

УДК 579.873.6.017.7

БИОХИМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ ОТРАБОТАННЫХ НЕФТЯНЫХ МАСЕЛ

© 2015 г. Д. А. Филатов, Л. И. Сваровская, Е. А. Ельчанинова¹,
В. С. Овсянникова, Л. К. Алтунина

Институт химии нефти СО РАН, Томск

¹Томский политехнический университет Институт природных ресурсов (ИПР)

E-mail: Filatov@ipc.tsc.ru

Поступила в редакцию 11.07.2014 г.

На модельной системе показана возможность биохимического окисления смеси отработанных нефтяных масел при интродукции углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ), представленных видами: *Pseudomonas stutzeri*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus cereus* и *Arthrobacter globiformis*. Численность микроорганизмов в процессе окисления возрастает до 45×10^9 КОЕ/мл среды. Предлагаемый метод, включающий слив продуктов метаболизма в процессе эксперимента, обеспечивает эффективность биодеструкции на уровне 92% за 60 сут при исходных концентрациях отработанного масла 25 и 50 мас. % соответственно. Показано, что все углеводороды входящие в состав отработанного масла, подверглись микробиологическому окислению на 79–100%. Проведены физико-химические исследования смеси отработанных вакуумных масел. В результате проведенных исследований установлено, что биodeградированное масло практически не содержит кислородсодержащих соединений в свободной форме. Все промежуточные продукты метаболизма переходят в водную фазу и подвергаются полной минерализации, либо включаются в метаболизм бактериальной клетки.

Ключевые слова: биохимическое окисление, углеводородокисляющие микроорганизмы, ферменты, смесь отработанных масел.

DOI: 10.7868/S0028242115020082

Технические масла применяют в промышленности и быту для смазки механизмов и в качестве рабочих жидкостей в различных гидросистемах, в электроэнергетике для изоляции и охлаждения электросилового оборудования. Обычно это нефтяные масла, которые содержат смеси различных углеводородов, а также противоокислительные, загущающие, антикоррозионные и др. присадки, улучшающие эксплуатационные свойства масел. В процессе эксплуатации масла соприкасаются с металлами, подвергаются воздействию воздуха, температуры и других факторов, под влиянием которых с течением времени происходит изменение их свойств: разложение, окисление, полимеризация и конденсация, обугливание, разжижение горючим, обводнение и загрязнение посторонними веществами. Перечисленные факторы действуют в комплексе и взаимно усиливают друг друга, ухудшая качество масла в процессе его эксплуатации [1].

Отработанное масло, будь то машинное, трансмиссионное и любое другое используемое в промышленности, а также различные смазки нуждаются в правильной утилизации. Для утилизации отработанных нефтепродуктов (ОНП) используют разные методы (механические, термические, фи-

зико-химические, термохимические и биологические) [2].

Несмотря на явную необходимость, утилизация отработанного масла затрагивает только 15–20% от всего объема отработанных масел в нашей стране. Отработанные нефтяные масла являются одним из существенных источников загрязнения окружающей среды. Огромный экологический ущерб наносит слив отработанных масел в почву и водоемы, который по данным зарубежных исследователей, превышает по объему аварийные сбросы и потери нефти при ее добыче, транспортировании и переработке. В связи с этим большое значение имеет полное или частичное восстановление отработанных масел (регенерация), либо правильная утилизация, чтобы не ухудшать и без того сложную экологическую обстановку [3].

Переработка использованного масла основывается на химических, физических и физико-химических процессах, которые обеспечивают высокое качество регенерации масел, но требуют использования сложного дорогого оборудования, что существенно увеличивает стоимость процесса [4]. Немалую долю расходов занимают сбор, хранение и транспортировка отработанных масел к месту переработки [5]. В индустриально развитых странах

доля регенерированных масел от общего объема их производства составляет ок. 30%. К сожалению, в России в настоящее время отработанные масла практически не регенерируют.

Тем не менее, биологические подходы уже более 30 лет успешно используются для ликвидации нефтяных загрязнений почв и акваторий, повышения нефтеотдачи выработанных нефтяных пластов и т.д. [6, 7].

