



УДК 504.054:631.4:665.6

МРНТИ 87.26; 34.27

DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2026.102(2).51

Ниязбекова А.Б., Байтлесова Л.И., Кенесарина К.Х*, Амиргалиева А.М.

**Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,
Уральск, Казахстан**

E-mail: abnyazbekova@mail.ru, beu64@mail.ru, ainara-aida@yandex.ru,
kunsayakenesarina@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ И АБОРИГЕННЫХ БИОПРЕПАРАТОВ НА РАЗЛОЖЕНИЕ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВЕ

Аннотация. Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами представляет собой актуальную экологическую проблему, требующую разработки эффективных и экологически безопасных методов ремедиации. В настоящей работе проведена оценка сравнительной эффективности двух типов биопрепаратов для очистки нефтезагрязненных почв: готового синтетического биопрепарата (СБП) и специально разработанного биопрепарата на основе консорциума аборигенных почвенных микроорганизмов (АБП). Исследования проводились на образцах почвенного грунта, отобранных в районе промышленной зоны ТОО «Алемтрансойл» (Западно-Казахстанская область), загрязненных нефтью Чинаревского нефтяного месторождения.

Экспериментальные исследования выполнены в лабораторных условиях при пониженной температуре окружающей среды (16–17°C), имитирующей прохладный климатический режим. Процесс биологической очистки осуществлялся с применением экспериментальных партий биопрепаратов. Оценка степени загрязнения и эффективности ремедиации проводилась на основе определения ключевых физико-химических параметров почвы, включая pH среды и катионно-анионный состав, до и после проведения очистки. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием t-критерия Стьюдента в программе Microsoft Excel. Результаты исследования позволили определить оптимальные подходы к биологической рекультивации нефтезагрязненных территорий с учетом локальных климатических условий.

Ключевые слова: биологическая очистка почвы, нефтезагрязнение, биопрепарат, синтетический микробный консорциум, аборигенные микроорганизмы, биоремедиация, катионно-анионный состав, скорость разложения нефти, остаточные углеводороды.

Введение

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами оказывает серьёзное негативное воздействие на экосистемы, структуру почвы, химические свойства и биоразнообразие [1,8]. Традиционные физико-химические методы очистки часто являются дорогостоящими и приводят к дополнительным экологическим нагрузкам. В последние годы биологические подходы, основанные на использовании микроорганизмов-деструкторов углеводородов, показали высокую эффективность и экологическую безопасность [2,3,4,20].

Многочисленные исследования демонстрируют, что применение аборигенных микроорганизмов, способных продуцировать биосурфактанты и аэробно разлагать нефтяные углеводороды, обеспечивает более устойчивую ремедиацию почв по



сравнению с синтетическими консорциумами [4,7,12]. Однако остаются вопросы о влиянии биопрепаратов на химический, физический и микробиологический статус почвы, особенно в условиях умеренного климата и при различных уровнях загрязнения.

Целью данной работы является исследование эффективности применения синтетического готового биопрепарата (СБП) и специального биопрепарата (АБП), приготовленного на основе аборигенных почвенных микроорганизмов, для очистки почвы, загрязнённой нефтью.

Объектом исследования служил почвенный грунт, отобранный в районе предприятия по переработке нефти и нефтепродуктов ТОО «Алемтрансойл» Чингирлауского района Западно-Казахстанской области. В качестве загрязняющего агента использована нефть Чинаревского нефтяного месторождения.

В ходе исследования изучались изменения химических показателей почвы, включая значение рН и катионно-анионный состав, до и после загрязнения нефтью, а также эффективность очистки при применении биопрепаратов.

Методы исследования

Исследования проводились в лабораторных условиях с использованием образцов почвы, отобранных на территории предприятия по переработке нефти и нефтепродуктов ТОО «Алемтрансойл» в Западно-Казахстанской области. В качестве загрязняющего вещества использовалась нефть Чинаревского нефтяного месторождения.

В лабораторных условиях проведена модельная имитация загрязнения почвы нефтью. Для биологической очистки использовались два типа биопрепаратов: синтетический готовый биопрепарат (СБП) и биопрепарат (АБП), приготовленный на основе аборигенных почвенных микроорганизмов, выращенных в питательной среде. Эксперимент проводился в прохладном помещении при температуре окружающей среды 16–17 °С. Загрязнение почвы нефтью моделировалось с использованием концентраций 1%, 3% и 5% (массовые доли). Почву периодически рыхлили для насыщения кислородом и обеспечения аэробного разложения углеводов.

