# Advantages and disadvantages of oil sorbents for oil spill response at low temperatures

**Article** · January 2020

DOI: 10.33285/2411-7013-2020-6(297)-55-60



**5 authors**, including:

Elena A. Mazlova
Gubkin Russian State University of Oil and Gas
**40** PUBLICATIONS **118** CITATIONS
SEE PROFILE

Olga Kulikova
Dr. Knoell Consult GmbH
**24** PUBLICATIONS **26** CITATIONS
SEE PROFILE

# СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ВОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

УДК 504.062 DOI: 10.33285/2411-7013-2020-6(297)-55-60

## ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ НЕФТЯНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НА АКВАТОРИИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

**Е.А. Мазлова (д-р техн. наук, профессор), И.А. Мерициди (канд. техн. наук, доцент), Я.Ю. Блиновская (д-р техн. наук, доцент), К.К. Размахнин (канд. техн. наук, доцент), О.А. Куликова (канд. техн. наук, доцент)**

Нефть и нефтепродукты являются важным производственным ресурсом, что обусловливает рост их транспортировки, переработки, увеличение объемов хранения. Однако наряду с высокой экономической значимостью их эксплуатация сопряжена с высокими экологическими угрозами, связанными с разливами. Наиболее резонансными в настоящее время считаются утечки топлива из котельной Примтеплоэнерго в Находке в марте и крупнейшая катастрофа на ТЭЦ-3 в Кайеркане, обслуживающей Норникель, в мае 2020 г. Все это создало колоссальную экологическую угрозу прибрежным, морским и арктическим экосистемам. Экологический ущерб от этих инцидентов огромен и оценивается миллиардами рублей. Хроника ликвидации инцидентов показывает, что важной задачей становится выбор эффективных сил и средств, использование которых целесообразно в соответствии с природно-климатическими условиями, особенно при ликвидации разлива на акватории. В статье среди многообразия способов реагирования выделен и рассмотрен сорбционный, основанный на поглощении и удержании на своей поверхности или внутри разлившегося нефтепродукта. Дана сравнительная характеристика эффективности основных групп сорбентов. С учетом продолжительности холодного периода в различных регионах нашей страны предложен способ оптимального выбора сорбционного материала.

**Ключевые слова:** разлив нефти; сорбент; ликвидация разлива нефти; акватория; эффективность реагирования.

### ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF OIL SORBENTS FOR OIL SPILL RESPONSE AT LOW TEMPERATURES

**E.A. Mazlova, I.A. Meritsidi, Ya.Yu. Blinovskaya, K.K. Razmakhnin, O.A. Kulikova**

Oil and oil products are an important production resource that contributes to the growth of their transportation, processing, and storage volumes increase. However, in addition to their high economic importance, their exploitation entails high environmental threats associated with spills. The currently considered most resonant are black oil spills from the Primteploenergo boiler house in Nakhodka (Primorsky krai) in March, 2020 and the largest disaster at the Kayer-Kan combined heat and power plant serving Norilsk Nickel in May, 2020. All this has created a tremendous ecological threat to marine and Arctic ecosystems. The environmental damage from these incidents is huge and it is estimated at billions of rubles. The chronicle of the incidents elimination shows that an important problem becomes choosing of effective forces and means, the use of which is advisable in accordance with environmental conditions, especially for oil spill response in the water area. Among the variety of reaction methods, the paper considers the sorption one, based on absorption and adsorption of the spilled oil product on its surface. A comparative characteristic of the main sorbent groups' efficiency is given. With account of the cold period duration in various regions of our country, the method of the optimal sorption material selection becomes especially relevant.

