

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕГРАДАЦИИ
ТЯЖЕЛЫХ ФРАКЦИЙ НЕФТИ И МОТОРНЫХ МАСЕЛ
ПРИ УЧАСТИИ ОТОБРАННЫХ ШТАММОВ
RHODOCOCCUS, GORDONIA, DIETZIA**

Искакова А. Ж., студент

*Научный руководитель – канд. хим. наук, доцент Мухтаров А. К.
Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева
Астана, Казахстан*

Аннотация. В условиях техногенного давления на окружающую среду традиционные методы очистки почвы, такие как физико-химические или термические, оказываются либо недостаточно эффективными, либо экономически и экологически затратными. На этом фоне особое значение приобретают биотехнологические методы, в частности биоремедиация, основанная на использовании микроорганизмов-деструкторов, обладающих способностью к окислению нефтяных углеводородов. Суть биоремедиации заключается в стимулировании или целенаправленном внесении микробных сообществ, способных использовать углеводороды как единственный источник углерода и энергии.

Ключевые слова: природные изоляты, скрининг, штаммы бактерий, фракций нефти, биodeградационная активность.

Важной особенностью микробных консорциумов является их метаболическая гибкость: одни штаммы эффективно разлагают низкомолекулярные алканы, другие – ароматические или полициклические соединения. Наиболее изученными и перспективными в этом контексте являются бактерии родов *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Arthrobacter*, *Gordonia*, *Dietzia*, *Microbacterium* и др., устойчивые к токсическим компонентам нефти и способные к активному размножению в неблагоприятных условиях окружающей среды.

Особый интерес представляют природные изоляты, выделенные из нефтезагрязненных территорий, поскольку они адаптированы к экстремальным условиям и нередко демонстрируют высокую деградационную активность. Именно такие микроорганизмы были объектами настоящего исследования, выполненного на основе проб, собранных

на территории Атырауского нефтеперерабатывающего завода (АНПЗ) – одного из наиболее загрязненных участков Казахстана.

Актуальность исследования заключается в необходимости поиска эффективных и безопасных микробных агентов для применения в технологиях очистки почвы от углеводородных загрязнителей. Несмотря на наличие коммерческих биопрепаратов, в большинстве случаев они недостаточно адаптированы к конкретным природно-климатическим условиям. В этой связи обоснованной становится стратегия выделения автохтонных микроорганизмов-деструкторов с последующим определением их экологической и метаболической активности, а также условий, при которых их эффективность максимальна.

Цель исследования – определить эффективность использования природных микроорганизмов в биодegradации различных фракций нефтяных углеводородов, выделенных из почвы, загрязненной в районе Атырауского НПЗ.

Задачи исследования:

– Скрининг и отбор наиболее активных культур, способных утилизировать углеводороды нефти.

– Определение оптимальных условий роста микроорганизмов – нефтедеструкторов.

– Биосовместимость активных штаммов нефтедеструкторов и оценка эффективности их применения в очистке почвы.

В результате первоначального обогащения из образцов нефтезагрязненной почвы с территории завода АНПЗ было выделено 182 изолята нефтеокисляющих микроорганизмов. После повторного скрининга на средах с нефтью и нефтепродуктами были отобраны 46 наиболее активных штаммов, способных выращиваться на данных субстратах. Отобранные культуры инкубировали в жидкой минеральной среде с 1 % соответствующих углеводородов (нефть, мазут, дизельное топливо, моторные масла) для подтверждения способности к их утилизации (табл. 1). Выявлено, что бактериальные колонии этих штаммов по морфологическим признакам: цвету, форме, размеру и поверхности; наблюдались как непигментированные, так и пигментированные колонии (желтоватые, красные, светло-желтые) (рис. 1). Интенсивный рост культуры (оценка «++++») сопровождался полным исчезновением пленки углеводорода на поверхности среды. Нефть и нефтепродукты при этом эмульсировались в мелкодисперсную суспензию, а в среде накапливалось значительное количество бактериальной биомассы.

