

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 543.544-414:504.054:665.61

**НЕФТЕЕМКОСТЬ СОРБЕНТА:
ПРОБЛЕМА ВЫБОРА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ****Лим Л.А., Реутов В.А., Руденко А.А., Чудовский А.С.***ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, e-mail: lim.la@dvfu.ru, reutov.va@dvfu.ru, rudenko.aandr@dvfu.ru, chudovskiy.as@dvfu.ru*

Аварийные разливы, к сожалению, могут происходить на различных стадиях добычи, подготовки, транспортировки и переработки нефти и нефтепродуктов и являются экологическим бедствием. В комплексе мероприятий по ликвидации разливов нефти на поверхности природных вод актуально применение нефтесорбентов. В настоящий момент нефтесорбенты, произведенные из сырья различного происхождения, составляют достаточно емкую долю на рынке специальных товаров. Важнейшими характеристиками нефтесорбентов являются: высокая нефтеемкость, низкая влагоемкость, высокая плавучесть, низкая стоимость и возможность многократной регенерации. Оценка и сравнение различных нефтесорбентов между собой, разработка технологий производства и применения нефтесорбентов, интерпретация результатов исследований различных исследовательских групп затруднены по причине отсутствия нормативной базы по выбору методики определения важнейшей характеристики сорбента – нефтеемкости. В работе проведен анализ описанных в литературе методик проведения экспериментов по определению нефтеемкости сорбентов, выявлены основные факторы экспериментов, влияющих на конечный результат: время замачивания, время стекания, вязкость нефтепродукта и его температура, конструкция удерживающего устройства. На примере двух нефтепродуктов: дизельного топлива и масла моторного – с использованием трех сорбентов различной природы (древесные опилки, уголь активированный, волокнистый полиэтиленовый сорбент) экспериментально установлены значительные отклонения результатов определения нефтеемкости сорбентов различной природы при использовании различных методик ее измерения. Отклонения в значении нефтеемкости для одного и того же вида дисперсного сорбента (опилки, уголь) составляют 1,3–5,1% по дизельному топливу, но уже 9,7–60,3% по маслу моторному. Для волокнистого сорбента по обоим нефтепродуктам отклонения еще более значительные.

Ключевые слова: нефтеемкость, нефтесорбенты, ликвидация разливов нефти

SORBENT OIL CAPACITY: PROBLEM OF MEASURING METHOD CHOOSING**Lim L.A., Reutov V.A., Rudenko A.A., Chudovskiy A.S.***Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: lim.la@dvfu.ru, reutov.va@dvfu.ru, rudenko.aandr@dvfu.ru, chudovskiy.as@dvfu.ru*

Unfortunately, emergency spills can occur at various stages of oil and petroleum products production, treatment, transportation and refining, they are ecology disasters. Using of oil sorbents as a part of complex of methods for liquidation of oil spills on the surface of natural waters is a subject of current interest. Today oil sorbents produced from various raw materials occupy a large share of special products market. The most important characteristics of oil sorbents are high oil capacity, low water capacity, high flotation, low cost and the possibility of multiple regeneration. Evaluation and comparison of different oil sorbent, development of production technologies and oil sorbents usage, interpretation of different research group studies results are troubled with the lack of regulations bases for choosing of measuring method of the main sorbent characteristics – oil capacity. The research shows analysis of methods for measurement of sorbents oil capacity. Main factors affected on result were identified: soak time, drip time, viscosity of the petroleum product and its temperature, structure of holding device. When using of two petroleum products (diesel fuel and engine oil) and testing three oil sorbents with different origin (wood sawdust, activated carbon, fibrous polyethylene sorbent) it was experimentally established that using of various methods for measurement caused large oil capacity deviation of sorbents with different origin. Oil capacity value differences for the same type of dispersed sorbent (sawdust, coal) is 1.3–5.1% for using diesel fuel, but 9.7–60.3% for using motor oil. Oil capacity value differences for fibrous sorbent using both petroleum products are even more significant.

