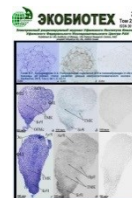




ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>*Обзор*

НЕФТЕШЛАМЫ: СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ИХ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Коршунова Т.Ю., Логинов О.Н.

Уфимский институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа
E-mail: korshunovaty@mail.ru

Дан краткий обзор состояния проблемы нефтесодержащих отходов в России. Приводятся сведения о количестве образующихся отходов, их видах и методах обезвреживания, применяемых в нашей стране. Основное внимание уделено микробиологической переработке нефтесодержащих отходов с помощью биопрепаратов, а также новым разработкам ученых в этой области.

Ключевые слова: нефтесодержащие отходы, нефтешламы, обезвреживание, биопрепарат

OIL SLUDGE: CONDITIONS OF THE PROBLEM IN THE RUSSIAN FEDERATION AND METHODS TO REDUCE THEIR NEGATIVE INFLUENCE ON THE ENVIRONMENT

Korshunova T.Yu. and Loginov O.N.

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa
E-mail: korshunovaty@mail.ru

A brief overview of the state of the problem of oily waste in Russia is given. Provides information on the amount of waste generated, their types and methods of neutralization used in our country. The main attention is paid to the microbiological processing of oily waste with the help of biological products, as well as to new developments of scientists in this field.

Keywords: oily waste, oil sludge, neutralization, biological product

Поступила в редакцию: 4.03.2019

DOI: 10.31163/2618-964X-2019-2-1-75-85

На современном уровне развития нефтяной промышленности невозможно полностью исключить ее отрицательное воздействие на окружающую среду. При этом значительный вклад в загрязнение экосистем вносят нефтесодержащие отходы, которые образуются на всех этапах добычи, транспортировки и переработки нефти, при очистке сточных вод, содержащих нефтепродукты, чистке резервуаров и другого оборудования и т.д., что обусловлено как несовершенством техники и технологии, так и человеческим фактором. Потери нефти, содержащейся в отходах, по экспертным оценкам составляют примерно 3% от ее годовой добычи [Боковикова и др., 2011]. Кроме того, крупнотоннажные нефтесодержащие отходы занимают обширные территории, уродуют ландшафт, служат источником вторичной контаминации почв, воздуха, поверхностных, подземных вод и представляют угрозу для здоровья человека [Каталитические..., 2013; Литвинова, 2016; Соколов, 2017; De Quadros et al., 2016].

В нашей стране ежегодно образуется более 3 млн. т нефтеотходов. На территории Западной Сибири их скопилось около 3 млн. т, в Республике Татарстан – около 2,5 млн. т, в Республике Башкортостан – более 2 млн. т. На сегодняшний день на предприятиях АНК «Башнефть» складировано около 180 тыс. м³ нефтешламов и каждый год образуется порядка 6,5 тыс. м³ с тенденцией увеличения на 10% в год. Количество нефтесодержащих отходов постоянно растет: на 1 тыс. т сырой нефти приходится 1-5 т нефтешламов. Основной вклад в этот процесс вносят нефтедобывающие компании (более 1 млн. т нефтешламов и нефтезагрязненных грунтов), нефтеперерабатывающие заводы (0,7 млн. т), нефтебазы (0,3

млн. т), железные дороги, аэропорты, морские порты (0,5 млн. т) [Соколов, 2017]. Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов, нефтесодержащие отходы относятся к 3 (умеренно опасные отходы, содержание нефтепродуктов 15% или более) или 4 классу опасности (малоопасные вещества, содержание нефтепродуктов менее 15%) [ФККО, 2017].

ВИДЫ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Стандартизированной классификации всего комплекса нефтегазопромышленных отходов не существует. Как вариант предлагается деление по агрегатному состоянию: жидкие (пластовые воды, буровые сточные воды, углеводородсодержащие некондиции); твердые (донные осадки резервуаров, буровые шламы и буровые растворы, нефтешламы от разливов, нефтешламы при переработке нефти, нефтешламы трубопроводные); газообразные (попутный газ, сероводород, углекислый газ, углеводороды (в результате испарения нефти или утечек газа), оксиды серы (как продукты сгорания)) [Егоров, Егорова, 2016].

Очень часто для обозначения твердых или пастообразных нефтесодержащих отходов используют общий термин «нефтешламы». Это сложные гетерофазные системы из органической, водной и минеральной части в виде песка, пыли, ила, соединений металлов, соотношение которых колеблется в очень широких пределах. Их состав может существенно различаться в зависимости от способа добычи сырья, компонентного состава и физико-химических свойств нефтей, схем переработки, температуры и др. Они содержат в среднем (масс.) 10-56% нефтепродуктов, 30-85% воды, 1,3-46% твердых примесей [Херрера-Альварado, 2015; Юльtimiрова, 2018; Ubani et al., 2013].

