mycobacterium*, *Bacillus*, *Alcanivorax*, *Corynebacterium* – обладают высокой адаптивностью к экстремальным условиям, в том числе к высоким концентрациям нефтепродуктов, изменению рН и влажности.

Некоторые из этих организмов формируют биоплёнки, обеспечивая себе повышенную устойчивость к токсическим веществам и создавая локальные микросреды, где концентрации кислорода, влаги и субстрата оптимальны для жизнедеятельности. Кроме того, отмечается активное горизонтальное перенесение генов, отвечающих за деградацию углеводов, что ускоряет адаптацию сообществ к новым условиям.

1.3.3 Факторы, влияющие на эффективность микробной адаптации

Успешность адаптации микроорганизмов к загрязнению зависит от совокупности факторов:

- физико-химические характеристики почвы (температура, влажность, рН, содержание кислорода);
- тип и концентрация нефтепродуктов (тяжёлые фракции медленнее разлагаются, чем лёгкие);
- доступность макро- и микроэлементов, особенно азота и фосфора, необходимых для роста микробной биомассы;
- скорость поступления загрязнения – при медленном, длительном поступлении адаптация происходит эффективнее, чем при внезапном залповом загрязнении.

1.3.4 Значение адаптивных форм в биоремедиации.

Адаптированные нефтеразлагающие микроорганизмы лежат в основе технологии биоремедиации. Их использование – как в форме стимуляции (биостимуляция), так и в виде введения экзогенных культур (биоаугментация) – позволяет ускорить деградацию нефти и восстановить микробный баланс.

Особую ценность представляют чистые культуры микроорганизмов, полученные из ранее загрязнённых территорий, поскольку они обладают устойчивыми адаптациями к локальным условиям.

Таким образом, несмотря на токсичность и деструктивный потенциал нефтепродуктов, микробное сообщество почвы обладает способностью к перестройке и частичному восстановлению. Грамотное управление этими процессами лежит в основе современных экологически ориентированных подходов к реабилитации нарушенных земель.

1.4 Биоремедиация и методы биоремедиации нефтезагрязнённых почв

1.4.1 Биоремедиация

Биоремедиация – лечение жизнью (*bios* – жизнь, *remediatio* – лечение) это процесс очистки, восстановления загрязнённых почв с применением микроорганизмов. Это естественный, экологически безопасный и экономически эффективный способ удаления загрязняющих веществ из окружающей среды.

Активное становление биоремедиации как метода восстановления нефтезагрязнённых почв началось в 1970-х годах, когда возникла острая необходимость в очистке территорий, пострадавших в результате добычи, транспортировки и переработки нефти, а также в ходе аварийных утечек нефтепродуктов.

Процесс биоремедиации осуществляется путем внесения в почву микроорганизмов, использующих в качестве источника своего питания загрязняющие вещества. Вследствие жизнедеятельности микроорганизмов загрязняющие вещества преобразуются в безопасные соединения такие как углекислый газ и вода.

В биологической очистке загрязнённой среды важную роль играют устойчивые микробные сообщества, способные разлагать вредные соединения либо преобразовывать их в менее токсичные вещества. Применение методов биоремедиации способствует восстановлению природного баланса и возвращению экологических показателей окружающей среды к доаварийному состоянию. Данный подход эффективен как при нейтрализации органических загрязнителей природного происхождения, таких как нефть, так и в борьбе с техногенными соединениями, включая пестициды, токсичные остатки и поверхностно-активные компоненты. Биологической очистке могут подвергаться не только почвы и водоёмы, но и техногенные отходы, образующиеся в процессе освоения месторождений. В зависимости от конкретных условий технология реализуется либо за счёт активации естественной микрофлоры (путём аэрации, увлажнения и внесения питательных веществ), либо путём введения специализированных микробных препаратов, полученных из загрязнённых сред и адаптированных под конкретные типы поллютантов. Процесс биоремедиации не является быстрым и требует контроля [3].

Для эффективной работы микроорганизмов необходимо соблюдение ряда условий, такие как: температура окружающей среды, влажность, кислотность (pH), наличие питательных биогенных элементов. Все перечисленные параметры должны находиться в диапазоне толерантности – границах оптимальных значений, для развития и функционирования микроорганизмов, отвечающих за биоремедиацию почвы.

Одним из ключевых достоинств биологических методов восстановления загрязнённой среды является способность микроорганизмов адаптироваться к воздействию различных органических поллютантов. Их биохимическая активность позволяет трансформировать даже устойчивые токсичные вещества

в менее вредные формы благодаря многообразию метаболических путей.

Важной чертой биоремедиации является щадящий характер воздействия: при очистке не нарушается структура почвы, сохраняются её базовые свойства, включая кислотность, размер частиц и микробиологический состав [6].

Дополнительным преимуществом является возможность реализации процедуры непосредственно на месте загрязнения, без необходимости выемки или перемещения почвы. Это не только упрощает процесс, но и значительно сокращает затраты, а также снижает вероятность вторичного загрязнения при транспортировке.

Тем не менее, технология имеет определённые ограничения. В частности, биологическое разложение некоторых соединений может проходить медленно, особенно в условиях недостатка влаги, кислорода или питательных веществ. Кроме того, для успешного проведения ремедиации требуется предварительное обследование участка с целью подбора подходящих условий и биологических агентов.

1.4.2 Сравнительный анализ методов очистки нефтезагрязнённых почв

При выборе технологии очистки нефтезагрязнённых почв необходимо учитывать широкий спектр факторов: степень и глубина загрязнения, характеристики грунта, экономические и временные затраты, а также экологические последствия самого метода. Современные технологии ремедиации включают как традиционные физико-химические подходы, так и инновационные биологические методы, включая биоремедиацию.

Каждый из этих подходов обладает своими преимуществами и ограничениями, которые важно сопоставить для обоснованного выбора наиболее рационального варианта для конкретных условий. Ниже представлена сравнительная таблица 1, отражающая ключевые аспекты эффективности, затратности и применимости различных методов очистки загрязнённых почв.

Таблица 1 – Сравнение с альтернативными методами

Метод очистки	Эффективность	Сроки	Стоимость	Воздействие на почву	Преимущества	Недостатки
Биоремедиация	60–99%	1 мес – 4 года	Низкая	Сохраняется структура	Экологична, дёшево, можно проводить на месте, восстанавливает биоценоз	Медленно, зависит от условий, требует подбора штаммов
Термическая обработка	До 99%	Часы – дни	Очень высокая	Полное разрушение	Очень высокая эффективность, быстрый результат	Требует оборудования, уничтожает почву, высокая стоимость
Промывание / экстракция	70–95%	Дни – недели	Средняя – высокая	Повреждение структуры	Эффективен против нефтепродуктов, подходит для разных типов загрязнений	Используются химикаты, возможны остаточные токсиканты
Выемка и утилизация грунта	До 100%	Быстро	Очень высокая	Полная потеря слоя	Полное удаление загрязнения	Очень дорого, нужен полигон, нарушает экосистему

Продолжение таблицы 1

Метод очистки	Эффективность	Сроки	Стоимость	Воздействие на почву	Преимущества	Недостатки
Стабилизация / инкапсуляция	0% (изоляция)	Быстро	Средняя	Не очищает, а изолирует	Быстрое предотвращение распространения, удобно в экстренных ситуациях	Загрязнение остаётся, не восстанавливает почву
Фиторемедиация	До 70%	1–3 года	Низкая	Улучшает биоактивность	Проста, недорога, улучшает почвенное здоровье	Длительная, малоэффективна при сильном загрязнении
Биоремедиация	60–99%	1 мес – 4 года	Низкая	Сохраняется структура	Экологична, дёшево, можно проводить на месте, восстанавливает биоценоз	Медленно, зависит от условий, требует подбора штаммов
Термическая обработка	До 99%	Часы – дни	Очень высокая	Полное разрушение	Очень высокая эффективность, быстрый результат	Требует оборудования, уничтожает почву, высокая стоимость

1.4.3 Методы биоремедиации

Существующие методы восстановления загрязнённых земель можно условно разделить на три большие группы: физические (включая методы с применением высоких температур), химические (например, стабилизация загрязнителей и их закрепление в почвенной матрице), а также биологические, известные под общим термином «биоремедиация». В соответствии с международной практикой, биологическая очистка подразделяется на три основные категории, различающиеся по способу воздействия на загрязнённую почву и условиям её обработки.

1. Биоремедиация *ex situ*

В этом случае загрязнённый грунт выкапывается и транспортируется на специальные участки, где осуществляется очистка. Возможные подходы включают:

- перемещение загрязнённой почвы на специально подготовленные площадки, где проводятся агротехнические мероприятия, улучшающие её структуру и способствующие биодеструкции;
- промывку почвы с последующим возвращением очищенного материала на исходное место и проведением мелиоративных работ;
- обработку грунта в специальных реакторах, где создаются аэробные или анаэробные условия с добавлением питательных элементов. Такой процесс может занять от нескольких суток до нескольких месяцев и позволяет уменьшить содержание опасных веществ на 90–99%.