**Keywords:** oil spill; sorbent; oil spill response; water area; response effectiveness.

Нефть играет большую роль в экономике многих государств. Вместе с тем при добыче, транспортировке, хранении и переработке нефти и нефтепродуктов нередки аварии, связанные с их разливом. Инциденты происходят регулярно, что обусловливает необходимость обеспечения готовности к чрезвычайным ситуациям. Наибольшее значение приобретает показатель эффективности используемых сил и средств, среди многообразия которых выделяются сорбирующие материалы. В соответствии с действующей нормативно-правовой базой при разработке разрешительной документации обязательной задачей является расчет сил и средств реагирования. При этом для расчета достаточности сорбентов, особенно при их применении на акваториях, руководствуются следующими критериями: нефтеемкостью, влагоемкостью и плавучестью, которые зависят от основы, из которой они изготовлены.

Первоочередная задача, решаемая при выборе сорбирующего материала, – определение коэффициента статической нефтеемкости, используемого как массовый и определяемого как отношение масс поглощенной нефти или нефтепродукта к массе сорбента:

$$K = \frac{M_н}{M_с},$$

где $K$ – коэффициент статической нефтеемкости, кг/кг; $M_н$ – масса сорбированной нефти, кг; $M_с$ – масса сорбента, кг.

Современный мировой рынок сорбентов представлен 155 основными наименованиями, 67 из которых (43 %) имеют органическую и минеральную основы, 88 (57 %) – синтетическую [1, 2]. С целью продвижения сорбентов компании-разработчики регулярно реализуют испытания, в том числе совместные с научно-исследовательскими центрами. Так, одна из крупных программ была проведена в период с 1999 по 2004 г. в рамках программы Environment Canada [1]. Исследования были проведены в соответствии со стандартом ASTMF276-99 по отношению к трем типам нефти/нефтепродуктов: дизельному топливу (легкая нефть/нефтепродукт) и сырым нефтям (средней и тяжелой). Обобщенные результаты эксперимента по определению нефтеемкости основных типов материалов, обладающих сорбирующими свойствами и использованных в данной программе, приведены в табл. 1.

Из литературных источников [2] известно, что сорбирующими свойствами обладает целый спектр материалов, используемых в иных производствах и/или являющихся отходами. Проведенные эксперименты показали их емкость в отношении нефти (табл. 2). При этом некоторые материалы обладают исключительными характеристиками.

Анализ данных, представленных в табл. 1 и 2, показывает, что сорбенты из необработанных природных материалов значительно уступают неорганическим и синтетическим. Последние, помимо достаточно высокой емкости, имеют также преимущество в виде многократного использования. Важными преимуществами неорганических сорбентов являются отсутствие токсичности по отношению к окружающей среде, а также высокая термостойкость, что снижает риск возникновения пожара пролива. В табл. 3 представлены сводные результаты эффективности сорбентов, из которой видно, что по совокупности критериев выделяются синтетические сорбенты, однако в зависимости от конкретных природно-климатических условий и состояния нефтепродукта некоторые показатели могут быть скорректированы.

Таблица 1

**Результаты изучения данных по нефтеемкости сорбентов [1]**

| Категория нефти по стандарту ASTMF276 | Коэффициент статической нефтеемкости К | | |
|---|---|---|---|
| | низкий (< 5 кг/кг) | средний (5…10 кг/кг) | высокий (>10 кг/кг) |
| Легкая | Глина, пробка, волосы, торф, каучук, вермикулит | Целлюлоза, древесина, полиуретан | Хлопок, аминопластовый полимер, полипропилен |
| Средняя | Глина, хлопок, торф, каучук, вермикулит | Целлюлоза, пробка, волосы, древесина, полиуретан | Шерсть, аминопластовый полимер, полипропилен |
| Тяжелая | Глина, торф, каучук, вермикулит | Хлопок | Полиуретан |