По результатам скрининга было отобрано 46 штаммов деструкторов, устойчиво растущих в жидкой среде ВД с добавлением нефти и нефтепродуктов [1].

Анализ активности отобранных культур показал, что на нефти и мазуте интенсивный рост (4 балла) продемонстрировали по 20 штаммов, на дизельном топливе – 21 штамм, на моторных маслах № 1 и № 2 – 19 и 20 штаммов соответственно. Причем 25 штаммов проявили высокую степень углеводородокисляющей активности одновременно на нескольких субстратах. К наиболее активным культурам относятся, в частности штаммы *Rhodococcus sp.* 1D/1, *Gordonia sp.* 12/5, *Rhodococcus erythropolis* 14/1 и др, которые способны разлагать все перечисленные субстраты [2].

Таблица 1 – Характеристика наиболее активных штаммов, утилизирующих нефтяные углеводороды

Штаммы	Источник выделения	Рост на нефти	Рост на мазуте	Рост на дизеле	Рост на мотор. масле № 1	Рост на мотор. масле № 2	Утилизация нефти, %
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Rhodococcus sp.</i> 1D/1	Почва (АНПЗ)	++++	++++	++++	++	++++	~70 %
<i>Gordonia sp.</i> 12/5	Почва (АНПЗ)	++++	++++	++++	++++	++++	~75 %
<i>Dietzia sp.</i> 12/7	Почва (АНПЗ)	+++	+++	++++	+++	++++	>80 %
<i>Rhodococcus erythropolis</i> 14/1	Почва (АНПЗ)	++++	+	++++	++++	++++	~78 %
<i>Pseudomonas sp.</i> 14/2	Почва (АНПЗ)	++++	++++	++	++	+	~60 %
<i>Rhodococcus sp.</i> 14/3	Почва (АНПЗ)	++++	++++	++++	++	++++	~70 %
<i>Arthrobacter sp.</i> 15/3	Почва (АНПЗ)	++++	++++	++	+++	++	~60 %

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Microbac- terim</i> sp. 16/1	Почва (АНПЗ)	++++	++++	++++	–	–	~55 %
<i>Alcano- vorax</i> sp. 16/3	Почва (АНПЗ)	++++	++	+	++	++++	~66 %

Примечание. «–» – отсутствие роста; «+» – слабый рост; «++» – слабый рост; «+++» – хороший рост, «++++» – интенсивный рост культуры.

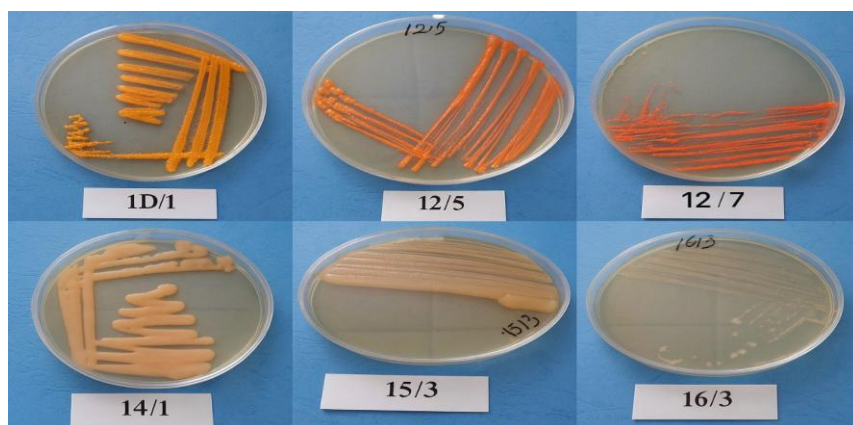


Рисунок 1 – Штаммы углеводородокисляющих бактерии деструкторов: 1D/1; 12/5; 12/7; 14/1; 15/3; 16/3

Для оценки оптимальных условий роста наиболее активных штаммов-деструкторов (*Rhodococcus* sp. 1D/1, *Gordonia* sp. 12/5, *Rhodococcus erythropolis* 14/1 и др.) были проведены исследования на различных субстратах и в условиях, моделирующих факторы окружающей среды: температура, pH, концентрация субстрата и продолжительность инкубации.