2. Биоремедиация *on site*

Этот способ предполагает, что почва остаётся на месте загрязнения. Очистка осуществляется без перемещения грунта:

- проводится мелиорация участка, биостимулирование и высадка растений-фиторемедиаторов. Такие меры реализуются на протяжении одного-двух лет и приводят к снижению загрязнения на 60–90%;
- при необходимости удаляется только сильно загрязнённый верхний слой, после чего на месте применяются биопрепараты и агротехнические методы. В этом случае срок обработки может составлять 2–4 года и дольше, а эффективность очистки достигает 90%.

3. Биоремедиация *in situ*

Применяется, если загрязнение расположено в более глубоких слоях, под поверхностным горизонтом. Методы включают:

- насыщение подповерхностной зоны кислородом (биовентиляция), что стимулирует активность аэробных бактерий. Этот процесс занимает от нескольких дней до месяца и может снизить концентрацию загрязнителей до 90–99%;
- подачу питательных растворов непосредственно в глубинную зону загрязнения (биобарботирование), что также позволяет достигать высокой степени очистки в аналогичные сроки;
- применение методов вакуумной откачки загрязнённой жидкости, сочетаемой с биологическим разложением токсикантов. Продолжительность

таких процедур варьируется от нескольких недель до года в зависимости от характеристик загрязнения [5].

Метод биоремедиации нефтезагрязнённых грунтов относится к числу экологически безопасных технологий восстановления территорий, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами. Он основан на применении микроорганизмов, обладающих способностью разрушать или трансформировать углеводородные соединения в менее опасные вещества [8].

Процесс биоремедиации, как правило, включает несколько последовательных этапов:

- оценка степени загрязнения. На этом этапе проводят определение характера загрязнения грунта, составляют анализ нефтяных соединений и измеряют их концентрацию. Эти данные необходимы для правильного выбора стратегии очистки.

- подбор эффективных микроорганизмов. Определяют наиболее активные штаммы бактерий, грибов или водорослей, способных целенаправленно разлагать компоненты нефти, присутствующие в загрязнении.

- подготовка грунта. Создаются условия, способствующие активному росту и функционированию микрофлоры. Это включает механическое рыхление, аэрацию, регулирование влажности, а также внесение необходимых питательных веществ и микроэлементов.

- внесение биопрепаратов. На данном этапе микроорганизмы, подобранные в ходе предварительных исследований, вводятся в загрязнённый грунт. Это может осуществляться путём равномерного распределения суспензии, распыления растворов или заделки специальных биокомпозиций.

- мониторинг и контроль процесса. В течение всего периода очистки проводят регулярное наблюдение за изменениями в составе почвы и активностью внесённых микроорганизмов, чтобы своевременно корректировать условия среды и повышать эффективность очистки.

- завершение биоремедиации. После достижения допустимого уровня остаточного загрязнения процесс считается завершённым. Восстановленная почва может быть использована для рекультивации, озеленения или иных хозяйственных целей.

В международной практике широко применяются биологические средства для устранения последствий загрязнения почв нефтепродуктами. К числу распространённых решений относятся такие препараты, как «Путидойл», «Аквавицин», «Бамил», «Сойлекс», «Петро Трит» и аналогичные составы, разработанные для расщепления компонентов нефти в почвах и осадочных породах.

В Казахстане также проводится разработка и применение отечественных биотехнологий для рекультивации загрязнённых территорий. Среди них можно выделить препараты «Бакойл-KZ», «Мико-Ойл» и «Биом».

Следовательно, использование специализированных биопрепаратов в биоремедиации может рассматриваться как перспективный и устойчивый метод восстановления загрязнённых земель. Он сочетает экологическую безопасность,

высокую результативность и пригодность для применения в промышленных масштабах.

Таблица 2 демонстрирует ключевые этапы проведения биоремедиации нефтезагрязнённых почв. Последовательная реализация каждого этапа позволяет повысить эффективность очистки почвы, обеспечить оптимальные условия для функционирования нефтеразлагающих микроорганизмов и минимизировать остаточное содержание углеводов. Мониторинг состояния почвы на протяжении всего процесса является важнейшим элементом контроля качества работ и достижения устойчивых результатов рекультивации.

Таблица 2 – Последовательность процесса биоремедиации загрязнённых почв

№	Этап биоремедиации	Краткое описание
1	Оценка степени загрязнения	Определение характера и уровня загрязнения, анализ состава нефтепродуктов и их концентрации
2	Выбор эффективных микроорганизмов	Подбор штаммов бактерий, грибов или водорослей, способных разлагать нефтяные соединения
3	Подготовка грунта	Создание оптимальных условий для роста микрофлоры: аэрация, увлажнение, внесение питательных веществ
4	Внесение микроорганизмов	Введение биопрепаратов в загрязнённый грунт (путём распыления, промывки или инъекций)
5	Мониторинг и контроль	Постоянное наблюдение за динамикой разложения загрязнителей и активностью микроорганизмов
6	Завершение процесса	Оценка результатов очистки и использование восстановленного грунта для природоохранных или хозяйственных целей

Проведённый анализ литературных источников показал, что загрязнение почв нефтепродуктами оказывает комплексное негативное воздействие на их физико-химические свойства и биологическую активность. Биоремедиация, как один из наиболее перспективных методов восстановления нарушенных земель, основывается на использовании природного потенциала микроорганизмов для разложения углеводородных соединений.

Учитывая высокую актуальность проблемы и потенциал биотехнологических решений, в рамках настоящего исследования была проведена экспериментальная работа, направленная на оценку эффективности биоремедиации почвы, загрязнённой нефтепродуктами. Практическая часть включает описание условий проведения эксперимента, методик лабораторных испытаний, а также анализ полученных результатов и их интерпретацию.

В следующей главе представлен план эксперимента, характеристика исследуемого объекта и применённые методы биологической очистки.

2 Экспериментальное исследование биоремедиации почвы, загрязненной нефтепродуктами.

2.1 Цель исследования

Биоремедиация является одним из наиболее перспективных направлений в области восстановления почв, подвергшихся загрязнению нефтепродуктами. Метод основан на использовании природной способности микроорганизмов разрушать углеводородные соединения и трансформировать их в менее токсичные вещества. Учитывая высокую актуальность проблемы деградации почв и необходимость поиска эффективных и экологически безопасных решений, проведение экспериментальных исследований по применению биоремедиационных технологий приобретает особую значимость.

Целью настоящего исследования является экспериментальная оценка эффективности применения комплекса биотехнологических приёмов, включая использование биоразлагаемого поверхностно-активного вещества Bio-Solv D-Medium, цианобактерий и аммиачной селитры, для очистки почвы, загрязнённой нефтепродуктами.

В таблице 3 предоставлен календарный план для большего понимания проведения эксперимента.

Таблица 3 - Календарный план

Этап мероприятия	Начало мероприятия (мес., год)	Завершение мероприятия (мес., год)	Ожидаемые результаты
1. Определение исходного содержания нефтепродуктов в почве	Апрель, 2025	Апрель, 2025	Протокол испытания
2. Разработать план проведения эксперимента	Апрель, 2025	Апрель, 2025	Методика проведения эксперимента
3. Проведение опытов	Апрель, 2025	Апрель, 2025	Протокол испытания
4. Анализ эффективности выбранной методики	Апрель, 2025	Апрель, 2025	Сравнительная таблица результатов эксперимента

Реализация данных задач позволит не только получить количественные данные об изменении уровня нефтезагрязнения в процессе биоремедиации, но и разработать практические рекомендации по применению комплексных биологических методов очистки в условиях реальных объектов нефтяного загрязнения.

2.2 Объект и предмет исследования

В ходе выполнения данного исследования объектом изучения выступает почвенный материал, подвергшийся загрязнению нефтепродуктами, масса которого составляет 1259 гр, показанный на рисунке 1. Загрязнение почвы нефтяными углеводородами приводит к существенным изменениям её физико-химических характеристик, нарушению естественных биогеохимических процессов и снижению биологической активности.

