

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ, КАК ПРИЁМНИК НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

© 2011 А.В. Иванов¹, А.В. Сидоров²

¹ Казанский государственный медицинский университет

² Средняя образовательная школа № 177г. Казань

Поступила в редакцию 11.05.2011

Исследована ассоциация аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов на способность окислять разные фракции углеводородов нефти. Подобраны оптимальные условия (температура и аэрация) для роста и развития изучаемой группы микроорганизмов.

Ключевые слова: *нефтепродукты, нефтезагрязненные поверхностные воды, биологические методы очистки, биодеградация, углеводородокисляющие микроорганизмы (УОМ), аэрация, температура*

На протяжении многих лет ученые изучают загрязнение водной среды, прослеживают ее динамику, ведут поиск наиболее эффективных и экономических путей решения проблемы загрязнений. Главная сложность в поиске наиболее эффективного метода очистки гидросферы состоит в том, что водные ресурсы подвергаются комплексному загрязнению, из которого можно выделить: химическое, тепловое и бактериальное. Все перечисленные виды загрязнения являются главными и наносят ущерб экологии и сложно выделить, какой из них более опасен. Из большого количества загрязняющих веществ, поступающих в водную среду, хотелось бы выделить нефть и нефтепродукты, которые на сегодняшний день являются распространёнными, нанося большой вред, а вопрос очистки от этих загрязнений одним из самых сложных, многоплановых и наиболее важных в аспекте охраны водных ресурсов [1, 2].

Об экономической выгоде от добычи и транспортировки нефти знают все. Как только заходит речь о строительстве нового нефтепровода или увеличении объемов транспортировки нефти, жителям регионов начинают рассказывать о выгодах, которые получит регион, а значит, и его население. Упоминаются создание новых рабочих мест, рост экономического развития области и благосостояния ее жителей. Не принято только говорить о негативных последствиях этого развития: о потенциальных рисках для компонентов экосистемы, возможных авариях, и главное о том, кто, как и за чей

счет будут эти последствия устранять. По оценкам RBC daily, каждый год при добыче и транспортировке теряется от 3 до 7% добываемой нефти. Экологи уверяют, что реальные объемы нефтяных загрязнений скрываются, но даже по самым скромным подсчетам они достигают 10-20 миллионов тонн нефти в год [3]. С момента утечки до начала работы по локализации нефтяного загрязнения распространение ее по водоему обычно уже завершается, т.е. зона загрязнения приобретает максимальные размеры и определенную форму. Как только нефть попадает в водоем, аборигенные УОМ приступают к разложению в первую очередь легких и ароматических углеводородов, выделяя в окружающее пространство бактериальную полисахаридную слизь, обладающую свойствами диспергатора, что способствует образованию стойких эмульсий [4, 5].

Таким образом, имеющиеся литературные данные, касающиеся загрязнения окружающей среды нефтяными углеводородами, показывают актуальность проблемы восстановления нефтезагрязнённых объектов [6]. Последние годы в зарубежной и отечественной практике находят применение биологические методы очистки природных и сточных вод, сочетание которых с традиционными методами позволяет получить гарантируемое качество воды [5-8]. Биологический метод, в свою очередь, направлен на повышение активности естественных процессов микробного разложения поллютантов, а также на введение моно- и поликультур бактерий, грибов и дрожжей, способных утилизировать загрязняющие вещества, даже патогенные микроорганизмы [9]. Из литературных источников следует, что компоненты нефти, включая асфальтены, подвергаются катаболизму природными микроорганизмами. Активация процессов естественного

Иванов Анатолий Васильевич, доктор медицинских наук профессор, кафедры гигиены, медицины труда и курсом медицинской экологии

Сидоров Александр Вячеславович, кандидат биологических наук, учитель. E-mail: sidorov_a.v@mail.ru

самоочищения, в основе которого лежит деятельность УОМ, путём создания оптимальных условий, приводит к разрушению углеводов. Следует отметить, что при оптимизации условий среды *in situ* на микрофлору оказывается ненаправленное воздействие. Вполне вероятно ситуация, когда в результате ненаправленной стимуляции доминирующее положение в микробном сообществе займут либо бактерии с низким углеводородокисляющим потенциалом, либо близкие в физиологическом отношении бактерии, что приведёт к конкуренции между ними и снизит темпы утилизации углеводородного субстрата в результате взаимного подавления. Поэтому необходимо выявлять и направленно стимулировать при помощи сбалансированного внесения микро- и макроэлементов доминирующие популяции бактерий, обладающие ярко выраженной углеводородокисляющей активностью. В связи с этим целесообразно в серии предварительных экспериментов выявить оптимальные условия культивирования для нескольких доминирующих штаммов и осуществлять внесение этих элементов согласно полученным данным. Таким образом, стимулируется лишь конкретная группа нефтеокисляющих микроорганизмов, что приводит к интенсификации процессов биоремедиации.

