

Изучение возможности использования композиционных сорбентов для очистки вод от нефтепродуктов при пониженных температурах

© 2026. Е. А. Татаринцева¹, к. т. н., доцент,
Л. Н. Ольшанская², д. х. н., профессор,

¹Тольяттинский государственный университет,

445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, д. 14 (центральный кампус),

²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,

410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, д. 77,

e-mail: tatarinceva-elen@mail.ru, ecos123@mail.ru

Освоение нефтяных месторождений в Арктическом регионе связано с высокими рисками загрязнения окружающей природной среды. Увеличение объёмов добычи углеводородов сопровождается обеспокоенностью касательно уровня подготовки к возможным аварийным ситуациям, связанным с утечками нефти. Инфраструктура большинства районов Крайнего Севера не соответствует требованиям для оперативного устранения масштабных загрязнений окружающей среды, возникающих вследствие производственной деятельности нефтяных компаний. Целью работы явилось изучение возможности использования композиционных сорбционных материалов, изготовленных из отходов промышленности, для очистки воды от разливов нефти при температурах от -5 до $+20$ °С. Изучены физико-механические свойства материалов, которые являются важной характеристикой сорбентов: механическая прочность, удельная поверхность, которая составляет от 20 до 35 м²/г, плотность < 1 см³/г, пористость сорбентов, представляющая совокупность макро- и мезопор около 80–90 %. Показано, что предложенные сорбенты обладают гидрофобностью, которая подтверждается высокой величиной краевого угла смачивания (130 – 140°) и хорошей плавучестью в течение 96 ч. Время сорбции нефти с эффективностью очистки более 99,0 % составляет 20 мин. Нефтеёмкость полученных материалов для сбора нефти при пониженных температурах (-5 °С) составляет от 3 до 22 г/г. Получен сорбент с магнитными свойствами за счёт содержания ферритизированного гальваношлама, что значительно упрощает процесс сбора его с поверхности воды. Полученные сорбционные материалы решают проблему не только очистки воды от нефти, но и проблему получения дешёвых сорбентов из отходов промышленности, таких как полиэтилентерефталат, гальваношлам, древесные опилки.

Ключевые слова: сорбент, очистка воды, нефтезагрязнение, оксид графена, полиэтилентерефталат, ферритизированный гальваношлам, магнитосорбент, отходы промышленности.

Study of the possibility of using composite sorbents to purify water from oil products at low temperatures

© 2026. Е. А. Tatarintseva¹ ORCID: 0000-0002-5925-3227[?]

L. N. Olshanskaya² ORCID: 0000-0002-8449-9368[?]

¹Togliatti State University,

14, Belorusskaya St., Togliatti, Russia, 445020,

²Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,

77, Politekhnikeskaya St., Saratov, Russia, 410054,

e-mail: tatarinceva-elen@mail.ru, ecos123@mail.ru

The development of oil fields in the Arctic is associated with high risks of environmental pollution. Increased hydrocarbon production is accompanied by concerns regarding the level of preparedness for potential emergency situations associated with oil spills. The infrastructure in most areas of the Far North does not meet the requirements for the prompt elimination of large-scale environmental pollution arising from oil production activities. The aim of this study was to study the feasibility of using composite sorption materials made from industrial waste to purify water from oil spills at temperatures ranging from -5 to $+20$ °C. We studied the physicochemical properties as the important characteristics of sorbents. Specific surface area of the studied sorbents ranges from 20 to 35 м²/g, density is < 1 см³/g, porosity is approximately 80–90 %, and mechanical strength is high. The proposed sorbents were shown to possess hydrophobic properties, as evidenced by a high contact angle (130° – 140°) and good buoyancy for 96 hours. The oil sorption time with

a purification efficiency exceeding 99.0 % is 20 minutes. The oil absorption capacity of the obtained materials for oil recovery at low temperatures (-5°C) ranges from 3 to 22 g/g. A sorbent with magnetic properties was obtained due to the content of ferritized galvanic sludge, significantly simplifying the process of its collection from the water surface. The obtained sorption materials solve the problem of water purification from oil as well as the problem of producing low-cost sorbents from industrial waste such as polyethylene terephthalate, galvanic sludge, and sawdust.

Keywords: sorbent, water purification, oil pollution, graphene oxide, polyethylene terephthalate, ferritized galvanic sludge, magnetosorbent, industrial waste.

