

DOI: 10.15593/24111678/2018.04.06

УДК 622.692: 658.567.5: 661.333

Е.Н. Карманова, Е.В. Калинина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ С ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ОТХОДАМИ СОДОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов на твердые поверхности (бетон, асфальт, асфальтобетон и т.д.) происходят при заполнении технологических емкостей нефтью и нефтепродуктами на автозаправочных станциях, наливных эстакадах, транспортировке и производстве топлив.

Для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на твердые поверхности применяют природные и синтетические сорбенты. Наибольшее распространение получило использование для этих целей песка, в том числе по экономическим причинам. Основным недостатком песка является его невысокая нефтеемкость и неспособность удерживать легкие нефтяные фракции, такие как бензины, керосины и дизельные виды топлива.

В статье представлены результаты исследований по модификации отходов содового производства с целью получения сорбента для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов с твердых поверхностей. Для исследований были отобраны образцы крупнотоннажных отходов содового производства – шламы карбоната кальция из шламонакопителей АО «Березниковский содовый завод». Шламы характеризуются различными условиями образования, временем хранения, размером частиц и физико-химическими свойствами. Шламы подвергались температурной и реагентной обработке. В качестве реагентов для модификации были выбраны кремнийорганические гидрофобизаторы: «Аквасил» (35–45%-ный водный раствор метилсиликоната калия) и ГКЖ-11-П (25–30%-ный водный раствор метилсиликоната натрия). В качестве нефтепродуктов были использованы нефть (Бугурусланского месторождения), моторное масло («ЛУКОЙЛ-Синтетик», ТУ 0253-093-00148 636–97) и бензин (АИ-92).

Экспериментальные исследования показали, что температурная модификация (в диапазоне 20–900 °С) шламов увеличивает нефтеемкость образцов: по бензину – на 20 %, по моторному маслу – на 15 %, по нефти – на 32 %. Модификация шламов содового производства реагентом «Аквасил» увеличивает нефтеемкость по бензину – на 22 %, по моторному маслу – на 84 %, по нефти – на 72 %. Модификация шламов содового производства реагентом ГКЖ-11-П увеличивает нефтеемкость по бензину на 11 %, по моторному маслу – на 62 %, по нефти – на 90 %.

Ключевые слова: аварийные разливы, шламы карбоната кальция, модифицированные сорбенты, кремнийорганические гидрофобизаторы, нефть, нефтепродукты, моторное масло, бензин.

E.N. Karmanova, E.V. Kalinina

Perm National Research Polytechnical University, Perm, Russian Federation

CLEAN-UP OF EMERGENCY SPILLS OF OIL AND OIL PRODUCTS FROM SOLID SURFACES BY MODIFIED WASTE OF SODA PRODUCTION

Emergency spills of oil and oil products on solid surfaces (concrete, asphalt, asphalt concrete, etc.) occur in the following processes: filling process tanks with oil and oil products at gas stations, loading racks; transportation and production of fuels.

Natural and synthetic sorbents are used to eliminate accidental spills of oil and oil products on solid surfaces. The most widespread use for these purposes is sand, including for economic reasons. The main disadvantage of sand is its low oil capacity and the inability to keep light oil fractions, such as gasoline, kerosene and diesel fuels.

In the article the results of studies on the modification of soda production waste in order to obtain a sorbent for the clean-up of accidental spills of oil and oil products from solid surfaces are presented. For the research large-tonnage waste of soda production, namely sludge of calcium carbonate from the sludge pits of JSC "Berezniki soda plant" was selected. The sludge is characterized by different conditions of formation, storage time, particle size and physical-chemical properties. The sludge was subjected to temperature and reagent treatment. The following organic-silicon water repellents were selected as reagents for modification: "Aquasil" (35–45% aqueous solution of potassium methylsilicate) and "GKZH-11-P" (25–30% aqueous solution of sodium methylsilicate). Oil from Buguruslan field, motor oil ("LUKOIL - Synthetic" TU 0253-093-00148 636-97) and gasoline (AI-92) were used as oil products.