Сведения, приведённые в обзоре литературы, показывают, что исследователи во всём мире уже не один год занимаются поиском, выделением микроорганизмов, способных окислять углеводороды, тем самым обеспечивать восстановление разрушенных экосистем. Одни авторы пытаются получить «супер» культуру, способную за короткий срок деградировать любой загрязнитель, другие концентрируют внимание на создание условий, в которых произойдёт быстрое самовосстановление нефтезагрязнённого объекта, третьи отдают предпочтение биопрепаратам и т.д. Мы же попытались найти индивидуальный подход к каждому объекту с целью повысить эффективность проводимых работ и уменьшить материальные затраты, для чего, по нашему мнению, нужно грамотно комбинировать создание оптимальных условий в очищаемом объекте с использованием индивидуальных штаммов микроорганизмов с известными свойствами.

Известно, что в процессе ликвидации нефтяных загрязнений более эффективны микрофлоры, адаптированные к водным условиям. Ее количество из-за общего ухудшения условий местообитания резко снижается, поэтому в целях повышения эффективности процесса биодegradации нефти возможно обогащение водной среды углеводородокисляющей микрофлорой, выращенной на искусственных минеральных средах, содержащих нефть, и создание благоприятных условий после её внесения для

сохранения жизнеспособности. Один из способов интенсификации процесса биодеструкции поллютантов – интродукция высокоактивных микроорганизмов-деструкторов в загрязнённый объект. В качестве источника микроорганизмов, имеющих потенциал к метаболизму ксенобиотиков, были выбраны сточные воды очистных сооружений ОАО «Казаньоргсинтез».

Для того чтобы можно было регулировать активность, а также предвидеть и изменить по желанию состояние используемых нефтеокисляющих бактерий, нами проводилось изучение особенностей их роста на минеральной среде Мюнца с нефтью, бензином, соляровым и машинным маслом в качестве единственного источника углерода и энергии. Знание закономерностей роста исследуемых культур позволит интродуцировать их в нефтезагрязнённый объект, а также использовать их в процессе биодegradации углеводородных загрязнений в промышленных условиях. Температура и аэрация среды в объекте, подвергнутом биоремедиации, может значительно колебаться в течение сроков проведения работ, что требует постоянного контроля и своевременного внесения корректив в процессе биодegradации. В связи с этим знание температурных оптимумов и кислородного режима УОМ, вовлекаемых в процесс биодegradации, может существенно интенсифицировать процесс биологической очистки нефтезагрязнённого объекта от углеводов. Интересно, что микроорганизмы могут быть высоко активны как по отношению к одному, так и к нескольким субстратам, поэтому в опытах использовали монокультуру и сообщество микроорганизмов [7].

Культуры УОМ исследовали на предмет способности разрушать нефть, бензин, соляровое и машинное масла в диапазоне температур 20-37⁰С в условиях аэрации. Поставленные задачи решались в два последовательных этапа: а) проведение экспериментов по биодegradации различных классов углеводов нефти аборигенными УОМ (табл. 1); б) изучение влияния условий среды (температура 23, 28, 37⁰С и аэрация) на эффективность процесса биодegradации нефти и нефтепродуктов (табл. 2, 3).

При исследовании биологической дegradации различных классов углеводов нефти аборигенными УОМ и изучении влияния условий среды на оптимизацию процессов биоокисления было установлено следующее: на эффективность и скорость деструкции нефти и нефтепродуктов влияют состав и виды микроорганизмов, с которыми они контактируют. Степень окисления нефтепродуктов максимальна при участии большого количества нефтеокисляющих бактерий, что оценивается по увеличению оптической плотности среды. Максимальна она при использовании смешанных

видов бактерий, в присутствии трех культур уменьшается, а в среде с одной монокультурой она минимальна. Исключение составляет опыт с бензиновой фракцией, растворимость которой максимальна по сравнению с другими применяемыми углеводородами, что облегчает транспорт молекул в клетку и его окисление. Эффективность деструкции бензина достигает

90% при применении трёх культур, что связано, по-видимому, с избирательностью использования этими УОМ лёгких фракций нефти. Кроме того, более высокая эффективность применения сорциума культур объясняется и сложностью субстрата, каковым является товарная нефть и масла (табл. 1).