Таблица 2

**Результаты изучения данных по нефтеемкости сорбентов с учетом плотности нефти по стандарту ASTMF276 [2]**

| Категория нефти по стандарту ASTMF276 | Коэффициент статической нефтеемкости К | | | |
|---|---|---|---|---|
| | низкий (< 5 кг/кг) | средний (5…10 кг/кг) | высокий (> 10 кг/кг) | Исключительный (> 50 кг/кг) |
| Легкая | Жом, бентонит, зольная пыль, листва, перлит, рис, опилки, губка, ореховая шелуха, цеолит, вермикулит модифицированный | Целлюлоза, кокосовое волокно, рис, биомасса сальвинии, сизаль, опилки, шерсть, опилки модифицированные | Хлопок, капок, молочный сорняк, бутилкаучук, углеродное волокно, торф (карбонизированный), полипропилен | Электроспунтированные ПВХ/ПС волокна, терморасщепленный графит |
| Средняя | Ореховая шелуха | Полипропилен | Хлопок, капок, биомасса сальвинии, шерсть, бутилкаучук, полипропилен | Капок, шелковый кокон, питсорб (карбонизированный), электроспунтированные ПВХ/ПС волокна, электроспунтированное PS-волокно, терморасщепленный графит, полиуретановая пена |
| Тяжелая | Цеолит, вермикулит модифицированный | Хлопок | Молочный сорняк, полипропилен | Терморасщепленный графит |

Таблица 3

**Сравнительная характеристика эффективности основных групп сорбентов**

| Параметр | Сорбенты | | |
|---|---|---|---|
| | Синтетические | Органические | Минеральные |
| Нефтеемкость | +++ | + | ++ |
| Регенерация | +++ | + | + |
| Токсичность | + | ++ | +++ |
| Термостойкость | + | + | +++ |
| Насыпная плотность | + | ++ | + |
| Плавучесть | +++ | ++ | + |
| Гидрофобность | +++ | + | ++ |

Примечание. + – низкая, ++ – средняя, +++ – высокая.

Таблица 4

**Наиболее распространенные сорбенты, используемые АСФ при ликвидации разливов**

| Синтетические | Органические | Минеральные |
|---|---|---|
| ФС-7 | Сорбойл | С-Верад |
| БТИ-1 | Белнефтесорб-экстра | НЕС-1 |
| Униполимер | НСТ | НЕСп-2 |
| Уремикс | Сибсорбент-1 | Биосорб |
| Sosystem | Пенопурм | Лидиойл |
| Мегасорб | Лесорб | СТРГ |
| Сормат | БТК-1 | УСВР |
| Мультис | ВЭС-1 | Петросорб |

Таблица 5

**Оценка нефтеемкости некоторых сорбентов при различных температурах**

| Сорбент | Нефтеемкость, г/г | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Дизельное топливо | | Мазут | | Паспортная характеристика |
| | 23 °С | –1 °С | 23 °С | –1 °С | |
| Лесорб | 6,5 | 5,6 | 3,5 | 2,7 | 10 |
| НСТ | 6,5 | 3,4 | 3,1 | 2,7 | 7 |
| Биосорб | 3,5 | 2,9 | 3,4 | 2,3 | 6 |
| СТРГ | 65 | 24 | 45 | 18 | 50 |
| Sosystem | 26 | 20 | 21 | 19 | 25 |

Таблица 6

**Результаты оценки нефтеемкости цеолитов**

| Образец / месторождение | Размер частиц, мм | Нефтеемкость, г/г |
|---|---|---|
| $Ш_1$/Шивыртуйское | 2 ± 1 | 2,54 |
| $Ш_2$/Шивыртуйское | 1 ± 0,5 | 2,28 |
| $Т_1$/Талан-Гозагорское | 2 ± 1 | 2,34 |
| $Т_2$/Талан-Гозагорское | 1 ± 0,5 | 1,94 |
| И/Иранское | 2 ± 1 | 2,84 |

Анализ российского рынка сорбирующих материалов позволил выделить наиболее популярные сорбенты, используемые аварийно-спасательными формированиями (АСФ) (табл. 4).