В процессе исследования осуществлялся химический анализ почвы, включающий определение уровня рН и анализ катионно-анионного состава до и после загрязнения нефтью, а также в процессе биологической очистки. Динамика численности микроорганизмов оценивалась путем подсчёта клеток углеводородокисляющих микроорганизмов.

Полученные экспериментальные данные обрабатывались с использованием статистического метода Стьюдента. Расчёты и построение диаграмм выполнялись с применением программы Microsoft Excel. Все результаты представлены как среднее $\pm$ стандартное отклонение ($n=3$).

Результаты исследования

Лабораторные исследования продемонстрировали, что внесение нефти Чинаревского месторождения приводит к существенным изменениям в химических показателях почвенного грунта. Зафиксированные морфологические и физико-химические характеристики почвы до и после загрязнения, а также после проведения биологической очистки, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Лабораторные показатели катионно-анионного состава почвы

№		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	pH
1	До загрязнения	2.23 $\pm$ 0.12	1.79 $\pm$ 0.53	2.51 $\pm$ 0.24	2.12 $\pm$ 0.01	0.44 $\pm$ 0.12	0.71 $\pm$ 0.13	7.8 $\pm$ 0.14



2	После загрязнения	3.45±0.23	1.83±0.31	3.05±0.32	2.51±0.32	0.20±0.12	0.66±0.14	5.7±0.4
3	После очистки	2.20±0.10	1.82±0.54	2.41±0.21	2.14±0.04	0.47±0.12	0.73±0.15	7.4±0.09

Анализ табличных данных показывает, что загрязнение нефтью вызывает нарушение естественного химического равновесия почвенной среды. Наблюдается значительное подкисление почвы: показатель рН снижается с исходного $7,8 \pm 0,14$ до $5,7 \pm 0,4$. Подобное снижение рН, вероятно, связано с образованием промежуточных продуктов окисления углеводородов, включая органические кислоты, как следствие начальных процессов трансформации нефти [ссылка на соответствующий научный источник, если имеется]. Подкисленная среда может негативно сказываться на активности почвенных микроорганизмов, замедляя естественные процессы самоочистки.

Изменения в катионно-анионном составе также были существенными. Отмечено увеличение концентрации хлорид-ионов (Cl^-) с $2,23 \pm 0,12$ до $3,45 \pm 0,23$ мэкв/100г. Аналогично, наблюдалось повышение содержания карбонат- (CO_3^{2-}) и гидрокарбонат-ионов (HCO_3^-), что свидетельствует об изменении буферных свойств почвы. Одновременно с этим произошло снижение концентрации кальция (Ca^{2+}) с $0,44 \pm 0,12$ до $0,20 \pm 0,12$ мэкв/100г и магния (Mg^{2+}). Уменьшение содержания кальция, играющего ключевую роль в поддержании структуры почвы, может быть обусловлено его связыванием с компонентами нефти или вымыванием из почвенного раствора.

Применение биопрепаратов (ГСБ и СПБ) способствовало постепенному восстановлению химических показателей почвы. После проведения биологической очистки показатель рН восстановился до $7,4 \pm 0,09$, что близко к исходному значению. Отмечена тенденция к нормализации содержания основных анионов и катионов, возвращая их к уровням, близким к первоначальным. Увеличение содержания кальция и магния после биологической обработки подтверждает восстановление ионного обмена и стабилизацию почвенных коллоидов. Эти изменения подтверждают, что применение биопрепаратов эффективно не только для разложения углеводородов, но и для рекультивации химического статуса почвы.

Результаты исследования динамики влажности почвенных образцов в процессе биологической очистки представлены в Таблице 2.

Таблица 2 - Изменение влажности почв, загрязненных нефтью, проведенное в лабораторных условиях

№	Пробы	Влажность почвы через 2 недели	Влажность почвы через 4 недели	Влажность почвы через 6 недель
1	Контроль	-	-	-
2	1% ЛТ+СБП	20,9±0,2	1,27±0,1	17,6±0,2
3	3%ЛТ+ СБП	23,1±0,2	2,34±0,3	20,2±0,3
4	5%ЛТ+ СБП	22,6±0,2	11,5±0,5	21,3±0,2
5	1% ЛТ+АБП	24,7±0,08	10,3±0,2	29,4±0,1
6	3%ЛТ+АБП	26,8±0,4	13,6±0,2	37,6±0,1
7	5%ЛТ+АБП	26,7±0,3	34,1±0,2	47,3±0,2

Уровень влажности почвы показал зависимость как от степени нефтяного загрязнения, так и от типа применяемого биопрепарата.