Таблица 1. Эффективность деструкции нефтяных загрязнений сообществами нефтеокисляющих микроорганизмов в стационарных условиях, %

Наименование нефтепродуктов	Исходное количество г/дм ³	Варианты опытов				Растворимость мг/дм ³
		контроль	моно культура	три культуры	поли культуры	
товарная нефть, *г/дм ³ **, %	0,138	0,08 42±2,8	0,041 70±2,5*	0,032 77±2*	0,021 85±2*	10 -15
бензин, *г/дм ³ **, %	0,122	0,062 49±2,9	0,022 82±1,6*	0,012 90±3,3*	0,016 87±1,7*	9-505
соляровое масло, *г/дм ³ **, %	0,139	0,085 39±2,7	0,057 59±2*	0,042 70±2,4*	0,036 74±1,8*	2,2
машинное масло, г/дм ³ **, %	0,167	0,142 35±2,6	0,072 57±1,3*	0,055 67±2,5*	0,05 70±2*	2,2

Примечание: * - количество остаточных нефтепродуктов г/дм³; ** - эффективность. * - различия достоверны по отношению к контролю, (P < 0,01).

Таким образом, показано, что разрушение углеводородов нефти протекает за счёт биологического окисления и активности, участвующих в окислении нефти УОМ, и зависит от растворимости нефтепродуктов в водной среде. Окисление углеводородов идет по формуле:



причем окисление происходит по цепи реакций: предельных углеводородов → непредельные углеводороды → спирты → кетосоединения → жирные кислоты → углекислый газ и вода.

Из литературных данных следует, что нерастворимая плёнка нефти, находящаяся

на поверхности воды, препятствует доступу в нее кислорода и света. Присутствие свободного кислорода является необходимым условием деструкции нефти любой химической структуры. Количество кислорода, расходуемое на окисление 1 мг различных углеводородов, варьирует от 3 до 4 мг [1]. Полученные нами в ходе исследований данные свидетельствуют о том, что процесс аэрации ускоряет рост численности УОМ, что отражается на эффективности деструкции нефтепродуктов. При этом зафиксировано увеличение степени окисления товарной нефти до 91%, бензина до 94%, солярового масла до 83%, машинного масла до 80% (табл. 2).

Таблица 2. Эффективность деструкции нефтяных загрязнений сообществами нефтеокисляющих микроорганизмов в условиях периодической аэрации, %

Наименование нефтепродуктов	Исходное количество г/дм ³	Варианты опытов			
		контроль	моно культура	три культуры	поли культуры
товарная нефть, *г/дм ³ **, %	0,138	0,046 65±1,1	0,035 75±1,5*	0,022 84±1,1*	0,012 91±2,3*
бензин, *г/дм ³ **, %	0,122	0,033 73±2	0,026 79±2,4*	0,007 94±1,6*	0,009 93±2,4
соляровое масло, *г/дм ³ **, %	0,139	0,073 48±2,7	0,043 69±2,3*	0,032 77±2,5*	0,024 83±2,6*
машинное масло, *г/дм ³ **, %	0,167	0,092 45±2,5	0,067 60±3*	0,045 73±2,4*	0,034 80±2,8*

Примечание: * - количество остаточных нефтепродуктов г/дм³; ** - эффективность. * - различия достоверны (P < 0,01).

Известно, что температура среды так же, как и аэрация, оказывает значительное влияние на процесс биодеструкции нефти и нефтепродуктов и является наиболее значимым лимитирующим фактором всех метаболических процессов, определяющих скорость окисления нефти и нефтепродуктов, осуществляемых бактериями [1]. Микробиологическое разрушение нефти происходит при температуре от 2 до 70⁰С, оптимальной для культивирования большинства мезофильных микроорганизмов, и биодеструкции ими нефтепродуктов считается интервал +20-+30⁰С. Так как нефтепродукты богаты мембрано-токсичными компонентами, воздействие которых увеличивается

при температуре свыше +30⁰С, то они максимально деградируют при температуре менее +30⁰С, то есть в мезофильных условиях +25-+28⁰С. Но есть данные о способности отдельных видов бактерий к росту и деструкции нефти при более высоких температурах. Так, выделенные термофильные актинобактерии активно окисляют углеводороды при 50-60⁰С [8]. Для естественных микробных сообществ, развивающихся в водоемах, оптимальная температура для микробиологического окисления углеводородов нефти обычно составляет от +20 до +37⁰С. Поэтому исследования проводили в интервале температур 20-37⁰С.