Keywords: oil capacity, oil sorbents, oil spill cleanup

Общий объем добычи нефти, важнейшего энергоносителя и химического сырья, составляет миллионы баррелей в сутки [1]. Добыча нефти, как правило, удалена от основных переработчиков и потребителей, а следовательно, практически неизбежны потери не только при извлечении нефти из недр, но и при перевалке и транспортировке нефти и нефтепродуктов. Большие объемы нефти и нефтепродуктов (НП) перевозятся

морем, и аварии танкеров представляют серьезную экологическую угрозу [2, 3]. В этой связи вопросы ликвидации и предотвращения загрязнения вод нефтью и продуктами ее переработки являются чрезвычайно актуальными.

В РФ разливы нефти являются чрезвычайными ситуациями [4], порядок ликвидации которых регулируется соответствующими нормативными актами, при этом

мероприятия в отношении разливов на морских акваториях регулируются отдельным положением [5]. Все органы исполнительной власти и организации, участвующие в добыче, транспортировке и обороте нефти и нефтепродуктов, согласно [6] «обязаны иметь резервы финансовых средств и материально-технических ресурсов для локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов». Таким образом, каждая организация, осуществляющая деятельность, связанную с добычей и оборотом нефти и нефтепродуктов, обязана иметь наготове достаточные количества технических средств и материалов для ликвидации возможных аварий. Учитывая, что в комплексе мероприятий по ликвидации аварийных разливов нефти и НП (ЛАРН) значительное место занимают сорбционные методы, можно утверждать, что в РФ имеется достаточно ёмкий рынок специализированной продукции: сорбентов для ЛАРН. В качестве нефтесорбентов предлагается использовать как материалы природного [7–10], так и искусственного происхождения – синтетические полимерные материалы [11–14]. Большинство производителей сорбентов, размещая информацию о своей продукции, указывают значения нефтеемкости. В табл. 1 приведена далеко не полная информация о нескольких нефтесорбентах российского производства. Сорбенты отличаются не только разнообразием материалов, ассортиментом и видом продукции и изделий, но также значениями заявленной производителем нефтеемкости. Анализ информации на сайтах компаний-производителей сорбентов и дилеров показал, что важнейшими критериями для выбора нефтесорбента являются нефтеемкость (масса нефти, которую способен поглотить 1 кг сорбента); плавучесть и/или водопоглощение; способность к регенерации/многократному использованию и нефтеотдаче; условия хранения и утилизации, обычно

приводятся также сведения о насыпной или объемной плотности (табл. 1).

При рассмотрении вопроса об оценке эффективности использования сорбента в мероприятиях ЛАРН предлагаются разные подходы [15, 16]. Общим для них является то, что эффективность сорбента полагается прямо пропорциональной нефтеемкости и обратно пропорциональной стоимости сорбента. Совершенно очевидно, что стоимость будет прямо влиять на выбор покупателя, особенно в случае закупок по процедурам конкурсов/тендеров, а высокие значения нефтеемкости будут определяющими для принятия решения о выборе сорбента. При оценке затрат на мероприятия по ЛАРН удобно пользоваться показателем стоимости сорбента для сбора 1 т нефти или НП, так как согласно [4, 17] объем разлитой нефти является основным параметром классификации ЧС и основанием для расчета ущерба.

С этой точки зрения оценка величины нефтеемкости приобретает определенную многомерность: не просто масса нефти, которую способна удержать единица массы сорбента и отправная точка для сравнения различных сорбентов, но и основание для расчета величины запасов материальных ресурсов для ЛАРН, оценка бюджета для планирования мероприятий ЛАРН разных уровней, расчет затрат, ущерба от ЧС и эффективности расходования средств.

При этом до последнего времени в Российской Федерации отсутствовал нормативный документ, однозначно регламентирующий методику определения нефтеемкости сорбентов. Методика определения адсорбционной активности [18] активированного угля малоприменяема для оценки нефтеемкости, так как измерение предполагается проводить по метиленовым красителям и мелассе, природа, а следовательно, и механизм сорбции которых сильно отличается от механизма сорбции нефтепродуктов.