Хроника ликвидации инцидентов показывает, что важной задачей становится выбор эффективных сил и средств, использование которых целесообразно в соответствии с природно-климатическими условиями, особенно при ликвидации разлива на акватории. А учитывая продолжительность холодного периода в различных регионах нашей страны, эффективный выбор материала становится особенно актуальным. Поэтому были проведены опыты с некоторыми из представленных в табл. 4 сорбентов в условиях различных температур морской воды [3, 4]. В качестве сорбата использованы дизельное топливо и мазут. Результаты натурных экспериментов показали, что сорбционные характеристики материалов существенно отличаются (табл. 5). Наилучшие показатели у сыпучего сорбента СТРГ (терморасщепленный графит) и полиэфирного волокна Sosystem. При этом для сорбции легких нефтепродуктов при высоких температурах экспериментальные данные превышают паспортные, что следует учитывать при расчете достаточности сил и средств при разработке планов ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов.

Как показывают исследования [4], для получения сорбентов с максимальной нефтеемкостью необходимо обеспечить в сорбенте максимальную пористость или при максимальной степени заполнения пор – его минимальную объемную массу. Производители, как правило, не приводят такие данные. Требуются дополнительные исследования, которые необходимы потребителям, так как сорбенты, имеющие хорошие показатели на легких нефтях, могут не работать на тяжелых. Также необходимо отметить, что некорректные данные по нефтеемкости и плотности сорбирующих материалов могут привести к искажению результатов достаточности ресурсов. В этой связи эксперименты, проводимые для конкретных внешних условий, становятся все более актуальными.

Одним из важных критериев при выборе сорбента является и экономический показатель, в этой связи значительной популярностью пользуются отходы производства. Так, отходы злаковых культур (гречихи, риса и т. д.) успешно используются для ликвидации разливов нефтепродуктов. Экологичность, доступность, эффективность, невысокая стоимость, плавучесть делают их эффективными для сбора нефти на водных поверхностях. Также достаточно высокую сорбционную способность проявляют некоторые отходы горнорудного производства, среди которых выделяются цеолиты [5]. Проведенные эксперименты с цеолитами Забайкалья и Ирана (табл. 6) показали перспективность их применения для сбора тяжелых нефтей (мазут). Размер фракции также оказывает влияние на сорбционные характеристики, что объясняется геометрией частиц и может быть использовано при подготовке материалов для практического применения.

Также значимым параметром, особенно в современных условиях экономического кризиса, является критерий "цена / нефтеемкость". Исследования, проведенные в работах [6], показали, что чем ниже значение коэффициента массовой нефтеемкости, тем выше экономическая эффективность сорбента. Традиционно ее расчет производится по формуле

$$T = \frac{C}{K},$$

где $C$ – стоимость сорбента, руб/кг; $K$ – коэффициент нефтеемкости сорбента, кг/кг.

В табл. 7 приведены результаты сравнительного анализа по критерию экономической эффективности для некоторых типов материала.

Однако данный критерий может служить только для сравнения разных марок сорбентов по условиям их закупки, но для оценки их достаточности в реальных условиях разлива – не пригоден, в каждой конкретной ситуации требуется учет дополнительных факторов, характеризующих условия разлива, соответственно, требуется учет и других признаков эффективности, таких как плавучесть, влагоемкость и т. д.

Таблица 7

**Результаты расчетов критериев экономической эффективности**

| Сорбент | Сорбционная емкость, г/г | Количество сорбента, необходимого для сбора 1 т нефти, кг | Цена сорбента, руб/кг | Затраты для сбора 1 т нефти, тыс. руб/т |
|---|---|---|---|---|
| Лессорб | 8...10 | 100 | 98 | 9,8 |
| Новосорб | 3...5 | 300 | 120 | 36 |
| Униполимер | 25...30 | 40 | 240 | 9,6 |
| СТРГ | 35...40 | 20 | 360 | 7,2 |
| НЕС | 3...4 | 300 | 100 | 30 |
| УСВР | 40...50 | 25 | 280 | 7 |