В зависимости от способа образования нефтешламы бывают придонные (формируются при оседании нефти и нефтепродуктов на дне водоемов), резервуарные (возникают при перевозке и хранении нефтепродуктов в различных емкостях в результате их взаимодействия с водой, кислородом, механическими примесями и материалом стенок резервуара) и грунтовые [Колобова, 2015].

Большие количества нефтезагрязненных (замазученных) грунтов образуются в результате проливов нефтепродуктов на земную поверхность в процессе производственных операций либо при аварийных ситуациях, очистке технологического оборудования, демонтаже резервуаров и пр. Усредненный состав замазученного грунта выглядит следующим образом: нефтепродукты (10,1-14,2%), нерастворимые компоненты (71,8-78,2%), механические примеси (10,1-13,2%), вода (9,7-14,7%), соли металлов [Шпербер, 2016]. Такие нефтезагрязненные грунты считаются отходами после складирования в специальных шламонакопителях.

Различные нефтешламы, образующиеся в процессе добычи и переработки углеводородного сырья, являются наиболее крупнотоннажными промышленными отходами, которые занимают площади в десятки квадратных километров, выводя из оборота значительные земельные ресурсы [Боковикова и др., 2011; Атаманова, Мухаметшина, 2015; Соколов, 2017]. Они собираются, как правило, открытых земляных резервуарах – нефтешламовых амбарах различной конструкции, без какой-либо сортировки и классификации. В таких хранилищах происходят естественные явления – накопление

атмосферных осадков, развитие микроорганизмов, протекание окислительных и других реакций, т.е. идет самовосстановление, однако, в связи с наличием большого количества солей и нефтепродуктов при общем недостатке кислорода этот процесс затягивается на десятилетия. Состав нефтяного шлама, депонированного в накопителе в течение нескольких лет, отличается от состава свежего. Со временем он «старееет», что приводит к его упрочнению и уплотнению. Легкие фракции испаряются, нефть и нефтепродукты окисляются, смолы переходят в другое качество. Кроме того, происходит попадание твердых механических примесей. В результате образуются многокомпонентные дисперсные системы, которые отличаются значительной устойчивостью к разрушению, что делает задачу их утилизации очень сложной [Журавлева, 2017; Юльтимирова, 2018].

К настоящему моменту значительное число шламонакопителей, построенных с начала 50-х годов, превратились из средства предотвращения загрязнения в постоянно действующий источник опасности [Ефремов и др., 2011; Ефремов, Фоменко, 2014; Соколов, 2017]. Длительное хранение нефтешламов в амбарах, не отвечающих современным экологическим требованиям, приводит не только к изъятию земель, но и к выбросам загрязняющих веществ в атмосферу в результате испарения легких фракций; фильтрации поллютантов в подземные водоносные горизонты через борта и основание накопителей; нарушению обвалования хранилищ отходов и попаданию нефтеотходов на рельеф местности [Мазлова, Меньшикова, 2010; Минигазимов, Минигазимов, 2014; Маркарова и др., 2016а, 2016б; Мустафин и др., 2017; Троц и др., 2017; Филатов, Овсянникова, 2017]. К тому же продукты частичного распада содержащихся в накопителях нефти и нефтепродуктов намного более токсичны и канцерогенны, чем сама нефть [Иванов, 2010]. В связи с этим задача создания высокоэффективных и экологически чистых технологий обезвреживания нефтешламов и ликвидации нефтешламовых амбаров приобретает все большее значение.

МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕШЛАМОВ

В настоящее время отсутствует какой-либо один универсальный, экологически чистый, экономически оправданный и ресурсосберегающий способ переработки нефтесодержащих отходов. В каждом конкретном случае это зависит от состава источника образования, времени складирования, количества механических примесей и пр. [Суфиянов, 2010]. В Российской Федерации нашли применение следующие методы переработки нефтяных отходов [Багдасарова, 2012; Бахонина, 2015; Хуснутдинов и др., 2015; Литвинова, 2016]:

– термические, т.е. сжигание в печах разных конструкций, в т.ч. пиролиз. Недостатками является высокая стоимость, загрязнение воздуха продуктами горения, такими как оксиды углерода, азота, серы, ПАУ и другими токсичными веществами, а также образование шлаков, которые тоже необходимо обезвреживать, т.к. они содержат большое количество канцерогенов;