Experimental studies have shown that the temperature modification (in the range of 20÷900°C) of sludge increases the oil capacity of samples: gasoline by 20%, engine oil by 15%, and oil by 32%. Modification of soda sludge production sludge with the Aquasil reagent increases the oil capacity: gasoline by 22%, motor oil by 84%, oil by 72%. Modification of soda sludge production sludge with the GKZH 11 P reagent increases the oil capacity: gasoline by 11%, motor oil by 62%, oil by 90%.

Keywords: accidental spills, calcium carbonate sludge, modified sorbents, organic-silicon water repellents, oil, oil products, motor oil, gasoline.

Аварийные разливы нефтепродуктов происходят в результате проливов нефтепродуктов из резервуаров, баков, емкостей, хранилищ, скважин, трубопроводов, железнодорожных цистерн, танкеров и сопровождаются разливами по производственным площадям, прилегающим территориям, акваториям. Наибольший ущерб аварийные разливы нефтепродуктов наносят при авариях на крупных нефтеналивных судах [1].

На урбанизированных территориях наиболее опасны разливы бензина и керосина при авариях с бензовозами и на автозаправочных станциях с образованием взрывоопасных и пожароопасных газозвушных смесей [2]. В местах заправки транспортных средств топливом и маслом происходят случайные разливы и намеренные сливы отработанного масла. Также разливы нефтепродуктов вероятны при техническом обслуживании транспортных средств. Используемые в процессах технического обслуживания и ремонта автотранспорта технологическое оборудование, станки, средства механизации и котельные установки являются стационарными источниками загрязняющих веществ (табл. 1) [3].

Таблица 1

Источники выделения и состав вредных веществ в производственных процессах на эксплуатационных и ремонтных предприятиях транспорта

Зоны, участки, отделения	Производственный процесс	Используемое оборудование	Выделяющиеся загрязнения
Участок мойки подвижного состава	Обмывка наружных поверхностей	Механическая мойка (моечные машины), шланговая мойка	Пыль, щелочи, поверхностно-активные синтетические вещества, нефтепродукты, растворенные кислоты, фенолы, жиры, формальдегид
Отделение топливной аппаратуры	Регулировочные и ремонтные работы по топливной аппаратуре	Проверочные стенды, специальная оснастка, система вентиляции	Бензин, керосин, дизельное топливо, ацетон, бензол, ветошь
Склад топливно-смазочных материалов (ТСМ)	Получение, хранение, выдача ТСМ	Тара и емкости для хранения, весовое оборудование	Пары и жидкие разливы топлив и масел

На автозаправочных станциях в результате отгрузки, хранения и реализации бензинов и других нефтепродуктов происходят испарение топлива и разливы нефтепродуктов [4, 5].

Для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов применяют нефтяные сорбенты (нефтесобираатели и нефтепоглотители): неорганические, органические, органоминеральные, синтетические [6, 7].

На нефтеперерабатывающих предприятиях происходят разливы нефти и нефтепродуктов при различных технологических процессах (табл. 2) [8].

В процессах нефтепереработки разливы нефти и нефтепродуктов ликвидируют с помощью песка. Вследствие этого образуются отходы песка, загрязненного нефтью или нефтепродуктами, с содержанием нефти и нефтепродуктов 15 % и более.

Основным недостатком при использовании песка для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов является его невысокая сорбционная емкость и низкая способность удерживать легкие нефтяные фракции, такие как бензины, керосины и дизельные виды топлива. Утилизацию загрязненного нефтепродуктами песка выполняют промывкой водой с поверхностно-активными веществами, промывкой экстрагентами, выжиганием [9].