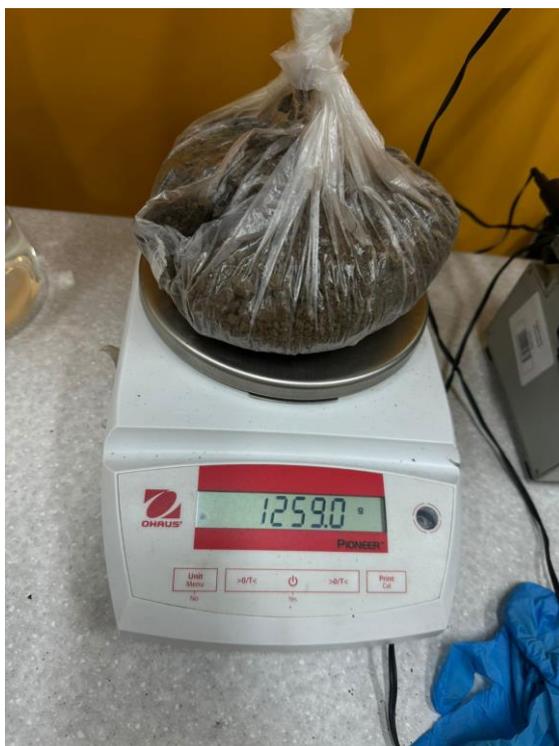


Рисунок 1 - Почва, загрязненная нефтепродуктами

Предметом исследования являются процессы микробиологической деградации нефтяных загрязнителей под воздействием биоразлагаемого поверхностно-активного вещества Bio-Solv D-Medium, показанный на рисунке 2 цианобактерий, показанных на рисунке 3, и минерального удобрения — аммиачной селитры, показанной на рисунке 4. Основное внимание уделено динамике изменения содержания углеводородов в почве в процессе биологической очистки, а также оценке влияния используемых препаратов и условий эксперимента на эффективность разложения нефтяных соединений.



Рисунок 2 - Биоразлагаемое поверхностно-активное вещество Bio-Solv D-Medium



Рисунок 3 - Цианобактерии

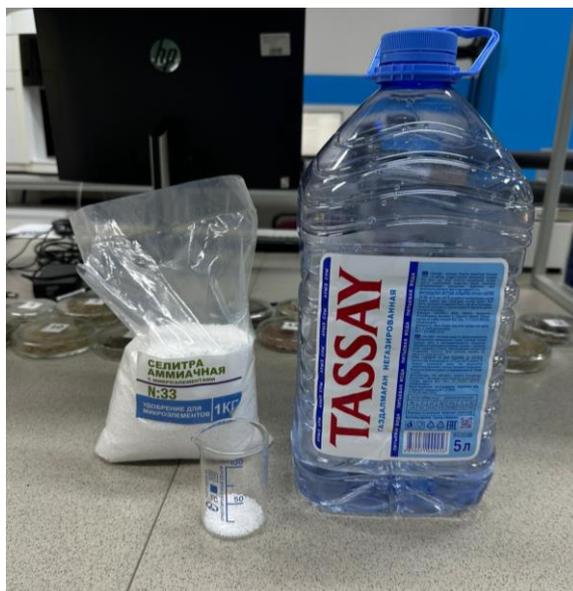


Рисунок 4 – Минеральное удобрение-аммиачная селитра

Таким образом, объектом исследования является непосредственно загрязнённая нефтепродуктами почва, а предметом — механизмы и результативность применения биологических средств для её очистки.

2.3 Характеристика исследуемого объекта

В качестве объекта экспериментального исследования использовалась почва, подвергшаяся загрязнению нефтепродуктами. Исходная масса подготовленного образца составляла 1259 граммов (рисунок 1). Согласно первому этапу биоремедиации - Оценка степени загрязнения, для установления начального уровня нефтяного загрязнения была отобрана проба массой 200 граммов, и направленная в аккредитованную испытательную лабораторию Республиканского научно-производственного и информационного центра «КАЗЭКОЛОГИЯ», показанная на рисунке 5, для получения концентрации содержания нефтепродуктов. Согласно полученным протоколам испытаний, содержание нефтепродуктов в исследуемом образце составило 51 973,7 мг/кг.

Перед началом опытных работ почва характеризовалась следующими основными параметрами:

- высокая концентрация нефтяных углеводородов (свыше 5 % от массы почвы);
- умеренная влажность (~52 %), обеспечивающая начальные условия для микробиологической активности;
- температура хранения около 22 °С, соответствующая стандартным лабораторным условиям.

Подобные характеристики указывают на необходимость применения комбинированных методов биологической очистки, направленных на

стимуляцию микробиологических процессов деградации углеводов. В связи с этим в процессе дальнейшей обработки предусматривалось внесение дополнительных компонентов – биопрепарата Bio-Solv D-Medium, синабактерий и минерального удобрения на основе аммиачной селитры, рассчитанного согласно соотношению С:N:P = 100:10:1.

Подготовленный почвенный материал был подвергнут тщательному контролю в процессе всех этапов эксперимента с целью отслеживания динамики снижения содержания нефтепродуктов.



Рисунок 5 - ТОО РНПИЦ «КАЗЭКОЛОГИЯ»

Результат анализа первоначального содержания нефтепродуктов, показан в Приложение А

2.4 Методика проведения эксперимента

Методика проведения эксперимента, изложенная в таблице 4, была разработана с целью оценки эффективности комплексной биологической очистки почвы, загрязнённой нефтепродуктами. Исходя из характеристик исследуемого образца, применялись специально подобранные биологические и химические агенты, способствующие разложению углеводородных соединений и восстановлению естественной микробиоты почвы: биоразлагаемое поверхностно-активного вещество Bio-Solv D-Medium, цианобактерии и минеральное удобрение — аммиачная селитра. Но мы внесли изменение — исследовать не 4 образца, а 3:

- 1 образец: загрязненная почва + вещество Bio-Solv D-Medium;
- 2 образец: загрязненная почва + вещество Bio-Solv D-Medium + цианобактерии;
- 3 образец: загрязненная почва + вещество Bio-Solv D-Medium + цианобактерии + удобрение.

Таблица 4 -Методика проведения экспериментального исследования

№ Образца	Даты	Дни	Пошаговое действие
1	9 апреля	1	Увлажнение почвы средством Bio-Solv D-Medium
	17 апреля	9	Наблюдение за состоянием почвы. Отбор пробы на анализ
2	9 апреля	1	Увлажнение почвы средством Bio-Solv D-Medium
	10 апреля	2	Добавление цианобактерий
	14 апреля	6	Наблюдение за состоянием почвы. Дождевание почвы водой
	17 апреля	9	Наблюдение за состоянием почвы. Отбор пробы на анализ
3	9 апреля	1	Увлажнение почвы средством Bio-Solv D-Medium
	10 апреля	2	Нанесение удобрений
	11 апреля	3	Добавление цианобактерий
	14 апреля	6	Наблюдение за состоянием почвы. Дождевание почвы водой
	17 апреля	9	Наблюдение за состоянием почвы. Отбор пробы на анализ

2.5 Используемые препараты и их дозировка

2.5.1 *Bio-Solv D-Medium*

На втором этапе биоремедиационного эксперимента, где нужно было выбрать подходящий микроорганизм или средство, я использовала препарат Bio-Solv D-Medium. Это экологически безопасное очищающее средство на водной основе, которое полностью разлагается в природе и не представляет опасности для окружающей среды или здоровья людей.

Мне показалось важным, что он хорошо справляется с удалением нефтепродуктов благодаря своим очищающим и диспергирующим свойствам. В промышленности его применяют для обезжиривания поверхностей, очистки оборудования и ёмкостей от нефтяных загрязнений, а также для разжижения загустевшей нефти и переработки нефтешлама.

В таблице 5 описываются основные характеристики Bio-Solv D-Medium, а также преимущества его использования.

Таблица 5 - Преимущества применения средства Bio-Solv D-Medium

№	Преимущество	Описание
1	Экологическая безопасность	100% биоразлагаемость в течение 28 дней, отсутствие токсического воздействия на почву и водные организмы
2	Совместимость с нефтепродуктами	Повышает текучесть нефти и снижает вязкость без ухудшения её качества
3	Возможность извлечения нефти	Обеспечивает дополнительную экономическую выгоду при переработке нефтешлама
4	Универсальность применения	Применяется для очистки оборудования, ёмкостей, сточных вод и производственных площадей
5	Разбавляемость водой	Может быть эффективно разбавлен водой любого качества без потери свойств
6	Пожаробезопасность	Негорючий и невзрывоопасный, что повышает безопасность работ

Сферы применения Bio-Solv D-Medium охватывают:

- разжижение нефтешламов для последующей переработки и извлечения нефти;
- очистку сточных вод от нефтепродуктов;
- удаление углеводородных отложений с трубопроводов, резервуаров и технологического оборудования;
- очистку лабораторной посуды и приборов, загрязнённых нефтяными остатками;
- санитарную обработку производственных помещений: полов, стен и инструментов.

В настоящее время на глобальном уровне наблюдается тенденция перехода промышленных предприятий к экологически безопасным технологиям, что обусловлено стремлением к снижению углеродного следа и соблюдению принципов устойчивого развития и ESG-повестки (экология, социальная ответственность, корпоративное управление).

Bio-Solv успешно применяется более чем в 20 странах мира, включая ОАЭ, Турцию, Оман, Вьетнам, Бруней, Сингапур, Гайану, Боснию, Южную Корею, Индонезию, Канаду и Туркменистан. В этих странах Bio-Solv зарекомендовал себя как эффективное решение для борьбы с нефтяными загрязнениями в различных отраслях промышленности.

Для Казахстана, где актуальны задачи модернизации промышленных производств с учётом экологических требований, внедрение технологии на основе Bio-Solv может стать важным шагом в направлении повышения экологической безопасности, восстановления нарушенных территорий и реализации принципов «зелёной экономики».