– химические методы обезвреживания жидких и твердых углеводородсодержащих отходов (осаждение, капсулирование, использование сорбентов, магнитных собирателей и пр.) заключаются в добавлении к нейтрализуемой массе различных реагентов;

– физические, такие как отстаивание, прессование, центрифугирование, фильтрование, экстрагирование. Применяются, как правило, при очистке жидких отходов, характеризуются самой низкой степенью очистки;

– физико-химические – разделение нефтяных шламов с помощью специально подобранных ПАВ, фильтрующих систем, реагентов для разрушения эмульсий, растворителей на отдельные фазы с дальнейшим использованием нефтяного шлама в качестве сырья для других отраслей экономики. К таким методам относится коагуляция и флокуляция, экстракция, сорбция, ионный обмен, флотация и др.

Все вышперечисленные методы недостаточно технологичны, экологически небезопасны, энергоемки и требуют значительных капитальных вложений. В результате их применения часто образуются побочные продукты, которые в свою очередь нуждаются в утилизации. Поэтому объемы переработки отходов отстают от объемов образования и к уже накопленным количествам добавляются новые.

Подобных недостатков лишены биологические методы, основанные на способности микроорганизмов перерабатывать углеводороды и другие компоненты нефти посредством биохимических реакций, в ходе которых происходит расщепление, минерализация и частичная гумификация компонентов загрязненной почвенной системы. Это достигается либо внесением нефтесодержащих отходов в определенном количестве в пахотный слой земли (смешение), что является экологически небезопасным и малоэффективным [Хуснутдинов и др., 2015; Соколов, 2017], либо использованием особых штаммов бактерий-нефтеструктуров и биогенных добавок, содержащих азот, фосфор и пр. К достоинствам второго метода следует отнести невысокие материальные затраты и экологическую чистоту [Ichor et al., 2014; Ivshina et al., 2015; Orellana et al., 2017; Xu, Zhou, 2017]. Однако область его применения имеет свои ограничения, связанные с диапазоном активности микроорганизмов, зависящим от температуры, кислотности, концентрации нефтезагрязнения, аэробных условий [Соловьянов, 2012; Ubani et al., 2013, 2016].

Почва являются уникальной системой и важнейшим компонентом природной среды, формирование которой происходит на протяжении десятков и сотен тысяч лет. После биологического обезвреживания замазученных грунтов и нефтешламов образуется большое количество почвогрунта. В идеале, он должен характеризоваться хорошими потребительскими свойствами, т.е. обладать высоким содержанием гумуса и низким содержанием нефтепродуктов [Сухоносина и др., 2009; Бормотов, Тюрденева, 2014]. Поэтому, несмотря на преимущества ряда механических, физических и химических методов очистки от нефти и нефтепродуктов и на недостатки биологических, главным аргументом в пользу применения последних является то, что и их помощью можно восстановить плодородие земли и вернуть ее в сельскохозяйственный оборот. В связи с этим, наиболее перспективным способом переработки нефтесодержащих отходов является использование комплекса мер, с обязательным включением этапа биологического (биотехнологического) обезвреживания.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Технологии биологического обезвреживания нефтесодержащих отходов, накопленных на свалках и полигонах, основаны либо на активации аборигенной микрофлоры с помощью механической обработки (рыхление, вспашка, дискование) и внесении биогенных добавок, либо на интродукции в грунт определенных культур микроорганизмов-нефтедеструкторов, (бактерий, грибов, дрожжей) среди которых есть представители более чем 70 родов [Плешакова и др., 2017; Bhattacharya et al., 2015; Ivshina et al., 2016; Salam, 2016; Koshlaf, Ball, 2017; Nasreen, Kalsoom, 2018]. Для второго способа разработано большое количество биопрепаратов, которые помимо микроорганизмов могут включать различные питательные вещества и носители. Здесь также предусмотрены дополнительные приемы для ускорения процесса биодеструкции, аналогичные тем, что применяются в первом случае. В качестве примеров биопрепаратов для обезвреживания нефтешламов можно привести «Путидойл» (*Pseudomonas putida* 36) [Дядечко и др., 1990], «Деворойл» (*Rhodococcus* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida* sp.) [Борзенков и др., 1994; www.sitistroi.ru/devoroiil], «Родер» (*Rhodococcus rubber*, *R. erithropolis*) [Мурыгина и др., 2001, 2007], «Родотрин» (*R. erythropolis*) [Ягафарова и др., 2008], «БИОРОС» (*Rhodococcus* sp., *Candida* sp.) [Самсонов и др., 2010; Пыстина и др., 2013], «БИОЛ» (представители родов *Bacillus*, *Aeromonas*, *Lactobacillus*, *Chryseobacterium*) [Мазлова, Херрера, 2014; Херрера, Васильева, 2014], «Рустэко» (*Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* sp.) [Черных, Садчиков, 2016], «Микрозим™ Петро Трит» (представители родов *Bacillus*, *Atherobacter*, *Nocordia*, *Rhodococcus*, *Pseudomonas*) [<http://www.microzym.ru/oilspills.htm>], «БАК-Верад» (представители родов *Bacillus*, *Atherobacter*, *Rhodococcus*, *Pseudomonas*) [Черных, Садчиков, 2016], «DOP-UNI» (представители родов *Rhodococcus*, *Candida*, *Pseudomonas*) [http://dop-uni.ru/destructor_of_oil_polution], биопрепараты под торговой маркой «Ленойл»® (на основе консорциума микроорганизмов *Acinetobacter calcoaceticus* ИБ ДТ-5.1/1 и *Ochrobactrum intermedium* ИБ ДТ-5.3/2) [Коршунова, Логинов, 2014]. Кроме того, биопрепараты серии «Ленойл»® были успешно использованы для биорекультивации такого нефтесодержащего отхода, как насыщенная углеводородами отбеливающая глина, применяемая в нефтеперерабатывающей промышленности в качестве природного адсорбента для регенерации отработанных минеральных масел или в процессе их контактной доочистки [Коршунова и др., 2016]. За период с 2003 по 2014 гг. с их помощью переработано более 500000 тонн нефтезагрязненной отбеливающей глины, складированной на территории свалки промышленных отходов ОАО «Орскнефтеогсинтез» (Оренбургская обл.). Это позволило передать 6,5 га восстановленных земель Комитету по управлению имуществом г. Орск.

