

DOI 10.15593/2409-5125/2017.02.07

УДК 658.567.5:606

Г.С. Арзамасова¹, М.В. Ахмадиев¹, А.А. Чугайнова¹, А.А. Черепанов²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет

²ООО «Газпром трансгаз Чайковский»

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Рассмотрена проблема обезвреживания углеводородсодержащих отходов, образующихся на предприятиях газотранспортной отрасли в технологических процессах очистки природного газа на компрессорных станциях и при проведении профилактических работ на линейных участках магистральных газопроводов (отходов газового конденсата). Дано описание комплекса методов, которые могут быть использованы для экологически безопасного обезвреживания рассматриваемых отходов, из которых особое внимание уделено биотехнологическим методам (биоремедиации), основанным на способности микроорганизмов ассимилировать органические субстраты. Рассмотрены преимущества и недостатки применения биотехнологических методов обезвреживания нефтесодержащих отходов. Представлена характеристика компонентного состава, физико-химические и микробиологические показатели отходов газотранспортных предприятий. Рассмотрены условия и особенности образования отходов газового конденсата в системе магистральных газопроводов. Приведена принципиальная схема обращения с разными фракциями отходов газового конденсата, которая основана на максимальном использовании ресурсного потенциала компонентов отходов, а также на применении экологически безопасных методов обезвреживания. Представлены результаты лабораторных исследований, которые позволяют говорить о высокой эффективности применения биотехнологических методов обезвреживания (снижение концентрации углеводородов до 80 %) для густой (шламообразной) фракции отходов газового конденсата как наиболее перспективное направление обезвреживания, а также рассмотрены факторы, обуславливающие высокую эффективность биоремедиации. С учетом небольшого объема образования рассматриваемых отходов рекомендована реализация биотехнологического метода обезвреживания за счет передачи образующихся отходов специализированным организациям, эксплуатирующим открытые технологические площадки биоремедиации, где возможна утилизация их при смешении с основной массой обезвреживаемых отходов. В качестве приоритетного направления предложена принципиальная схема утилизации рассматриваемых отходов, предусматривающая применение установок биологического обезвреживания (биореакторов), для утилизации малотоннажных углеводородсодержащих отходов газотранспортных предприятий.

Ключевые слова: отход газового конденсата, нефтесодержащие отходы, газотранспортное предприятие, биоремедиация.

Арзамасова Г.С., Ахмадиев М.В., Чугайнова А.А., Черепанов А.А. Обезвреживание углеводородсодержащих отходов газотранспортных предприятий биотехнологическим методом // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 2. – С. 74–86. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.02.07

Akhmadiev M., Arzamasova G., Chugainova A., Cherepanov A. Treatment of gas transportation enterprises' hydrocarbon waste using biotechnological methods. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2017. No. 2. Pp. 74-86. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.02.07

Образование нефтесодержащих отходов является одной из основных экологических проблем предприятий нефтегазового комплекса, в связи с чем поиск наиболее оптимальных способов решения проблемы относится к числу ключевых экологических задач. При решении вопросов обезвреживания нефтесодержащих отходов и выборе наиболее оптимальных технологий на промышленных предприятиях все чаще отдают предпочтение биологическим (биотехнологическим) методам, вследствие их экологической безопасности и высокой эффективности. Биотехнологические методы обезвреживания основаны на биодеструкции органических веществ, содержащихся в отходах, микроорганизмами за счет использования их в качестве источника углерода и энергии [1–5].

Биологическое обезвреживание отходов, а также очистка и восстановление нефтезагрязненных почв с помощью микроорганизмов носит название биоремедиация и с технологической точки зрения может быть реализована двумя способами: на открытых технологических площадках или в установках биологического обезвреживания (биореакторах) [20].

Преимуществами биоремедиации являются:

- возможность обезвреживания нефтесодержащих отходов на месте их образования;
- относительно низкая себестоимость проводимых работ;
- экологическая безопасность;
- высокая эффективность очистки нефтезагрязненных субстратов [6–10].

К недостаткам процесса обезвреживания нефтесодержащих отходов биотехнологическим методом относится то, что для биодеструкции углеводов необходимо создание оптимальных климатических условий.

