

4. Lacey N., Kavanagh K., Tseng S.C. Under the lash: Demodex mites in human diseases. *Biochem (Lond)*. 2009. No. 31. P. 2–6.
5. Акбулатова Л. Х. Патогенная роль клеща Demodex и клинические формы демодекоза у человека // *Вестник дерматологии*. 1996. № 2. С. 57–61.
6. Raszeja-Kotelba B., Jenerowicz D., Izdebska J.N., Bowszyc-Dmochowska M., Tomczak M., Dembinska M. Some aspects of the skin infestation by Demodex folliculorum. *Wiad Parazytol*. 2004. No. 50. P. 41–54.
7. Lacey N., Ni Raghallaigh S., Powell F.C. Demodex mites – commensals, parasites or mutualistic organisms. *Dermatology*. 2011. No. 222. P. 128–130.
8. Верхогляд И.В. Современные представления о демодекозе // *Лечащий Врач*. 2011. № 5.
9. Бутов Ю.С., Акилов О.Е. Факторы успешной колонизации клещами Demodex spp. кожи человека // *Вестн. педиатрической мед. образ.* 2002. № 1. С. 87.
10. Сюч Н.И. Лабораторная диагностика чесотки и демодекоза. Учебное пособие. М.: РМАПО, 2003. С. 25.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Якупова А.И., Князева О.А.

*ФГБОУ ВО «Бакирский государственный
университет», Уфа,
e-mail: albinayakupovaa@yandex.ru*

На данный момент, проблема очистки сточных вод от нефти и нефтепродуктов является чрезвычайно актуальной. Классические методы очистки сточных вод часто являются малоэффективными, неблагоприятными для окружающей среды. Одним из актуальных способов очистки сточных вод от органических загрязнений является биологический метод. Этот метод основан на способности углеводородокисляющих бактерий, использовать разнообразные вещества, содержащиеся в сточных водах в качестве источника питания. В статье описываются различные группы углеводородокисляющих микроорганизмов, использование которых перспективно для очистки вод от загрязнений нефтепродуктами.

В данный момент, стоит острая проблема загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами, из-за этого страдают все компоненты экосистемы: водоёмы, атмосфера, почва, животный и растительный мир. Одним из основных источников загрязнения сточных вод нефтью и нефтепродуктами являются предприятия нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, из-за определенных аварий и пожаров на предприятиях происходит разливы нефти и нефтепродуктов. Объемы отходов нефтепродуктов и нефтезагрязнений, скопившиеся на отдельных объектах, составляют десятки и сотни тысяч кубометров.

По данным ЮНЕСКО загрязнение нефтью и нефтепродуктами входит в десятку наиболее опасных загрязнителей окружающей среды.

Нефть, попадая в воду, образует нефтяную пленку, которая плавает на поверхности воды, также образуются растворенные

или эмульгированные нефтепродукты и осевшие на дно водоема тяжелые нефтяные фракции. Большое количество нефти и нефтепродуктов находится в верхнем слое воды, который составляет около 5% от общей высоты нефтесодержащих вод, где концентрация нефти достигает до 100%. Второй основной слой составляет примерно 70% от общей высоты. А третий слой – около 25% высоты, который состоит из достаточно хорошо эмульгированных нефтепродуктов. В последнем четвертом, придонном слое, нефтесодержащие воды менее насыщены нефтепродуктами. В итоге вода приобретает токсические свойства. У воды изменяется вкус, цвет, запах, снижается количество кислорода. Огромное количество морских обитателей ежегодно гибнут из-за загрязнения вод нефтепродуктами и нефтью, и с каждым годом эта проблема становится глобальнее. Канцерогенные ароматические углеводороды, которые накапливаются в организме морских обитателей, в дальнейшем могут попасть в организм человека с этими продуктами. Также, человек может стать жертвой нефтяного загрязнения через питьевые воды с плохо очищенными стоками. В некоторых регионах нашей страны до 50% всех заболеваний связано с низким качеством питьевой воды.