Для стимуляции микробиологической активности Bio-Solv успешно применяется более чем в 20 странах мира, включая ОАЭ, Турцию, Оман, Вьетнам, Бруней, Сингапур, Гайану, Боснию, Южную Корею, Индонезию, Канаду и Туркменистан. В этих странах Bio-Solv зарекомендовал себя как эффективное решение для борьбы с нефтяными загрязнениями в различных отраслях промышленности.

Для Казахстана, где актуальны задачи модернизации промышленных производств с учётом экологических требований, внедрение технологии на основе Bio-Solv может стать важным шагом в направлении повышения экологической безопасности, восстановления нарушенных территорий и реализации принципов «зелёной экономики» [7].

2.5.2 Цианобактерии

Цианобактерии (Cyanobacteria) – это группа фотосинтетических микроорганизмов, которые играют важную роль в поддержании биогеохимических циклов в природных экосистемах. Благодаря своей способности к фиксации атмосферного азота, синтезу кислорода и формированию биологических структур в почве, цианобактерии активно применяются в экологических проектах, направленных на восстановление нарушенных территорий, включая участки, загрязнённые нефтепродуктами.

Цианобактерии способны осуществлять фотосинтез с выделением кислорода, что делает их ценными участниками процессов самоочищения почв и водных экосистем. Эти организмы обладают уникальностью выживать в экстремальных условиях – при высоких концентрациях токсичных веществ, недостатке питательных элементов и изменениях температуры или влажности.

К основным экологическим функциям цианобактерий относятся:

- фиксация атмосферного азота (особенно важна в бедных по содержанию питательных веществ почвах);
- секреция биополимеров, способствующих агрегации почвенных частиц и улучшению структуры грунта;
- продукция кислорода, необходимого для аэробных нефтеразлагающих микроорганизмов.

В условиях загрязнения нефтепродуктами цианобактерии вносят вклад в процессы биоремедиации за счёт нескольких механизмов:

- обеспечение аэрации среды. За счёт фотосинтетической активности цианобактерии насыщают загрязнённую почву кислородом, что создаёт благоприятные условия для роста аэробных нефтеразлагающих бактерий.
- повышение содержания азота. За счёт фиксации молекулярного азота из атмосферы цианобактерии компенсируют дефицит азота в нефтезагрязнённой почве, стимулируя развитие микробных сообществ.
- биodeградация углеводородов. Некоторые культуры цианобактерий способны непосредственно использовать отдельные углеводородные соединения в качестве источника углерода и энергии, разлагая простые фракции нефти.

- биостабилизация почвы. Образование цианобактериальных матов (биоплёнок) способствует стабилизации верхнего слоя почвы, препятствуя дальнейшему распространению загрязнителей и эрозии.

Исследования показывают, что внедрение цианобактерий на нефтезагрязнённые участки ускоряет восстановление структуры и функции почв. Чаще всего в биоремедиационных проектах используются культуры таких родов, как *Nostoc*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Synechococcus*.

Эффективность применения цианобактерий особенно возрастает при их сочетании с внесением биостимулирующих веществ, таких как аммиачная селитра, и средств, повышающих доступность нефтепродуктов [4].

В таблице 6 показано сравнение между цианобактериями и другими микроорганизмами, а также их особенности.

Таблица 6 - Сравнительная характеристика роли цианобактерий и других микроорганизмов в процессах биоремедиации

№	Группа микроорганизмов	Основные функции в биоремедиации	Особенности
1	Цианобактерии	Фиксация азота, выделение кислорода, разложение простых углеводов, стабилизация почвы	Осуществляют фотосинтез; улучшают структуру почвы; повышают аэрацию
2	Гетеротрофные бактерии	Разложение широкого спектра углеводов (алканы, ароматические соединения)	Требуют внешнего источника органических веществ и кислорода
3	Актиномицеты	Деградация тяжёлых и высокомолекулярных фракций нефти	Формируют устойчивые колонии; активны при длительном загрязнении
4	Грибы (например, <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i>)	Биодеградация сложных углеводов, эмульгирование нефти	Вырабатывают ферменты (пероксидазы, лакказы); устойчивы к токсическим соединениям

2.5.3 Аммиачная селитра

Аммиачная селитра - (нитрат аммония, NH_4NO_3) представляет собой широко распространённое минеральное удобрение, которое активно применяется в сельском хозяйстве, а также в технологических процессах, требующих повышения содержания азота в среде. Аммиачная селитра выпускается в виде белых гранул или кристаллов, легкорастворимых в воде.

В рамках биоремедиационных технологий аммиачная селитра используется для стимуляции роста нефтеразлагающих микроорганизмов, поскольку азот является необходимым элементом для построения клеточных структур и синтеза ферментов, участвующих в процессах деградации

углеводородных соединений. Внесение аммиачной селитры в загрязнённую почву позволяет сбалансировать соотношение углерода, азота и фосфора (С:N:P), оптимальное для активной биодegradации.

Кроме того, аммиачная селитра обладает следующими положительными свойствами: Высокая растворимость в воде, что обеспечивает равномерное распределение в почвенном слое; Быстрая доступность азота для почвенных микроорганизмов; Низкая стоимость и широкая доступность на рынке.

2.6 Распределение препаратов по дням эксперимента

2.6.1 День 1

Первый день экспериментального исследования начался 9-ого апреля, после предварительного анализа почвы, на исследование физико-химических параметров почвы, а именно определения концентрации нефтепродуктов мг/кг.

После определения исходной концентрации нефтепродуктов в почве, по методическому указанию, оставшаяся часть образца массой 1059 граммов была разделена на три равных части по 353 грамма каждая, распределение показано на рисунке 6. Каждая партия была помещена в отдельный контейнер для обеспечения идентичных условий проведения опыта.



Рисунок 6– Распределение по контейнерам

Далее используя пульверизатор, смочили равномерно каждый образец по 6–7 мл поверхностно-активным веществом Bio-Solv D-Medium, не переувлажнив, как прописано в методике, смачивание показано на рисунке 7. После чего перемешали почву для лучшего распределения средства. Это делалось согласно третьему этапу биоремедиации – подготовка грунта, для создания оптимальных условий для роста микрофлоры.



Рисунок 7 – Смачивание образцов биопрепаратом Bio-Solv D-Medium

2.6.2 День 2

На следующий день, 10 апреля, следуя четвертому этапу биоремедиации – Внесение микроорганизмов, добавили цианобактерии, полученные за ранее в образец под номером 2, согласно методическим указаниям. Их внесение проводилось с целью повышения биологической активности в почве, насыщения среды кислородом за счёт фотосинтеза, а также стимуляции деградации нефтепродуктов. После чего оставили крышку полукрытой, создавая благоприятные и естественные условия для бактерий.



Рисунок 8 – внесение микроорганизмов в образец под номером 2

Также на второй день мы распределили 7,5 гр аммиачной селитры – как выбранное за ранее минеральное удобрение, разбавив в 100 мл воды в образец под номером 3, используя для равномерного распределения пульверизатор, все действия показаны на рисунке 9. Данный шаг был направлен на компенсацию дефицита азота в почве, что особенно важно при высоком содержании

углеводородов. Аммиачная селитра обеспечивает питательную поддержку для активного роста и функционирования нефтеразлагающих микроорганизмов.

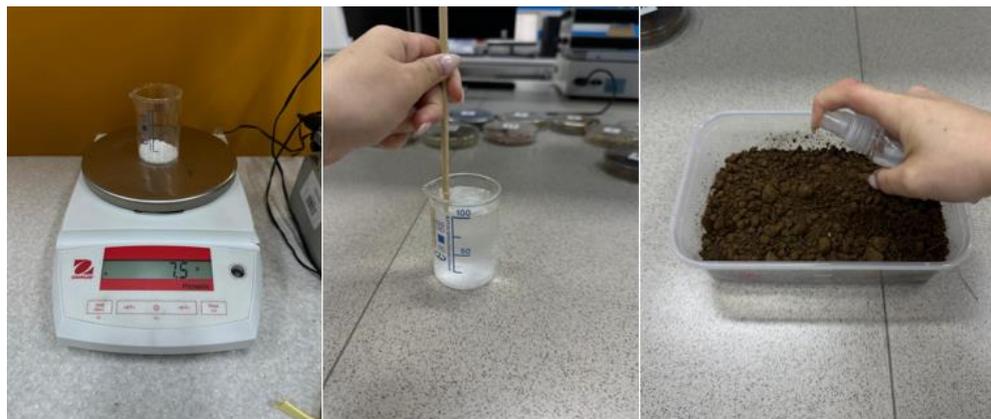


Рисунок 9 – Внесение аммиачной селитры в образец под номером 3

Для определения необходимого количества аммиачной селитры в образец под номером 3, был проведен расчет.