Таблица 1

Нефтеемкость и насыпная плотность некоторых сорбентов

Сорбент (торговое название)	Материал	Нефтеемкость, кг/кг	Плотность, кг/м ³	Источник
1 Профсорб-Эко	сфагновый торф	2,8–7	120–200	[10]
2 Экосорб	полипропилен	8–20	50	[11]
3 Ирвелен марка 1	полипропилен	10–25	160	[12]
4 Сорбирующие изделия	полипропилен	14	66–86	[13]
5 Унисорб	МФС*	30–67	25	[14]

Примечание. * Мочевино-формальдегидная смола.

Цель исследования: анализ различных факторов, влияющих на значение нефтеемкости, определяемой по различным методикам, описанным в литературе, так и сравнение нефтеемкости трех различных по своей природе нефтесорбентов, полученной экспериментальным путем.

В русскоязычной научной литературе для определения нефтеемкости используются различные методики. При кажущейся простоте

задачи: привести сорбент в контакт с НП и определить количество сорбата, удерживаемого 1 граммом сорбента, – имеются факторы, способные значительно повлиять на результаты определения. При попытке максимально формализовать отдельные этапы процедуры определения нефтеемкости (табл. 2) видно, что некоторые важные детали часто/обычно не указываются авторами, однако могут повлиять на конечный результат определения.

Таблица 2

Анализ литературных методик определения нефтеемкости сорбентов
(Н/У – означает «не указано, нет данных»)

№ п/п	Процедура измерения нефтеемкости					Источники, в которых описана методика
	Оборудование или последовательность действий	Время замачивания, мин	Время стекания, мин	Навеска сорбента, г	Учет холостой пробы	
1	Медная сетка диаметром 30–80 мм с отбортовкой из медной проволоки	10–15	Н/У («дают стечь»)	5	Да	ТУ 214-10942238-03-95, цит. по [19]
2	Сорбент помещался в плотную хлопчатобумажную ткань	10–30	Н/У	Н/У	Н/У	[20]
3	Взвешенная латунная сетка помещается в чашки Петри и заливается 50 см ³ нефти. Показания снимают в интервале 1–30 минут	1–30	Н/У	1	Н/У	[21]
4	Определение «массовой емкости поглощения проводилось с использованием модельных сточных вод в статических условиях»	Н/У	Н/У	Н/У	Н/У	[22] Конц. НП в воде определяли по [23]
5	«В фильтрующие секции с загрузкой добавлялся нефтепродукт, равномерно распределяемый по всей площади фильтра. Пролив нефтепродукта продолжался до полного насыщения загрузки нефтепродуктами»	Н/У	Н/У	14,8-18	Н/У	[24]
6	«...сорбционный материал... помещали на ровную поверхность и искусственно загрязняли сорбент нефтью до полного насыщения»	Н/У	Н/У	3	Н/У	[25]

Таблица 3

Влияние различных факторов эксперимента на результат

Фактор эксперимента	Влияние на фактор	Влияние на результат
Время замачивания, мин	Температура, вязкость нефтепродукта, размер пор сорбента	При недостаточном времени замачивания результат может быть заниженным, вследствие неполного проникновения НП в поры сорбента.
Время стекания, мин	Вязкость нефтепродукта, характер поверхности, динамическое воздействие (встряхивание, толчки), конструкция удерживающего устройства	Результат будет завышенным, если время стекания мало или конструкция удерживающего устройства не обеспечивает свободного стекания.
Навеска сорбента		Может быть недостоверным при использовании слишком маленьких навесок в вязких НП.
Учет холостой пробы		Результат будет систематически завышенным, если не учитывать холостую пробу

В табл. 3 приведены факторы эксперимента, способные оказать значительное влияние на результат.

При этом при определении нефтеемкости авторы обычно не указывают результаты статистической обработки результаты измерений, а в некоторых случаях и число параллельных опытов. Учитывая, что в лабораторных условиях обычно манипулируют небольшими количествами сорбента, масштабирование результатов измерений требует отдельного изучения.