Для предприятий газотранспортной отрасли проблема обезвреживания нефтесодержащих отходов не является исключением [11–13]. В процессе транспортировки по магистральным газопроводам на компрессорных станциях природный газ подвергается очистке от жидких и твердых механических примесей, что необходимо для обеспечения пропускной способности и надежности технологических узлов системы, а также обеспечения товарного качества транспортируемого газа. В результате очистки газа, а также профилактических работ на линейных участках газопровода образуются отходы, которые представляют собой нефтесодержащую эмульсию, состоящую из нефтепродуктов, воды и механических примесей (отходы газового конденсата – ОГК). Характерной чертой образующихся отходов является их переменный компонентный состав: содержание основных компонентов (нефтепродуктов, воды и механических примесей) может

варьироваться от 1 до 99 %. Это обусловлено рядом факторов, таких как источник образования (технологический процесс), состав природного газа (месторождение), частота и качество профилактических работ и т.д.

В связи с тем, что по своему составу отходы газового конденсата можно отнести к нефтесодержащим отходам, для их обезвреживания могут быть использованы различные технологии, в том числе биологические методы обезвреживания.

Угледородсодержащие отходы, образующиеся в технологических процессах очистки природного газа и полости газопроводов, можно условно разделить на жидкую и густую фракции [14]. Первая характеризуется высоким содержанием нефтепродуктов и воды в различных соотношениях (жидких компонентов), вторая – высоким содержанием твердых механических примесей различного размера и состава.

Каждая из фракций в условиях системы магистральных газопроводов собирается в отдельные емкости и может быть утилизирована различными методами, наиболее подходящими в зависимости от состава отходов. Так, в качестве основных методов обезвреживания жидкой фракции можно рассматривать термические, а при высоком содержании нефтепродуктов – методы, основанные на извлечении ценных углеводородов с получением товарных продуктов.

Для густой фракции ОГК в качестве приоритетного метода обезвреживания может быть применен биологический метод, что обусловлено наличием в составе механических примесей почвенных частиц, попадание которых обусловлено особенностями технологического процесса газотранспортировки [14].

Наличие почвенных частиц в составе ОГК обуславливает возможность их переработки биологическим методом, основанным на естественных механизмах самоочищения почвы, в которых принимают участие различные штаммы углеводородокисляющих микроорганизмов (УВОМ) [2, 5].

Результаты проведенных лабораторных исследований [15] позволили установить высокую эффективность применения биоремедиации (снижение концентрации углеводородов до 80 %) для рассматриваемых отходов как наиболее перспективное направление обезвреживания, что обусловлено следующими факторами:

- высокой бактериальной численностью в исходных образцах ОГК, в том числе и высокой численностью УВОМ, которая определяет потенциальную эффективность биологической очистки;
- адаптированностью аборигенных культур УВОМ к ассимиляции фракций нефтепродуктов, содержащихся в ОГК;

- высокими исходными концентрациями углеводородов в исследуемых образцах ОГК (от $92 \pm 2,3$ до $244 \pm 1,2$ г/кг), представляющих собой питательный субстрат для УВОМ;
- содержанием в ОГК средних и легких фракций углеводородов, являющихся более легкодоступными субстратами для микроорганизмов.

Результаты микробиологических исследований образцов ОГК, отобранных на компрессорных станциях ООО «Газпром трансгаз Чайковский», представлены в табл. 1

Таблица 1

Результаты анализа микробиологических показателей образцов густой фракции ОГК

Показатель	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Общая бактериальная численность, кл/г	$(1,23 \pm 0,04) \cdot 10^{10}$	$(1,67 \pm 0,04) \cdot 10^9$	$(6,77 \pm 0,08) \cdot 10^8$
Численность сапрофитов, КОЕ/г	$(2,70 \pm 0,30) \cdot 10^8$	$(6,00 \pm 0,17) \cdot 10^6$	$(1,85 \pm 0,30) \cdot 10^7$
Численность УВОМ, КОЕ/г	$(5,77 \pm 0,44) \cdot 10^7$	$(4,95 \pm 0,50) \cdot 10^6$	$(3,85 \pm 0,44) \cdot 10^6$

В ходе проведенных ранее исследований [15] было установлено, что общая эффективность процесса биоремедиации образцов отходов очистки природного газа и полости магистральных газопроводов составила 64–80 %, при этом была установлена возможность применения биологического метода обезвреживания ОГК в широком диапазоне исходных концентраций углеводородов.

Таким образом, биотехнологический метод переработки отходов очистки природного газа и магистральных газопроводов может стать одним из элементов в схеме по обращению с нефтесодержащими отходами на газотранспортных предприятиях. При этом реализация процесса биологического обезвреживания данных отходов может быть реализована как в условиях открытых технологических площадок биоремедиации, так и в условиях установок биологического обезвреживания (биореакторов) (рис. 1).

Ввиду относительно небольших объемов образования густой фракции отходов они могут быть переданы специализированным организациям, осуществляющих переработку и утилизацию нефтезагрязненных отходов биотехнологическими методами, и утилизированы на полях биоремедиации при смешении их с основной массой обезвреживаемых отходов, например, нефтезагрязненными почвами (НЗП) [18, 19, 21].