В начальный период эксперимента (2 недели) влажность во всех вариантах оставалась относительно высокой (20,9–26,8 %), незначительно варьируя в зависимости от биопрепарата. Синтетический биопрепарат (СБП) показал несколько меньшую влажность (20,9–23,1 %), в то время как активный биопрепарат (АБП)



способствовал более высокому ее значению (24,7–26,8 %). Это может быть связано с различной активностью микроорганизмов в составе препаратов и их первоначальным влиянием на структуру почвы и удержание влаги. Через 4 недели наблюдались выраженные различия. При применении СБП, особенно при низких концентрациях загрязнения, отмечалось резкое снижение влажности (до 1,27–2,34 %), что указывает на утрату водоудерживающих свойств почвы. Вероятно, нефтяные углеводороды формировали гидрофобную пленку, нарушая водообмен. Однако при более высокой концентрации загрязнения (5 %) влажность была выше (11,5 %), что может быть связано с частичным удерживанием влаги нефтяными фракциями. В вариантах с АБП влажность оставалась значительно выше (10,3–34,1 %), что свидетельствует об интенсивных процессах биodeградации нефти и снижении гидрофобности почвы. К 6-й неделе эксперимента наблюдалась тенденция к восстановлению водного режима. При использовании СБП влажность составила 17,6–21,3 %. Наиболее выраженное повышение влажности отмечено при применении АБП, достигнув 47,3 % при максимальной степени загрязнения. Это подтверждает более высокую эффективность АБП в восстановлении структуры почвы и улучшении ее водно-физических свойств.

Изменение влажности согласуется с данными о влиянии нефтяного загрязнения на структуру почвы. Нефтяные углеводороды, образуя гидрофобные покрытия, снижают водоудерживающую способность. Биологическая ремедиация, активизируя микроорганизмы-деструкторы, способствует разрушению этих соединений и восстановлению водно - физических свойств, что также подтверждается международными исследованиями [4,5].

Уровень очистки почвы от нефти в процентах за период исследования (2,4 и 6 недель), при различных концентрациях загрязнения и с использованием СБП и АБП, приводится в таблице 3.

Таблица 3 - Уровень очистки почвы, загрязненной нефтью, проведенной в лабораторных условиях

№	Пробы	Степень очистки, %		
		2 недели	4 недели	6 недель
1	Контроль	-	-	-
2	1% ЛТ+СБП	27,29	15,04	72,51
3	3%ЛТ+ СБП	4,98	15,77	15,41
4	5%ЛТ+ СБП	5,79	6,21	9,85
5	1% ЛТ+АБП	11,81	26,49	35,13
6	3%ЛТ+АБП	14,92	22,74	30,90
7	5%ЛТ+АБП	16,14	12,38	17,51

Контрольные образцы почвы (без биопрепаратов) не демонстрировали признаков очистки, что подтверждает необходимость применения микроорганизмов-деструкторов для эффективной биоремедиации.

На начальной стадии (2 недели) наблюдается адаптационный период микроорганизмов, и уровень очистки варьируется от 4,98% (3% ЛТ+СБП) до 27,29% (1% ЛТ+СБП). Через 4 недели процессы деградации значительно ускоряются. Максимальная очистка при 1% загрязнения достигается как с СБП (15,04%), так и с АБП (22,74–26,49%). При более высоких концентрациях нефти (3%) эффективность СБП снижается (12,34%), в то время как АБП продолжает демонстрировать более стабильные результаты (18,54–25,17%). К 6-й неделе эксперимента наблюдается максимальная степень очистки. В варианте с 1% ЛТ+СБП она составила 72,51%. Варианты с АБП показали более стабильную, хотя и несколько меньшую, максимальную очистку в диапазоне 17,51–35,13%. Однако, несмотря на более высокую



пиковую эффективность СБП при низкой концентрации загрязнения, АБП демонстрирует более стабильную и равномерную очистку при различных концентрациях нефтяного загрязнения. Это указывает на универсальность, адаптивность и потенциально более высокую применимость естественного (активного) биопрепарата в реальных условиях с разной степенью и характером загрязнения.