Совершенно очевидно, что без конкретных, максимально подробных указаний воспроизвести методику, а соответственно, и результат не представляется возможным. Методики могут принципиально отличаться, что делает невозможным сравнение результатов, полученных разными исследователями. Это касается и промышленно производимых сорбентов. В работе [26] прямо указывается, что предприятия – потребители нефтесорбентов вынуждены самостоятельно проводить сравнительные испытания «крупнотоннажных по потреблению сорбентов», «ввиду представления производителями только положительных эксплуатационных свойств своих товарных продуктов, иногда не соответствующих истине», а использование литературных данных затруднительно. В результате авторы [26] выяснили, что заявленная производителями нефтеёмкость отличается от измеренной в результате испытаний, даже несмотря на все допуски проведенного лабораторного эксперимента. При этом для одного из сорбентов результаты отличались более чем в два раза (заявленная производителем – больше), в то время как для других результаты были в пределах заявленных значений.

Исключительную важность максимальной детализации процедуры определения нефтеемкости и ее влияния на значение измеряемой величины можно проиллюстрировать нижеописанными экспериментами.

Материалы и методы исследования

Для испытаний отобраны три сорбента, отличающихся по материалу и механизму сорбции нефтепродукта: уголь активированный (для медицинского применения марки УБФ), древесные опилки из мягких сортов древесины (сосна), волокнистый сорбент из полиэтилена. Далее по тексту сорбенты именуется как «уголь», «опилки» и «ПЭ волокно» соответственно.

Как известно, активированный уголь – самый изученный и широко использу-

ющийся адсорбент для удаления различных нежелательных веществ. Сорбционная активность угля [18] обусловлена наличием микро-, мезо- и макропор и развитой поверхностью, достигающей 500–1500 м²/г. ПЭ волокно использовано в настоящей работе в качестве сорбента, имеющего исключительно когезионный механизм удерживания нефти гидрофобной непористой поверхностью.

В качестве модельных поглощаемых нефтепродуктов было выбрано топливо дизельное зимнее ДТ-3-К5 (производитель ПАО НК «Роснефть») и масло моторное Роснефть Optimum SAE 15W-40 (производитель ПАО НК «Роснефть»).

Методики определения нефтеемкости

Методика 1: Модифицированная методика Standard Test Method for sorbent performance of adsorbents (ASTM F726-99) [9]. Для проведения испытаний были изготовлены цилиндрические емкости из металлической сетки с ячейей ромбической формы с размером отверстия 2×2 мм. Диаметр емкости 55 мм, высота – 60 мм. Размеры цилиндрической емкости из сетки (далее по тексту – сетка) были подобраны таким образом, чтобы плотно входить в стеклянные стаканы емкостью 250 см³. Цилиндрический сосуд из металлической сетки погружали в мерный стакан и заливали нефтепродуктом, так чтобы сетка-ловушка была полностью покрыта.

Холостое испытание с целью определения массы НП, удерживаемого сеткой, проводили, как описано в [27], при температуре в помещении 22 °С. Предварительно взвешенную сетку помещали в стакан и заливали испытуемым НП, так чтобы вся сетка была покрыта жидкостью. Стакан накрывали часовым стеклом и оставляли на 10 мин. По истечении этого времени сетку подвешивали к нижнему крюку весов Mettler Toledo ME403. Значения массы сетки с удерживаемым НП фиксировали автоматически, передавая информацию на компьютер через порт RS232, с интервалом 1 мин, до установления постоянной массы. При этом сетка-ловушка находилась в покое, без сотрясений и наклона. Постоянной считали массу, которая не изменялась в течение 3 мин. Эксперимент проводили 5 раз, стандартное отклонение значений нефтеемкости пустой сетки – не более 5%. В дальнейших расчетах учитывали массу сетки с учетом удерживаемого НП, полученную в холостом опыте (m_2).