Штаммы культивировались в жидкой минеральной среде с добавлением различных углеводородных субстратов в концентрации от 0,2 г/л до 1%. Исследование проводилось при температуре от 22 °С до 32 °С, при различных условиях pH и продолжительности

инкубации от 24 до 96 часов. Оценка роста штаммов производилась спектрофотометрически по оптической плотности при 540 нм, а степень деградации субстрата – методом экстракции и гравиметрического анализа [3].

Оптимальные условия роста варьировались в зависимости от штамма и субстрата. Наиболее активные штаммы достигали пика биомассы к 3–4 суткам культивирования. В частности, на фенантрене *Rhodoccus erythropolis* 14/1 и *Rhodococcus sp.* 1D/1 увеличивали биомассу в 11–11,5 раз, тогда как штамм *Gordonia sp.* 12/5 в 8 раз.

Также было выявлено, что максимальная активность по деградации о-, м-, п-крезола достигается в пределах 72–96 часов. Например, *Rhodoccus erythropolis* 14/1 полностью деградировал о-крезол за 72 часа, а *Rhodococcus sp.* 1D/1 за 96 часов, с достижением почти 100 % утилизации субстрата (табл. 2).

Таблица 2 – Оптимальные условия роста и деградации субстратов активными штаммами

Штамм	Субстрат	Оптимальная температура, °С	Время деградации, ч	Максимальный рост (кратность)	Степень деградации, %
<i>Rhodococcus sp.</i> 1D/1	о-крезол	28	96	11,5	97 %
<i>Rhodoccus erythropolis</i> 14/1	о-крезол	28	72	11	100 %
<i>Gordonia sp.</i> 12/5	о-крезол	26–28	48	8	100 %
<i>Dietzia sp.</i>	о-крезол	28	72	10	91 %
<i>Rhodococcus sp.</i> 1D/1	фенантрен	29	96	11,5	> 90 %
<i>Gordonia sp.</i> 12/5	фенантрен	28	96	8	85 %

Проведенные исследования позволили выявить наиболее эффективные условия роста микроорганизмов деструкторов для последующего применения в биоремедиации. Наибольшую активность показали представители родов *Rhodococcus* и *Gordonia* при температуре 28 °С и 72–96 часах культивирования.

Для оценки биосовместимости и эффективности применения отобранных штаммов проводились эксперименты с почвой, загрязненной сырой нефтью. Перед внесением в почву культуры выращивали в жидкой среде до логарифмической стадии роста [4]. Почва загрязнялась нефтью в концентрации 3 %, затем в нее вносили микробную суспензию и выдерживали при комнатной температуре в течение 30 суток.

Для контроля использовались образцы с нефтью без внесения микроорганизмов (естественная биодеградация). Отбор проб проводился на 0, 15, 30 сутки.

При совместном применении *Rhodococcus* sp. 1D/1 и *Gordonia* sp. 12/5 степень удаления нефти из почвы составила 82 %, а при использовании этих культур по отдельности 66 % и 70 % соответственно [5].

Кроме того, при совместном использовании штаммов наблюдалось повышение биомассы и ферментативной активности, что указывает на наличие синергетического эффекта и отсутствие антагонизма между культурами. Это свидетельствует о хорошей биосовместимости отобранных штаммов и обоснованности их применения в виде микробных консорциумов (табл. 3).

Таблица 3 – Эффективность очистки нефтезагрязненной почвы различными культурами

Состав микробного препарата	Степень удаления нефти, %	Период наблюдения, сут.	Характеристика взаимодействия
<i>Rhodococcus</i> sp. 1D/1	66 %	30	Монокультура
<i>Gordonia</i> sp. 12/5	70 %	30	Монокультура
<i>Rhodococcus</i> + <i>Gordonia</i>	82 %	30	Синергизм, отсутствие антагонизма
Без внесения штаммов (контроль)	34 %	30	Естественная биодеградация

Заключение.