Анализ литературных данных и опыт ликвидации разливов нефти [7, 8] показали, что важными показателями являются способы нанесения и последующего сбора сорбентов. Это особенно актуально для сыпучих материалов. Так, помимо традиционного способа нанесения материала на пятно, особенно в труднодоступных местах, используется авиатранспорт. При невозможности нанесения сорбента непосредственно на пятно, например в сложных навигационных условиях, сорбент распределяется перед пятном и вместе с ордером боновых заграждений направляется навстречу пятну. Для защиты прибрежной растительности и береговой полосы сорбент наносится вдоль береговой линии в зоне заплеска до момента выброса на нее нефтепродукта. При установке каскада бонов, а также при активной гидродинамической нагрузке для уменьшения проскальзывания нефти под боновыми заграждениями также наносится сорбент. При этом создается дополнительное препятствие для движения нефти, а сорбированная нефть получает повышенную плавучесть, что препятствует ее погружению. В этом случае следует рассчитывать время смены насыщенного сорбента, которое зависит не только от его емкости, но и плавучести.

Для эффективного проведения перечисленных операций основными свойствами, необходимыми для адсорбента, являются:

- достаточная простота нанесения на большие площади акваторий и равномерное его распределение по ней;
- высокая плавучесть сорбента как в насыщенном состоянии, так и без;
- возможность сорбции нефтепродуктов во влажном состоянии и минимальное водопоглощение.

При разработке и планировании операций ЛРН на акваториях особое значение имеют корректные данные по выбору необходимого количества сорбента, которое определяется по формуле:

$$M_{\text{с}} = (1,2M_{\text{н}} \cdot 0,02) / K,$$

где 1, 2 – коэффициент запаса сорбента; 0,02 – коэффициент, обусловленный тем, что считается, что 2 % нефти собирается сорбентом.

Использование статического коэффициента в данной формуле приводит к достаточно большому расхождению между фактически необходимым количеством сорбента и расчетным. В работах [4, 9, 10] для определения комплексной нефтеемкости, близкой к фактической, учитывающей влияния факторов окружающей среды, физико-химических свойств нефтяного загрязнения, влагоемкости, толщины пленки нефти и т. д., предлагается использовать значение комплексной нефтеемкости

$$K_{\text{К}} = KK_V K_T K_S K_t K_h,$$

где $K_V$ –коэффициент влияния влагоемкости; $K_T$ – коэффициент влияния температуры; $K_S$ – коэффициент влияния на нефтеемкость солености акватории; $K_t$ – коэффициент влияния на нефтеемкость времени контакта сорбента с нефтяным загрязнением; $K_h$ – коэффициент влияния толщины пятна на нефтеемкость, который не может быть больше 1.

Коэффициент влияния влагоемкости определяется по формуле

$$K_V = (1 - A_V / K),$$

где $A_V$ – влагоемкость сорбента – масса влаги, поглощаемой единицей массы исходного сорбента, зависит от гидрофобности и косвенно от степени плавучести сорбента; $K$ – коэффициент статической нефтеемкости, полученный при $T$ = 20 °С, в слое нефти, при сорбции толстой пленки (больше размера гранул сорбента), времени контакта с нефтяным загрязнением, сопоставимым с временем насыщения, для определенного типа нефтяного загрязнения (легкого, среднего, тяжелого в соответствии со стандартом ASTM F276-99).

Коэффициент влияния температуры

$$K_T = K_{1T} / K,$$

где $K_{1T}$ – коэффициент статической нефтеемкости, полученный при $T$, отличной от 20 °С.

Коэффициент влияния солености

$$K_S = K_{1S} / K,$$

где $K_{1S}$ – коэффициент статической нефтеемкости, полученный при различной солености.

Для определения влияния времени контакта сорбента нефтяных загрязнений используют формулу

$$K_t = K_{1t} / K,$$

где $K_{1t}$ – коэффициент статической нефтеемкости, полученный при различном времени контакта сорбента с нефтяным загрязнением.

Для тонких нефтяных пленок коэффициент нефтеемкости определяется

$$K_h = K_{1h} / K,$$

где $K_{1h}$ – нефтеемкость сорбента на тонких нефтяных пленках на водной поверхности с учетом водопоглощения (динамическая), кг нефти/кг сорбента, определяемая как:

$$K_{1h} = \zeta_c \rho_n h_n,$$

где $\zeta_c$ – коэффициент растекаемости сорбента, м$^2$/кг сорбента, показывает на какую площадь распределяется 1 кг сорбента по поверхности воды (индивидуален для каждого типа сорбента); $\rho_n$ – плотность разлитой нефти, кг/м$^3$; $h_n$– толщина нефтяного загрязнения на водной поверхности, мм.