Таблица 2

Ориентировочные источники и объемы образования отходов при ликвидации проливов нефтепродуктов в процессе нефтепереработки

Наименование отхода	Источник образования отходов	Класс опасности отхода для окружающей среды	Масса образования отхода, т/год
Отходы установки АТ с отбензинивающей колонны	Ликвидация проливов	4	8,24–9,49
Отходы производства и потребления установки производства битумов в окислительных колоннах	Ликвидация (засыпка песком) проливов и утечек при работе оборудования	3	0,37–12
Отходы установки гидроочистки бензина	Ликвидация (засыпка песком) проливов и утечек при работе оборудования	3	0,5
Отходы установки гидроочистки керосина	Ликвидация (засыпка песком) проливов и утечек при работе оборудования	3	0,41–10
Отходы установки гидроочистки дизельного топлива	Ликвидация (засыпка песком) проливов и утечек при работе оборудования	3	0,41–15

Свойства некоторых материалов, которые используются при сборе нефти или служат основой для получения нефтяных сорбентов, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Нефтеемкость материалов для сбора нефти и нефтепродуктов

Сорбционный материал	Нефтеемкость, г/г	Сорбционный материал	Нефтеемкость, г/г
Природные сорбенты [10]		Промышленные сорбенты [11]	
Песок	0,3	СМД-СОРБ	0,7
Мел	0,4	ЦТР-СОРБ	0,5–0,6
Каолин	0,5	OL-EX All Wetter	0,6–0,7
Глина	0,8	С-БЕРАД	2–3
Дробленный каменный уголь	1,0		
Дробленный бурый уголь	0,8		

С точки зрения ресурсосбережения и необходимости утилизации значительных объемов накопленных отходов производства и потребления целесообразным является использование отходов в качестве материалов для производства сорбентов. Отходы в исходном виде характеризуются невысокой сорбционной емкостью. Повышенная влажность, неразвитая площадь поверхности, высокая дисперсность, балластовые примеси – параметры, снижающие емкость адсорбента. Без дополнительной обработки сырья сложно добиться улучшения технических характеристик. Для дополнительной обработки материалов и получения необходимых характеристик используются следующие процессы: термическая обработка; смена полярности поверхности (гидрофобизация, гидрофилизация); химическая обработка; изменение геометрической формы материала (формирование, гранулирование, измельчение); электромагнитное воздействие (обработка сырья ВЧ-плазмой) [12, 13].

На территории Пермского края накоплено значительное количество отходов производства, в том числе отходов производства кальцинированной соды, выпускаемой предприятием АО «Березниковский содовый завод» [14]. Основным крупнотоннажным отходом предприятия являются шламы содового производства (ШСП), аккумулируемые в шламонакопителях, так называемых «белых морях». Основным компонентом ШСП является карбонат кальция.

Известно использование извести для капсулирования нефти [15], а также использование модифицированных кальцийсодержащих отходов в качестве сорбентов нефтепродуктов [16, 17]. На основании этих данных было выдвинуто предположение о возможности модификации отходов содового производства и их применения для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов.

Для проведения исследований на шламонакопителе АО «Березниковский содовый завод» были отобраны пробы обезвоженных шламов содового производства с различными характеристиками:

♦ образец № 1 – шлам содового производства текущего выхода, крупнофракционный, белого цвета с черными включениями;

♦ образец № 2 – шлам содового производства, размещенный около 5 лет назад, крупнофракционный, белого цвета с черными включениями;

♦ образец № 3 – шлам содового производства, сформировавшийся на границе зеркала воды, мелкодисперсный, пастообразный, белого цвета;

♦ образец № 4 – шлам содового производства, размещенный около 45–50 лет назад, крупнофракционный, белого цвета с черными включениями.

В экспериментальных исследованиях в качестве нефтепродуктов были использованы нефть (Бугурусланского месторождения), моторное масло («Лукойл-Синтетик», ТУ 0253-093-00148 636–97), бензин (АИ-92). Реагентами для модификации были выбраны кремнийорганические гидрофобизаторы: «Аквасил» (ТУ 2229-003-60543126–2014) – 35–45%-ный водный раствор метилсиликоната калия – и ГКЖ-11-П (ТУ 2229-092-40245042–2004) – 25–30%-ный водный раствор метилсиликоната натрия.

По результатам исследования химического состава шлам содового производства определено, что основными компонентами являются карбонаты магния и кальция.

Для исходных образцов шламов содового производства были исследованы емкости по нефти и нефтепродуктам и установлено (табл. 4), что наибольшей нефтеемкостью обладает образец № 3: по бензину – 0,95; по моторному маслу – 0,88; по нефти – 0,75.