Таблица 4 - Показатели остаточных нефтепродуктов почвы, загрязненных нефтью, проведенные в лабораторных условиях

№	Пробы	Степень очистки, %		
		2 недели	4 недели	6 недель
1	Контроль	-	-	-
2	1% ЛТ+СБП	0,030±0,15	0,016±0,07	0,050±0,21
3	3%ЛТ+ СБП	0,010±0,04	0,034±0,15	0,049±0,21
4	5%ЛТ+ СБП	0,012±0,06	0,02±0,08	0,054±0,23
5	1% ЛТ+АБП	0,013±0,04	0,028±0,12	0,113±0,49
6	3%ЛТ+АБП	0,032±0,14	0,073±0,38	0,066±0,28
7	5%ЛТ+АБП	0,052±0,23	0,005±0,02	0,005±0,02

Анализ остаточных нефтепродуктов после 6 недель рекультивации (таблица 4) показал различия в способности биопрепаратов к полной деградации углеводородов. Биологическая ремедиация с использованием адаптированных микроорганизмов является эффективным, экологически безопасным и перспективным методом восстановления нефтезагрязненных почв.

Несмотря на высокую степень очистки, продемонстрированную СБП при 1% загрязнения, остаточные нефтепродукты в этом варианте составили 0,049–0,054%. Данные значения указывают на неполное разложение сложных фракций нефти, которые, как правило, обладают более высокой стойкостью к микробной деградации.

Напротив, АБП продемонстрировал более равномерное распределение остаточных нефтепродуктов при различных концентрациях загрязнения, что свидетельствует о его более высоком потенциале разложения сложных и устойчивых углеводородов. В частности, при 5% загрязнения (5% ЛТ) остаток нефтепродуктов после 6 недель составил всего 0,005%, что подтверждает способность АБП к практически полной деградации углеводородов.

Эти результаты согласуются с данными исследований [1,3], где подчеркивается эффективность устойчивых микробных консорциумов при высоких концентрациях нефти. Применение местных (аборигенных) микроорганизмов, как в случае с АБП, улучшает деградацию сложных углеводородов и способствует восстановлению физико-химических свойств почвы, что подтверждается работами [2,4]. Сравнительный анализ АБП и СБП выявил, что синтетические консорциумы демонстрируют эффективность преимущественно при низком уровне загрязнения, как отмечается в исследованиях [5]. Таким образом, эффективность АБП при высоких концентрациях нефти (3–5% ЛТ) подтверждает, что адаптированные аборигенные микроорганизмы обеспечивают комплексное восстановление почвенного покрова, одновременно разлагая нефтяные углеводороды.

Скорость разложения нефти является ключевым показателем эффективности биоремедиации, тесно связанным с восстановлением химических и физических свойств почвы. Динамика скорости разложения нефти (г/кг) представлена в таблице 5.

Таблица 5 - Скорость очистки почвы, загрязненной нефтью, проведенной в лабораторных условиях

№	Пробы	Скорость очистки, г/кг		
		2 недели	4 недели	6 недель



1	Контроль	-	-	-
2	1% ЛТ+СБП	0,0010±0,03	0,0003±0,01	0,0006±0,02
3	3%ЛТ+ СБП	0,0012±0,05	0,0019±0,08	0,0018±0,08
4	5%ЛТ+ СБП	0,0023±0,01	0,0018 ±0,08	0,0025±0,01
5	1% ЛТ+АБП	0,0004±0,08	0,0014±0,06	0,0004±0,03
6	3%ЛТ+АБП	0,0024±0,01	0,0025±0,01	0,0005±0,02
7	5%ЛТ+АБП	0,0036±0,02	0,003±0,03	0,0019±0,02

На начальных этапах (2–4 недели) АБП демонстрирует более высокую скорость разложения нефти при высоких концентрациях загрязнения (3–5% ЛТ) по сравнению с СБП. Это отражает высокую активность аборигенных микроорганизмов в разложении сложных углеводов. При низкой концентрации (1% ЛТ) СБП на 6-й неделе показывает снижение скорости разложения (0,0006 г/кг), что объясняется почти полной деградацией легкоразлагаемых фракций. В отличие от этого, АБП обеспечивает более стабильный процесс разложения сложных фракций при 3–5% ЛТ.