Таблица 8

**Сравнительный анализ наиболее популярных марок сорбентов по показателям экономической и экологической эффективности**

| Сорбент | Расход на 1 т нефти | | Скорость поглощения, мин | Гарантийный срок хранения,год | Температурный режим, °С | Класс опасности | Уровень сложности извлечения сорбента | Условия хранения | Степень простоты применения |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | кг | тыс. руб. | | | | | | | |
| Белнефтесорб-Экстра | 420 | 18,6 | 30 | 2 | 0...35 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| Биосорб | 170 | 17,5 | 30 | 2 | 3...40 | 4 | 2 | 1 | 3 |
| БТИ-1 | 300 | 69,3 | 30 | 2 | 5...40 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| Лессорб-Экстра | 96 | 9,4 | 30 | 1 | –5...50 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| Лессорб-Экстра термообработанный | 100 | 11,3 | 30 | 1 | –5...50 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| Мегасорб | 85 | 89,76 | 5 | 3 | 4...50 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Мульти-С | 556 | 330,67 | 4 | 3 | –70...160 | 5 | 3 | 3 | 1 |
| Мульти-С1 | 556 | 330,98 | 4 | 3 | –70...160 | 5 | 3 | 3 | 1 |
| Мульти-С1М | 534 | 280,62 | 4 | 3 | –70...160 | 5 | 3 | 3 | 1 |
| НЕСп-1 | 129 | 15,9 | 30 | 1 | 3...40 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| НЕС | 180 | 25,3 | 30 | 2 | 5...40 | 4 | 2 | 1 | 3 |
| Петросорб | 144 | 16,56 | 5 | 1 | 0...100 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| СТРГ | 26 | 10,864 | 5 | 1 | –25...300 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| С-Верад | 200 | 11 | 30 | 1 | –15...50 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| Сорбойл | 500 | 75,2 | 30 | 2 | –4...35 | 4 | 2 | 2 | 3 |
| Сибсорбент | 250 | 16,5 | 30 | 2 | 5...40 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| УСВР | 25 | 11,55 | 5 | 1 | –15...100 | 4 | 1 | 1 | 3 |
| Униполимер СТРГ | 213 | 10,44 | 10 | 3...6 мес | –15...50 | 4 | 3 | 3 | 1 |
| Униполимер-М | 230 | 7,590 | 10 | 3...6 мес | –15...50 | 4 | 3 | 3 | 1 |
| Униполимер-Био | 210 | 18,9 | 20 | 3...6 мес | 5...50 | 4 | 3 | 3 | 1 |
| Уреникс-013 | 40 | 34,32 | 5 | 10 | –5...40 | 4 | 3 | 3 | 1 |

Примечание. Экологичность утилизации отработанных сорбентов равна 1.

В табл. 8 представлены результаты анализа по основным показателям, определяющим комплексную эффективность наиболее популярных марок сорбентов, перечень которых представлен выше, по техническим характеристикам производителя.

**Экологичность утилизации** сорбента определяется по трем категориям:

1 – утилизация только сжиганием или захоронением;

2 – саморазложение на компоненты;

3 – применение в качестве сырья, продукции.

**Экологичность сырья** определяется по двум категориям:

1 – неэкологичное, являющееся полезным ископаемым, химическим соединением;

2 – экологичное, являющееся продуктом, полученным в результате производства основной продукции (производное производства), активные культуры бактерий, способных окислять нефтепродукты.

**Условия хранения сорбента** определяются как хранение

1 – в темном, проветриваемом, сухом помещении при температуре от 0 до 15 °С;

2 – в темном сухом, проветриваемом помещении;

3 – в темном, проветриваемом помещении.