Таблица 4

Нефтеемкость исходных образцов шламов содового производства, г/г

Нефтепродукт	Образцы шламов			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Бензин	0,51	0,27	0,95	0,49
Моторное масло	0,49	0,39	0,88	0,53
Нефть	0,59	0,34	0,75	0,73

Данные показатели выше, чем нефтеемкость распространенных сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов с твердых поверхностей (г/г): песок (0,3 г/г); мел (0,4 г/г); каолин (0,47 г/г) – и сопоставимы с нефтеемкостью дробленого каменного (1,0 г/г) и бурого (0,8 г/г) угля [14].

При модификации шламов содового производства кремнийорганическими жидкостями при одинаковой дозе активного компонента (2 %) установлено, что наибольшей нефтеемкостью обладает образец шлама содового производства № 3 (рис. 1). Обработка реагентом «Аквасил» увеличивает нефтеемкость по бензину на 22 %, по моторному маслу – на 84 %, по нефти – на 72 %, обработка реагентом ГКЖ-11-П увеличивает нефтеемкость по бензину на 11 %, по моторному маслу – на 62 %, по нефти – на 90 %.

При исследовании влияния дозы активного компонента гидрофобизатора на нефтеемкость определено, что оптимальной рабочей дозой действующего вещества гидрофобизатора является 1,75–2,85 мас. % (рис. 2).

Сравнение затрат на реагентную обработку шламов содового производства с учетом текущих цен на реагенты показало, что более экономично использовать гидрофобизатор ГКЖ-11-П.

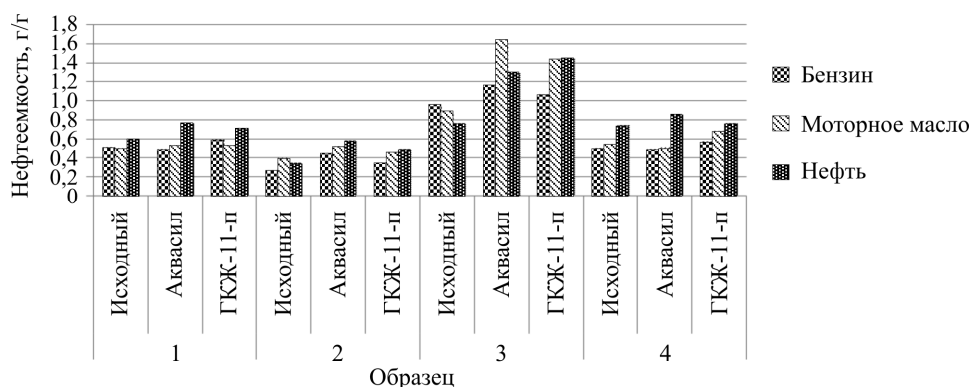


Рис. 1. Влияние реагентной обработки на нефтеемкость сорбентов



Рис. 2. Влияние дозы реагента на нефтеемкость

Известна способность разложения карбоната кальция CaCO_3 при температуре около 900°C с выделением углекислого газа CO_2 . Термообработка неорганических материалов при температуре $700\text{--}900^\circ\text{C}$ приводит к удалению связанной влаги и балластных примесей. В результате возможно увеличение порового пространства за счет образования пустот в материале и повышение сорбционной емкости.

В следующей серии экспериментов шламы содового производства подвергались модификации путем температурной обработки. Температурная обработка осуществлялась в интервале температур $20\text{--}900^\circ\text{C}$, время прогрева 30 мин. Показано, что температурное воздействие на исследуемые образцы не приводит к существенному увеличению нефтеемкости, нефтеемкость повышается на 20–32 % (рис. 3).