Предлагаемый подход основан на раздельном сборе густой и жидкой фракций отходов, включающем в себя несколько этапов.

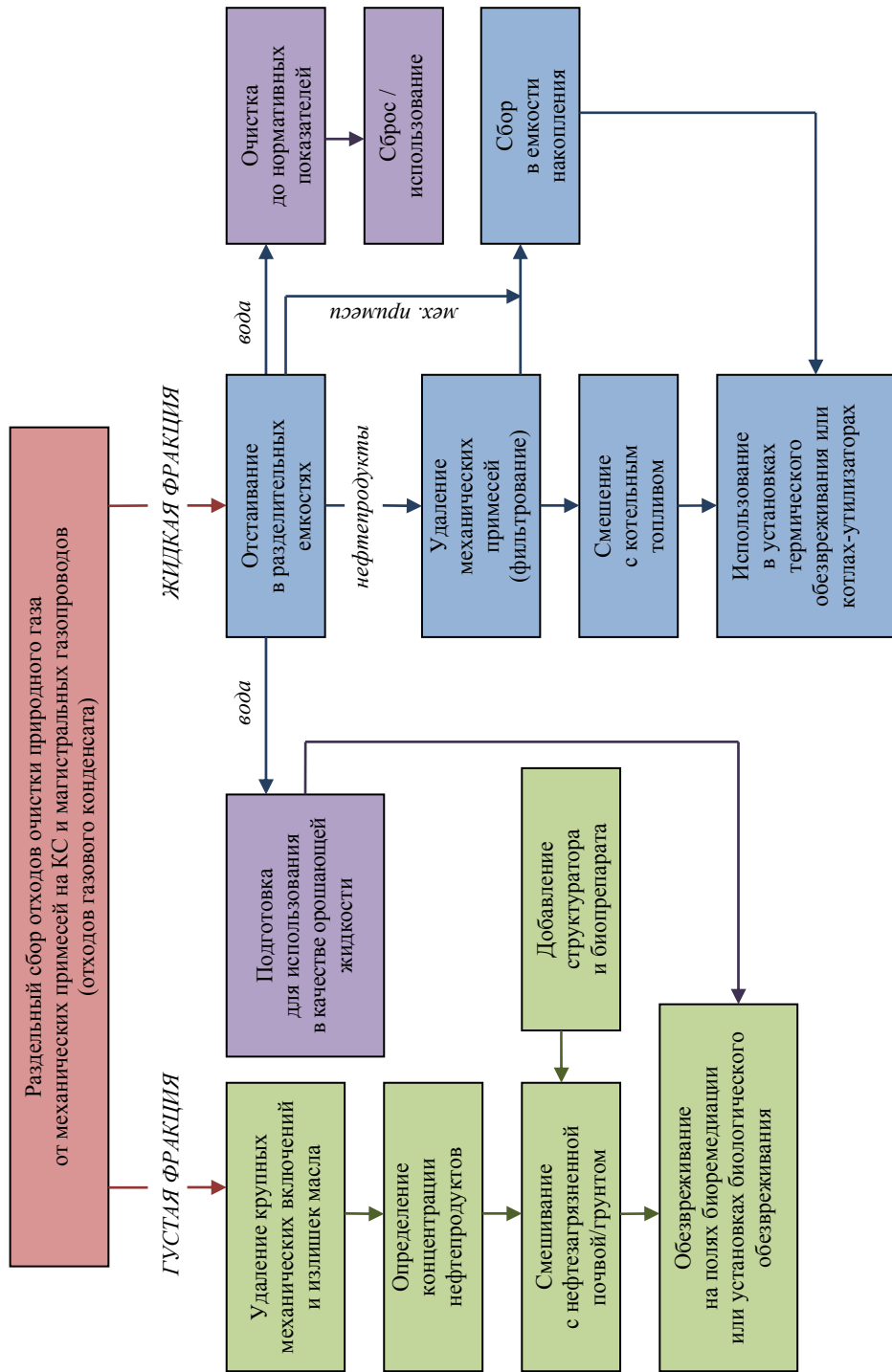


Рис. 1. Принципиальная схема обращения с отходами очистки природного газа и магистральных газопроводов

1. Подготовка к обезвреживанию густой фракции отходов очистки природного газа и магистральных газопроводов. Густая фракция, образующаяся в результате очистки внутренней полости пылеуловителей и газопроводов, собирается на компрессорных станциях отдельно от жидкой фракции в герметичные контейнеры. Данная фракция представляет собой шламообразные отходы с высоким содержанием нефтепродуктов (преимущественно тяжелых масляных фракций) и механических примесей. Анализируемые образцы представляли собой шламообразные отходы темного цвета, в которых в большом количестве было отмечено наличие механических частиц песка, почвенных частиц, остатков растительного происхождения (палки, ветки и т.п.), в пробах встречались куски изоляции (термостабилизированный полиэтилен), а также инертные грубодисперсные компоненты (галька, камни и т.п.). Визуально было отмечено большое количество маслянистой фракции нефтепродуктов, с неприятным запахом легких фракций нефтепродуктов.