Показатели по **уровню сложности извлечения сорбента** с обрабатываемой поверхности определяются в соответствии с категориями, где категория характеризует:

1 – сложность извлечения, в особенности с земли, плохие показатели по плавучести в течение продолжительного времени;

2 – сложность извлечения, в особенности с земли;

3 – простоту извлечения;

4 – отсутствие необходимости извлечения сорбента из-за полного его разложения.

Степень **простоты применения** устанавливается по трем категориям:

1 – простота нанесения и извлечения;

2 – необходимость в специальном устройстве для нанесения и не требует извлечения;

3 – сложность нанесения и извлечения.

Таким образом, в ходе экспериментов установлено, что технические параметры некоторых сорбентов не соответствуют натурным условиям, что, с одной стороны, расширяет возможности применения сорбентов, в том числе являющихся отходами иных производств, с другой стороны, является основанием для корректировки технических паспортов сорбентов, выбора их оптимального количества и способа нанесения при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов при различных природно-географических и навигационно-гидродинамических условиях.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о необходимости более тщательного подхода к выбору адсорбентов, включаемых в планы ЛАРН предприятиями ТЭК, показать влияние многочисленных свойств сорбирующих материалов на эффективность сбора нефти с поверхности водных объектов. На основе проведенных исследований можно утверждать, что работа в разных климатических условиях морских водоемов и суши, наличие устройств нанесения сорбентов на пятно нефти и др. – являются опре-

деляющими факторами для расчета количества и вида сорбентов, закупаемых компаниями для незамедлительного реагирования на аварию.

*ЛИТЕРАТУРА*

*1. Sorbent Technology Databases. – URL: http://www.etc-cte.ec.gc.ca/databases/sorbent/default.aspx (дата обращения 03.08.2020).*
*2. World catalogue of oil spill response products. – URL: https://www.oilspillequipment.com/archival-datasheets.php (дата обращения 03.08.2020).*
*3. Куликова О.А., Мазлова Е.А. Изучение эксплуатационных характеристик синтетического сорбирующего материала для локализации и ликвидации нефтяных загрязнений // Промышленный сервис. – 2017. – № 3 (64). – С. 44–48.*
*4. Мерициди И.И., Шотиди К.Х., Мерициди И.А. Расчет достаточности сорбционных средств при операциях по локализации и ликвидации разливов нефти при авариях на морских трубопроводах // Магистральные и промысловые трубопроводы: проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт: науч.-техн. сб. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. – № 2. – С. 24–30.*
*5. Блиновская Я.Ю., Размахнин К.К., Зацепина П.П. Перспективы использования сыпучих сорбентов для ликвидации разливов тяжелых нефтепродуктов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2017. – № 2. – С. 30–32.*
*6. Мерициди И.А., Шлапаков А.В. Критерии выбора нефтяного сорбента для локализации аварийных разливов нефти на поверхности водоемов // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2007. – № 4. – С. 52–57.*
*7. Техника и технология локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: справ. / под ред. И.А. Мерициди, В.Н. Ивановского, А.Н. Прохорова [и др.]. – СПб.: Профессионал, 2008. – 819 с.*
*8. Мерициди И.А., Шлапаков А.В. Выбор технологии и технических средств локализации разливов нефти и нефтепродуктов на акваториях // Изв. вузов. Нефть и газ. – 2010. – № 1. – С. 116–122.*
*9. Нефтеемкость сорбента: проблема выбора методики определения / Л.А. Лим, В.А. Реутов, А.А. Руденко, А.С. Чудовский // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 10. – С. 144–150.*
*10. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта. – М.: Ин-т компьютер. исслед.; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2006. – 528 с.*