Цель работы: исследование процессов биохимического окисления смеси отработанных вакуумных и промышленных масел ассоциацией углеводородокисляющих микроорганизмов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследования было отработанное масло, предоставленное Сибирским химическим комбинатом (СХК), использованное в частности на Химико-металлургическом заводе (ХМЗ) в цехе по ремонту и изготовлению оснастки. Масло представляло собой смесь отработанных вакуумных масел марок VM1, VM4, VM5 (из вакуумных и диффузионных насосов) и промышленных масел марок И20, И50 (из оборудования станков металлообработки).

В работе исследовали возможность биоокисления отработанного смазочного материала в жидкой среде углеводородокисляющими микроорганизмами (УОМ), которые выделяли из почвы на среде Мюнца с нефтью. Было выделено 4 культуры. Определено, что выделенные УОМ относятся к видам *Pseudomonas stutzeri*, *Pseudomonas putida*, *Bacillus cereus* и *Arthrobacter globiformis*.

Биоокисление проводили в условиях периодического культивирования на жидкой среде в стеклянных стаканах объемом 1000 мл с приваренными снизу кранами, для слива продуктов метаболизма, которые оседали на дно. В качестве жидкой фазы использовали обычную водопроводную воду. Исходное масло вносили в концентрациях: 25 и 50 мас. %. Взвесь УОМ вносили в культуральную среду в объеме 1 мл, содержащий 7×10^3 КОЕ/мл. Суммарный объем смеси составлял 300 мл. В качестве подкормки добавляли физиологический раствор (NaCl) в концентрации 1.5 мас. % с и аммоний азотнокислый NH_4NO_3 в концентрации 3 мас. %.

Стаканы со средой, маслом и микрофлорой термостатировали при $+20^\circ\text{C}$ при постоянном перемешивании в течение 60 сут на магнитной мешалке ARE VELP (производство Италия) со скоростью 800 об/мин. Перемешивание проводили для увеличения поверхности контакта микроорганизмов с углеводородами (УВ), а также для интенсивной аэрации культуральной среды. Через каждые 7 сут производили слив жидкой фазы в объеме 50 мл для удаления промежуточных продуктов метаболизма. Для этого смесь воды и масла предварительно от-

стаивали в течение 10 мин. После слива в культуральную среду добавляли такой же объем водопроводной воды (50 мл) и продолжали перемешивание с такой же скоростью.

Схема эксперимента. Для оценки степени микробиологического окисления смеси отработанных масел в жидкой среде ставили модельные эксперименты: 1) смесь водопроводной воды и масла в концентрации 25% (225 г воды + 75 г масла); 2) смесь водопроводной воды и масла в концентрации 50% (150 г воды + 150 г масла).

В ходе опыта определяли численность внесенных микроорганизмов и активность ферментов. Численность клеток определяли посевом на плотные агаровые среды [8]. Продолжительность эксперимента 60 сут. Эксперименты проводили в 3-х кратной повторности.

Каталазную активность определяли газометрическим методом по скорости распада пероксида водорода, выраженной в мл O_2 на мл среды за минуту. Активность дегидрогеназы, пероксидазы и полифенолоксидазы определяли фотокolorиметрическими методами [9].

Остаточное содержание отработанного масла в культуральной среде определяли гравиметрическим методом. Для этого в качестве экстрагента использовали хлороформ (ЗАО "ЭКОС-1", Россия), который вносили в смесь масла и жидкой фазы. Всю смесь переносили в делительную воронку, тщательно перемешивали и отделяли хлороформный экстракт масла. Извлеченное масло освобождали от хлороформа на роторном испарителе и подвергали дальнейшему анализу [10].

Вязкость исходного и биодegradированного масел определяли с помощью реометра RheoStress 600 НААКЕ (производство Германия) в системе коаксиальных цилиндров в режиме установившегося течения с постоянной скоростью сдвига по стандартной методике. Плотность исследуемых масел определяли с помощью пикнометра (объем 5 мл) при 20°C .

Спектры протонного магнитного резонанса снимали на ЯМР-Фурье-спектрометре AVANCE-AV-300 (BRUKER BIOSPIN, Германия), используя дейтерохлороформ в качестве растворителя и гексаметилдисилоксан (оба фирмы Sigma-Aldrich, США) в качестве внутреннего стандарта, при 1%-ной концентрации исследуемых веществ.