Для реализации биоремедиации густой фракции ОГК, как на полях биоремедиации, так и в условиях биореакторов необходима предварительная подготовка субстрата, а именно извлечение наиболее крупных, неорганических включений механическим способом или при невысоком содержании нефтепродуктов в отходах и отсутствии масляных фракций с помощью различных решеток и сеток.

При наличии в отходах большого количества масляных фракций нефтепродуктов, что наблюдалось в ряде образцов, может быть рекомендовано их предварительное отстаивание с удалением излишков масла и передачей его на использование.

2. Подготовка к обезвреживанию жидкой фракции отходов очистки природного газа и магистральных газопроводов. На основании того, что жидкая фракция представляет собой водонефтяную эмульсию, для ее утилизации с высокой эффективностью могут быть применимы различные термические методы. При этом применение термических методов обезвреживания для такого типа отходов не требует их предварительной подготовки и даже при сравнительно низком содержании нефтепродуктов (до 30 %) позволяет достичь высокой эффективности их обезвреживания. Исследования различных проб отходов очистки природного газа и магистральных газопроводов показали, что содержание нефтепродуктов в пробах превышает 30 %, а в отдельных образцах может достигать 99 % [14], что позволяет сделать вывод о том, что данные отходы могут рассматриваться как источник ценных углеводородов для получения нефтепродуктов.

В зависимости от физико-химических характеристик водонефтяной эмульсии для разделения углеводородсодержащей части, воды и отделения механических примесей может применяться для нестойких эмульсий отстаивание в разделительных емкостях, для стойких эмульсий разделение с помощью сепарации, фильтрации или добавления ПАВ. Полученные углеводороды могут быть использованы в качестве топлива или основы для подготовки топливных эмульсий. Вода и механические примеси, оставшиеся после разделения, могут быть также переданы на микробиологическое обезвреживание вместе с густой фракцией.

3. Использование/утилизация оставшейся водной фазы, отделенной из отходов газового конденсата. Как уже было отмечено ранее, отходы очистки природного газа и магистральных газопроводов в зависимости от ряда факторов могут отличаться по составу, и количество воды в отходах может значительно варьироваться. Водная фаза после разделения отходов также требует очистки и утилизации. Очистка вод, содержащих в составе нефтепродукты, осуществляется с применением нефтеловушек, отстаиванием, фильтрованием, в том числе биохимическими способами [14].

Учитывая, что в отделившейся воде содержатся остаточные концентрации нефтепродуктов, которые варьируют в широком диапазоне от $0,18 \pm 0,02$ до $0,95 \pm 0,03$ г/л, данная вода может быть использована в качестве орошающей жидкости в процессе биологической очистки густой фракции ОГК на полях биоремедиации или в установках биологической очистки.

4. Обезвреживание густой фракции ОГК методом биоремедиации. С целью обоснования возможности применения биотехнологического метода обезвреживания ОГК в исследуемые образцы отходов с различной исходной концентрацией нефтепродуктов (от $92,0 \pm 2,3$ до $244,0 \pm 1,2$ г/кг) вносили структуратор 30 % от объема (опил с размером частиц 5–7 мм), а также суспензии микроорганизмов на основе аборигенных культур УВОМ с титром клеток 10^8 , выделенных из исходных образцов, с целью интенсификации процесса очистки. Длительность эксперимента составила 180 суток, в течение которых оценивали изменение концентрации углеводородов в образцах ОГК в процессе очистки. Для исследуемых образцов ОГК была установлена следующая динамика изменения концентрации углеводородов в процессе биоремедиации: на начальном этапе эксперимента происходило значительное снижение концентрации углеводородов в субстрате. В дальнейшем происходило снижение эффективности очистки, что могло быть объяснено уменьшением доступности легко усваиваемых фракций углеводородов для микроорганизмов. Внесение структуратора и суспензии УВОМ в исследуемые образцы отходов достоверно приводили

к интенсификации процесса биологической очистки, что позволило достичь эффективности очистки 64–80 % (табл. 2) [15].