Таблица 3. Эффективность деструкции нефтяных загрязнений сообществами нефтеокисляющих микроорганизмов в стационарных условиях при разных температурах (С⁰)

Варианты опыта	Количество нефти до окисления, г/дм ³	Концентрация нефти после окисления, г/дм ³				Эффективность, %			
		20 ⁰	23 ⁰	28 ⁰	37 ⁰	20 ⁰	23 ⁰	28 ⁰	37 ⁰
товарная нефть, - смесь - контроль	0,138	0,041 0,09	0,02 0,08	0,01 0,04	0,04 0,09	70±2,3 35±2	85±2,5 42±2,4	90±3 69±2,3	69±2 33±3
бензин, - смесь - контроль	0,122	0.024 0.065	0,01 0,06	0,01 0,06	0,03 0,07	80±2,5 47±2,4	90±3,2 52±2,3	91±2,7 54±1,7	75±2,5 45±3
соляровое масло, - смесь - контроль	0,14	0.049 0,095	0,03 0,08	0,02 0,07	0,04 0,09	65±2,6 32±2,2	76±2,2 40±2,7	85±3,2 50±2,3	69±2,8 35±2
машинное масло - смесь - контроль	0,167	0.066 0,117	0,05 0.11	0,04 0,09	0,07 0,11	60±2,8 30±1,6	69±2,5 35±2	80±3,4 45±2,1	59±2,7 33±2,5

Примечание: все значения достоверны по отношению к контролю (P<0,01).

Нашими исследованиями показано, что оптимальный температурный интервал для роста и развития используемых сообществ УОМ является 23⁰С-28⁰С. Это, в свою очередь, было констатировано ранее в работах [1]. Установлено, что при указанных температурных интервалах углеводороды разрушаются культурами, участвующими в эксперименте с эффективностью 80-91% (табл. 3). Максимальный уровень загрязнения снимается при t=28⁰С. Отклонения от этой температуры как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения, замедляют процесс деструкции. Это связано с тем, что исследуемая группа УОМ является мезофильной и указанные температурные условия для них наиболее оптимальны. Следует также учесть, что при повышении температуры наблюдается уменьшение растворимости

кислорода в воде, что отрицательно сказывается на росте и развитии сообщества бактерий.

Вывод: зная основные параметры роста и развития микробиологических сообществ, можно целенаправленно стимулировать их деятельность, достигая высокую степень биодегradации углеводородов разных классов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гольдберг, В.М. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия / В.М. Гольдберг, В.П. Зверев, А.И. Арбузов и др. – М.: Наука, 2001. 125 с.
2. Шапоренко, С.И. Проблемы загрязнения морских акваторий нефтепродуктами и поиск путей ее решения / С.И. Шапоренко // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. №1. С. 116-118.
3. <http://www.bellona.ru/subjects/1150100198.39>
4. Van Sickle, Virginia. Oil field brines: another problem for Louisiana's coastal wetlands / Virginia, Van

- Sickle, C.G. Groal // Pros. Ist. Irn. Symp. Oil and Gas Explor. and Prod. Waste Manag. Pract., New Orleans, La, Sept. 10-13, 1990. P. 659-675.*
5. *Сидоров, А.В. Управление качеством сточных вод нефтехимических предприятий / А.В. Сидоров, А.В. Иванов // Вода: Химия и Экология. 2009. № 6. С. 25-29.*
 6. *Киреева, Н.А. Биологическая очистка нефтезагрязненного водоема / Н.А. Киреева, Т.С. Онегова, Н.В. Жданова // Вода и экология. 2004. № 2.*
 7. *Сидоров, А.В. Управляемая биоремедиация нефтяных загрязнений в природных водоемах как фактор здоровой экологии человека (на примере региона Республики Татарстан) / А.В. Сидоров, Н.В. Морозов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. №6. С. 512-516.*
 8. *Жмур, Н.С. Управление процессом и контроль результата очистки сточных вод на сооружениях с аэротенком / Н.С. Жмур. – М.: Луч, 1997. 172 с.*
 9. *Патент РФ на изобретение № 2234467. Способ биологического обеззараживания бытового стока, 20.08.2004.*

SURFACE WATER AS THE RECEIVER OF OIL AND OIL PRODUCTS

© 2011 A.V. Ivanov¹, A.V. Sidorov²

¹ Kazan State Medical University

² Secondary school № 177, Kazan

It was investigated the association of native hydrocarbon oxidizing microorganisms on ability to oxidize different fractions of oil hydrocarbons. Optimum conditions (temperature and aeration) for growth and development of studied group of microorganisms are picked up.

Key words: oil products, petropolluted surface water, biological methods of clearing, biodegradation, hydrocarbon oxidizing microorganisms (HOM), aeration, temperature