Сегодня в мире имеется большое количество способов и веществ, создающих высокоэффективную защиту окружающей среды от загрязнений нефтью и нефтепродуктами. При выборе метода устранения разлива нефти и нефтепродуктов, попавших в окружающую среду, нужно исходить из следующих норм:

- проведение работ в ускоренном режиме;
- проведение работ по устранению разлива нефти не должно наносить экологический ущерб больше, чем сам аварийный разлив [2, с. 19–21].

На основании опытных исследований с учетом технико-экономических показателей выбирают наиболее оптимальный метод очистки сточных вод от загрязнений нефтью и нефтепродуктами. К наиболее часто применяемым методам можно отнести: механический, химический, физический, физико-химический, биологический (биохимический), а также разрабатываются новые технологии и методы, такие как:

- биосорбционный;
- озонирование воды;
- очистка при помощи магнитов;
- чистка флотационно-кавитационным методом и другие.

А также возможна их комбинация, которая позволяет достигнуть нужной степени очистки с наименьшими затратами [9].

Среди всех возможных методов очистки от загрязнений нефти и нефтепродуктов, наиболее перспективными являются биологические методы. Среди достоинств данного метода можно выделить экологическую безопасность,

эффективность и отсутствие вторичных загрязнений. Кроме этого, данный метод является экономически целесообразным.

Биологический метод – это один из высокоэффективных, часто используемых, безопасных и обеспечивающих экологическую сохранность сбрасываемых стоков [3, с. 21].

Данный метод основан на способности углеводородокисляющих бактерий использовать разнообразные вещества, которые содержатся в сточных водах, в качестве источника питания в процессе их жизнедеятельности. Количество углеводородокисляющих бактерий на земле не так уж и велико, составляет около 2-х микроорганизмов на 100 мл среды, но при заражении нефтью их количество намного увеличивается и может достигать до 10⁸-10⁹ на 1 мл.

Задачей биологической очистки является превращение органических загрязнений в безвредные продукты окисления – H₂O, CO₂, NO₃⁻, SO₄²⁻ и другие [10].

Одной из высокоперспективных групп среди углеводородокисляющих микроорганизмов является группа актинобактерий рода *Rhodococcus*. У них имеется широкий спектр метаболических возможностей и ферментативная система, которая предопределяет способность родококков деградировать разнообразные по химической структуре углеводороды, а также их производные. Отличительными биологическими свойствами родококков являются плеоморфизм, трудный морфогенетический цикл развития, которые обуславливают у них существование разных способов клеточной кооперации и способность к коагрегации. Также можно сказать, что за счет фрагментации клеточного мицелия на короткие палочковидные формы у родококков увеличивается отношение клеточной поверхности к общему объему клетки, что, в свою очередь, увеличивает возможность родококков поглощать трудно усваиваемый гидрофобный субстрат. Кроме того, можно отметить, что у родококков есть гидрофобная клеточная стенка и имеется способность синтезировать биосурфактанты (поверхностноактивные вещества), которые обеспечивают сродство данных бактерий к труднодоступным гидрофобным субстратам – нефтяным углеводородам [5, с. 108].

Учеными было определено, что биосурфактанты, которые синтезируются родококками, способны проявлять металлохелатирующие свойства и способствовать аккумуляции тяжелых металлов в клеточной стенке, препятствуя поступлению их вовнутрь клетки. С вышеперечисленными особенностями родококков и со способностью выживать в неблагоприятных условиях среды, определяется их перспективность использования при разработке биокатализаторов для биоремедиации загрязненных углеводородами объектов окружающей среды [7, с. 10-15].

Штаммы рода *Pseudomonas* относят к одним из представителей коммерческих препаратов для очистки среды от загрязнения нефтью и нефтепродуктами.

Бактерии рода *Pseudomonas* имеют широкую распространенность в природе. Они могут обитать практически во всех уголках земли. Встречаются в воздухе, почве, морских и пресных водоемах, сточных водах и иле, нефти и на газовых месторождениях. Некоторые виды рода *Pseudomonas*, такие как *Pseudomonas herbicola*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas furbicola aurum* и *Pseudomonas putida*, относят к эпифитной микрофлоре растений [4, с. 32-33].