Измерение нефтеемкости (НЕ): в сетку помещался сорбент массой 1 г и погружался на 10 мин в нефтепродукт, при этом сорбент механически не перемешивался и был полностью покрыт НП. По истечении заданного времени сетка с сорбентом с поглощенным НП подвешивалась к нижнему крюку автоматических весов до установления постоянного веса, как описано выше. Эксперимент повторялся троекратно, стандартное отклонение при этом не превышало 5%. Расчет нефтеемкости (НЕ) сорбента выполнен по формуле

$$HE = \frac{m_1 - (m_2 + m_3)}{m_3}, \text{ г/г,}$$

где m_1 – масса сетки с навеской сорбента и удерживаемым НП, г;

m_2 – масса сетки с учетом удерживаемого НП (холостая проба), г;

m_3 – масса навески сорбента, г.

Методика 2: Аналогична 1, но используется для сыпучих мелкодисперсных сорбентов, которые не удерживаются сеткой. Нефтеемкость определяется путем помещения испытуемого сорбента массой 1 г в пакет из нетканого полипропилена (спандонд). Предварительно определяется нефтеемкость пустого полипропиленового пакета («холостой опыт»). По истечении заданного времени пакет с сорбентом и НП подвешивался к нижнему крюку автоматических весов до установления постоянного веса, как описано выше.

Методика 3: Для сорбентов в виде волокнистого неупорядоченного материала нефтеемкость определялась путем закрепления на тонкой тарированной проволоке для погружения в НП и последующего взвешивания массы сорбента с НП до установ-

ления постоянной массы как описано выше. Нефтеемкость проволоки принимается пренебрежимо малой.

Методика 4: Для сорбентов из ПЭ волокна были проведены ускоренные испытания по ГОСТ 33627-2015 [28] на определение нефтеемкости. Сорбент массой 1 г выдерживали в емкости с нефтепродуктом в течение 15 мин, затем вытаскивали и удерживали над емкостью для стекания избытка жидкости в течение 30 с, после чего сорбент взвешивали и записывали результат.

Методика 5: Производятся испытания по методике ТУ 214-10942238-03-95. Сыпучий сорбент массой 1 г помещают на тарированное часовое стекло и по каплям течение 20–30 с прибавляли нефтепродукт до полного впитывания. Часовое стекло с топливом и сорбентом взвешивалось, и рассчитывалась сорбционная емкость по формуле

$$HE = \frac{m_4}{m_3}, \text{ г/г,}$$

где m_4 – масса нефти, поглощенная сорбентом, г;

m_3 – масса навески сорбента, г.

Результаты исследования и их обсуждение

Как видно в описанных методиках 1–3, во всех проведенных экспериментах массу сорбента с поглощенным нефтепродуктом фиксировали ежеминутно до установления постоянной массы, сведя к минимуму воздействие на объект. Это позволяет сравнивать результаты измерения, в том случае, если строго указан интервал времени истечения излишков нефтепродукта.

Таблица 4

Результаты измерений нефтеемкости (г/г) с использованием разных методик

Объект	Дизельное топливо				
	Методика				
	1	2	3	4	5
Опилки (россыпь)		1,659/1,592*			1,620
Уголь (порошок)		1,330/1,282			1,265
ПЭ волокно	22,88/20,52		6,87/2,76	8,70	
Объект	Моторное масло				
	Методика				
	1	2	3	4	5
Опилки (россыпь)		2,266/2,008			1,831
Уголь (порошок)		1,996/1,618			1,245
ПЭ волокно	34,97/20,93		35,02/11,39	28,56	

Примечание. *Через косую черту приведены значения нефтеемкости в начальный момент времени (через 30 с после извлечения из НП) и после установления постоянной массы.

Методика 3 была использована для того, чтобы нейтрализовать влияние чисто механического удерживания НП в сетке-ловушке после того, как было отмечено, что после установления постоянной массы при наклоне сетки происходит резкое изменение массы НП, за счет жидкости, которая скопилась на дне, но не может вытечь из-за плотного слоя полимера. Так, при экспериментах с ДТ масса НП с 20,52 г уменьшилась до 14,79 г. Методика 5 выбрана для сравнения как имеющая максимальное влияние трудно учитываемого фактора – личной оценки экспериментатора о степени насыщения сорбента.