Содержание углерода и водорода определяли методом сжигания.

Регистрацию электронных спектров поглощения водных растворов проводили на УФ-спектрофотометре Uvikon 943 (пр-во Италия) в диапазоне длин волн 190–700 нм в кварцевой кювете толщиной 1 см.

Изменение структурного состава определяли методом ИК-спектроскопии на спектрометре Фу-

рье NIKOLET 5700 (FT-IR) (Thermo Electron, США).

Групповой и индивидуальный состав органических соединений смеси отработанных масел исследовали с помощью хроматомасс-спектрометрического (ГХ-МС) анализа на магнитном хроматомасс-спектрометре DFS фирмы “Thermo Scientific” (Германия) с кварцевой капиллярной хроматографической колонкой фирмы “Thermo Scientific”.

Обработку результатов осуществляли с помощью статистического пакета Excel MS office 2003).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Хроматомасс-спектрометрический анализ исходной смеси отработанных масел показал, что в масле среди идентифицированных соединений содержится 45.5% алканов, 46.9% нафтеновых и 5.6% моноароматических углеводородов (УВ), а также небольшое количество (3%) би- и трициклических ароматических соединений, которые, вероятно, появляются в процессе использования масла при эксплуатации механизмов (трение, повышенная температура и др.), что приводит к конденсации моноароматических УВ. Кроме того в исследуемом отработанном масле обнаружены такие элементы как бор, кобальт и фосфор в концентрации 4.91, 0.083 и 6.67 ppm соответственно.

Микрофлора, присутствующая в исходном масле, была немногочисленна (1–2 КОЕ/мл масла) и не отличалась видовым разнообразием. Поэтому с целью биохимического окисления масел вносили активную микробную ассоциацию, представленную 4 видами УОМ – *Arthrobacter globiformis*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas stutzeri* и *Ps. putida*. Микроорганизмы в жидкой среде с углеводородами отработанного масла в качестве единственного источника углерода и энергии начали активный рост уже на 1 сут опыта. Это свидетельствует о том, что внесенная микрофлора сразу начинает окислять УВ, входящие в состав отработанных масел. По ходу эксперимента численность микроорганизмов увеличивалась на 5–6 порядков (рис. 1). Максимальная численность составила 45×10^9 КОЕ/мл на 45 сут культивирования в варианте с 50%-ми масла.

Следовательно, УВ входящие в состав исследуемого масла не являются токсичными для микроорганизмов и могут подвергаться биоокислению с помощью энзимов, индуцируемых субстратом.

Основная роль в процессах биодеструкции принадлежит биологическому окислению, которое происходит в процессе ферментативных реакций, в частности, окислительно-восстановительных, осуществляемых оксидоредуктазами [11]. Высокоактивный кислород, образующийся при участии каталазы, обеспечивает доступным кислородом микроорганизмы, участвующие в процессах биодеструкции УВ. Кислород в свою очередь рас-

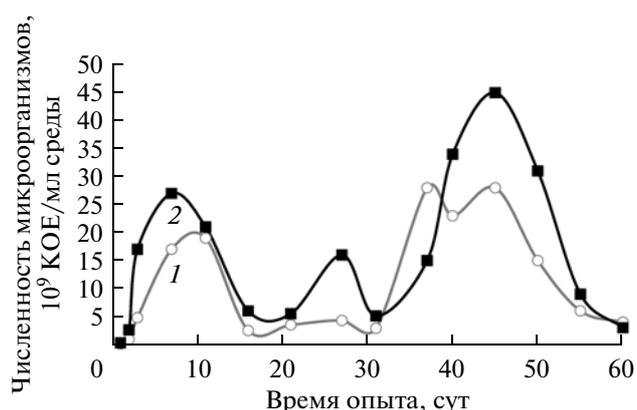


Рис. 1. Динамика численности углеводородоксилющих бактерий в культуральной среде при 25% (1) и 50% (2) концентрации отработанного масла.

ходуется не только на процессы дыхания, но и на повышение уровня окисленности субстрата. Дегидрогеназы осуществляют введение одного атома кислорода из его молекулярной формы в концевую метильную группу углеводорода и отвечают в основном за окисление алифатических цепочек.

