

БИОРЕМЕДИАЦИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕФТЕТОКСИФИЦИРУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ОБЗОР)

Аскергалиева Аружан

магистрант 2 курса, кафедра биологии, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Казахстан, г. Алматы

Кожабек Канат

магистрант 2 курса, кафедра биологии, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Казахстан, г. Алматы

Нурлан Айдана

магистрант 2 курса, кафедра биологии, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Казахстан, г. Алматы

Муратулы Дулат

магистрант 2 курса, кафедра биологии, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Казахстан, г. Алматы

Амангельды Бакнур

магистрант 2 курса, кафедра биологии, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Казахстан, г. Алматы

BIOREMEDIATION OF OIL-CONTAMINATED SOILS USING OIL-TOXICITY-DEGRADING MICROORGANISMS: ISSUES AND PROSPECTS (REVIEW)

Aruzhan Askergalieva

2nd year undergraduate student, Department of Biology, Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Kazakhstan, Almaty

Baknur Amangeldi

2nd year undergraduate student, Department of Biology, Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Kazakhstan, Almaty

Kanat Kozhabek

2nd year undergraduate student, Department of Biology, Kazakh National Pedagogical University named after Abai, Kazakhstan, Almaty

Aydana Nurlan

2nd year undergraduate student, Department of Biology, Kazakh National Pedagogical University

named after Abai, Kazakhstan, Almaty

Dulat Muratuly

*2nd year undergraduate student, Department of Biology, Kazakh National Pedagogical University
named after Abai, Kazakhstan, Almaty*

Аннотация. Биоремедиация – перспективная технология очистки окружающей среды от загрязнений нефтью и нефтепродуктами, основанная на использовании метаболического потенциала микроорганизмов. Проблема загрязнения окружающей среды нефтью актуальна для Казахстана, так как нефтяная промышленность является одной из ведущих отраслей страны. В данной статье проводится научный обзор проблем и возможностей биоремедиации нефтезагрязненных почв на основе нефтедеградирующих микроорганизмов.

Abstract. Bioremediation is a promising technology for environmental cleanup from oil and petroleum product contamination, based on the metabolic potential of microorganisms. The problem of environmental contamination by oil is particularly relevant for Kazakhstan, as the oil industry is one of the country's leading sectors. This article provides a scientific review of the issues and opportunities of bioremediation of oil-contaminated soils using oil-degrading microorganisms.

Ключевые слова: биоремедиация, нефтезагрязненные почвы, нефтедеградирующие микроорганизмы, нефть, нефтепродукты, углеводороды.

Keywords: bioremediation, oil-contaminated soils, oil-degrading microorganisms, oil, petroleum products, hydrocarbons.

Введение

В современном мире нефть является одним из основных и наиболее востребованных источников энергии, обеспечивая 30–35% мирового энергопотребления [1,2]. Увеличение объемов добычи нефти, открытие новых месторождений, транспортировка нефти и статус одного из ведущих экспортеров углеводородного сырья требуют разработки эффективных методов очистки окружающей среды в районах добычи нефти. По объемам запасов нефти Казахстан входит в число 15 ведущих стран мира, обладая около 3% мировых нефтяных ресурсов. Перспективные и уже разрабатываемые нефтегазовые регионы охватывают площадь 1700 тыс. км², что составляет более 62% территории страны, и включают свыше 208 нефтегазовых месторождений [3].

Целью данной статьи является научный обзор эффективности и проблем биоремедиации нефтезагрязненных почв с использованием нефтедеградирующих микроорганизмов.

Влияние нефти на почву

Загрязнение нефтью и нефтепродуктами вызывает изменения химических свойств почвы, включая содержание органического углерода, гумуса, а также количество и соотношение макро- и микроэлементов [5]. Помимо общего изменения уровня органического углерода, изменяется и фракционный состав гумуса. Исследования показывают значительное снижение содержания гуминовых кислот и увеличение доли гидролизующихся остатков, таких как гумин и гуминоподобные вещества, лигнин, терпены, восковые смолы и битумы [6].