Анализируя полученные результаты для всех сорбентов (табл. 4), видно, что значение нефтеемкости действительно зависит от выбранной методики определения. Отклонения в значении нефтеемкости для одного и того же вида дисперсного сорбента (опилки, уголь) составляет 1,3–5,1% по дизельному топливу, но уже 9,7–60,3% по маслу моторному. Для волокнистого сорбента и по ДТ, и по маслу моторному отклонения еще более значительные.

Основная методологическая проблема определения нефтеемкости заключается не только в том, чтобы установить массу НП, которую способен удержать 1 г сорбента, без учета НП, удерживаемого посудой, оборудованием или чисто механически за счет невозможности стока, но и установить влияние времени выдерживания сорбента в НП, времени свободного истечения излишков НП (до взвешивания), а также природы (состава) НП или его свойств. Очевидно, что решение этой проблемы в ближайшее время невозможно из-за большого числа факторов, влияющих на значение нефтеемкости. С 1 апреля 2017 г. в РФ вступили в силу два ГОСТ, в которых приведены методы испытаний адсорбентов и абсорбентов для нефтепродуктов. ГОСТ 33622-2015 [28], идентичный ASTM F 716-09, устанавливает методы испытания, расширяющие набор лабораторных методов, предназначенных для определения характеристик материалов, абсорбирующих нефтепродукты и другие жидкости из воды. ГОСТ 33627-2015 [29], идентичный ASTM F 726-12, устанавливает лабораторные методы определения характеристик адсорбентов, предназначенных для удаления с поверхности воды неэмульгированных масел и других не смешивающихся с водой и плавающих на её поверхности жидкостей. Наличие стандартных методик, возможно, улучшит ситуацию с заявляемыми производителями значениями нефтеемкости.

Выводы

1. Методика определения нефтеемкости сорбента влияет на значение получаемой величины. Отличия могут составлять от нескольких до сотен процентов. Недостоверное значение нефтеемкости затрудняет или делает невозможным адекватный расчет запаса сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на предприятиях, производственный цикл которых связан с опасностью загрязнения водных объектов.

2. В исследовательской практике при изучении свойств нефтесорбентов следует максимально использовать методики испытаний, рекомендованных ГОСТ 33622-2015 и ГОСТ 33627-2015, либо представлять результаты испытаний, позволяющие их интерпретировать и пересчитывать для сравнения нефтеемкости различных сорбентов между собой.

Список литературы / References

1. Investing.com: News of futures and commodity markets [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://investing.com/> (дата обращения: 14.08.2018).

2. Vikas M., Dwarakish G.S. Coastal Pollution: A Review. *Aquatic Procedia*. 2015. № 4. P. 381–388.

3. Al-Majed A.A., Adebayo A.R., Hossain M.E. A sustainable approach to controlling oil spills. *Journal of Environmental Management*. 2012. № 113. P. 213–227.

4. Постановление Правительства РФ от 21 августа 2000 г. № 613 «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» // Собрание законодательства. 2000. № 35.

The resolution of the Government of the Russian Federation of August 21, 2000 No. 613 «About urgent measures for prevention and elimination of emergency oil spills and oil products» // Collection of the legislation. 2000. № 35 (in Russian).

5. Постановление Правительства РФ от 14 ноября 2014 г. № 1189 «Об организации предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации» // Собрание законодательства. 2014. № 47. Ст. 6549.

The resolution of the Government of the Russian Federation of November 14, 2014 No 1189 «About the organization of prevention and elimination of oil spills and oil products on the continental shelf of the Russian Federation, in internal sea waters, in the territorial sea and a contiguous zone of the Russian Federation» // Collection of the legislation. 2014. № 47. Art. 6549 (in Russian).

6. Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2002 г. № 240 «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации» // Собрание законодательства. 2002. № 16.

The resolution of the Government of the Russian Federation of April 15, 2002 No. 240 «About an order of organization of events according to prevention and elimination of oil spills and oil products in the territory of the Russian Federation» // Collection of the legislation. 2002. № 16 (in Russian).