В связи с истощением традиционных нефтяных месторождений, активно развивается нефтедобыча в Арктике, где сосредоточено до 240 млрд т нефти. В суровых условиях арктической добычи и эксплуатации необходимо внедрять передовые технологии не только для извлечения ресурсов, но и для устранения последствий аварий. Продолжительное воздействие низких температур замедляет биологические процессы в водных и почвенных экосистемах. Соответственно, методы предотвращения и ликвидации разливов нефти существенно отличаются от используемых на «традиционных» месторождениях.

Согласно постановлению Правительства РФ от 31.12.2020 № 2451 (с изменениями на 11.12.2023), предприятия, осуществляющие деятельность в области геологического изучения, разведки и добычи углеводородного сырья, а также переработки (производства), транспортировки, хранения, реализации углеводородного сырья и произведённой из него продукции, обязаны иметь финансовое обеспечение для осуществления мероприятий, предусмотренных планом предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов (НП).

Оперативная локализация разливов НП, как показал опыт ликвидации загрязнений в Чёрном море, имеет первостепенное значение из-за огромного вреда окружающей среде.

Для очистки от тонкой нефтяной плёнки применяются физико-химические методы, однако диспергенты, используемые при этом, токсичны для морских организмов и создают «мёртвые зоны». Многие эмульгаторы содержат токсичные ароматические углеводороды, а осевшая на дно нефть уничтожает придонную фауну [1, 2].

Для удаления НП из вод используют разнообразные сорбционные материалы, среди которых особое внимание уделяется плавающим сорбентам. К эффективным видам относятся сорбенты, изготовленные из натуральных компонентов, таких как мох, торф, древесные опилки, солома, шерсть животных, перья птиц и листья деревьев [3, 4] или синтетических веществ, включая резину,

полиуретан, кокс и целлюлозу [5]. Наряду с этим используют карбонатный шлам, отход теплоэлектростанций, модифицированный кремнийорганическими соединениями для повышения сорбционной способности, а также предлагается применение шламов содового производства для ликвидации разливов нефти [6, 7]. Наиболее эффективны углеродные сорбенты, особенно пористые материалы, такие как гидрофобный вспученный перлит, угольные адсорбенты и терморасширенный графит [8]. Широко применяются синтетические сорбенты из полипропиленовых волокон, а также гранулированный полиуретан и другие виды пластиков [9]. В качестве сорбентов могут использоваться отходы различных производств, такие как зола, коксовая мелочь, силикагели и алюмогели, а также отходы деревообработки и целлюлозной промышленности, растительные отходы и рисовая шелуха [10]. Также возможно получение ферромагнитного сорбента из отходов производства неорганических веществ.

Физико-химические методы эффективны только для удаления нефти в виде плавающего слоя. Традиционные технологии очистки вод от нефти и НП многоступенчаты и включают в себя локализацию, сбор, рекультивацию. Эти методы трудоёмки, требуют больших затрат времени и ресурсов и не обеспечивают полной очистки воды от поверхностной, растворённой и эмульгированной нефти.

Целью данной работы являлось исследование эффективности очистки воды от плёнок нефти и нефтепродуктов сорбентами на основе различных промышленных отходов.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны разработанные композиционные сорбционные материалы (КСМ) на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) (сорбент 1) [11], таблетированный сорбционный материал на основе окисленного графита (ОГ) (сорбент 2) [12] и материал с использованием ферритизированного гальваношлама (ФГШ), опилок и парафина (сорбент 3), представляющий

собой смесь магнетитов и ферритов тяжёлых металлов, обладающий магнитными свойствами [13, 14].

Моделирование загрязнения воды проводили путём разлива в пробах модельной морской воды различных количеств нефти (плотность 894 кг/м³, вязкость до 30 мПа·с). Модельную морскую воду готовили, растворяя морскую соль в дистиллированной воде, доводя концентрацию до 32–35 ‰, что характерно для северных морей.

Исследование сорбционной ёмкости материалов проводили при отрицательных и положительных температурах воды. При моделировании разлива нефти и НП на поверхности воды сорбент равномерно распределяли по поверхности нефтяного пятна, сорбцию проводили в течение 30 мин, а затем извлекали его вместе с адсорбированным продуктом и взвешивали.

Измерение массовой концентрации НП выполняли ИК-спектрофотометрическим методом на концентратометре серии КН-3 (ООО СИБЭКОПРИБОР, Россия). Предел допускаемой основной абсолютной погрешности прибора при соблюдении нормальных условий составляет $\pm(0,50+0,05 \cdot C_x)$ мг/дм³ для НП, где C_x – измеряемая величина массовой концентрации НП в экстрагенте (четырёххлористом углеводе).

Плавуемость полученных нефтесорбентов определяли в соответствии с методикой, описанной для нефтяных сорбентов [15].