Исходные данные:

Площадь контейнера - 189 см²

Высота – 2 см

Исходная концентрация нефти – 51 973,3 мг/кг (то есть 51.973 г на 1 кг почвы)

Плотность почвы ~ 1.3 г/см³

Соотношение углерода, азота и фосфора (C:N:P) = 100:10:1

Объем почвы:

$$V = S \times h \quad (2.1)$$

где S-площадь контейнера, см²;

h-высота, см.

$$V = 189 \times 2 = 378 \text{ см}^3$$

Масса почвы:

$$m = V \times \rho \quad (2.2)$$

где V-объем почвы, см³;

ρ -плотность почвы, г/см³.

$$m = 378 \times 1,3 = 491,4 \text{ г} = 0,491 \text{ кг}$$

Количество нефти в почве:

$$Q = C_m \times m \quad (2.3)$$

где C_m – исходная концентрация нефти, мг/кг;
 m – масса почвы, кг.

$$Q = 51,9733 \times 0,491 = 25,5 \text{ г нефти}$$

Расчет азота по C:N=100:10:

$$N = Q \times \frac{10}{100} \quad (2.4)$$

$$N = 25,5 \times \frac{10}{100} = 2,55 \text{ г}$$

Аммиачная селитра содержит 34% азота (N):

$$m = \frac{N}{34\%} \quad (2.5)$$

$$m = \frac{2,55}{34\%} = 7,5 \text{ г}$$

Таким образом по данному расчету мы посчитали необходимую массу аммиачной селитры (7.5 г) на площадь образца под номером 3, равной 189 см².

2.6.3 День 3

11 апреля, по методическим указаниям, добавили в образец под номером 3 цианобактерии, показано на рисунке 10. На этот момент в почве уже присутствовали как Bio-Solv D-Medium, так и аммиачная селитра, поэтому добавление цианобактерий обеспечивало наиболее комплексное воздействие.



Рисунок 10 - Внесение микроорганизмов в образец под номером 3

2.6.4 День 6

14 апреля, согласно методике, на шестой день была проведена промежуточная поддержка влажности почвы путём орошения дистиллированной водой. Увлажнение осуществлялось только для образцов под номерами 2 и 3, где наблюдалась активность микробных сообществ, требующая стабильных условий среды. Увлажнение происходило с помощью равномерного распределения воды пульверизатором. Дождевание образца под номером 2 показано на рисунке 11, а образца под номером 3 на рисунке 12.



Рисунок 11 – Дождевание образца под номером 2



Рисунок 12 – Дождевание образца под номером 3

2.6.5 День 9

17 апреля, по методике на финальный день по экспериментальной части был осуществлен отбор пробы из 3-х образцов на анализ в лабораторию ТОО РНПИЦ «КАЗЭКОЛОГИЯ», отбор проб показан на рисунке 13. Далее уже в самой лаборатории была заполнена заявка для проведения анализа, заполненная заявка показана на рисунке 14. Все пробы исследовались на итоговое наличие нефтепродуктов после проведения экспериментального исследования. Лабораторные исследования были направлены на определение степени очистки почвы от нефтепродуктов и сравнение эффективности применённых подходов.



Рисунок 13 –Отбор проб на анализ

Испытательная лаборатория
ТОО «РНПИЦ «КАЗЭКОЛОГИЯ»

Заявка №140 - 25

«17» апрель, 2025 г.

Заказчик	ТОО «ЛабСЭМ»
Юридический адрес	Алматы, пр. Рахымбека 247Б
Реквизиты	080540013211
Телефон	8 707 300 85 72 Александра
Наименование образца	Почва
Дата отбора проб	17.04.2025г
Место отбора проб	Каражанбасты
Количество проб	1

Просит провести испытания образцов:

Краткое описание пробы	Наименование показателей
1 пр – Почва (нефтепродукты + BIO-SOLV)	нефтепродукты
2 пр – Почва (нефтепродукты + BIO-SOLV + синиобактерии)	нефтепродукты
3 пр – Почва (нефтепродукты + BIO-SOLV + синиобактерии + аммиачная селитра)	нефтепродукты

Со стоимостью выполняемых работ и применяемыми нормативными документами ознакомлен. Уведомлен об ответственности за правильность отбора проб. Обязуемся провести своевременную оплату за испытания

Заказчик _____ (подпись) _____ (инициалы, фамилия)

Дата и время поступления проб 17.04.2025

Специалист _____ (подпись) _____ (инициалы, фамилия)

Принявший пробу _____ (подпись) _____ (инициалы, фамилия)

Контактный тел: 8-708-971-71-05; 291-77-27

*При осуществлении отбора и доставки отобранных проб самим Заказчиком, ИЛ и не несет ответственности за

Рисунок 14 – Заполнение заявки в ТОО РНПИЦ «КАЗЭКОЛОГИЯ» для проведения анализа

В таблице 7 изложено краткое содержание поэтапности проведения эксперимента.

Таблица 7 – Проведение этапов эксперимента по дням

День	Дата	Действия в эксперименте
1	9 апреля	Мы распределили равное количество почвы (по 353 гр) по трём контейнерам – 3 образцам. Смочили равномерно каждый образец по 6-7 мл поверхностно-активным веществом Bio-Solv D-Medium, не переувлажнив, как прописано в методике.
2	10 апреля	Мы распределили 7.5 гр аммиачной селитры разбавив в 100 мл воды в образец под номером 3, как удобрение для почвы. А для образца под номером 2 добавила цианобактерии
3	11 апреля	В образец под номером 3 добавили к загрязненной почве уже с биопрепаратом Bio-Solv D-Medium и аммиачной селитрой, наши цианобактерии.
6	14 апреля	Промежуточное увлажнение образцов №2 и №3 дистиллированной водой
9	17 апреля	Произвели отбор пробы из 3-х образцов на анализ в лабораторию ТОО РНПИЦ «КАЗЭКОЛОГИЯ». Все пробы исследовались на итоговое наличие нефтепродуктов после проведения экспериментального исследования.

2.7 Результаты исследования и их анализ

По завершении основного этапа биоремедиационного эксперимента был осуществлён лабораторный анализ проб, отобранных из каждого контейнера на 9-й день. Целью анализа являлось определение остаточной концентрации нефтепродуктов в почве, а также сравнение эффективности разных комбинаций биологических и химических агентов.

Как показали лабораторные данные, все три образца продемонстрировали снижение уровня нефтезагрязнения по сравнению с исходным значением, установленным до начала эксперимента (51 973,7 мг/кг). Однако степень очистки существенно различалась в зависимости от применённой методики.

2.7.1 Образец 1 — контрольный (только Bio-Solv D-Medium)

Образец под номером 1, в который был внесён только Bio-Solv D-Medium, показал умеренное снижение содержания нефтепродуктов – 51 250,0 мг/кг. Это объясняется тем, что препарат повышает биодоступность углеводов, но без дополнительной подпитки азотом и активной микрофлоры деградация происходит медленно. Тем не менее, результат подтверждает, что даже одно лишь увлажнение ПАВ-средством запускает естественные процессы разложения.

Финальный протокол лаборатории экспериментального исследования образца под номером 1 прилагается в приложении Б (рисунок Б.1).

2.7.2 Образец 2 — *Bio-Solv D-Medium* + цианобактерии

Наилучший результат был зафиксирован во втором образце - 50 000, 0 мг/кг, где наряду с *Bio-Solv D-Medium* были добавлены цианобактерии. Цианобактерии, обладая фотосинтетической активностью обеспечили насыщение среды кислородом и за счёт способности к фиксации азота способствовали увеличению микробной активности. Процессы биodeградации в этом контейнере шли равномерно, при визуальном наблюдении отмечались улучшение структуры почвы и снижение запаха.

Финальный протокол лаборатории экспериментального исследования образца под номером 2 прилагается в приложение Б (рисунок Б.2).

2.7.3 Образец 3 — *Bio-Solv D-Medium* + аммиачная селитра + цианобактерии

Несмотря на наиболее насыщенную схему обработки, образец под номером 3 показал наименьшие результаты. Причиной стало переувлажнение раствором аммиачной селитры (7,5 г на 100 мл), что привело к ухудшению кислородного баланса в почве. Избыточная влажность снизила аэрацию и затормозила развитие аэробных нефтеразлагающих микроорганизмов.

Финальный протокол лаборатории экспериментального исследования образца под номером 3 прилагается в приложение Б (рисунок Б.3).

В таблице 8 представлено сравнительное обобщение результатов по трём исследуемым образцам, различающимся по составу применяемых реагентов.

Таблица 8 – сравнение эффективности по образцам.

№ образца	Применённые компоненты	Краткий результат	Причина эффективности / неэффективности
1	Только <i>Bio-Solv D-Medium</i>	Умеренное снижение загрязнения	Простая схема, достаточная аэрация, не нарушена структура почвы
2	<i>Bio-Solv D-Medium</i> + цианобактерии	Максимальное снижение загрязнения	Оптимальная влажность, активность фотосинтезирующих микроорганизмов, фиксация азота
3	<i>Bio-Solv D-Medium</i> + аммиачная селитра + цианобактерии	Минимальное снижение загрязнения	Переувлажнение раствором селитры, снижение аэрации, угнетение микрофлоры

Таблица 9 содержит числовую оценку эффективности каждого из трёх исследуемых образцов на основе концентраций нефтепродуктов до и после проведения биологической обработки.