При изучении биодеструкции значительное внимание уделяется исследованию фенолоксидаз (пероксидазы и полифенолоксидазы), которые играют важную роль в процессах минерализации различных ксенобиотиков. Пероксидазы вместе с полифенолоксидазами являются катализаторами окисления различных полифенолов, алифатических и ароматических аминов, а также жирных кислот, глутатионов и т.д. [11]. Основная особенность механизма действия пероксидазы и полифенолоксидазы – отсутствие в специфичности выбора ферментом субстрата, проявляемая в реакциях индивидуального окисления. Поэтому эти ферменты способны катализировать окисление практически любых ароматических и гетероциклических соединений, входящих в состав отработанных масел и принадлежащих к числу наиболее опасных загрязнителей окружающей среды.

Показано, что с первых суток эксперимента происходит увеличение активности исследованных ферментов, это свидетельствует о том, что углеводородные компоненты, входящие в состав масел, практически сразу начинают ассимилироваться УОМ (табл. 1).

При этом наибольшая активность этих ферментов наблюдается в среде с 50% концентрацией отработанного масла. Возможно, это связано с большим количеством УВ различного строения в культуральной среде. Полученные результаты позволяют говорить о достаточно интенсивных процессах биодеструкции химических соединений различной структуры входящих в состав отработанного масла.

Таблица 1. Активность ферментов при биодеструкции исходного масла в условиях периодического культивирования

Исходная концентрация масла, %	Ферменты			
	каталаза, мл O ₂ /мл	дегидрогеназа, мг/мл	пероксидаза, мг/мл	полифенолоксидаза, мг/мл
10 сут				
25	2.2 ± 0.1	0.3 ± 0.02	0.40 ± 0.04	0.31 ± 0.02
50	2.4 ± 0.2	0.3 ± 0.03	0.42 ± 0.03	0.33 ± 0.02
30 сут				
25	5.2 ± 0.3	0.48 ± 0.04	0.51 ± 0.01	0.40 ± 0.01
50	5.5 ± 0.2	0.50 ± 0.03	0.55 ± 0.02	0.45 ± 0.02
55 сут				
25	5.0 ± 0.3	0.42 ± 0.03	0.48 ± 0.02	0.38 ± 0.02
50	5.2 ± 0.3	0.48 ± 0.02	0.52 ± 0.03	0.41 ± 0.01

Таблица 2. Остаточное содержание масла после биодеструкции (60 сут)

Исходная концентрация масла, мас. %	Масса исходного отработанного масла, г	Масса биодеградированного масла, г	Степень биодеградации, мас. %
25	75	69.5 ± 0.4	92.6 ± 0.6
50	150	138.8 ± 0.5	92.5 ± 0.3

На протяжении всего эксперимента активность всех исследованных ферментов находилась на достаточно высоком уровне, а к концу опыта наблюдается небольшое падение ферментативной активности, что может свидетельствовать о снижении скорости процессов биохимического окисления исследуемого масла. Это косвенно подтверждает ингибирование оксигеназной активности УОМ вероятно продуктами неполного окисления УВ.

По завершению эксперимента, через 60 сут было определено остаточное содержание отработанных масел. Данные гравиметрического анализа представлены в табл. 2.

Из представленных данных видно, что через 60 сут доля масел при 25% и 50% начальной концентрации сокращается в среднем более чем на 92%, что указывает на активную деструкцию отработанных масел ассоциацией внесенных углеводородокисляющих микроорганизмов. Причем доза

вещества не имеет решающего значения и не является фактором, определяющим скорость разрушения. Доминирующими факторами являются свойства самих веществ, их строение, структура.

Данные полученные методом сравнительного анализа ЯМР ¹H проб исходного масла и после биодеструкции, представлены в табл. 3.