Однако ученые продолжают разработку способов микробиологического обезвреживания нефтесодержащих отходов. Из проб, отобранных на нефтешламохранилище в Волгоградской области, выделено 8 штаммов, способных к деградации углеводов. Наиболее активные бактерии-нефтедеструкторы идентифицированы как представители р.

Rhodococcus, которые могут быть использованы для утилизации нефтяного шлама [Редкозубов, 2010].

Мильман и Гильвановой [Мильман, Гильванова, 2014] осуществлены модельные испытания биопрепарата, включающего смесь спор бактерий *Paenibacillus ehimensis* IB-739, не обладающих окислительной активностью, но продуцирующих циклодекстрины, субстрата для их биосинтеза (крахмала), а также консорциума углеводородокисляющих микроорганизмов. Внесение в нефтьшлам этого комплексного биопрепарата ускоряет процесс биодegradации за счет образования циклодекстринов, способных к изменению фазового состояния углеводородов нефти с гидрофобного на гидрофильное.

Разработана поэтапная схема обезвреживания нефтьшлага, включающая следующие стадии: диспергирование нефтьшлага в полисахаридных коллоидных растворах (альгинате кальция) или с помощью биоПАВ. Для этих целей использовали биотехнологически полученные поверхностно-активные вещества бактерий *P. aeruginosa* RM или *Acinetobacter* sp. 15; добавления раствора биогенных элементов, необходимых для развития углеводородокисляющих ассоциаций; биодеструкция нефтьшлага в контейнерах в аэробных, а потом и в микроаэрофильных условиях; внесение биотехнологически модифицированного нефтьшлага в почву в количестве 1-5% и засев ее растениями-фитомелиорантами [Ботвиненко и др., 2013].

На территории Республики Казахстан проведены полевые эксперименты по обезвреживанию нефтьшлага (замазученного грунта) с использованием циано-бактериальных ассоциаций на основе *Phormidium* sp. K-1 и углеводородокисляющих бактерий *Pseudomonas stutzeri* A1, *Pseudomonas* sp. N2 и *P. alcaligenes* A5. Через 6 месяцев после интродукции в грунте существенно уменьшилась концентрация углеводородов с длиной цепи C₁₄-C₂₇, а также C₃₂-C₃₄ (в среднем на 80% по сравнению с контролем), а углеводороды с длиной цепи C₁₀-C₁₃ и C₂₈-C₃₁ полностью исчезли. Также с помощью тест-организмов установлено значительное снижение токсичности рекультивированного грунта [Жубанова и др., 2013].