Распространение нефтедеградирующих микроорганизмов в природе

Микроорганизмы обладают высоким биотехнологическим потенциалом в природе. В

разложении нефтяных углеводородов в загрязненных почвах основную роль играют микроорганизмы. Наиболее распространенными бактериями, способными разлагать углеводороды нефти, являются представители рода *Pseudomonas*. Это грамотрицательные, палочковидные, неспорообразующие бактерии с полярными жгутиками [9]. К ним относятся такие виды, как *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas paucimobilis*, *Pseudomonas vesicularis*, *Pseudomonas desmolytica*, *Pseudomonas dacunae*, *Pseudomonas longa*, *Pseudomonas pelliculosa* и другие. Эти бактерии широко распространены в нефтяных пластах [10].

Бактерии, относящиеся к роду *Rhodococcus*, активно разлагают углеводороды нефти. Они участвуют в ассимиляции n-алканов и ароматических углеводородов. Родококковые бактерии – это грамположительные, аэробные, частично кислотоустойчивые микроорганизмы.

Штаммы рода *Gordonia* также являются деструкторами углеводородов нефти [11]. Род *Gordonia* относится к семейству *Gordoniaceae* порядка *Corynebacteriales* класса *Actinobacteria*. Исследования показали, что представители рода *Gordonia* выделены как отдельный таксон на основе биохимических и филогенетических характеристик, отличающих их от рода *Rhodococcus*. Многие виды рода *Rhodococcus* были пересмотрены в 1989 году и отнесены к роду *Gordonia*, названному в честь американского бактериолога Рут Гордона. Некоторые виды рода *Gordonia* способны окислять алифатические и ароматические углеводороды, включая полициклические ароматические углеводороды нефти и нефтепродуктов [12].

Многочисленные исследования описывают бактерии рода *Dietzia* как активных деструкторов нефти и ряда нефтепродуктов [13]. Род *Dietzia* включает бактерии с низкой дивергенцией последовательностей генов 16S рРНК, что затрудняет их филогенетическую идентификацию. *Dietzia* sp. (семейство *Dietziaceae*, подотряд *Corynebacterineae*, порядок *Actinomycetales*) изначально были выделены из различных сред. На сегодняшний день род включает более десяти видов: *D. maris*, *D. natronolimnaea*, *D. psychrhalcaliphila*, *D. kunjamensis*, *D. cinnama*, *D. papillomatosis*, *D. schimae*, *D. cercidiphylli*, *D. lutea*, *D. aerolata*, *D. timorensis* и *D. alimentaria* [14]. Эти бактерии выделены из нефтезагрязненных почв, пресных и соленых водоемов. Некоторые представители рода обладают способностью разлагать n-алканы, алифатические углеводороды и ароматические соединения, что делает их перспективными для биоремедиации нефтезагрязненной среды при низких температурах и в широком диапазоне pH [15].

Биоремедиация - основной метод очистки почвы, загрязнённой нефтью

Биоремедиация – это технология биологической очистки, основанная на использовании живых организмов, способных поглощать, метаболизировать и разлагать органические загрязнители в процессе своей жизнедеятельности.

Технологии биоремедиации делятся на два основных типа: *ex situ* (очистка за пределами загрязнённого участка) и *in situ* (очистка на месте).

Ex situ биоремедиация. Этот метод осуществляется за пределами места загрязнения. Загрязнённую нефтью почву извлекают и очищают в специальных установках, после чего возвращают обратно. К преимуществам метода относится усиление контроля за процессом и его оптимизация. Среди недостатков – высокие затраты и временное выведение значительных участков земли из хозяйственного оборота.

Биостимуляция. Этот подход основан на регулировании роста естественных микроорганизмов, обитающих в загрязнённой почве и способных разлагать загрязнители. Однако недостаток биогенных элементов (азот, фосфор, калий и других соединений) или неблагоприятные физико-химические условия могут снижать эффективность микроорганизмов. Естественный процесс разложения углеводородов часто ограничивается экологическими условиями.