Результаты по смачиваемости исследуемых сорбционных материалов получены при экспериментальной реализации методики, заключающейся в измерении краевых углов сидящей капли, образуемой на поверхности сорбента [16]. Каплю наносили на уплотнённый слой сорбента, фотографировали и по её профилю определяли величину краевого угла смачивания.

Нефтеёмкость сорбентов определяли стандартным методом по разнице массы сорбента, напитавшегося НП, и чистого сорбента в расчёте на 1 г воздушно-сухого вещества.

Эффективность очистки (Э, %) модельных систем воды исследуемыми сорбентами рассчитывали по формуле:

$$\text{Э} = \frac{C_n - C_p}{C_n} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где C_n – начальная концентрация, мг/дм³; C_p – равновесная концентрация, мг/дм³.

Сорбционную ёмкость материалов (А, мг/г; г/г) определяли по формуле:

$$A = \frac{(C_n - C_p) \cdot V_{p-pa}}{m_{сорб.}}, \quad (2)$$

где C_n – начальная концентрация, мг/дм³; C_p – равновесная концентрация, мг/дм³; V_{p-pa} – объём раствора, дм³; $m_{сорб.}$ – масса сорбента, г.

Все исследования проводили в трёхкратной повторности, что позволило провести статистическую обработку данных, подтвердить достоверность полученных результатов и оценить их точность. В ходе исследований результаты подвергались статистическому анализу с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2010 и встроенного инструмента «Описательная статистика».

Результаты и обсуждение

При авариях на северных месторождениях нефть оказывает значительное негативное воздействие на хрупкую экосистему региона, восстановление которой занимает длительное время. Низкие температуры оказывают двойственное влияние на ликвидацию последствий загрязнений. Преимущества низкой температуры заключаются в том, что повышенная вязкость НП замедляет распространение нефти при утечках, наличие ледяного покрова препятствует распространению нефти.

В качестве недостатков можно отметить замедление биохимического разрушения нефти, образование толстой плёнки на поверхности воды, образование устойчивых эмульсий.

Ключевым фактором успешного устранения аварии становится быстрота реагирования служб экологической защиты.

Кроме того, свойства разных сортов нефти различаются из-за различного содержания тяжёлых и лёгких компонентов, влияющих на физические характеристики продукта. Основными свойствами нефти являются плотность, вязкость, летучесть, температура застывания. Различные составы нефти Арктической зоны России имеют температуру застывания от –30 до –5 °С [17]. Снижение температуры ведёт к уменьшению текучести нефти, однако интенсивность этого процесса варьирует в зависимости от химического состава самой нефти.

Основными свойствами нефтесорбентов являются: сорбционная ёмкость, гидрофобность, плавуемость, механическая прочность, химическая стойкость, экологическая безопасность.

Проведённый анализ свойств полученных на основе ПЭТФ, ОГ и ФГШ с добавлением

Е. А. Татаринцева, Л. Н. Ольшанская
«Изучение возможности использования
композиционных сорбентов для очистки вод
от нефтепродуктов при пониженных температурах». С. 145.



а / а

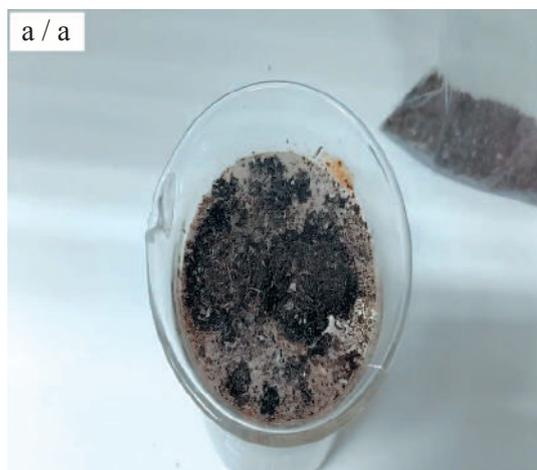


б / б

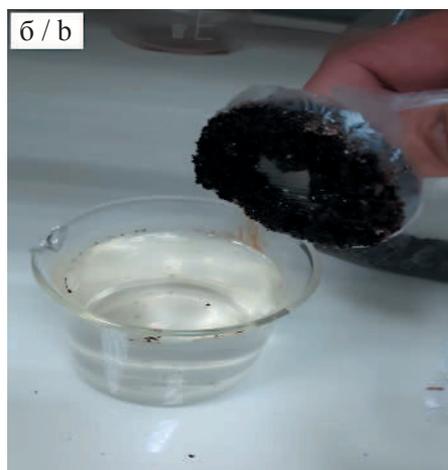


в / с

Рис. 1. Внешний вид сорбентов 1 (а), 2 (б), 3 (в)
Fig. 1. Appearance of sorbents 1 (a), 2 (b), and 3 (c)