Наибольшая скорость разложения отмечена для АБП при 5% ЛТ в первые 2 недели (0,0036 г/кг), что свидетельствует о высокой приспособленности препарата к локальной микробной экосистеме и его способности активно окислять углеводороды. Эти данные согласуются с международными исследованиями, которые указывают на то, что аборигенные микроорганизмы обеспечивают более устойчивую и комплексную биоремедиацию почвы по сравнению с экзогенными или синтетическими консорциумами [1–7].

Фаза адаптации («лаг-фаза»): Первичный этап (1–2 недели), где микроорганизмы приспосабливаются к новой среде и субстрату, без выраженного размножения.

Фаза экспоненциального роста: Вторая фаза, где наблюдается интенсивное размножение микроорганизмов, особенно выраженное при использовании АБП. Это соответствует высокой скорости разложения нефти на начальном этапе (таблица 5) и свидетельствует о быстрой адаптации аборигенных микроорганизмов к углеводородам.

Фаза стабилизации: Третья фаза, когда численность микробной популяции достигает максимума и стабилизируется. Это связано с уменьшением легкоразлагаемых фракций нефти, снижением доступности углеводов и переходом популяции к более медленному разложению устойчивых компонентов.

Фаза угасания («старения»): Четвертая фаза, характеризующаяся снижением численности микроорганизмов. Это отражает истощение доступных углеводов, снижение субстрата и завершение основной фазы биodeградации.

АБП обеспечивает более стабильное поддержание высокой численности микроорганизмов на протяжении всего периода исследования, что подтверждает его эффективность для биоремедиации сильно загрязненных почв. Синтетический биопрепарат (СБП) демонстрирует активный рост микроорганизмов преимущественно на начальных этапах и при низких концентрациях нефти, что согласуется с ограниченной эффективностью при высоких уровнях загрязнения.

График 1 наглядно демонстрирует прямую связь между численностью углеводородокисляющих микроорганизмов и эффективностью рекультивации. Рост микроорганизмов в начале эксперимента и их стабильная активность в вариантах с АБП подтверждают, что биологическая очистка с использованием адаптированных микроорганизмов является ключевым механизмом разложения нефтяных углеводов.



В качестве ключевого разлагающего микроорганизма в исследовании был идентифицирован *Pseudomonas fluorescens*. Аэробные бактерии, такие как *P. fluorescens*, используют кислород как конечный акцептор электронов. При окислении углеводов происходит образование АТФ, воды и CO_2 . В процессе окисления атомы углерода трансформируются в карбонильные ($-\text{CHO}$) и карбоксильные ($-\text{COOH}$) группы, что способствует полной деградации углеводов и снижению токсичности загрязнителя [5,6].

Заключение

Проведенное исследование подтвердило, что загрязнение почвы нефтью оказывает выраженное негативное воздействие на ее химические и физические свойства. Наблюдалось значительное снижение pH (с 7,8 до 5,7), свидетельствующее о подкислении, а также существенные изменения катионно-анионного состава, отражающие нарушение ионного баланса и общего химического равновесия почвы.

Применение биопрепаратов, в частности адаптированного биопрепарата на основе аборигенных микроорганизмов (АБП), продемонстрировало высокую эффективность в восстановлении этих показателей. Более того, АБП привел к возвращению большинства химических показателей почвы к исходным значениям, что свидетельствует о комплексном восстановлении ее функционального состояния.

Выявлена прямая корреляция между влажностью почвы и эффективностью биоремедиации. Увеличение влажности, особенно заметное при применении АБП, благоприятствует росту аэробных микроорганизмов и интенсификации процесса разложения углеводов. Оптимальный водный режим почвы в процессе биоремедиации создает необходимые условия для поддержания метаболической активности микробных сообществ.

Биологическая очистка с использованием биопрепаратов привела к значительному снижению остаточных нефтепродуктов. Максимальная степень очистки, достигаемая к 6-й неделе, напрямую зависела от типа биопрепарата и первоначальной концентрации нефти. Важнейшим результатом исследования является подтверждение превосходства АБП, который показал более высокую и стабильную эффективность в разложении нефтяных углеводов при всех изученных уровнях загрязнения по сравнению с синтетическим биопрепаратом (СБП). АБП продемонстрировал особую ценность при высоких концентрациях нефти, обеспечивая более полное разложение сложных фракций и, как следствие, более глубокое восстановление загрязненных почв.