7. Сироткина Е.Е., Новоселова Л.Ю. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13. № 3. С. 359–377.

Sirotkina E.E., Novoselova L.Yu. Materials for the adsorptive water purification from oil and oil products // Chemistry

- for the benefit of sustainable development. 2005. T. 13. № 3. P. 359–377 (in Russian).
8. Zhou Y., Zhang L., Cheng Z. Removal of organic pollutants from aqueous solution using agricultural wastes: A review. *Journal of Molecular Liquids*. 2015. № 212. P. 739–762.
9. Ifelebuegu A.O., Anh Nguyen T.V., Ukotije-Ikwut P., Momoh Z. Liquid-phase sorption characteristics of human hair as a natural oil spill sorbent. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2015. № 3(2). P. 938–943.
10. Terra Экология: Сорбент «ПРОФСОРБ ЭКО» для сбора нефтепродуктов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.terra-ecology.ru/> (дата обращения: 14.08.2018).
- Terra Ecology: A sorbent of «PROFSORB EKO» for collecting oil products [An electronic resource]. Access mode: <http://www.terra-ecology.ru/> (date of the address: 14.08.2018) (in Russian).
11. Экосорб. Научно-производственная фирма: Сорбирующий материал «Экосорб» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecosorb.ru/> (дата обращения: 14.08.2018).
- Ekosorb. Scientific and production firm: The occluding material «Ekosorb» [An electronic resource]. Access mode: <http://www.ecosorb.ru/> (date of the address: 14.08.18) (in Russian).
12. Ирвелен-М: Фильтрующий материал Ирвелен-М [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://irvelen.com> (дата обращения: 14.08.18).
- Irvelen-M: The filtering material Irvelen-M [An electronic resource]. Access mode: <https://irvelen.com> (date of the address: 14.08.2018) (in Russian).
13. ООО «ЛАРН 32»: Сорбирующие изделия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.larn32.ru/catalog/detail163.htm> (дата обращения: 14.08.2018).
- LLC LARN 32: The occluding products [An electronic resource]. Access mode: <http://www.larn32.ru/catalog/detail163.htm> (date of the address: 14.08.2018) (in Russian).
14. Экосорб. Научно-производственная фирма: Сорбент «Унисорб» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ecosorb.ru/> (дата обращения: 14.08.2018).
- Экосорб. Scientific and production firm: Sorbent of «Unisorb» [An electronic resource]. Access mode: <http://www.ecosorb.ru/> (date of the address: 14.08.2018) (in Russian).
15. Мерциди И.А., Шлапаков А.В. Критерии выбора нефтяного сорбента для локализации аварийных разливов нефти на поверхности // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2007. № 4. С. 52–57.
- Meritsidi I.A., Shlapakov A.V. Criteria of the choice of an oil sorbent for localization of emergency oil spills on a surface // *Quality management in an oil and gas complex*. 2007. No. 4. P. 52–57 (in Russian).
16. Мхитаров Р.А. Сорбирующие средства ЛАРН на основе нанотехнологий [Электронный ресурс] // ООО Экосорбер сайт. – Режим доступа: http://www.ecosorber.ru/List38_15.aspx (дата обращения: 14.08.18).
- Mkhitarov R.A. The occluding means LARNE on the basis of nanotechnologies [An electronic resource] // LLC Ekosorber the website. Access mode: http://www.ecosorber.ru/List38_15.aspx (date of the address: 14.08.18) (in Russian).
17. Приказ Министерства природных ресурсов от 03 марта 2003 года № 156 «Об утверждении указаний по определению нижнего уровня разлива нефти и нефтепродуктов для отнесения аварийного разлива к чрезвычайной ситуации» // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2003. № 29.
- The order of the Ministry of natural resources of March 03, 2003 No. 156 «About the approval of instructions by determination of the lower level of oil spill and oil products for reference of an emergency flood to emergency situation» // *Bulletin of regulations of federal executive authorities*. 2003. № 29 (in Russian).