Таблица 2

Изменение содержания нефтепродуктов в процессе биоремедиации ОГК

Номер образца	Общее содержание нефтепродуктов, г/кг		Эффективность очистки, %
	исх. проба	Пробы после 6 месяцев	
1	92 ± 2,3	23 ± 5,2	75
2	207 ± 1,7	42 ± 2,3	80
3	244 ± 1,2	89 ± 5,5	64

На основании того, что в процессе лабораторных исследований была установлена высокая эффективность применения биотехнологического метода обезвреживания ОГК, данный метод потенциально может быть использован с целью решения проблемы утилизации малотоннажных отходов газотранспортных предприятий.

Обезвреживание густой фракции ОГК биотехнологическим методом может проводиться на специализированных предприятиях, а отходов (нефтезагрязненные почвы и грунты, а также близкие к ним по механическому составу нефтесодержащие отходы) – на открытых технологических площадках биоремедиации.

Обезвреживание на специализированных открытых технологических площадках биоремедиации заключается в складировании отходов на специально подготовленной поверхности, в основании имеющей гидроизоляционный слой, а также систему сбора и отвода фильтрата, загрязненного углеводородами.

Перспективным вариантом может стать применение на газотранспортных предприятиях специальных биореакторов, которые могут быть спроектированы под определенные объемы образующихся отходов, а также возможен их монтаж непосредственно вблизи места образования отходов, что позволит сократить издержки на транспортировку образующихся отходов от места образования к месту их переработки.

Биореакторы представляют собой специализированные установки биологической очистки [16], которые позволяют проводить процесс очистки при оптимальных контролируемых параметрах, что позволяет достичь высокой эффективности очистки при минимальных временных затратах.

Внедрение биореакторной технологии обезвреживания ОГК на газотранспортных предприятиях может стать перспективным с точки зрения реализации мероприятий по предотвращению и минимизации негативного

воздействия предприятий данной отрасли на объекты окружающей среды. Для газотранспортных предприятий может быть рекомендована технологическая схема по применению биореакторной технологии биологической очистки ОГК (рис. 2).

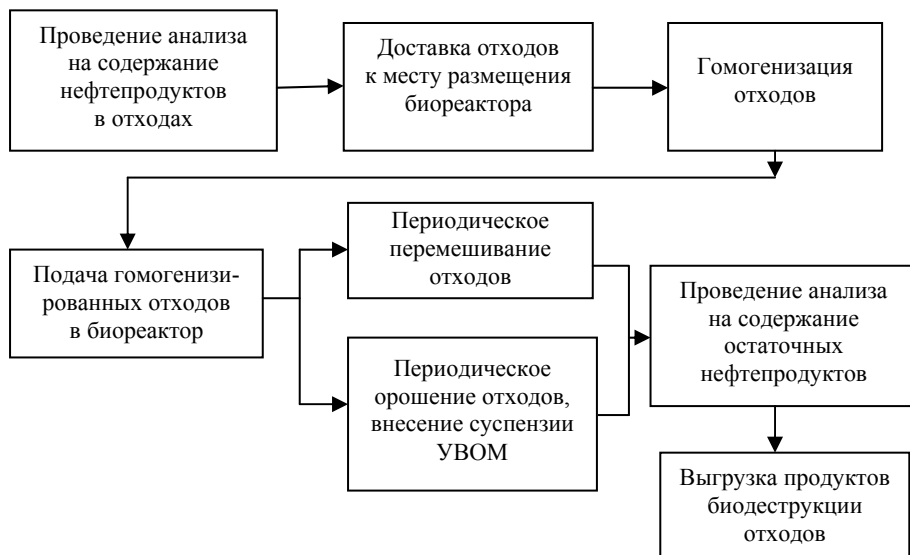


Рис. 2. Принципиальная схема применения биореакторных технологий обезвреживания нефтезагрязненных отходов

С технологической точки зрения утилизация густой фракции ОГК может быть реализована как на технологических площадках биоремедиации, так и при помощи биореакторных технологий. При реализации биологической очистки на открытых технологических площадках биоремедиации возможно снижение концентрации углеводов в субстрате за счет смешения ОГК с общим объемом нефтезагрязненных отходов, что происходит в условиях специализированных организаций. При высоких концентрациях нефтепродуктов в отходах (свыше 100 г/кг) наиболее оптимальным будет применение различных биореакторных установок, позволяющих в короткие сроки снизить экстремально высокие концентрации углеводов в субстрате.