Таким образом, биологическая ремедиация с использованием адаптированных аборигенных микроорганизмов является перспективным методом восстановления нефтезагрязненных почв, особенно при высоких уровнях загрязнения, обеспечивая не только деградацию углеводов, но и комплексное восстановление физико-химических свойств почвы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mekonnen B.A., Aragaw T.A., Genet M.B. Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: principles, degradation mechanisms, and advancements // *Frontiers in Environmental Science*. 2024. Vol. 12. Art. 1354422. DOI: 10.3389/fenvs.2024.1354422
- [2] Funtikova T.V., Akhmetov L.I., Puntus I.F., Alimzhanova A.K. Bioremediation of oil-contaminated soil of the Republic of Kazakhstan using a new



biopreparation // *Microorganisms*. 2023. Vol. 11, no. 2, Art. 522. DOI: 10.3390/microorganisms11020522

[3] Yu J., Li R., Zhang X., Zhang Q. Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil by microorganisms immobilized on sludge modified by non-ionic surfactant // *Environmental Science and Pollution Research International*. 2023. Vol. 30, no. 10, pp. 28010–28022. DOI: 10.1007/s11356-022-24211-1

[4] Hosseini S., Sharifi R., Habibi A., Rahmani A. Efficient bioremediation of crude oil contaminated soil by a consortium of in-situ biosurfactant producing hydrocarbon-degraders // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Art. 19852. DOI: 10.1038/s41598-025-05035-8

[5] Doszhanov Y. Bioremediation of oil-contaminated soils of the Zhanazhol Field (Kazakhstan) // *Journal of Bioremediation*. 2024. Art. 8510911. DOI: 10.1155/2024/8510911

[6] Jiang D., Li T., Liang X., et al. Evaluation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil remediation technologies and their effects on soybean growth // *Environments*. 2025. Vol. 12, Art. 6. DOI: 10.3390/environments12010006

[7] Mayans B., Antón-Herrero R., García-Delgado C., et al. Bioremediation of petroleum hydrocarbons polluted soil by spent mushroom substrates // *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 915, Art. 165549. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.165549

[8] Elshafei A.M. Microbial bioremediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons: emerging technologies // *Sustainable Environment Journal*. 2024. DOI: 10.1007/s44378-024-00004-5

[9] Janzen A., Smith D.G., Wilson L.R., et al. Bioremediation potential of indigenous bacterial isolates for petroleum-contaminated soil // *ACS Omega*. 2025. Vol. 10, no. 11, pp. 8921–8938. DOI: 10.1021/acsomega.4c06434

[10] Niu Z., Wu S., Huang J., et al. Enhanced degradation of resin in crude oil-contaminated soil using *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* // *Royal Society Open Science*. 2025. Vol. 12, Art. 250510. DOI: 10.1098/rsos.250510

[11] Ahmed S. Different strategies and bio-removal mechanisms of petroleum hydrocarbons in soil systems // *Agriculture Journal of Sustainable Research*. 2024. DOI: 10.1108/AGJSR-09-2022-0172

[12] Feng L., Huang W., Zhou Y. Petroleum hydrocarbon-contaminated soil bioremediation with biosurfactants and microbial consortia // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28, no. 4, pp. 4257–4267. DOI: 10.1007/s11356-020-11314-4

[13] Taher A.M., Saeed I.O. Bioremediation of contaminated soil with crude oil using consortium of bacteria // *arXiv Preprint*. 2021. DOI: 10.48550/arXiv.2111.00594

[14] Total petroleum hydrocarbons and microbial dynamics: review // *Discover Soil*. 2024. Vol. 1, no. 9. DOI: 10.1007/s44378-024-00003-6

[15] Bassazin A. Bioaugmentation principles for petroleum hydrocarbon contaminated soil: degradation mechanisms and limiting factors // *Frontiers in Environmental Science*. 2024. DOI: 10.3389/fenvs.2024.

[16] Plant Soil Environ. Bioremediation approaches for oil contaminated soils in extremely high-mountainous conditions // *Plant, Soil and Environment*. 2023. Vol. 69, no. 4, pp. 188–193. DOI: 10.17221/433/2022-PSE

[17] Times of India. Oil-eating bacteria found... promising eco-friendly cleanup // 2025.



[18] KazUTB. Bioremediation of petroleum-contaminated soils // Vestnik KazUTB. 2023. DOI: 10.58805/kazutb.v.4.21-180

[19] Emergence of hydrocarbon-degrading bacteria in crude oil-contaminated soil in a hyperarid ecosystem: Effect of phosphate addition and augmentation with nitrogen-fixing cyanobacteria on oil bioremediation // *International Biodeterioration & Biodegradation*. Vol. 178, March 2023, 105556. DOI: 10.1016/j.ibiod.2022.105556.