Выделены и исследованы микроорганизмы нефтьшлагамов, способные к эффективной азотфиксации и разложению углеводородов. На основании полученных результатов была разработана биотехнология обезвреживания и переработки промышленных нефтесодержащих отходов путем активации содержащихся в них аборигенных азотфиксирующих микроорганизмов. Предложен штамм бактерий *Pseudomonas stutzeri* ВКПМ В-11230 – деструктор алифатических и ароматических углеводородов, стимулирующий рост растений, который можно применять для очистки и фиторемедиации нефтезагрязненных почв и нефтехимических шлагамов, в т.ч. в условиях высокого содержания загрязнителя и в присутствии тяжелых металлов [Григорьева и др., 2012, 2014; Naumova et al., 2009].

Низкая водорастворимость нефтяного шлага и других углеводородных соединений является серьезной проблемой при их биоремедиации. В работах [Bezza et al., 2015; Bezza, 2016] из почвы, хронически загрязненной креозотом и другими углеводородами (Западная Претория, Южная Африка), выделен штамм CN3, идентифицированный как *Ochrobactrum intermedium*. Способность изолята разрушать нефтяной шлам и влияние синтезируемого им

биосурфактанта на этот процесс тестировали в экспериментах с жидкой культурой с 4% (об./об.) нефтьшлама. Установлено, что сам микроорганизм разлагает до 40% длинноцепочечных алифатических и полициклической ароматических углеводородов, а в присутствии биосурфактанта он способен к деградации на 70% наиболее гидрофобных компонентов нефтяного шлама за 3 недели.

Подводя итоги, можно сказать, что в современных условиях все более ужесточающихся требований природоохранного законодательства и правил лицензирования и землеотвода, задача эффективного обезвреживания нефтеотходов и ликвидации амбаров-накопителей по-прежнему остается актуальной. С одной стороны, это связано с высокой устойчивостью нефтьшлатов к разрушению, особенностями их состава и свойств, которые постоянно меняются под воздействием погодных условий и процессов, протекающих в них. С другой стороны, предприятия нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности при обращении с нефтеотходами должны всячески содействовать минимизации их количества, стараться делить их на группы уже на стадии образования для обеспечения возможности применения наиболее рациональных способов утилизации или обезвреживания каждой группы, разрабатывать собственные экономически доступные и технически осуществимые технологии для вовлечения отходов в ресурсооборот [Кудеева, 2015].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атаманова О.В., Мухаметшина А.И. Биологические методы переработки нефтьшлатов // Материалы международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности». 2015. Сборник № 4. URL: http://www.б-б.su/pr_460.html.
2. Багдасарова Ю.А. Обезвреживание нефтезагрязненных грунтов методом биодеструкции // Сборник докладов международной молодежной конференции «Экологические проблемы горнопромышленных регионов». Казань: КНИТУ, 2012. С. 39-42.
3. Бахонина Е.И. Современные технологии переработки и утилизации углеводородсодержащих отходов. Сообщение 2. Физико-химические, химические, биологические методы утилизации и обезвреживания углеводородсодержащих отходов // Башкирский химический журнал. 2015. Т. 22. № 2. С. 41-49.
4. Боковикова Т.Н., Шпербер Д.Р., Шпербер Е.Р., Волкова С.С. Использование нефтьшлатов в строительстве дорожных покрытий и одежд // Нефтегазовое дело. 2011. № 2. С. 311– 315.
5. Борзенков И.А., Милехина Е.И., Беляев С.С., Иванов М.В. Консорциум микроорганизмов *Rhodococcus maris*, *Rhodococcus* sp., *Rhodococcus erythropolis*, *Pseudomonas stutzeri*, *Candida* sp., используемый для очистки почвенных и солоноватоводных экосистем от загрязнений нефтепродуктами // Патент РФ № 2023686. Заявл. 13.04.1992. Опубл. 30.11.1994.
6. Бормотов А.Н., Тюрденева С.В. Обоснование технологии утилизации отходов нефтеперерабатывающей промышленности при производстве экологически чистых