Таблица 9 – численное сравнение показателей

№ Образца	Начальная концентрация нефтепродуктов мг/кг	Итоговая концентрация нефтепродуктов мг/кг	Разница мг/кг	Разница %
Образец №1 (нефтепродукты + BIO-SOLV)	51 973,70	51 250,00	723,70	1,4
Образец №2 (нефтепродукты + BIO-SOLV + Цианобактерии)	51 973,70	50 000,00	1 973,70	3,8
Образец №3 (нефтепродукты + BIO-SOLV + Цианобактерии + Аммиачная селитра)	51 973,70	51 870, 0	103,70	0,2

Таким образом, проведённый эксперимент позволил оценить эффективность различных схем биоремедиационной обработки почвы, загрязнённой нефтепродуктами. Полученные данные чётко демонстрируют, что даже минимальное вмешательство в виде увлажнения препаратом Bio-Solv D-Medium способствует запуску процессов самоочищения, однако эффективность существенно возрастает при целенаправленном биологическом усилении.

Наиболее положительные результаты были получены при использовании цианобактерий (образец под номером 2), что подтверждает их потенциал в фототрофной биоремедиации. Благодаря фиксации азота и насыщению среды кислородом они создают оптимальные условия для функционирования углеводород-окисляющей микрофлоры.

В то же время образец под номером 3 показал, что чрезмерное вмешательство в среду, а именно переувлажнение раствором аммиачной селитры, может привести к ухудшению кислородного режима и угнетению микробиологической активности. Это подчёркивает важность строгого соблюдения дозровок и условий внесения удобрений.

Обобщая полученные данные, можно заключить, что для эффективной очистки почвы от нефтепродуктов биологическими методами необходимо сочетание подходящих агентов, умеренного воздействия и постоянного контроля условий среды.

3 Экономическая оценка эффективности применения биоремедиации для восстановления нефтезагрязнённой почвы

3.1 Обоснование необходимости экономической оценки

Любая технология экологического восстановления территорий должна быть не только эффективной с точки зрения результата, но и обоснованной с экономической позиции. Биоремедиация, как экологически безопасный и относительно малозатратный способ очистки почв от нефтепродуктов, требует оценки целесообразности внедрения в промышленных масштабах. Цель данного раздела — определить ориентировочные затраты на реализацию метода биоремедиации по образцу под номером 2 (Bio-Solv D-Medium + цианобактерии) на примере участка площадью 1 гектар, а также сравнить их с альтернативными способами ликвидации загрязнений.

3.2 Расчёт затрат на биоремедиацию загрязнённого участка (1 га)

Исходные данные:

Площадь участка: 1 га = 10 000 м²

Глубина загрязнения: 0,2 м (стандартная глубина обработки верхнего слоя)

Плотность почвы (в среднем): 1,3 т/м³

Расчёт объёма загрязнённой почвы на участке 1 га:

$$V = S \times h \quad (3.1)$$

где $S=10\,000\text{ м}^2$ — площадь участка (1 гектар);

$h=0,2$ — глубина, на которую распространилось загрязнение (20 см — принята как стандартная глубина обработки верхнего горизонта)

$$V = 10\,000 \times 0,2 = 2000\text{ м}^3$$

Перевод объёма почвы в массу:

$$M = V \times \rho \quad (3.2)$$

где $\rho=1,3$, т/м³ — усреднённая плотность влажной почвы (принято из нормативных справочников);

V -объём, м³

$$M = 2000 \times 1,3 = 2600\text{ т}$$

Это значение показывает, сколько тонн загрязнённой почвы требуется обработать на 1 гектаре при глубине 20 см.

Расчёт потребности в Bio-Solv D-Medium:

Исходные данные:

Объем Bio-Solv на контейнер = 7 мл;

Масса почвы в контейнере = 353 г

Расчёт нормы Bio-Solv на 1 кг почвы:

$$V_2 = \frac{V_1}{m} \quad (3.3)$$

где V_1 — объем Bio-Solv на контейнер, мл;

m — масса почвы в контейнере, г.

$$V_2 = \frac{7 \text{ мл}}{353 \text{ г}} = 0,0198 \frac{\text{мл}}{\text{г}} = 19,8 \text{ мл/кг}$$

Для простоты и округления в технико-экономических расчётах принимается ≈ 20 мл/кг

Перевод в тонну (1000 кг):

$$20 \frac{\text{мл}}{\text{кг}} \times 1000 \text{ кг} = 20\,000 \text{ мл} = 20 \text{ л}$$

Таким образом, на основе фактической дозировки в лаборатории (7 мл на 353 г), экстраполяция на 1 тонну почвы даёт порядка 20 литров Bio-Solv D-Medium.

Практическое нормированное значение — 0,5 л на 1 м² (для равномерного поверхностного орошения и увлажнения на глубину до 20 см), тогда

$$Q_{bs} = S \times 0,5 \quad (3.4)$$

где Q_{bs} - общий объем Bio-Solv D-Medium на 1 га земли, для увлажнения до глубины 20 см, л;

S - Площадь загрязненного участка, м².

$$Q_{bs} = 10\,000 \times 0,5 = 5000 \text{ л}$$

Цена за 1 л = 2970 тг

$$C = 2970 \text{ тг} \times 5000 \text{ л} = 14\,850\,000 \text{ тг}$$

где C - стоимость, тг

Расчёт количества цианобактерий:

В эксперименте использовалась 1 пробирка (≈ 10 мл) на 353 г почвы, это примерно 0,25 л на 1 м² при масштабировании, значит

$$Q_{\text{цианоб}} = S \times 0,25 \quad (3.5)$$

где $Q_{\text{цианоб}}$ – количество цианобактерий на 1 га земли, л;

S - Площадь загрязненного участка, м².

$$Q_{\text{цианоб}} = 10\,000 \times 0,25 = 2500 \text{ л}$$

Цена за 1 л = 12 000 тг

$$C = 12000 \times 2500 = 30\,000\,000 \text{ тг}$$

где C – стоимость, тг

Расчёт стоимости внесения, работы и логистики:

Принята условная ставка: 200 тг/м² (включает доставку, внесение, персонал, аренду техники)

Примерная рыночная ставка для комплексных биологических обработок (по агропроизводственным прайсам)

$$C = S \times K \quad (3.6)$$

где S – площадь загрязненного участка, м²;

K – ставка платы, тг/м²;

C – стоимость, тг

$$C = 10\,000 \times 200 = 2\,000\,000 \text{ тг}$$

Расчёт лабораторного анализа:

Нужно 10 проб: по 1 пробе на 1 000 м². Каждая проба анализируется дважды: до и после очистки

Стоимость одного анализа — 21 500 тг

$$C = Q_1 \times Q_2 \times C_1 \quad (3.7)$$

где C – стоимость, тг;

Q_1 - количество проб, шт;

Q_2 - количество анализов, шт.

$$C = 10 \times 2 \times 21\,500 = 430\,000 \text{ тг}$$

Итоговая стоимость метода:

$$C_{\text{общ}} = 14\,850\,000 + 30\,000\,000 + 2\,000\,000 + 430\,000 = 47\,280\,000 \text{ тг}$$

3.3 Сравнение с альтернативными методами

Для оценки эффективности выбранного метода биоремедиации была проведена сравнительная оценка затрат на очистку 1 гектара загрязнённой нефтепродуктами почвы. В качестве базового ориентира были использованы рыночные цены на традиционные способы рекультивации, включая выемку и утилизацию загрязнённого грунта. По данным 2024–2025 годов, стоимость таких работ варьируется от 120 до 150 миллионов тенге за гектар в зависимости от региона и сложности логистики.

В то же время, итоговая стоимость биоремедиации с применением Bio-Solv D-Medium и цианобактерий составила 47 280 000 тенге, что делает технологию значительно более доступной.

Принятые данные по рынку (2024–2025):

- выемка и вывоз 1 га загрязнённого грунта – 120–150 млн тг
- биоремедиация по результатам эксперимента – 47 280 000 млн тг

Экономия в сравнение с нижней границей затрат (120 млн тг):

$$120\,000\,000 - 47\,280\,000 = 72\,720\,000 \text{ тг}$$

Экономия в сравнении с верхней границей затрат (150 млн тг)

$$150\,000\,000 - 47\,280\,000 = 102\,720\,000 \text{ тг}$$

Это подтверждает, что метод на основе Bio-Solv D-Medium и цианобактерий не только экологичен и применим на месте загрязнения, но и существенно снижает финансовую нагрузку на предприятие или государственную программу рекультивации.

Таким образом, внедрение данной технологии может рассматриваться как эффективная альтернатива дорогостоящим традиционным способам очистки нефтезагрязнённых почв.