Минеральные удобрения. Питательные вещества (в основном азот, фосфор, калий, а в некоторых случаях железо) являются важными компонентами эффективного процесса биodeградации углеводородов. Для активации естественной микрофлоры в загрязнённую экосистему вводят питательные вещества в виде солевых смесей или отдельных элементов.

Исследования показывают, что применение минеральных удобрений является важным фактором в процессе рекультивации. Например, работа D.K. Chaudhary и соавторов демонстрирует, что при использовании азота и фосфора в сочетании с бактерией *Acinetobacter sp. K-6* (концентрация клеток: 8×10^6 КОЕ/г) скорость биодеградации дизельного топлива и разложения насыщенных алифатических углеводородов значительно возросла.

Органические удобрения. Минеральные удобрения широко применяются в биостимуляции, однако их стоимость является важным параметром при оценке перспективности восстановления. Перспективным решением является использование отходов растениеводства и животноводства. Исследования показывают, что для этих целей можно использовать отходы, такие как шелуха подсолнечника, риса, кожура бананов, какао, опилки, а также навоз коров, коз и куриный помёт.

Биоаугментация. Этот процесс включает внесение в загрязнённую почву специализированных микроорганизмов, которые ранее не обитали на данном участке. Такие микроорганизмы могут быть выделены из других загрязнённых почв или созданы путём генной модификации. Использование биостимуляции и биоаугментации в сочетании позволяет значительно ускорить и улучшить разложение углеводородов. Эти методы часто комбинируют в технологиях, направленных на восстановление экосистем.

Отечественный опыт. В Казахстане разработан биопрепарат «Бакойл-KZ», созданный учёными ТОО «Научный центр микробиологии и вирусологии». Препарат содержит консорциум штаммов *Acinetobacter calcoeticum* 2A и *Microbacterium lacticum* 41-3. Испытания препарата на почвах Атырауской области показали, что он не только снижает содержание нефти, но и повышает ферментативную активность почвы, а также усиливает её дыхательную способность.[20].

Заключение

Таким образом, обзор литературы показывает, что в нашей стране проблема очистки экосистем, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами, а также их восстановление является широко распространённой. Для этого разрабатываются различные технологии, в том числе биологические методы, которые внедряются на практике. Среди биологических методов наиболее эффективным является метод биоремедиации нефте загрязнённых почв с использованием нефтедеградирующих микроорганизмов. Биологические препараты, созданные на основе активных нефтедеградирующих микроорганизмов, широко применяются, они являются разрушителями углеводородов нефти. Кроме того, в Казахстане высокие возможности для выбора микроорганизмов, разлагающих нефть, и не возникает никаких проблем, так как они широко распространены. В связи с этим биоремедиация загрязнённых нефтью земель с использованием биопрепаратов, основанных на нефтедеградирующих микроорганизмах, имеет большое значение с точки зрения своей эффективности и возможности применения.

Список литературы:

1. Никонов А.Н., Потапова С.О. Нефтяная промышленность, как один из серьезных загрязнителей окружающей среды // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. Т. 1. № 9. С. 666-673.
2. Пашкевич М.А., Быкова М.В. Методология термодесорбционной очистки локальных загрязнений почв от нефтепродуктов на объектах минерально-сырьевого комплекса // Записки Горного института. 2022. Т. 253. С. 49-60. DOI: 10.31897/PMI.2022.6
3. Кушеков А.У., Воробьев А.Е. 120 лет Казахстанской нефти // Сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 120-летию казахстанской нефти «Казахстанская нефть: прошлое, настоящее и будущее». - Атырау, 2019. – С. 12 – 17.