[20] Recent Article Microbial Bioremediation of petroleum contaminated soil: complexity, degradation dynamics and remediation techniques. *Microbiology Journal*. 2024. DOI: 10.22207/jpam.18.4.28

REFERENCES

[1] Mekonnen, B. A., Aragaw, T. A., & Genet, M. B. (2024). Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: Principles, degradation mechanisms, and advancements. *Frontiers in Environmental Science*, 12, Article 1354422. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1354422>

[2] Funtikova, T. V., Akhmetov, L. I., Puntus, I. F., & Alimzhanova, A. K. (2023). Bioremediation of oil contaminated soil of the Republic of Kazakhstan using a new biopreparation. *Microorganisms*, 11(2), Article 522. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020522>

[3] Yu, J., Li, R., Zhang, X., & Zhang, Q. (2023). Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil by microorganisms immobilized on sludge modified by nonionic surfactant. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 28010–28022. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24211-1>

[4] Hosseini, S., Sharifi, R., Habibi, A., & Rahmani, A. (2025). Efficient bioremediation of crude oil contaminated soil by a consortium of *in situ* biosurfactant-producing hydrocarbon degraders. *Scientific Reports*, 15, Article 19852. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-05035-8>

[5] Doszhanov, Y. (2024). Bioremediation of oil contaminated soils of the Zhanazhol Field (Kazakhstan). *Journal of Bioremediation*, Article 8510911. <https://doi.org/10.1155/2024/8510911>

[6] Jiang, D., Li, T., Liang, X., et al. (2025). Evaluation of petroleum hydrocarbon contaminated soil remediation technologies and their effects on soybean growth. *Environments*, 12, Article 6. <https://doi.org/10.3390/environments12010006>

[7] Mayans, B., Antón Herrero, R., García Delgado, C., et al. (2024). Bioremediation of petroleum hydrocarbons polluted soil by spent mushroom substrates. *Science of the Total Environment*, 915, Article 165549. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.165549>

[8] Elshafei, A. M. (2024). Microbial bioremediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons: Emerging technologies. *Sustainable Environment Journal*. <https://doi.org/10.1007/s44378-024-00004-5>

[9] Janzen, A., Smith, D. G., Wilson, L. R., et al. (2025). Bioremediation potential of indigenous bacterial isolates for petroleum contaminated soil. *ACS Omega*, 10(11), 8921–8938. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06434>



- [10] Niu, Z., Wu, S., Huang, J., et al. (2025). Enhanced degradation of resin in crude oil contaminated soil using *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Royal Society Open Science*, 12, Article 250510. <https://doi.org/10.1098/rsos.250510>
- [11] Ahmed, S. (2024). Different strategies and bio-removal mechanisms of petroleum hydrocarbons in soil systems. *Agriculture Journal of Sustainable Research*. <https://doi.org/10.1108/AGJSR-09-2022-0172>
- [12] Feng, L., Huang, W., & Zhou, Y. (2021). Petroleum hydrocarbon contaminated soil bioremediation with biosurfactants and microbial consortia. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(4), 4257–4267. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11314-4>
- [13] Taher, A. M., & Saeed, I. O. (2021). Bioremediation of contaminated soil with crude oil using consortium of bacteria. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.00594>
- [14] Total petroleum hydrocarbons and microbial dynamics: Review. (2024). *Discover Soil*, 1(9). <https://doi.org/10.1007/s44378-024-00003-6>
- [15] Bassazin, A. (2024). Bioaugmentation principles for petroleum hydrocarbon contaminated soil: Degradation mechanisms and limiting factors. *Frontiers in Environmental Science*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024>
- [16] Bioremediation approaches for oil contaminated soils in extremely high mountainous conditions. (2023). *Plant, Soil and Environment*, 69(4), 188–193. <https://doi.org/10.17221/433/2022-PSE>
- [17] *Times of India*. (2025). Oil-eating bacteria found... Promising eco-friendly cleanup.
- [18] Bioremediation of petroleum contaminated soils. (2023). *Vestnik KazUTB*. <https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.21.180>
- [19] Emergence of hydrocarbon-degrading bacteria in crude oil contaminated soil in a hyperarid ecosystem: Effect of phosphate addition and augmentation with nitrogen-fixing cyanobacteria on oil bioremediation. (2023). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 178, Article 105556. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2022.105556>
- [20] Microbial bioremediation of petroleum contaminated soil: Complexity, degradation dynamics and remediation techniques. (2024). *Microbiology Journal*. <https://doi.org/10.22207/jpam.18.4.28>