3.4 Анализ экономической целесообразности применения биоремедиации

Экономическая эффективность любой природоохранной технологии определяется не только её затратной частью, но и способностью снизить расходы по сравнению с традиционными методами, а также минимизировать негативное

воздействие на окружающую среду и потребность в дополнительных ресурсах. Биоремедиация, как метод восстановления нефтезагрязнённых почв, выгодно отличается по ряду ключевых параметров, в том числе возможностью применения непосредственно на месте, снижением логистических затрат, отсутствием необходимости в утилизации или выемке грунта, а также низкой себестоимостью используемых биологических агентов.

Кроме прямых финансовых преимуществ, биоремедиация даёт возможность:

- избежать затрат на транспортировку и размещение загрязнённого грунта на полигонах;
- сохранить структуру и биологическую активность почвы;
- сократить сроки рекультивации при правильном подборе микроорганизмов и условий;
- соответствовать принципам устойчивого развития (ESG) и требованиям экологического законодательства.

Таким образом, анализ показывает, что метод биологической очистки, основанный на применении поверхностно-активных веществ и фотосинтезирующих микроорганизмов, является не только экологически безопасным, но и экономически целесообразным решением, особенно в условиях крупных загрязнений, удалённых объектов или при ограниченном бюджете. Технология может быть рекомендована к широкому применению в рамках программ реабилитации нарушенных земель и экологической модернизации производств [9].

3.5 Итоговая оценка экономической эффективности

Проведённый экономический анализ показал, что предложенная технология биологической очистки почвы от нефти обладает высокой окупаемостью и может быть эффективно реализована на практике. Особенно хорошо себя зарекомендовала методика, использованная во втором варианте эксперимента, где применялись Bio-Solv D-Medium и цианобактерии. Она показала не только хороший результат по степени очистки, но и явные преимущества в плане снижения затрат по сравнению с более затратными традиционными методами.

Расчёты показали, что полная стоимость очистки 1 гектара загрязнённой земли данным способом составляет 47 280 000 тенге, в то время как наиболее распространённые методы (выемка, термическая утилизация, промывка) требуют от 120 до 150 миллионов тенге. Это даёт потенциальную экономию от 72 до 102 миллионов тенге на каждый гектар территории. Более того, технология позволяет обрабатывать почву на месте, без необходимости вывоза, что дополнительно снижает логистические расходы и снижает экологические риски, связанные с транспортировкой загрязнённого грунта.

Особое значение имеет и то, что биоремедиация способствует восстановлению природного потенциала почвы, её микрофлоры и структуры, что делает данный подход особенно актуальным в рамках долгосрочной стратегии устойчивого развития.

Таким образом, биоремедиация с использованием Bio-Solv и цианобактерий может быть рекомендована как экономически оправданное и экологически безопасное решение, применимое в различных климатических и производственных условиях, в том числе на территории Республики Казахстан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях нарастающего техногенного воздействия на окружающую среду, особенно со стороны нефтегазового сектора, проблема восстановления загрязнённых почв становится одной из приоритетных задач экологической безопасности. Загрязнение почв нефтепродуктами не только нарушает структуру и биоценоз грунта, но и создаёт угрозу для подземных вод, растительности и здоровья человека. В этой связи актуальность разработки эффективных, экологических и экономически оправданных методов очистки не вызывает сомнений.

В ходе выполнения дипломной работы была проведена комплексная оценка биоремедиации как перспективного метода очистки нефтезагрязнённых почв. На теоретическом этапе подробно рассмотрены этапы реализации технологии, включая выбор эффективных микроорганизмов, подготовку условий для их активации, контроль параметров среды и завершение биодеструкции. Особое внимание уделено практическому применению метода, что стало основой для построения собственного экспериментального подхода.

Проведённый лабораторный эксперимент с тремя образцами загрязнённой почвы, среди которых наилучший результат продемонстрировал второй вариант — комбинация Bio-Solv D-Medium и цианобактерий, обеспечил максимальное снижение концентрации нефтепродуктов, улучшение структуры и снижение запаха почвы, при этом сохранив её природный потенциал.

В рамках исследования была проведена экономическая оценка внедрения данной технологии на примере участка площадью 1 гектар. Расчёты показали, что затраты на реализацию биоремедиации с использованием разработанного подхода составляют 47,28 млн тенге, тогда как традиционные методы очистки (выемка, утилизация, термическая обработка) требуют от 120 до 150 млн тенге. Это позволяет добиться экономии от 72 до 102 млн тенге на каждый гектар территории, что подтверждает рентабельность и масштабируемость метода.

Таким образом, поставленные задачи дипломной работы были достигнуты: изучены основные методы биоремедиации, проведён эксперимент и доказана эффективность применения конкретной комбинации биопрепаратов, а также обоснована экономическая целесообразность технологии.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке практических решений для рекультивации нарушенных земель, в том числе на объектах нефтегазовой и химической промышленности Республики Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Экологический кодекс Республики Казахстан. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2000000400>
- 13 Методические рекомендации по биологической рекультивации нефтезагрязненных земель. – Алматы: НИИ экологии, 2020.
- 13 Ибраева Г.К., Баймуханов Р.С. Биоремедиация почв и экосистем: теория и практика. – Алматы: КазНТУ, 2021
- 4 Применение цианобактерий для восстановления почв. – Журнал «Экология и биотехнологии», 2021, №2
- 5 Bioremediatsiya pochv: vchera, 4begodnya, zavtra. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/bioremediatsiya-pochv-vchera-segodnya-zavtra/viewer>
- 6 Гребенщикова Н.П. Экологические аспекты биоремедиации. – Томск: Томский госуниверситет, 2021.
- 7 Производство и поставка продукции Bio-Solv – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://biosolv.kz/ru>
- 8 Как работает биоремедиация. Использование бактерий для очистки загрязненной почвы – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://terra-ecology.ru/stati/kak-rabotaet-bioremediatsiya-ispolzovanie-bakteriy-dlya-ochistki-zagryaznennoy-pochvy/>
- 9 Экономическая эффективность биотехнологий. – Вестник науки, 2020, №4.
- 10 СТ КазНТУ 09–2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала. Издательство «КазНТУ», Алматы, 2019. – 49 с
- 11 Исследование процессов самоочищения нефтезагрязнённых почв. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://envjournal.ru/ari/v2009/v4/09401.pdf>
- 12 Методика расчета экономической эффективности природоохранных мероприятий. – Нур-Султан: Минэкологии РК, 2021.
- 13 Байменов К.К. Современные подходы к очистке загрязнённых земель. – Астана: КазЭкоПринт, 2020

Приложение А

  KZ.T.02.0640 TESTING	Испытательная лаборатория ТОО РНПИЦ «Казэкология»  Аттестат аккредитации № KZ.T.02.0640 от «11» мая 2020 г. 050010, РК г.Алматы, ул Айтеке Би, 27 Тел.: 8(727)291-78-14, 8(727) 291-77-27 E-mail: kazecology.kz@gmail.com
--	--

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 120-25/158 от «07» апреля 2025 г.

Всего страниц 1
стр. 1 из 1

Наименование и адрес заказчика	ТОО «ЛабСЭМ», г.Алматы, пр.Райымбека 247Б.
Наименование объекта	Почва
Номер заказа	120-25
Нормативный документ на объект	Совместный приказ МЗ РК, МООС РК, МСХ РК, МОН РК и агентства РК по управлению земельными ресурсами № 99 от 30.01.2004 г., № ҚР ДСМ-32 от 21.04.2021 г.
Место отбора проб	Каражанбасть.
Дата отбора проб	07.07.2024 г.
Дата поступления проб	04.04.2025 г.
Дата проведения испытания	07.04.2025 г.
Вид испытаний	исследование физико-химических параметров почвы
Условия проведения испытаний	температура 22 °С, влажность — 52%

№ п/п	Наименование показателей, ед.изм.	НД на методы испытаний	Результаты испытаний
1	2	3	4
1	Нефтепродукты, мг/кг	KZ.07.00.01668-2022 ПНД Ф 16.1:2.21-98	51 973,7

Исполнитель:  (подпись) Козловская Е.А. (Ф.И.О.)

Директор ИЛ  (подпись) Жолдыбаев С.С. (Ф.И.О.)

Протокол распространяется только на пробы, подвергнутые испытаниям.
 Перепечатка документа частичная или полная запрещена без разрешения лаборатории
 Полученные результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу

Рисунок А.1 – Результат анализа первоначального содержания нефтепродуктов

Приложение Б

  KZ.T.02.0640 TESTING	Испытательная лаборатория ТОО РНПИЦ «Казэкология»  <p>Аттестат аккредитации № KZ.T.02.0640 от «11» мая 2020 г.</p> <p>050010, РК г.Алматы, ул Айтеке Би, 27 Тел.: 8(727)291-78-14, 8(727) 291-77-27 E-mail: kazecology.kz@gmail.com</p>
--	---

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 140-25/217 от «23» апреля 2025 г.