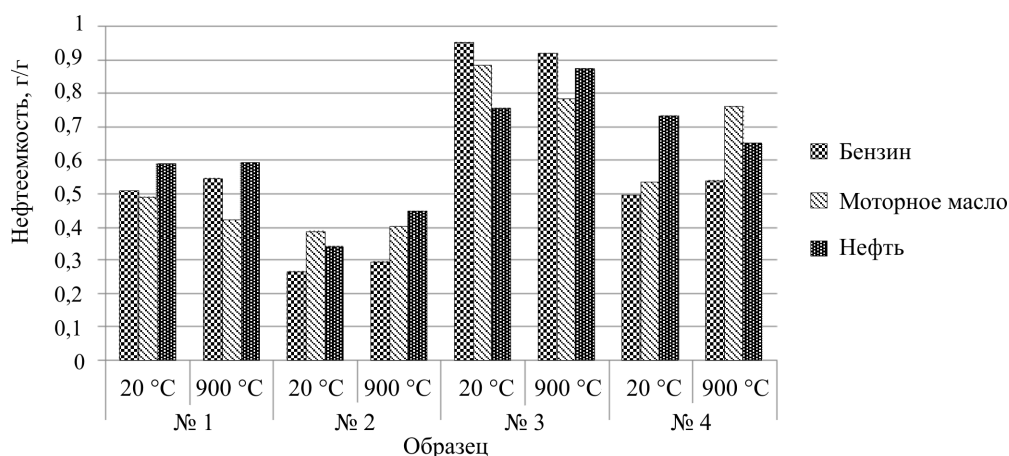


Рис. 3. Влияние температурной обработки на нефтеемкость

Образец № 3, обработанный раствором ГКЖ-11-П (содержание действующего вещества 17,5–22,5 %), подвергался бескислородному нагреванию при 450°C в течение 30 мин. Нефтеемкость образца увеличилась на 16–27 % (табл. 5).

Таблица 5

Влияние низкотемпературного пиролиза на сорбент

Нефтепродукт	Нефтеемкость исходного сорбента	Нефтеемкость модифицированного сорбента
Бензин	0,95	1,13
Моторное масло	0,88	1,21

Совместная температурная и реагентная обработка показала, что нефтеемкость модифицированного сорбента увеличилась незначительно (рис. 4). Данный метод применять нецелесообразно, так как затраты на электроэнергию и реагенты будут не оправданы.

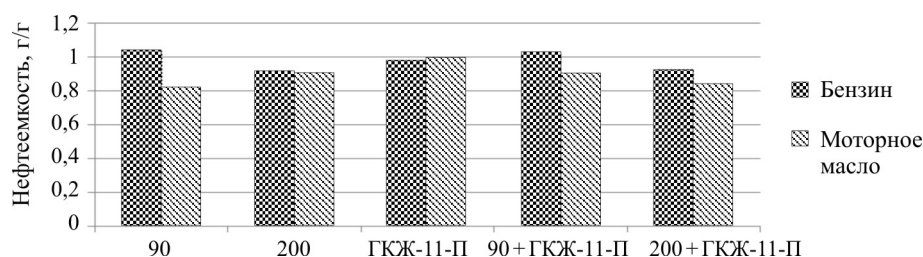


Рис. 4. Влияние совместной обработки на нефтеемкость

В результате проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Наибольшей нефтеемкостью обладает исходный образец шлама содового производства № 3 (мелкодисперсный, срок хранения 5 лет).
2. Температурная обработка шламов увеличивает нефтеемкость образцов: по бензину – на 20 %, по моторному маслу – на 15 %, по нефти – на 32 %.
3. При низкотемпературном пиролизе (бескислородное нагревание при 450 °С в течение 30 мин) нефтеемкость сорбента увеличилась по бензину на 16 %, по моторному маслу – на 27 %.
4. Обработка шламов содового производства реагентом «Аквасил» увеличивает нефтеемкость по бензину – на 22 %, по моторному маслу – на 84 %, по нефти – на 72 %. Обработка шламов содового производства реагентом ГКЖ-11-П увеличивает нефтеемкость по бензину на 11 %, по моторному маслу – на 62 %, по нефти – на 90 %.
5. По технико-экономическим показателям предпочтительно использование гидрофобизатора ГКЖ-11-П с оптимальной рабочей дозой действующего вещества 1,75–2,85 %.
6. Сорбционная емкость модифицированных шламов содового производства выше, чем у доступных нефтяных сорбентов, таких как песок (0,3), мел (0,4), уголь (1,0).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-45-590169

Список литературы

1. Воробьев Ю.Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. – М., 2005. – 375 с.
2. Малышев Б.В., Ефимов Н.А. Оценка возможных последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов в результате дорожно-транспортных происшествий. Обоснование оптимального состава сил и средств локализации и ликвидации последствий аварий // Технологии гражданской безопасности. – 2009. – Т. 6. – С. 117–121.
3. Справочник инженера по охране окружающей среды (эколога) / В.П. Перхуткин, З.И. Перхуткина, Т.А. Овчарук, Е.Н. Недух. – М.: Инфра-Инженерия, 2005. – 864 с.