Библиографический список

1. Разработка методов биодеструкции нефтешламов / И.В. Ботвинко, К.М. Чореклиева, Д.О. Сидоренко, В.А. Винокуров // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. – № 9. – С. 18–22.
2. Вятчина О.Ф., Горбачевская О.П. Устойчивость нефтеокисляющих микроорганизмов к углеводородам нефти и другим токсичным веществам // Известия Иркутской государственной эконо-

мической академии (Байкальский государственный университет экономики и права). – 2010. – № 6. – С. 60–63.

3. Механизмы деградации углеводов нефти микроорганизмами / Д.В. Жуков, В.П. Мурыгина, С.В. Калужный // Успехи современной биологии. – 2006. – Т. 126, № 3. – С. 285–296.

4. Александров А.Ю. Характеристика штаммов микроорганизмов, участвующих в процессах биоремедиации // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2009. – № 1. – С. 231–237.

5. Influence of soil fractions on microbial degradation behavior of mineral hydrocarbons / K. Scherr [et al.] // European Journal of Soil Biology. – 2007. – No. 43(5-6). – P. 341–350.

6. Laboratory and Field Verification of a Method to Estimate the Extent of Petroleum Biodegradation in Soil / G.S. Douglas [et al.] // Environmental Science & Technology. – 2012. – No. 46 (15). – P. 8279–8287.

7. Биотехнологические методы очистки окружающей среды от техногенных загрязнений / О.Н. Логинов, Н.Н. Силищев, Т.Ф. Бойко, Н.Ф. Галимзянова. – Уфа: Реактив, 2000. – 100 с.

8. Использование микробного препарата для рекультивации нефтезагрязненной почвы различных типов / А.С. Григориади, Н.А. Киреева, А.Р. Гареева [и др.] // Вестник Башкирского университета. – 2011. – Т. 16, № 4. – С. 1214–1218.

9. Комплексная биоремедиация НЗП для снижения токсичности / Н.А. Киреева, Е.М. Тарасенко, Т.С. Онелова, М.Д. Бакаева // Биотехнология. – 2004. – № 6. – С. 63–70.

10. Современные методы переработки нефтешламов / Г.Г. Ягафарова, С.В. Леонтьева, А.Х. Сафаров, И.Р. Ягафаров. – М.: Химия, 2010. – 190 с.

11. Труфанова Г.А., Черняховский Э.Р., Егоров В.И. Комплексная система сбора, переработки и утилизации нефтесодержащих отходов // Экология и промышленность России. – 2003. – № 3. – С. 20–22.

12. Кесельман Г.С., Махмудбеков Э.А. Защита окружающей среды при добыче, транспортировке и хранении нефти и газа. – М.: Недра, 1981. – 256 с.

13. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводов в окружающей среде. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 208 с.

14. Арзамасова Г.С. Обоснование выбора технологии утилизации отходов газокompрессорных станций // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 2 (14). – С. 97–107.

15. Ахмадиев М.В., Арзамасова Г.С., Чугайнова А.А. Обоснование биотехнологического способа переработки отхода газового конденсата // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2014. – № 1. – С. 7–18.

16. Рудакова Л.В., Ахмадиев М.В., Сакаева Э.Х. Использование биореактора в технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв // Экология и промышленность России. – 2013. – № 10. – С. 17–21.

17. Очистка водомасляных эмульсий комбинированным методом с использованием мембранных и сорбционных технологий / В.О. Дряхлов, И.Г. Шайхиев, И.Ш. Абдуллин, А.В. Федотова // Экспозиция. Нефть Газ. – 2015. – № 2 (41). – С. 62–65.

18. Guangji Hu, Jianbing Li, Guangming Zeng. Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: A review // Journal of Hazardous Materials. – 2013. – Vol. 261. – P. 470–490.

19. Agamuthu P., Tan Y.S., Fauziah S.H. Bioremediation of Hydrocarbon Contaminated Soil Using Selected Organic Wastes // Procedia Environmental Sciences. – 2013. – Vol. 18. – P. 694–702.

20. Bioremediation of oil sludge contaminated soil by landfarming with added cotton stalks / Shijie Wang, Xiang Wang, Chao Zhang, Fasheng Li, Guanlin Guo // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2016. – Vol. 106. – P. 150–156.

21. Comparison of bioremediation strategies for soil impacted with petrochemical oily sludge / Vanessa S. Cerqueira, Maria do Carmo R. Peralbab, Flávio A.O. Camargos, Fátima M. Bento // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2014. – Vol. 95, Part B. – P. 338–345.