В спектрах ЯМР ¹H биодеградированных масел происходит относительное уменьшение сигналов 1.4–1.0 м.д. (β-CH₂-фрагменты парафиновых длинноцепочечных углеводов) и уменьшение сигналов 0.5–1.0 м.д. (γ-CH₃-группы насыщенных соединений), это свидетельствует о том, что деструкции подверглись как короткие, так и длинноцепочечные *n*-алканы. Наблюдается также относительное увеличение ароматических соединений (А) и соединений, входящих в область (α), которая показывает колебания атома водорода при ароматическом кольце (табл. 3). Это подтвер-

Таблица 3. Распределение водорода по структурным группам до и после биодеструкции отработанного масла по данным ЯМР ¹H

Исследуемая проба	Длина алифатической цепи (l)	Содержание водорода, %			
		А	α	β	γ
Исходное масло	27.7	1.44	3.56	67.48	27.55
Биодеградированное, вариант 1	20.6	3.74	3.87	66.78	25.61
Биодеградированное, вариант 2	20.51	3.77	3.85	66.79	25.59

Таблица 4. Характеристические химические сдвиги для модельных спиртов, карбоновых кислот, простых и сложных эфиров по ЯМР ^{13}C

Общая формула	Характеристические сигналы	Значение химических сдвигов, м.д.
$\text{R}-\text{CH}_2-\text{OH}$	$\delta^{13}\text{C} (\text{CH}_2)$	62–63
$\text{RCOOCH}_2-\text{R}'$	$\delta^{13}\text{C} (\text{CH}_2)$	59–61
$\text{R}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{R}'$	$\delta^{13}\text{C} (\text{CH}_2)$	71–73
$\text{R}-\text{COOH}$	$\delta^{13}\text{C} (\text{COOH})$	165–172
$\text{R}-\text{CO}-\text{R}'$	$\delta^{13}\text{C} (\text{C}=\text{O})$	185–210

ждает тот факт, что *n*-алканы в составе масла атакуются микроорганизмами легче, в связи их большей доступностью для ферментативного аппарата УОМ. В процессе биодеструкции уменьшается среднее значение длины алифатической цепи (l), рассчитанной из соотношения $l = \text{H}\alpha + \text{H}\beta + \text{H}\gamma/\text{H}\alpha$. Длина цепи уменьшилась в обоих вариантах опыта на 35.7–36% (табл. 3) Это указывает на окисление *n*-алканов, либо алифатических цепочек в алкилзамещенных аренах и нафтенах.

По данным элементного анализа в биодеградированных маслах на 1.5–2% снижается содержание С и Н, что также свидетельствует о преимущественной деструкции алифатических УВ и алкильных заместителей в ядрах ароматических и нафтеновых колец.

При 20°C и атмосферном давлении смесь отработанных масел представляет собой типичную ньютоновскую жидкость. Ее вязкость 0.102 Па с при скорости сдвига 60 с⁻¹. Плотность исходного масла 0.8716 г/см³. Известно, что окисление УВ происходит с неодинаковой скоростью и в первую очередь биотрансформируются молекулы, имеющие наименьшую энергию разрыва связей и наименьшую мол. массу. Реакционная способность уменьшается в ряду: *n*-алканы > *изо*-алканы > циклоалканы > ароматические соединения [12]. Экспериментально показано, что плотность биодеградированного масла незначительно увеличивается и достигает 0.8773 г/см³, а вот вязкость, при тех же условиях увеличивается более чем в 2 раза и составляет 0.241 Па с. Это указывает на то, что в первую очередь ассимилируются низкомолекулярные алифатические УВ (парафины) и *изо*-алканы, входящие в состав отработанного масла. Соответственно, содержание более устойчивых соединений – высокомолекулярных алканов, нафталинов и аренов относительно увеличивается, что и приводит к увеличению вязкости биодеградированного масла.

По данным ИК-спектроскопии в биодеградированных маслах происходит снижение интенсивности поглощения метильных (CH₃) и метиленовых (CH₂) групп (полосы поглощения 1380 и 1460 см⁻¹), что также свидетельствует об укорачивании полиметиленовых цепочек углеродных скелетов в процессе микробиологической деструкции

УВ, входящих в состав отработанных масел. Однако наряду с этим ИК-спектры биодеградированных масел характеризуются практически полным отсутствием полос поглощения кислородсодержащих групп и связей (1700–1740, 1250–1270, 1170 см⁻¹ и т.д.). УФ-спектроскопия биодеградированного масла также не показала наличие кислородсодержащих групп.