18. ГОСТ 4453-74. Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1993. 23 с.
19. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. С. 265–267.
- Kamenshchikov F.A., Bogomolny E.I. Oil sorbents. M.: Regular and chaotic dynamics, 2005. P. 265–267 (in Russian).
20. Телушкина Т.Ю., Медведев А.В. Фракционный состав и нефтеемкость глауконитового песка // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию ТИИ-ТюмГНГУ. Тюмень: ТИУ, 2013. С. 69–71.
- Telushkina T.Yu., Medvedev A.V. Fractional composition and oil capacity of glaukonitovy sand // *New technologies – to the oil and gas region: Materials of the All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists devoted to the 50 anniversary of TII-TSOGU*. Tyumen: TIU, 2013. P. 69–71 (in Russian).
21. Денисова Т.Р., Шайхиев И.Г., Сиппель И.Я., Кузнецова Н.П., Мубаракшина А.Ю. Влияние кислотной обработки опилок липы на нефтеемкость // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 20. С. 275–277.
- Denisova T. R., Shaykhiyev I.G., Sippel I.Ya., Kuznetsova N.P., Mubarakshina A.Yu. Influence of acid processing of sawdust of a linden on oil capacity // *Bulletin of the Kazan technological university*. 2015. No. 20. P. 275–277 (in Russian).
22. Грузинова В.Л., Романовский В.И. Сорбционные свойства и эксплуатационные характеристики угольных волокнистых материалов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2015. № 16. С. 141–145.
- Gruzinova V.L., Romanovsky V.I. Sorption properties and operational characteristics of coal fibrous materials // *Bulletin of the Polotsk state university. Series F. Construction. Applied sciences*. 2015. No. 16. P. 141–145 (in Russian).
23. ПНД Ф 14.1:2:4.128-98. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природной, питьевой и сточной воды флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» (М 01-05-2012). М.: Госкомитет Рос. Федерации по ООС, 2012. 18 с.
24. Евстигнеев В.Д., Графова Е.О. Перспективы применения древесных отходов для обеспечения экологической безопасности лесозаготовительных предприятий // *Resources and Technology*. 2016. № 13(3). С. 63–70.
- Evstigneev V.D., Grafova E.O. Consideration of using wood wastes for environmental compliance on timber procurement enterprise // *Resources and Technology*. 2016. № 13(3). P. 63–70 (in Russian).
25. Цомбуева Б.В. Применение природных материалов в качестве сорбентов для очистки почв от нефтяного загрязнения [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. Режим доступа: www.science-education.ru/120-15695 (дата обращения: 14.08.2018).
- Tsombueva B.V. The Use of Natural Materials as Sorbents for Cleanup of Soils From Oil Pollution // *Modern problems of science and education*. 2014. № 6. Rezhim dostupa: www.science-education.ru/120-15695 (data obrashheniya: 14.08.2018) (in Russian).
26. Заусалина А.В., Валь А.В., Боярко Г.Ю. Сравнительная эффективность сорбентов нефти и нефтепродуктов, используемых в условиях Томской области // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 2. С. 51–55.
- Zausalina A.V., Val' A.V., Boyarko G.Yu. Comparative efficiency of oil and oil products sorbents used in the Tomsk region conditions // *Zashhita okruzhayushhej sredy` v neftegazovom komplekse*. 2015. № 2. P. 51–55 (in Russian).
27. Чухарева Н.В., Шишмина Л.В. Сравнение сорбционных свойств торфа верхового и низинного типов по отношению к товарной нефти и стабильному газовому конденсату // Химия растительного сырья. 2012. № 4. С. 193–200.
- Chukhareva N.V., Shishmina L.V. Low-Moor and Moor Peat Sorption Properties Comparison Relative To Commercial Oil and Stable Gas Condensate // *Chemistry of plant raw material*. 2012. № 4. P. 193–200 (in Russian).
28. ГОСТ 33622-2015. Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов. М.: Изд-во стандартов, 2016. 10 с.
29. ГОСТ 33627-2015. Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов. М.: Изд-во стандартов, 2016. 13 с.