*LITERATURA*

*1. Sorbent Technology Databases. – URL: http://www.etc-cte.ec.gc.ca/databases/sorbent/default.aspx (data obrashcheniya 03.08.2020).*
*2. World catalogue of oil spill response products. – URL: https://www.oilspillequipment.com/archival-datasheets.php (data obrashcheniya 03.08.2020).*
*3. Kulikova O.A., Mazlova E.A. Izuchenie ekspluatatsionnykh kharakteristik sinteticheskogo sorbiruyushchego materiala dlya lokalizatsii i likvidatsii neftyanykh zagryazneniy // Promyshlennyy servis. – 2017. – № 3 (64). – S. 44–48.*
*4. Meritsidi I.I., Shotidi K.Kh., Meritsidi I.A. Raschet dostatochnosti sorbtsionnykh sredstv pri operatsiyakh po lokalizatsii i likvidatsii razlivov nefti pri avariyakh na morskikh truboprovodakh // Magistral'nye i promyslovye truboprovody: proektirovanie, stroitel'stvo, ekspluatatsiya, remont: nauch.-tekhn. sb. – M.: RGU nefti i gaza (NIU) imeni I.M. Gubkina, 2019. – № 2. – S. 24–30*
*5. Blinovskaya Ya.Yu., Razmakhnin K.K., Zatsepina P.P. Perspektivy ispol'zovaniya sypuchikh sorbentov dlya likvidatsii razlivov tyazhelykh nefteproduktov // Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse. – 2017. – № 2. – S. 30–32.*
*6. Meritsidi I.A., Shlapakov A.V. Kriterii vybora neftyanogo sorbenta dlya lokalizatsii avariynykh razlivov nefti na poverkhnosti vodoemov // Upravlenie kachestvom v neftegazovom komplekse. – 2007. – № 4. – S. 52–57.*
*7. Tekhnika i tekhnologiya lokalizatsii i likvidatsii avariynykh razlivov nefti i nefteproduktov: sprav. / pod red. I.A. Meritsidi, V.N. Ivanovskogo, A.N. Prokhorova [i dr.]. – SPb.: Professional, 2008. – 819 s.*
*8. Meritsidi I.A., Shlapakov A.V. Vybor tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv lokalizatsii razlivov nefti i nefteproduktov na akvatoriyakh // Izv. vuzov. Neft' i gaz. – 2010. – № 1. – S. 116–122.*
*9. Nefteemkost' sorbenta: problema vybora metodiki opredeleniya / L.A. Lim, V.A. Reutov, A.A. Rudenko, A.S. Chudovskiy // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. – 2018. – № 10. – S. 144–150.*
*10. Kamenshchikov F.A., Bogomol'nyy E.I. Udalenie nefteproduktov s vodnoy poverkhnosti i grunta. – M.: In-t komp'yuter. issled.; Izhevsk: Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika, 2006. – 528 s.*

**Елена Алексеевна Мазлова,**
**Ираклий Аврамович Мерициди,**
**Ольга Алексеевна Куликова**

**РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина**
119991, Россия, г. Москва, Ленинский просп., 65.
E-mail: mazlovaea@gmail.com;

**Яна Юрьевна Блиновская**

**ФГАОУ ВО "Дальневосточный федеральный университет"**
690950, Россия, г. Владивосток, ул. Суханова, 8.
E-mail: blinovskaya@hotmail.com;

**Константин Константинович Размахнин**

**Читинский филиал Института горного дела СО РАН**
672039, Россия, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30.
E-mail: constantin-const@mail.ru

**Elena Alekseevna Mazlova,**
**Irakliy Avramovich Meritsidi,**
**Olga Alekseevna Kulikova**

**National University of Oil and Gas "Gubkin University"**
65, Leninsky prosp., Moscow, 119991, Russia.
E-mail: mazlovaea@gmail.com;

**Yana Yurievna Blinovskaya**

**FGAOU VO "Far Eastern Federal University"**
8, Sukhanova str., Vladivostok, 690950, Russia.
E-mail: blinovskaya@hotmail.com;

**Konstantin Konstantinovich Razmakhnin**

**The mining institute Russian Academy of science Siberian branch (Chita branch)**
30, Alexandro-Zavodskaya str., Chita, 672039, Russia.
E-mail: constantin-const@mail.ru