4. Сопрунова О.Б., Акжигитов А.Ш., Казиев А.А. Способы очистки почв от загрязнения нефтью и нефтепродуктами, применяя микробные биотехнологии // Молодой ученый. – 2015. – № 7. – С. 240–242.
5. Павлова Е.И. Экология транспорта: учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 2006. – 344 с.
6. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. – М.; Ижевск, 2003. – 268 с.
7. Самойлов Н.А., Хлесткин Р.Н. Сорбционный метод ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. – М.: Химия, 2001. – 189 с.
8. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям 19 – 2017 / Переработка нефти. – М.: Бюро НДТ, 2017. – 643 с.
9. Горожанкина Г.И., Пинчукова Л.И. Сорбенты для сбора нефти: сравнительные характеристики и особенности применения // Трубопроводный транспорт нефти. – 2000. – № 4. – С. 12–17.
10. Иванова М.А., Чикина Н.С., Зенитова Л.А. Ликвидация нефтяных загрязнений // Бутлеровские чтения. – 2012. – № 3. – С. 1–12.
11. Набаткин А.Н., Хлебников В.Н. Применение сорбентов для ликвидации нефтяных разливов // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 11. – С. 61.
12. Голубчиков М.А., Николаева Л.А. Влияние природы гидрофобизатора на сорбционную емкость шлама осветлителей ТЭС // Вода: химия и экология. – 2011. – № 10. – С. 54–57.
13. Дудина С.Н. Модифицирование адсорбентов на основе природных глинистых материалов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2013. – № 24. – С. 131–134.
14. Куликов М.А. Химическая технология неорганических веществ: учеб. пособие. – Пермь, 2011. – 180 с.
15. Холкин Е.Г., Штриплинг Л.О., Ларионов К.С. Ликвидация последствий аварийных разливов нефтепродуктов в Арктической зоне России с использованием технологии реагентного капсулирования // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 1 (25). – С. 120–129.
16. Николаева Л.А. Адсорбционная очистка промышленных сточных вод модифицированным карбонатным шламом: дис. ... д-ра техн. наук. – Казань, 2016. – Т. 1. – 267 с.
17. Голубчиков М.А. Очистка сточных вод от нефтепродуктов модифицированными адсорбентами на основе карбонатного шлама: дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 2015. – 147 с.