Хотя по литературным данным в результате аэробного окисления алифатических УВ микроорганизмами образуются преимущественно спирты, монокарбоновые жирные кислоты, вторичные спирты, эфиры и кетоны [13]. Химические сдвиги характерные для вышеупомянутых соединений приведены в табл. 4.

И поскольку в ИК-, УФ-спектрах и спектрах ЯМР изученных нами биодеградированных масел отсутствуют сигналы характерные для этих соединений, можно констатировать, что образование и накопление в процессе биотрансформации кислот, спиртов, сложных эфиров, кетонов и других кислородсодержащих соединений в свободном виде не происходит.

Вероятно, что после внедрения молекулярного кислорода в молекулу парафина под действием оксигеназ, происходит образование промежуточных продуктов превращения УВ, которые становятся водорастворимыми, переходят в водную фазу и быстро окисляются микроорганизмами до конечных продуктов CO₂ и HO₂, либо включаются в метаболизм микробной клетки например по циклу Кребса.

Нахождение промежуточных продуктов метаболизма именно в водной фазе подтверждается ИК- и УФ-спектроскопическими анализами.

На рис. 2 представлен ИК-спектр водной фазы, на котором видны интенсивные полосы поглощения, характерные для амидов, аминов, спиртов, органических кислот, эфиров и т.д. (3318, 2290, 1715, 1660, 1080 см⁻¹), т. е. смесь промежуточных продуктов жизнедеятельности микроорганизмов при окислении углеводов входящих в состав исследуемого отработанного масла (рис. 2).

Известно, что под действием УФ-излучения происходит возбуждение молекулы, т. е. переход

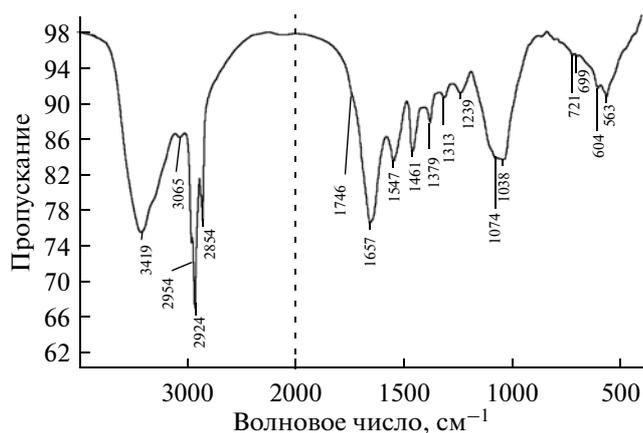


Рис. 2. ИК-спектр водной фазы в процессе биохимического окисления отработанного масла.

электронов на более возбужденный уровень и перераспределение электронной плотности в молекуле. Результаты УФ-спектроскопии показывают наличие в исследуемой культуральной среде (в водной фазе) полосы поглощения в области 270–90 нм, которая соответствует $n \rightarrow \pi$ переходу неподеленной пары электронов атома кислорода и свидетельствует о присутствии в водном растворе групп C=O и NO, т.е. кислородсодержащих соединений, образующихся в результате минерализации углеводов.

По результатам ЯМР, УФ- и ИК-спектроскопии можно уверенно судить о нахождении продуктов неполного или частичного окисления УВ не в самом биодegradированном масле, а в водной фазе (водном растворе).

Снижение содержания отработанных масел после биодеструкции сопровождается изменением их химического состава.

Хроматомасс-спектрометрический анализ показал уменьшение большей части углеводородных компонентов масла от 79 до 100%. Причем, например, по низкомолекулярным n -алканам (C₁₁–C₁₇) получилось, что снижение концентрации состав-

ляет 100%. Биодеструкция нефтяных УВ (циклогексаны) и ароматических соединений (алкилбензолы), входящих в состав отработанных масел, составила в среднем 80–90% (табл. 5).