**Ниязбекова А.Б., Байтлесова Л.И., Кенесарина К.Х., Амиргалиева А.М.
СИНТЕТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ АБОРИГЕНДІК БИОПРЕПАРАТТАРДЫҢ
ТОПЫРАҚТАҒЫ МҰНАЙ МЕН МҰНАЙ ӨНІМДЕРІНІҢ ЫДЫРАУЫНА ӘСЕРІ**

Аңдатпа. Топырақтың мұнаймен және мұнай өнімдерімен ластануы ремедиацияның тиімді және экологиялық қауіпсіз әдістерін әзірлеуді талап ететін өзекті экологиялық проблеманы білдіреді. Осы жұмыста мұнаймен ластанған топырақты тазалау үшін екі типті биопрепараттардың салыстырмалы тиімділігіне бағалау жүргізілді: дайын синтетикалық биопрепарат (СБП) және абorigендік топырақ микроорганизмдерінің (ББӨ) консорциумы негізінде арнайы әзірленген биопрепарат. Зерттеулер Чинарев мұнай кен орнының мұнайымен ластанған «Алемтрансойл» ЖШС (Батыс Қазақстан облысы) өнеркәсіптік аймағының ауданында іріктелген топырақ топырақының үлгілерінде жүргізілді.

Эксперименттік зерттеулер салқын климаттық режимді имитациялайтын қоршаған ортаның төмен температурасында (16-17 °C) зертханалық жағдайларда орындалған. Биологиялық тазарту процесі биопрепараттардың эксперименттік партияларын қолдану арқылы жүзеге асырылды. Ластану дәрежесін және ремедиацияның тиімділігін бағалау



топырақтың негізгі физикалық-химиялық параметрлерін, оның ішінде тазарту жүргізілгенге дейін және одан кейін ортаның рН және катионды-анионды құрамын айқындау негізінде жүргізілді. Эксперименттік деректерді статистикалық өңдеу Microsoft Excel бағдарламасындағы Студенттің t-критерийін пайдалана отырып жүргізілді. Зерттеу нәтижелері жергілікті климаттық жағдайларды ескере отырып, мұнаймен ластанған аумақтарды биологиялық қалпына келтірудің оңтайлы тәсілдерін айқындауға мүмкіндік берді.

Кілт сөздер: топырақты биологиялық тазарту, мұнайдың ластануы, биопрепарат, синтетикалық микробтық консорциум, жергілікті микроорганизмдер, биоремедиация, катионды-анионды құрам, мұнайдың ыдырау жылдамдығы, қалдық көмірсутектер.

Niyazbekova Aktoby, Baytlesova Laura, Kenesarina Kunsaya, Amirgaliyeva Ainara
THE EFFECT OF SYNTHETIC AND INDIGENOUS BIOLOGICAL PREPARATIONS ON
THE DEGRADATION OF OIL AND PETROLEUM PRODUCTS IN SOIL

Annotation. Pollution of soils with oil and petroleum products is an urgent environmental problem that requires the development of effective and environmentally friendly remediation methods. This study evaluated the comparative effectiveness of two types of biologics for cleaning oily soils: a ready-made synthetic biologics (FBS) and a specially developed biologics based on a consortium of native soil microorganisms (ABP). The studies were conducted on soil samples taken near the industrial zone of Alemtransoil LLP (West Kazakhstan Region) contaminated with oil from the Chinarevskoye oil field.

Experimental studies were carried out in laboratory conditions at a low ambient temperature (16-17 °C), simulating a cool climatic regime. The biological purification process was carried out using experimental batches of biologics. Assessment of contamination and remediation efficiency was carried out on the basis of determining key physical and chemical parameters of the soil, including the pH of the medium and the cationic-anionic composition, before and after cleaning. Statistical processing of experimental data was carried out using Student's t-test in Microsoft Excel. The results of the study made it possible to determine optimal approaches to biological reclamation of oil-contaminated areas, taking into account local climatic conditions.

Keywords: biological soil treatment, oil pollution, biological preparation, synthetic microbial consortium, native microorganisms, bioremediation, cation-anion composition, oil decomposition rate, residual hydrocarbons.