References

1. Vorobev Iu.L. Preduprezhdenie i likvidatsiia avariinykh razlivov nefi i nefteproduktov [Prevention and elimination of accidental spills of oil and oil products]. Moscow, 2005, 375 p.
2. Malyshev B.V. Efimov N.A. Otsenka vozmozhnykh posledstviy avariinykh razlivov nefi i nefteproduktov v rezultate dorozhno-transportnykh proisshestviy. Obosnovanie optimalnogo sostava sil i sredstv lokalizatsii i likvidatsii posledstviy avarii [Evaluation of the possible consequences of accidental spills of oil and oil products as a result of road accidents. Justification of the optimal composition of forces and means of localization and liquidation of accidents]. *Tekhnologii grazhdanskoi bezopasnosti*, 2009, tom 6, pp. 117–121.
3. Perkhutkin Y.P., Perkhutkina Z.I., Ovcharuk T.A., Nedukh E.N. Spravochnik inzhenera po okhrane okruzhaiushchei sredy ekologa [Handbook of environmental engineer (ecologist)]. Moscow, «infrainzheneriia», 2005, 864 p.
4. Soprunova O.B., Akzhigitov A.Sh., Kaziev A.A. Sposoby ochistki pochv ot zagriazneniia nefii i nefteproduktami primeniia mikhobnye biotekhnologii [Ways to clean the soil from pollution by oil and oil products using microbial biotechnology]. *Molodoi uchenyi*, 2015, no. 7, pp. 240–242.
5. Pavlova E.I. Eekologiya transporta: uchebnik dlia vuzov [Ecology of Transport: A textbook for universities]. Moscow, Vyssh. shk., 2006, 344 p.
6. Kamenshchikov F.A., Bogomolnyi E.I. Neftianye sorbenty [Oil sorbents]. Moscow: Izhevsk. 2003, 268 p.
7. Samoilov N.A., Khlestkin R.N. Sorbtionnyi metod likvidatsii avariinykh razlivov nefi i nefteproduktov [Sorption method to eliminate emergency spills of oil and oil products]. Moscow, Kkhiimia, 2001, 189 p.
8. Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiiam 19 – 2017 [Information and Technical Reference for Best Available Technologies]. Pererabotka nefi. Moscow biuro NDT. 2017, 643 p.
9. Gorozhankina G.I., Pinchukova L.I. Sorbenty dlia sbora nefi: sravnitelnye kharakteristiki i osobennosti primeniia [Sorbents for the collection of oil: comparative characteristics and features of the application]. *Truboprovodnyi transport nefi*, 2000, no. 4, pp. 12–17.

10. Ivanova M.A., Chikina N.S., Zenitova L.A. Likvidatsiya nefnykh zagryaznenii osobennosti primeneniia [Elimination of oil pollution. Application features]. *Butlerovskie chteniia*, 2012, no. 3, pp. 1–12.
11. Nabatkin A.N., Khlebnikov V.N. Primenenie sorbentov dlia likvidatsii nefnykh razlivov [Application of sorbents for oil spill response]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2000, no. 11 p. 61.
12. Golubchikov M.A., Nikolaeva L.A. Vliianie prirody gidrofobizatora na sorbtsionnuiu emkost shlama osvetlitelei TES [The influence of the nature of the water-repellent on the sorption capacity of the sludge clarifier TES]. *Voda khimiia i ekologiia*, 2011, no. 10. pp. 54–57.
13. Dudina S.N. Modifikirovanie adsorbentov na osnove prirodnkh glinistykh materialov [Modification of adsorbents based on natural clay materials]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta: Seriya estestvennye nauki*, 2013 no. 24, pp. 131–134.
14. Kulikov M.A. Khimicheskaya tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv: ucheb posobie [Chemical technology of inorganic substances: studies. allowance]. Perm-2011, 180 p.
15. Holkin E.G., Holkin E.G., Shtripling L.O. Likvidatsiya posledstviy avariinykh razlivov nefteproduktov v Arkticheskoy zone Rossii s ispolzovaniem tekhnologii reagentnogo kapsulirovaniya [Liquidation of consequences of oil spills in the Arctic zone of Russia using reagent encapsulation technology]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2017, no 1 (25), pp. 120–129.
16. Nikolaeva L.A. Adsorbtsionnaya ochistka promyshlennykh stochnykh vod modifikirovannym karbonatnym shlamom [Adsorption Purification of Industrial Waste Water with Modified Carbonate Sludge]. Doctor's degree dissertation. Kazan, 2016, vol. 1, 267 p.
17. Golubchikov M.A. Ochistka stochnykh vod ot nefteproduktov modifikirovannymi adsorbentami na osnove karbonatnogo shlama [Sewage treatment from oil products with modified adsorbents based on carbonate sludge]. Ph.D. thesis. Kazan, 2015, vol. 1, 147 p.

Получено 29.10.2018

Об авторах

Карманова Екатерина Николаевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр. 29, e-mail: qwerty007qwerty007007@gmail.com).

Калинина Елена Васильевна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр. 29, e-mail: Kalininaelena1@rambler.ru).

About the authors

Ekaterina N. Karmanova (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnical University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: qwerty007qwerty007007@gmail.com).

Elena V. Kalinina (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: Kalininaelena1@rambler.ru).