Из-за своих свойств, ученые всего мира активно изучают бактерии рода *Pseudomonas* с целью использования их в составе биопрепаратов для очистки окружающей среды от загрязнения различными экотоксикантами.

В ходе исследований штаммов рода *Pseudomonas* 7p-81 и 7p-62 [4, с. 34-38] было определено, что они способны к катаболизму как ароматической, так и алифатической фракций нефти, таких как нафталин, салицилат, нонан, декан, ундекан.

В процессе деструкции углеводородов нефти участвуют плазмидные ДНК микроорганизмов рода *Pseudomonas* 7p-81 и 7p-62, содержащие гены, кодирующие ферменты деградации алифатических алканов и полициклических ароматических углеводородов.

Проведенное исследование позволяет судить о том, что для биоремедиации нефтяных загрязнений эффективно использовать штаммы рода *Pseudomonas* 7p81 и 7p-62.

Также известен новый бактериальный штамм *Micrococcus luteus* VKM As-2627D – деструктор нефти и нефтепродуктов, который может быть использован для очистки воды от нефти и нефтепродуктов [1].

Одним из преимуществ данного штамма является то, что он имеет высокую утилизирующую способность по отношению к нефти и нефтепродуктам. И обладает относительно коротким сроком (от 3 до 60 суток), в широком диапазоне температур от +10 до +37 °С.

В работе [1] подвергали исследованию микроорганизмы родов *Alcaligenes*, *Brevibacterium*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Clostridium*, *Micrococcus* и *Pseudomonas*. Было выяснено, что в качестве только одного источника углерода и энергии все штаммы используют нефть и нефтепродукты. При исследовании было определено, что бактерии родов *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Brevibacterium*, *Clostridium* являются наиболее активными штаммами – деструкторами нефти и нефтепродуктов. Окисления нефти и нефтепродуктов по вариантам колеблется между 13 и 59%, в контроле окисление нефти не превышало 3-6%.

Оптимальным температурным интервалом для роста и развития используемых сообществ

углеводородокисляющих микроорганизмов является 20-28 °С. Также установлено, что при таких температурах углеводороды разрушаются культурами микроорганизмов, участвующих в эксперименте с эффективностью 80-97%. Максимальный уровень загрязнения снимается при температуре равной 25-28 °С. Все это связано с тем, что исследуемая группа углеводородокисляющих микроорганизмов является мезофильной и отклонения от этой температуры, как в сторону уменьшения, так и увеличения, значительно замедляют процесс деструкции. Следует также отметить, что при повышении температуры наблюдается снижение растворимости кислорода в воде, что отрицательно сказывается на росте и развитии сообщества бактерий.

Следующим примером биологической очистки является биоаккумуляция органических загрязнений с использованием высших водных растений.

Исследовали очистку сточных вод от загрязнений нефтепродуктов при помощи высшей водной растительности рода *Elodea*.

Элодея (*Elodea*) – род многолетних водных трав семейства водокрасовые, полностью погруженных в воду. Температурный оптимум для этого растения составляет 16-24 °С [8, с. 29]. В серии экспериментов, проведенных на этих водорослях (в количестве 4, 8, 12 и 20 мг/л), было показано, что наибольшая степень очистки воды наблюдается через 24 часа при массе водорослей 12-20 г/л. Опыт проводили при комнатной температуре 25 °С в течение 6, 12 и 24 часов. В качестве контроля использовали воду без водорослей, которую загрязняли раствором дизельного топлива в гексане.

В результате данного исследования было установлено, что элодея является эффективным биосорбентом органических загрязнений. После 24 часов эксперимента содержание органических соединений в модельной сточной воде снижалась до допустимых норм. Поэтому водоросли из рода *Elodea* могут быть использованы для очистки воды от нефтепродуктов [8, с. 30-31].

Также, можно сказать про положительный опыт использования микроводоросли *Chlorella vulgaris*.