References

1. Botvinko I.V., Chokreliya K.M., Sidorenko D.O., Vinokurov V.A. Razrabotka metodov biodestruktsii nefteshlamov [Development of methods for biodestruction of oil sludge]. *Zashchita okruzhaiushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2013, no. 9, pp. 18-22.
2. Viatchina O.F., Gorbachevskaia O.P. Ustoichivost' nefteokislaiushchikh mikroorganizmov k uglevodorodam nefi i drugim toksichnym veshchestvam [Stability of oil-oxidizing microorganisms to oil hydrocarbons and other toxic substances]. *Izvestiia Irkutskoi gosudarstvennoi ekonomicheskoi akademii (Baikal'skii gosudarstvennyi universitet ekonomiki i prava)*. 2010, no. 6, pp. 60-63.
3. Zhukov D.V., Murygina V.P., Kaliuzhnyi S.V. Mekhanizmy degradatsii uglevodorodov nefi mikroorganizmami [Mechanisms of degradation of petroleum hydrocarbons by microorganisms]. *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2006, vol. 126, no. 3, pp. 285-296.
4. Aleksandrov A.Iu. Kharakteristika shtammov mikroorganizmov, uchastvuiushchikh v protsessakh bioremediatsii [Characteristics of strains of microorganisms involved in bioremediation processes]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Ekonomika. Ekologiya*, 2009, no. 1, pp. 231-237.
5. Scherr K. et al. Influence of soil fractions on microbial degradation behavior of mineral hydrocarbons. *European Journal of Soil Biology*, 2007, no. 43(5-6), pp. 341-350.
6. Douglas G.S. et al. Laboratory and Field Verification of a Method to Estimate the Extent of Petroleum Biodegradation in Soil. *Environmental Science & Technology*, 2012, no. 46 (15), pp. 8279-8287.
7. Loginov O.N., Silishchev N.N., Boiko T.F., Galimzianova N.F. Biotehnologicheskie metody oчитki okruzhaiushchei sredy ot tekhnogennykh zagriaznenii [Biotechnological methods of purification of the environment from technogenic pollution]. Ufa: Reaktiv, 2000. 100 p.
8. Grigoriadi A.S., Kireeva N.A., Gareeva A.R., i dr. Ispol'zovanie mikrobnogo preparata dlia rekul'tivatsii neftezagriaznennoi pochvy razlichnykh tipov [Using microbial preparation for remediation of oil-contaminated different types Soils]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2011, vol. 16, no. 4, pp. 1214-1218.
9. Kireeva H.A., Tarasenko E.M., Onelova T.S., Bakaeva M.D. Kompleksnaia bioremediatsiia NZP dlia snizheniia toksichnosti [Complex bioremediation of OCS to reduce toxicity]. *Biotehnologiya*, 2004, no. 6, pp. 63-70.
10. Iagafarova G.G., Leont'eva S.V., Safarov A.Kh., Iagafarov I.R. Sovremennye metody pererabotki nefteshlamov [Modern methods of oil sludge processing]. Moscow: Khimiia, 2010. 190 p.
11. Trufanova G.A., Cherniakhovskii E.R., Egorov V.I. Kompleksnaia sistema sbora, pererabotki I utilizatsii neftesoderzhashchikh otkhodov [The complex system of collection, processing and utilization of oily waste]. *Ekologiya I promyshlennost' Rossii*, 2003, no. 3, pp. 20-22.
12. Kesel'man G.S. Makhmudbekov E.A. Zashchita okruzhaiushchei sredy pri dobyche, transportirovke I khraneniі nefi I gaza [Environmental protection in production, transportation and storage of oil]. Moscow: Nedra, 256 p.
13. Pikovskii Iu. I. Prirodnye I tekhnogennye potoki uglevodorodov v okruzhaiushchei srede [Natural and technogenic flows of hydrocarbons in the environment]. Moscow: Izd-vo MGU, 1993. 208 p.
14. Arzamasova G.S. Obosnovanie vybora tekhnologii utilizatsii otkhodov gazokompressornykh stantsii [The choice of technology for utilization of gas compressor stations waste]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaia ekologiya. Urbanistika*, 2014, no. 2 (14), pp. 97-107.
15. Akhmadiev M.V., Arzamasova G.S., Chugainova A.A. Obosnovanie biotehnologicheskogo sposoba pererabotki otkhoda gazovogo kondensata [Rationale biotechnological method of processing waste gas condensate]. *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya*, 2014, no. 1, pp. 7-18.
16. Rudakova L.V., Akhmadiev M.V., Sakaeva E.Kh. Ispol'zovanie bioreaktora v tekhnologii bioremediatsii neftezagriaznennykh pochv [The use of a bioreactor in the technology of bioremediation of oil-contaminated soils]. *Ekologiya I promyshlennost' Rossii*, 2013, no. 10, pp. 17-21.
17. Dryahlov V.O. SHajhiev I.G., Abdullin I.SH., Fedotova A.V., Oчитka vodomasylyanyh ehmulsij kombinirovannykh metodom s ispol'zovaniem membrannykh i sorbtsionnykh tekhnologij [Purification of water-oil emulsions by a combined method using membrane and sorption technologies]. *Ekspozitsiya. Neft Gaz*, 2015, no. 2 (41), pp. 62-65.
18. Guangji Hu, Jianbing Li, GuangmingZeng. Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 2013, vol. 261, pp. 470-490.