- композитов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: периодическое научное издание. Пенза: ПензГТУ, 2014. С. 109–112.
7. Ботвиненко И.В., Чореклиева К.М., Сидоренко Д.О., Винокуров В.А. Разработка методов биодеструкции нефтешламов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. № 9. С. 18–22.
 8. Григорьева Т.В., Несмелов А.А., Ильинская О.Н., Наумова Р.П., Мухаметшин И.Р., Смолко А.А. Способ обезвреживания углеводородсодержащих шламов // Патент РФ № 2464114. Заявл. 26.05.2010. Оpubл. 10.06.2012. Бюл. № 16.
 9. Григорьева Т.В., Лайков А.В., Несмелов А.А., Колпаков А.И., Ильинская О.Н., Наумова Р.П. Штамм бактерий *Pseudomonas stutzeri* – деструктор алифатических и ароматических нефтяных углеводородов и стимулятор роста растений и его использование // Патент РФ №2529948. Заявл. 13.09.2012. Оpubл. 10.10.2014. Бюл. №28.
 10. Дядечко В.Н., Толстокорова Л.Е., Морозова Т.Н. Штамм *Pseudomonas putida* 36, используемый для очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов // А.С. СССР № 1076446. Заявл. 22.07.1982. Оpubл. 28.02.1984.
 11. Егоров А.Н., Егорова Г.И. Отходы нефтехимических производств – сырьё для ресурсосберегающих технологий: Учебное пособие. Тюмень: ТИУ, 2016. 190 с.
 12. Ефремов И.А., Фоменко В.В. Вопросы переработки нефтешламов // Материалы Всероссийской научно-методической конференции «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры». Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2014. С. 910–912.
 13. Ефремов И.В., Гамм А.А., Гамм Т.А. Технология утилизации выбуренной породы // Вестник ОГУ. 2011. № 6. С. 181–184.
 14. Жубанова А.А., Ерназарова А.К., Кайырманова Г.К., Заядан Б.К., Савицкая И.С., Абдиева Г.Ж., Кистаубаева А.С., Акимбеков Н.Ш. Конструирование циано-бактериального консорциума на основе аксеничных культур цианобактерий и гетеротрофных бактерий для биоремедиации нефтезагрязненных почв и водоемов // Физиология растений. 2013. Т. 60. № 4. С. 588–595.
 15. Журавлева В.В. Использование рекультивационных смесей для утилизации отходов нефтедобычи // Бюллетень науки и практики. 2017. № 6(19). С. 130–139.
 16. Иванов В.Б. Рекультивация нефтезагрязненных земель: проблемы и перспективы // Тезисы докладов IV международной научно-практической конференции «Эколого-географические проблемы природопользования нефтегазовых регионов: теория, методы, практика». Нижневартовск: НГГУ, 2010. С. 87–89.
 17. Каталитические, сорбционные, микробиологические и интегрированные методы для защиты и ремедиации окружающей среды / Ред. О.П. Таран, В.Н. Пармон. Новосибирск: Изд-во ФГУП СО РАН, 2013. 298 с.
 18. Колобова Е.С. Утилизация нефтешламов резервуарного типа в изоляционный композит на основе серы для полигонов хранения промышленных и бытовых отходов: дис. ... канд. техн. наук: 03.02.08 // Колобова Екатерина Александровна. Пенза, 2015. 138 с.
 19. Коршунова Т.Ю., Логинов О.Н. Опыт применения консорциума микроорганизмов-деструкторов углеводородов для обезвреживания нефтеотходов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. URL: <http://www.science-education.ru/117-13407>
 20. Коршунова Т.Ю., Четвериков С.П., Валиуллин Э.Г., Мухаматдьярова С.Р., Логинов О.Н. Влияние бактериальных препаратов на содержание нефтепродуктов и численность