4. Кошановская В.С. Разливы нефти в Российской Федерации: причины и пути решения проблемы // Экология: IX Международный форум. - М., 2018. - С.13 -18.
5. Thapa B.A., Kumar K.C., Ghimire A. A review on bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminants in soil // Kathmandu university journal of science, engineering and technology. - 2012. - № 8(1). - P.164-170.
6. Черепанова А.Е. Биodeградация сырой нефти бактериями, выделенными из загрязненной сырой нефтью почвы (обзор) // Вестник науки и образования. - 2018. - Т. 2, № 7(43). - С. 18-22.
7. Казиахмедова И.А. Методы биоиндикации в оценке состояния нефтезагрязненных земель // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований. Экологическая безопасность, инновации и устойчивое развитие. - Казань: Изд-во «Отечество». - 2009. - Т. IV. - С. 106-108.
8. Яппаров А.Х., Дегтярева И.А., Хидиятуллина А.Я. Комплексный подход к рекультивации нефтезагрязненных почв // Современные проблемы науки и образования. -2012. - № 1. // <http://www.science-education.ru/ru/article.19.05.2015>
9. Пунтус И.Ф., Рязанова Л.П., Звонарев А.Н. и др. Роль минеральных фосфорных соединений в процессе биodeградации нафталина бактериями *Pseudomonas putida* // Прикладная биохимия и микробиология. - 2015. - Т. 51, № 2. - С. 198-205.
10. Овчинникова А.А., Ветрова А.А., Филонов А.Е., Боронин А.М. Биodeградация фенантрена и взаимодействие *Pseudomonas putida* BS3701 и *Burkholderia* sp. BS3702 в ризосфере растений // Микробиология. - 2009. - Т. 78, № 4. - С. 484-490.
11. Ivshina I., Kostina L., Krivoruchko A. et al. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil spiked with model mixtures of petroleum hydrocarbons and heterocycles using biosurfactants from *Rhodococcus ruber* IEGM 231 // J. Hazard. - 2016. - V. 312. - P. 8-17.
12. Arenskötter M., Bröker D., Steinbuchel A. Biology of the Metabolically Diverse Genus *Gordonia* // Applied and Environmental Microbiology. - 2004. - Vol. 70, No. 6. - P.3195-3204
13. Плешакова Е.В., Матора Л.Ю., Турковская О.В. Нефтеокисляющий штамм *Dietzia maris* и возможности его использования для биоремедиации загрязненной почвы // Вестник МГОУ. Серия Естественные науки. - 2010. - №4. -С. 82-89.
14. Gharibzahedi, S.M.T., Razavi, S.H. & Mousavi, S.M. Characterization of bacteria of the genus *Dietzia*: an updated review // Ann Microbiol. - 2014. - Vol.64. - P.1-11. <https://doi.org/10.1007/s13213-013-0603-3>. 15.04.2017.
15. Yumoto I, Nakamura A, Iwata H, Kojima K, Kusumoto K, Nodasaka Y, Matsuyama H *Dietzia psychrhalcaliphila* sp. nov., a novel, facultatively psychrophilic alkaliphile that grows on hydrocarbons // Int J Syst Evol Microbiol. - 2002. Vol. 52. - P. 85-90
16. Киреева Н.А., Бакаева М.Д., Галимзянова Н.Ф. Влияние различных способов биоремедиации нефтезагрязненных почв на характеристику комплекса микромицетов // Прикладная биохимия и микробиология. - 2008. - № 1. - С. 63-68.
17. Попов А.И. Биологическая рекультивация буровых площадок в Ненецком АО // Матер. междунар. конф. «Антропогенная трансформация природной среды». - Пермь: Пермский гос. ун-т., 2010. - Т.3. - С.245-247.
18. Chaudhary D.K., Bajagain R., Jeong S.W., Kim J. Biodegradation of diesel oil and n-alkanes (C18, C20, and C22) by a novel strain *Acinetobacter* sp. K-6 in unsaturated soil // Environmental Engineering Research. - 2020. - № 25(3). - P. 290-298.
19. Lee S.-H., Oh B.-I., Kim J.-G. Effect of various amendments on heavy mineral oil bioremediation and soil microbial activity // Biores. Technol. - 2008. - Vol. 99, № 7. - P. 2578-2587.

20. Патент РК №24879. Препарат «Бакойл – kz» для очистки почв от нефти и нефтепродуктов. Саданов А.К., Айткельдиева С.А., Гаврилова Н.Н., Ратникова И.А. Патеновладаатель и заявитель Институт микробиологии и вирусологии МОН РК 12.01.2011; опубл.15.11.2011. Бюл.№ 11.