Всего страниц 1
стр. 1 из 1

Наименование и адрес заказчика	ТОО «ЛабСЭМ», г.Алматы, пр.Райымбека 247Б.
Наименование объекта	Почва
Номер заказа	140-25
Нормативный документ на объект	Совместный приказ МЗ РК, МООС РК, МСХ РК, МОН РК и агентства РК по управлению земельными ресурсами № 99 от 30.01.2004 г., № ҚР ДСМ-32 от 21.04.2021 г.
Место отбора проб	Каражанбасты (нефтепродукты + BIO-SOLV).
Дата отбора проб	17.04.2025 г.
Дата поступления проб	17.04.2025 г.
Дата проведения испытания	23.04.2025 г.
Вид испытаний	исследование физико-химических параметров почвы
Условия проведения испытаний	температура 22 °С, влажность 52 %

№ п/п	Наименование показателей, ед.изм.	НД на методы испытаний	Результаты испытаний
1	2	3	4
1	Нефтепродукты, мг/кг	KZ.07.00.01668-2022 ПНД Ф 16.1:2.21-98	51 250,0

Исполнитель:  Козловская Е.А.
(подпись) (Ф.И.О.)

Директор ИЛ  Жолдыбаев С.С.
(подпись) (Ф.И.О.)

Протокол распространяется только на пробы, подвергнутые испытаниям.
 Перепечатка документа частичная или полная запрещена без разрешения лаборатории
 Полученные результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу

Рисунок Б.1 – Финальный протокол экспериментального исследования образца под номером 1

Приложение Б

  <p style="text-align: center;">KZ.1.02.0640 TESTING</p>	<p>Испытательная лаборатория ТОО РНИЦ «Казэкология»</p> <p>Аттестат аккредитации № <u>KZ.T.02.0640</u> от «11» мая 2020 г.</p> <p>050010, РК г.Алматы, ул. Айтеке Би, 27 Тел.: 8(727)291-78-14, 8(727) 291-77-27 E-mail: kazecology.kz@gmail.com</p>
---	---

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 140-25/218 от «23» апреля 2025 г.

Всего страниц 1
стр. 1 из 1

Наименование и адрес заказчика	ТОО «ЛабСЭМ», г.Алматы, пр.Райымбека 247Б.
Наименование объекта	Почва
Номер заказа	140-25
Нормативный документ на объект	Совместный приказ МЗ РК, МООС РК, МСХ РК, МОН РК и агентства РК по управлению земельными ресурсами № 99 от 30.01.2004 г., № КР ДСМ-32 от 21.04.2021 г.
Место отбора проб	Каражанбасты (нефтепродукты + BIO-SOLV + синиобактерии).
Дата отбора проб	17.04.2025 г.
Дата поступления проб	17.04.2025 г.
Дата проведения испытания	23.04.2025 г.
Вид испытаний	исследование физико-химических параметров почвы
Условия проведения испытаний	температура 22 °С. влажность 52 %

№ п/п	Наименование показателей, ед.изм.	НД на методы испытаний	Результаты испытаний
1	2	3	4
1	Нефтепродукты, мг/кг	KZ.07.00.01668-2022 ПНД Ф 16.1:2.21-98	50 000,0

Исполнитель:  Козловская Е.А.
(подпись) (Ф.И.О.)

Директор ИЛ  Жолдыбаев С.С.
(подпись) (Ф.И.О.)

Протокол распространяется только на пробы, подвергнутые испытаниям.
Перепечатка документа частичная или полная запрещена без разрешения лаборатории
Полученные результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу

Рисунок Б.2 - Финальный протокол экспериментального исследования образца под номером 2

Приложение Б

  KZ.T.02.0640 TESTING	Испытательная лаборатория ТОО РНИИЦ «Казэкология» 
Аттестат аккредитации № KZ.T.02.0640 от «11» мая 2020 г.	
050010, РК г.Алматы, ул Айтеке Би, 27 Тел.: 8(727)291-78-14, 8(727) 291-77-27 E-mail: kazecology.kz@gmail.com	

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 140-25/219 от «23» апреля 2025 г.

Всего страниц 1
стр. 1 из 1

Наименование и адрес заказчика	ТОО «ЛабСЭМ», г.Алматы, пр.Райымбека 247Б.
Наименование объекта	Почва
Номер заказа	140-25
Нормативный документ на объект	Совместный приказ МЗ РК, МООС РК, МСХ РК, МОН РК и агентства РК по управлению земельными ресурсами № 99 от 30.01.2004 г., № КР ДСМ-32 от 21.04.2021 г.
Место отбора проб	Каражанбасты (нефтепродукты + BIO-SOLV + синиобактерии + аммиачная селитра).
Дата отбора проб	17.04.2025 г.
Дата поступления проб	17.04.2025 г.
Дата проведения испытания	23.04.2025 г.
Вид испытаний	исследование физико-химических параметров почвы
Условия проведения испытаний	температура 22 °С, влажность 52 %

№ п/п	Наименование показателей, ед.изм.	ИД на методы испытаний	Результаты испытаний
1	2	3	4
1	Нефтепродукты, мг/кг	KZ.07.00.01668-2022 ПНД Ф 16.1:2.21-98	51 870,0

Исполнитель:  Козловская Е.А.
(подпись) (Ф.И.О.)

Директор ИЛ  Жолдыбаев С.С.
(подпись) (Ф.И.О.)

Протокол распространяется только на пробы, подвергнутые испытаниям.
 Перепечатка документа частичная или полная запрещена без разрешения лаборатории
 Полученные результаты относятся к предоставленному заказчиком образцу

Рисунок Б.3 - Финальный протокол экспериментального исследования образца под номером 3

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На Дипломную работу

Пак Александры Евгеньевны

6B05206 – Инженерная экология

На тему: «Исследование методов биоремедиации для восстановления земель,
загрязненных нефтепродуктами»

Дипломная работа посвящена исследованию методов биоремедиации по восстановлению почв, загрязненных нефтепродуктами.

Данное исследование является актуальным, так как одной из наиболее острых экологических проблем в Казахстане является загрязнение почв нефтепродуктами, которые влекут ухудшение структуры гумуса, снижение плодородия и возникновение рисков для здоровья человека и окружающей среды.

Перед дипломантом были поставлены следующие задачи: исследовать методы биоремедиации нефтезагрязненных почв; разработать методику и план проведения эксперимента; дать экономическую оценку эффективности выбранного метода.

Дипломант успешно справился с поставленными задачами, выполнив их в полном объеме.

Оценка отлично 96 баллов (А).

Научный руководитель

старший преподаватель, ДВА


Кезембаева Г.Б.
«09» 06 2025 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на Дипломную работу

Пак Александры Евгеньевны

6B05206 – Инженерная экология

На тему: «Исследование методов биоремедиации для восстановления земель,
загрязненных нефтепродуктами»

Выполнено:

- а) графическая часть на 14 листах
- б) пояснительная записка на 39 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа посвящена актуальной экологической проблеме — восстановлению почв, загрязнённых нефтепродуктами, с применением биоремедиационных технологий. Автором проведено литературное исследование, выполнен эксперимент, направленный на выявление наиболее эффективного способа очистки почв. Рассчитана эколого-экономическая эффективность предлагаемого метода. Расчёты и вводная часть в дипломной работе выполнены в полном объеме, структура чётко выстроена, расчётные материалы оформлены грамотно, результаты эксперимента изложены логично. В ходе исследования использовались современные аналитические методы.

Замечание: Незначительные замечания касаются стилистики и необходимости более чёткого описания возможных ограничений метода, а также в отдельных разделах можно уточнить формулировки научных терминов и сократить повторяющиеся фразы для повышения академической строгости изложения. Однако они не снижают общего уровня работы.

Оценка работы

С учетом замечаний, которые не снижают практическую значимость, дипломная работа на тему «Исследование методов биоремедиации для восстановления земель, загрязненных нефтепродуктами», выполненная Пак Александрой Евгеньевной, заслуживает оценки «отлично» (96 баллов, А, 96%).

Рецензент

Кандидат технических наук,
ассоциированный профессор

«05»

06



Подпись Ажиевой Г.И.
Заваряю
HR департамент Г.И.
« » 20

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Пак Александра Евгеньевна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Исследование методов биоремедиации для восстановления земель, загрязненных нефтепродуктами

Научный руководитель: Гульмира Кезембаева

Коэффициент Подобия 1: 1.7

Коэффициент Подобия 2: 1.3

Микропробелы: 4

Знаки из других алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата 03.06.2025 г.

Заведующий кафедрой *Р.В.М.*
Курт Кудеков Ш.Н.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Пак Александра Евгеньевна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Исследование методов биоремедиации для восстановления земель, загрязненных нефтепродуктами

Научный руководитель: Гульмира Кезембаева

Коэффициент Подобия 1: 1.7

Коэффициент Подобия 2: 1.3

Микропробелы: 4

Знаки из других алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование: *Совпадения и заимствования не изменяет суть работы, и не нарушает самостоятельный характер работы.*

Дата 03.06.25 *Устаф Сарсенбаев С.Д.*

проверяющий эксперт