- микроорганизмов в отвалах отработанной отбеливающей глины // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. № 2. С. 25-31.
21. Кудеева А.Р. Проблема переработки и утилизации нефтяных шламов // Сборник трудов заочной международной научно-практической конференции «Система управления экологической безопасностью». Екатеринбург: УрФУ, 2015. С. 126–134.
 22. Литвинова Т.А. Современные способы обезвреживания и утилизации нефтесодержащих отходов для ликвидации загрязнения окружающей среды // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 123(09). URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/09/pdf/62.pdf>
 23. Мазлова Е.А., Меньшикова И.А. Шламовые отходы нефтегазовых компаний // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. № 1. С. 22–21.
 24. Мазлова Е.А., Херрера Л.А. Обезвреживание нефтезагрязненных почв с применением биологического препарата БИОЛ в группе месторождений Аука ЕР PETROECUADOR // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 2. С. 15–18.
 25. Маркарова М.Ю., Надежкин С.М., Анчугова Е.М. Накопление, хранение, переработка нефтешламов в природных условиях Ненецкого автономного округа и республики Коми // Экологический вестник России. 2016а. № 9. С. 20–28.
 26. Маркарова М.Ю., Штейнфельд С.А., Надежкин С.М., Анчугова Е.М., Щемелина Т.Н. Экологические аспекты переработки нефтешламов и рекультивации нефтешламовых амбаров // Экологический вестник России. 2016б. № 10. С. 13–22.
 27. Мильман П.Ю., Гильванова Е.А. *Paenibacillus ehimensis* IB-739 в биодеградациии нефтяных шламов // Экология и промышленность России. 2014. № 11. С. 54–56.
 28. Минигазимов Н.С., Минигазимов Р.Ш. Новая информация о токсичности нефтесодержащих отходов // Уральский экологический вестник. 2014. № 2. С. 31–36.
 29. Мурыгина В.П., Войшвилло Н.Е., Калюжный С.В. Биопрепарат «Родер» для очистки почв, почвогрунтов, пресных и минерализованных вод от нефти и нефтепродуктов // Патент РФ № 2174496. Заявл. 31.05.1999. Оpubл. 10.10.2001. Бюл. № 28.
 30. Мурыгина В.П., Войшвилло Н.Е., Калюжный С.В. Способ получения бактериального препарата Родер для очистки почв, почвогрунтов, нефтешламов, пресных и минерализованных вод от нефти и нефтепродуктов // Патент РФ №2295403. Заявл. 13.09.2005. Оpubл. 20.03.2007. Бюл. № 8.
 31. Мустафин Р.Ф., Харисова Л.Я., Комиссаров А.В. Проблемы природообустройства при рекультивации нарушенных земель на примере Республики Башкортостан // Природообустройство. 2017. № 5. С. 83–89.
 32. Плешакова Е.В., Беляков А.Ю., Деев Д.В. Особенности деградации углеводородов бактериями, выделенными из буровых шламов // Поволжский экологический журнал. 2017. № 2. С. 170–182.
 33. Пыстина Н.Б., Листов Е.Л., Балакирев И.В., Никишова А.С., Липник С.И. Применение современных биотехнологий при решении актуальных экологических задач нефтегазового комплекса // Вести газовой науки: Научно-технический сборник. 2013. № 2. С. 113–117.
 34. Редкозубов С.В. Перспективы применения аборигенной микрофлоры Жирновского шламохранилища для утилизации нефтешламов // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3. Экономика. Экология. 2010. № 2(17). С. 221–228.

35. Самсонов Р.О., Аكوпова Г.С., Козлов С.И., Листов Е.Л. Консорциум штаммов микроорганизмов для очистки окружающей среды от углеводов // Патент РФ № 2384616. Заявл. 12.03.2008. Опубл. 20.03.2010. Бюл. № 8.
36. Соколов Л.И. Переработка и утилизация нефтесодержащих отходов. М.: Инфра-Инженерия, 2017. 160 с.
37. Соловьянов А.А. Переработка нефтешламов с использованием химических и биологических методов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 5. С. 30–39.
38. Суфиянов Р.Ш. Обезвреживание нефтесодержащих отходов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. № 5. С. 36–40.
39. Сухонослова А.Н., Бурлака В.А., Быков Д.Е., Бурлака И.В., Бурлака Н.В. Очистка почвы от нефтяного загрязнения // Экология и промышленность России. 2009. № 10. С. 18–20.
40. Троц Н.М., Чернякова Г.И., Горшкова О.В. Рекультивация нефтешламового амбара // Сборник научных трудов V международной научной экологической конференции «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства». Краснодар: КубГАУ, 2017. С. 624–626.
41. Филатов Д.А., Овсянникова В.С. Загрязнения окружающей среды нефтяными углеводородами: проблемы и решения // Экологический вестник России. 2017. № 6. С. 12–17.
42. ФККО. Федеральный квалификационный каталог отходов. 2017. URL: <https://classinform.ru/fkko-2017.html>
43. Херрера Л.А., Васильева Г.К. Применение технологии биоремедиации на основе биопрепарата БИОЛ для рекультивации нефтезагрязненных почв и нефтешламов с целью снижения рисков загрязнения окружающей среды в бассейне реки Амазонки // Проблемы анализа риска. 2014. № 5. С. 18–25.
44. Херрера-Альварардо Л.А. Разработка комплексной технологии обезвреживания нефтешламов на территории месторождения AUCA – EP PETROECUADOR в Эквадоре: дис. ... канд. техн. наук: 03.02.08 / Херрера-Альварардо Луис Андрес. Москва, 2015. 100 с.
45. Хуснутдинов И.Ш., Сафиулина А.Г., Заббаров Р.Р., Хуснутдинов С.И. Методы утилизации нефтяных шламов // Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. № 10. С. 3–20.
46. Черных М.С., Садчиков А.В. Нефтедеструкция и биоремедиация // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=25214>
47. Шпербер Е.Р. Разработка комплекса природоохранных технологий переработки отходов НПЗ Краснодарского края: дис. ... д-ра техн. наук: 03.02.08 / Шпербер Елизар Рубинович. Москва, 2016. 332 с.
48. Юльtimiрова И.А. Проблемы утилизации нефтешламов // Электронный портал автономной некоммерческой организации «Международный центр содействия развитию предприятий по переработке нефтешламов». URL: <http://oil-slime.ru/index.php?id=502>
49. Ягафарова Г.Г., Ильина Е.Г., Леонтьева С.В., Ягафаров И.Р., Сафаров А.Х. Способ очистки нефтешлама от нефти и нефтепродуктов // Патент РФ № 2332362. Заявл. 15.02.2005. Опубл. 27.08.2008. Бюл. № 24.