Таким образом, было показано, что биологические методы утилизации могут служить достойной альтернативой физико-химическим, поскольку способны приводить к полному разложению органического материала и обладают невысокой себестоимостью, хотя и обладают рядом недостатков: к которым можно отнести относительно невысокую скорость процессов, требовательность к внешним условиям (температура, pH), а так же возможное токсическое влияние некоторых УВ. Конечным продуктом биотрансформации будет являться микробная масса, которая может быть использована для различных целей

В работе были проведены исследования смеси отработанных масел использовавшихся в промышленности для смазки различных механизмов и агрегатов. Установлено, что ассоциация углеводородокисляющих микроорганизмов относящихся к видам *Arthrobacter globiformis*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas stutzeri* и *Ps. putida*, способна к биохимическому окислению отработанных технических масел. По ходу эксперимента визуально наблюдалась образование устойчивой эмульсии и исчезновение масляной пленки во всех вариантах опыта. Показано, что численность исследуемых микроорганизмов возрастала от нескольких тысяч до 45×10^9 КОЕ/мл. Значительно возрастала активность всех исследованных ферментов, принимающих участие в процессах биодеструкции углеводов.

При исходных концентрациях отработанного масла 25 и 50 мас. % утилизация за 60 сут опыта в обоих вариантах составила 92%. Установлено, что микробиологическое окисление большей части УВ, входящих в состав отработанного масла составила от 79 до 100%. Можно предположить, что доза вещества не имеет решающего значения при биодegradации отработанных масел, а основными факто-

Таблица 5. Хроматомасс-спектрометрический анализ исходного и отработанного биодegradированного масла

Углеводороды	Концентрация вещества в масле, мкг/г			Деструкция, %
	исходное	биодegradированные		
		25%	50%	
Алканы	205.55	11.01	9.28	94.6–95.4
Сумма C ₁₁ –C ₁₉	84.28	0	0	100
Сумма C ₂₀ –C ₂₃	82.22	3.91	3.06	95.24–96.27
Сумма C ₂₄ –C ₂₉	39.05	7.1	6.22	81.8–84.07
Циклогексаны	119.78	24.30	21.45	79.9–82.1
Алкилбензолы	9.95	1.08	0.98	89.1–90.1

рами являются свойства самих веществ, их строение и структура.

Доказано, что отработанное масло выделенное после биодеструкции практически не содержит кислородсодержащих соединений в свободной форме. Вероятно все промежуточные продукты метаболизма переходят в водную фазу и быстро окисляются до конечных т.е. подвергаются полной минерализации, либо включаются в метаболизм бактериальной клетки.

Работа выполнялась по договору № 1/13 с Сибирским химическим комбинатом на выполнение НИР “Исследование процесса кондиционирования жидких радиоактивных органических отходов методом биотехнологии”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мановян А.К.* Технология первичной переработки нефти и природного газа. М.: Химия, 2001. 408 с.
2. *Каминский Э.Ф., Хавкин В.А.* Глубокая переработка нефти: технологический и экологический аспекты. М.: Техника, 2001. 384 с.
3. *Глаголева О.Ф., Капустин В.М.* Технология переработки нефти. М: Колосс. 2007. 400 с.
4. *Томина Н.Н., Пимерзин А.А., Агафонов И.А.* Методы очистки топлив и масел. Самара: РИО Самарск. гос. тех. ун-та, 2005. 178 с.
5. *Поташиников Ю.М.* Утилизация отходов производства и потребления. Тверь.: ТГТУ. 2004. 107 с.
6. *Altunina L. K., Svarovskaya L.I., Ovsyannikova V.S.* // Petrol. Chemistry. 2008. V. 48. № 3. P. 233.
7. *Филатов Д.А., Сваровская Л.И., Алтунина Л.К.* // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. № 1. С. 13.
8. *Звягинцев Д.Г.* Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: МГУ, 1991. 231 с.
9. *Хазиев Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
10. *Другов Ю.С., Родин А.А.* Анализ загрязненной почвы и опасных отходов. Практическое руководство. М.: Бинном, 2007. 263 с.
11. *Svarovskaya L.I., Altunina L.K., Filatov D.A.* // Petrol. Chem. 2007. V. 47. № 3. P. 219.
12. *Filatov D.A., Gulaya E.V., Svarovskaya L.I., Altunina L.K.,* // Petrol. Chemistry. 2009. V. 53, № 1. P. 59.
13. *Svarovskaya L.I., Filatov D.A., Gerelmaa T., Altunina L.K.* // Petrol. Chemistry. 2009. V. 49. № 2. P. 136.