В ходе проведенного исследования были достигнуты основные цели работы, направленные на изучение микроорганизмов деструкторов нефти, определение их активности и оценку перспектив применения в биоремедиации нефтезагрязненной почвы.

1. В рамках скрининга, проведенных на жидкой минеральной среде с различными видами углеводов, из нефтезагрязненной почвы были выделены и отобраны 46 активных штаммов, способных к эффективной утилизации нефти, мазута, дизельного масла и моторных масел. По морфологическим и биохимическим признакам они были идентифицированы как представители родов *Rhodococcus*, *Gordonia*, *Dietzia*, *Pseudomonas* и другие. Некоторые из них проявили способность разлагать как алифатические, так и ароматические соединения, что подтверждает их высокую метаболическую пластичность и потенциал в очищении различных типов загрязнений.

2. Исследования условий культивирования показали, что оптимальные параметры роста для большинства отобранных культур достигаются при температуре около 28°C и нейтральном значении pH. Подобранные штаммы, в частности *Rhodococcus sp.* 1D/1 и *Rhodococcus erythropolis* 14/1, показали высокий уровень биомассообразования и степень разложения сложных углеводов (например, фенантрена и о-крезола), что является важным фактором при разработке технологий микробной деградации.

3. Особое внимание было уделено исследованию биосовместимости штаммов и их эффективности при совместном применении. Результаты подтвердили, что консорциумы на основе совместимых штаммов обладают синергетическим эффектом и значительно превышают по эффективности отдельные культуры. Например, при использовании комбинации *Rhodococcus* и *Gordonia* в условиях моделируемого загрязнения почвы нефтью степень ее удаления составила 82 %, что существенно выше, чем при применении каждого штамма по отдельности.

Таким образом, совокупность полученных данных подтверждает возможность практического использования отобранных микроорганизмов в технологии биологической очистки нефтезагрязненных территорий. Выделенные штаммы могут стать основой для создания эффективных микробных препаратов, адаптированных к условиям конкретных регионов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на масштабирование полученных результатов и проведение полевых испытаний.

Список использованных источников

1. Кушеков, А. У. 120 лет казахстанской нефти / А. У. Кушеков, А. Е. Воробьев // Казахстанская нефть: прошлое, настоящее и будущее : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Атырау, 2019 г. – Атырау, 2019. – С. 12–17.
2. Медиева, Г. А. Этапы и перспективы развития нефтегазовой отрасли Казахстана / Г. А. Медиева // Нефть и газ. – 2010. – № 5. – С. 41–46.
3. Анисимова, Н. М. Перспективы развития нефтегазовой отрасли Казахстана в рамках ЕАЭС / Н. М. Анисимова, А. А. Алимтаева // Academy. – 2016. – № 5. – С. 29–31.
4. Аэробная биодegradация жидких моторных топлив в условиях экстремальной кислотности / А. Е. Иванова [и др.] // Микробиология. – 2019. – Т. 88, № 3. – С. 318–327.
5. Кузнецов, А. Е. Прикладная экобиотехнология : учеб. пособие / А. Е. Кузнецов, Н. Б. Градов. – М. : Бином. Лаб. знаний, 2012. – 629 с.

УДК 339.97

ПЕРСПЕКТИВЫ ДЕДОЛЛАРИЗАЦИИ: МНОГОПОЛЯРНАЯ ФИНАНСОВАЯ СИСТЕМА

Рябова А. О., студент,
Зайцева Н. В., канд. ист. наук, доцент
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В научной работе анализируется дедолларизация и трансформация международной финансовой системы. Исследование показывает, что в мировой экономике происходит переход от однополярной долларовой системы к многополярной.

Ключевые слова: дедолларизация, многовалютная система, международные финансы, доллар США, юань, золото, БРИКС+.

Современная международная финансовая система, исторически построенная на доминировании доллара США, на современном этапе проходит глубокие структурные изменения. Эти изменения связаны