19. Agamuthu P., Tan Y.S., Fauziah S.H. Bioremediation of Hydrocarbon Contaminated Soil Using Selected Organic Wastes. *Procedia Environmental Sciences*, 2013, vol. 18, pp. 694-702
20. Shijie Wang, Xiang Wang, Chao Zhang, Fasheng Li, GuanlinGuo. Bioremediation of oil sludge contaminated soil by landfarming with added cotton stalks. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2016, vol. 106, pp. 150-156.
21. Vanessa S. Cerqueiraa, Maria doCarmo R. Peralbab, Flávio A.O. Camargoc, Fátima M. Bentoa. Comparison of bioremediation strategies for soil impacted with petrochemical oily sludge. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2014, vol. 95, P. B, pp. 338-345.

Получено 28.03.2017

M. Akhmadiev, G. Arzamasova, A. Chugainova, A. Cherepanov

TREATMENT OF GAS TRANSPORTATION ENTERPRISES' HYDROCARBON WASTE USING BIOTECHNOLOGICAL METHODS

A problem of treatment of gas transportation enterprises' hydrocarbon-containing waste (gas condensate waste) formed in technological processes of natural gas purification at compressor stations and during the maintenance works on the main gas pipelines has been studied. A set of methods that can be used for environmentally safe treatment of the waste is described in the paper. Particular attention has been paid to biotechnological methods (bioremediation) based on the ability of microorganisms to assimilate organic substrates. Advantages and disadvantages of the application of biotechnological methods for the treatment of oily waste are presented in the article. The characteristics of component composition, physical, chemical and microbiological parameters of gas condensate waste are given. The authors have considered conditions and characteristics of the formation of gas condensate waste in main gas pipelines system. A principle scheme of treating different fractions of gas condensate waste is presented. The scheme is based on the maximum use of waste components' resource potential, as well as on the application of environmentally safe treatment methods. The results of laboratory tests proving high efficiency of biotechnological treatment methods (reduction of hydrocarbon concentrations up to 80%) for solids gas condensate waste are presented. Biotechnological methods can be considered as the most perspective way of treating gas condensate waste. The factors determining high efficiency of bioremediation have been considered as well. Given the volume of generated waste the authors recommend to apply biotechnological method by transfer of waste to specialized organizations that exploit open process area for bioremediation. In this case, the disposal of gas condensate waste can be realized by mixing the waste with the main mass of oily waste for bioremediation. The authors propose a basic scheme of gas condensate waste disposal which implies the use of biological treatment plants (bioreactors) for low-tonnage gas transportation enterprises' hydrocarbon waste as a priority way of disposal for such a waste.

Keywords: gas condensate waste, oily waste, gas transportation enterprise, bioremediation.

Арзамасова Галина Сергеевна (Пермь, Россия) – ст. преподаватель кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: arzamasova-g@eco.pstu.ac.ru).

Ахмадиев Максим Владимирович (Пермь, Россия) – ассистент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: akhmadiev-m@yandex.ru).

Чугайнова Анастасия Александровна (Пермь, Россия) – магистр кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: chugainova_A@mail.ru).

Черепанов Александр Анатольевич (Чайковский, Россия) – начальник отдела охраны окружающей среды и энергосбережения, ООО «Газпром трансгаз Чайковский» (617763, г. Чайковский, Приморский бульвар, 30, e-mail: cherepanov@ptg.gazprom.ru).

Arzamasova Galina (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer of Department of "Environmental Protection", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: akhmadiev-m@yandex.ru).

Akhmadiev Maksim (Perm, Russian Federation) – Assistant of Department of "Environmental Protection", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: akhmadiev-m@yandex.ru).

Chugainova Anastasiia (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student of Department of "Environmental Protection", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: chugainova_A@mail.ru).

Cherepanov Alexander (Chaikovsky, Russian Federation) – Head of Department of environmental protection and energy saving, LLC "Gazprom Transgaz Chaikovsky" (617763, Chaikovsky, Primorsky Boulevard, 30, e-mail: cherepanov@ptg.gazprom.ru).