50. Bezza F.A., Beukes M., Chirwa E.M.N. Application of biosurfactant produced by *Ochrobactrum intermedium* CN3 for enhancing petroleum sludge bioremediation // *Proc. Biochem.* 2015. V. 50. № 11. P. 1911–1922.
51. Bezza F.A. Biosurfactant assisted bioremediation of petroleum and polycyclic aromatic hydrocarbons in aquatic and soil media: dis. ... doctor of philosophy: chemical engineering / Bezza Fisseha Andualem. Pretoria, 2016. 254 p.
52. Bhattacharya M., Biswas D., Sana S., Datta S. Biodegradation of waste lubricants by a newly isolated *Ochrobactrum* sp. C1 // *3 Biotech.* 2015. V. 5. № 5. P. 807–817.
53. De Quadros P.D., Cerqueira V.S., Cazarolli J.C., Peralba R.M.C., Camargo F.A.O., Giongo A., Bento F.M. Oily sludge stimulates microbial activity and changes microbial structure in a landfarming soil // *Int. J. Biodeterior. Biodegrad.* 2016. V. 115. P. 90–101.
54. Ichor T., Okerentugba P.O., Okpokwasili G.C. Biodegradation of total petroleum hydrocarbon by aerobic heterotrophic bacteria isolated from crude oil contaminated brackish waters of Bodo creek // *J. Bioremed. Biodegrad.* 2014. V. 5: 236. DOI: [10.4172/2155-6199.1000236](https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000236)
55. Ivshina I.B., Kuyukina M.S., Krivoruchko A.V., Elkin A.A., Makarov S.O., Cunningham C.J., Peshkur T.A., Atlas R.M., Philp J.C. Oil spill problems and sustainable response strategies through new technologies // *Environ. Sci: Processes & Impacts.* 2015. V. 17. № 7. P. 1201–1219.
56. Ivshina I., Kostina L., Krivoruchko A., Kuyukina M., Peshkur T., Anderson P., Cunningham C. 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. Mat.* 2016. V. 312. P. 8–17.
57. Koshlaf E., Ball A.S. Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments // *AIMS Microbiol.* 2017. V. 3. № 1. P. 25–49.
58. Nasreen Z., Kalsoom S. Biodegradation of petroleum industry oily sludge and its application in land farming: a review // *Int. J. Environment and Waste Management.* 2018. V. 21. № 1. P. 37–57.
59. Naumova R.P., Grigoryeva T.V., Rizvanov A.A., Gorshkov V.Y., Kudrjashova N.V., Laikov A.V. Diazotrophs originated from petrochemical sludge as a potential resource for waste remediation // *World Appl. Sci. J.* 2009. V. 6. № 2. P. 154–157.
60. Orellana R., Cumsille A., Rojas C., Cabrera P., Seeger M., Cárdenas F., Stuardo C., González M. Assessing technical and economic feasibility of complete bioremediation for soils chronically polluted with petroleum hydrocarbons // *J. Bioremed. Biodegrad.* 2017. V. 8: 396. DOI: [10.4172/2155-6199.1000396](https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000396)
61. Salam L.B. Metabolism of waste engine oil by *Pseudomonas* species // *3 Biotech.* 2016. V. 6. № 1: 98. DOI: [10.1007/s13205-016-0419-5](https://doi.org/10.1007/s13205-016-0419-5)
62. Xu Y., Zhou N.Y. Microbial remediation of aromatics-contaminated soil // *Front. Environ. Sci. Eng.* 2017. V. 11. № 2. P. 1–9.
63. Ubani O., Atagana H.I., Thantsha M.S. Biological degradation of oil sludge: A review of the current state of development // *African J. Biotechnol.* 2013. V. 12. № 47. P. 6544–6567.
64. Ubani O., Atagana H.I., Thantsha M.S., Rasheed A. Identification and characterisation of oil sludge degrading bacteria isolated from compost // *Archives of Environmental Protection.* 2016. V. 42. № 2. P. 67–77.