В условиях естественной алголизации водорослевых прудов быстро появлялись водоросли *Microcystis aeruginosa* (Kützing). Это сине-зеленая водоросль, которая обитает в пресных и морских водах. Такая водоросль быстро размножается и тем самым способствует «цветению» водоема. Опасность их активного размножения заключается в выделении огромного количества органических веществ (до 300 видов), большинство из которых (около 200) являются токсичными [6, с. 129].

Были проведены лабораторные исследования, в ходе которых в образцы сточных вод из водорослевых прудов добавлялась микрово-

доросль хлореллы. Добавление хлореллы в пробы с микроцистисом с последующим культивированием, приводило к полному замещению микроцистиса в пробах на хлореллу и уменьшению концентрации фенолов [6, с. 130-132]. Результаты данного исследования позволяют сделать положительный вывод по применению хлореллы, которое можно рассматривать как один из путей решения сложившейся проблемы очистки сточных вод.

Таким образом, загрязнение сточных вод является огромной экологической проблемой. Большое количество нефти ежедневно добывают, перерабатывают и транспортируют. За счет этого образуется масса нефтесодержащих отходов, которая требует своевременного и эффективного технологического решения проблемы. Среди всех методов, которые есть на данный момент, наибольший научный интерес представляет биологический метод, так как он является наиболее безопасным, высокоэффективным и выгодным в обезвреживании нефтепродуктов.

Биологический метод основан на способности углеводородокисляющих бактерий в процессе их жизнедеятельности, использовать разнообразные вещества, содержащиеся в сточных водах, в качестве источника питания.

Список литературы

1. Ерофеевская Л.А. Штамм бактерий *Micrococcus luteus* VKM Ac-2627D // Патент РФ № 2018111150. Патентообладатель Федеральное исследовательское учреждение «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». 2019. Бюл. № 13.
2. Артемов, А.В., Пинкин, А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений // Вода: химия и экология. 2008. № 1. С. 19-25.
3. Багдасарова Ю.А. Повышение эффективности очистки сточных вод на нефтеперекачивающей станции биологическим методом // Вектор науки ТГУ. 2013. № 2(24). С. 21.
4. Ветрова А.А., Сазонова О.И. Штаммы *Pseudomonas extremaustralis* 7-31 и *Pseudomonas fluorescens* 7-41, деградующие алифатические и ароматические углеводороды // Известия ТулГУ. Физико – химическая биология. 2019. № 3. С. 32-38.
5. Ившина И. Б., Каменских Т.Н., Анохин Б.А. Адаптационные механизмы выживания алканотрофных родококков, реализованные в неблагоприятных условиях среды // Вестник Пермского университета. 2007. № 5(10). С. 107-112.
6. Колчина О.Е. Биологическая реабилитация сточных вод при помощи водоросли хлореллы. // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2019. № 4 (23). С. 129-132.
7. Розьева Н.Р. Бактерии рода *Pseudomonas*, способные к деструкции углеводородов нефти // Сборник эссе: Мое научное исследование. Ч. II. Биологические науки. 2020. С. 10-15.
8. Сухарева Ю.А., Ягафарова Г.Г. Очистка сточных вод от нефти и нефтепродуктов с использованием водорослей *Elodea* // Перспективы науки – 2016. Материалы IV международного заочного конкурса научно-исследовательских работ (Казань, 10 октября 2016 г). Казань: издательство Рокета Союз, 2016. С. 29-31.
9. Черненко Т.В., Иматуллина Г.К., Резуанов Д.А., Киреева А.Т., Халитов А.К. Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов // Проблемы и перспективы современной науки / сборники научных трудов Четвертой Международной Телеконференции «Фундаментальные науки и практика». Том 3. 2011. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://masters.donntu.org/2012/feht/shirokorodova/library/article9.htm> (дата обращения: 03.12.2020).
10. Физиология биологической очистки [Электронный ресурс]. URL: https://vuzlit.ru/1071508/fiziologiya_biologicheskoy_ochistki (дата обращения: 02.12.2020).