а / а



б / б

Рис. 5. Удаление нефти сорбентом 3 (а) и сбор сорбента 3 с поверхности воды с помощью магнита (б)
Fig. 5. Removal of oil by sorbent 3 (a) and collection of sorbent 3 from the water surface using a magnet (b)

Таблица 1 / Table 1

Физико-механические свойства сорбционных материалов
Physical and mechanical properties of sorption materials

Сорбент Sorbent	Размер частиц, мм Particle size, mm	Удельная поверхность, м ² /г Specific surface area, m ² /g	Распределение пор по размерам, нм / количество, % Pore size distribution, nm/number, %	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	Измельчаемость, % Grindability, %*	Истираемость, % Abrasion resistance, %**
Сорбент 1 Sorbent 1	0,05±0,01	20±1	2–50 / 89%	0,80±0,04	0,10±0,01	0,07±0,01
Сорбент 2 Sorbent 2	10,0 ±0,5	42±2	2–50 / 70% ≥50 / 21%	0,35±0,02	3,20±0,16	0,40±0,02
Сорбент 3 Sorbent 3	2,0±0,1	35±2	16–50 / 80%	0,90±0,04	2,5±0,12	1,50±0,07

Примечание: по ГОСТ Р 51641-2000: * ≤ 4 %; ** ≤ 0,5 %.
Note: according to GOST R 51641-2000: * ≤ 4 %; ** ≤ 0.5 %.

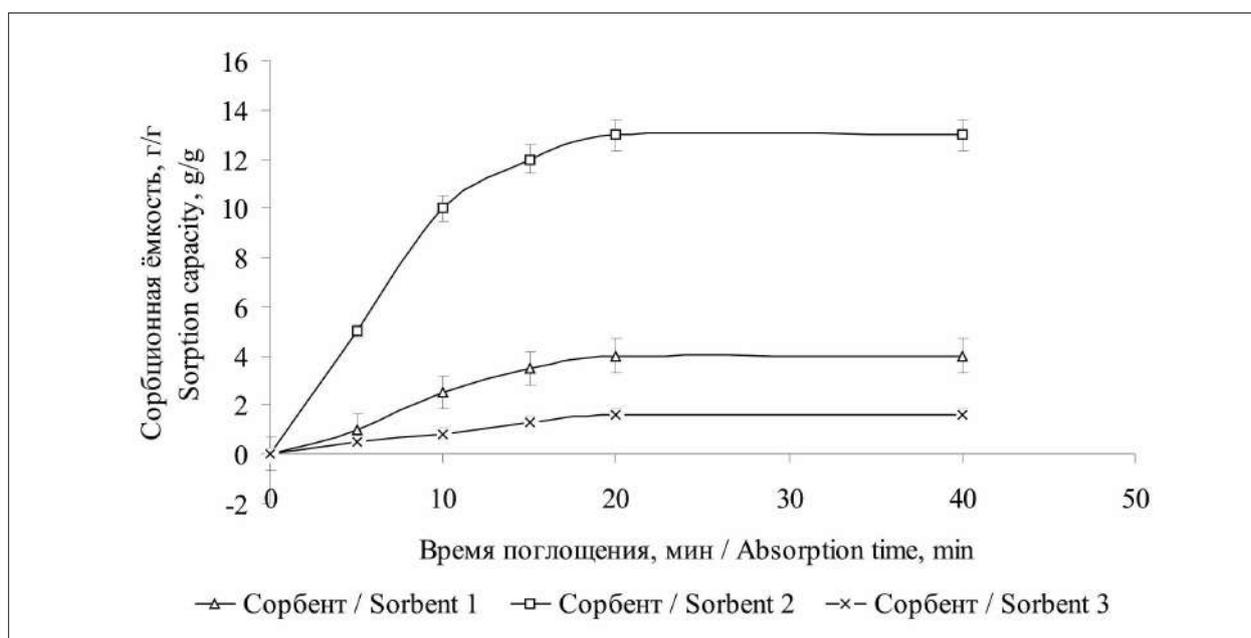


Рис. 2. Кинетические кривые сорбции нефти разработанными сорбентами
Fig. 2. Kinetic curves of oil sorption by the obtained sorbents

опилок и парафина сорбционных материалов показал, что они обладают достаточной механической прочностью (истираемость, измельчаемость), имеют высокую удельную поверхность и пористость, что способствует их хорошей сорбционной способности по отношению к НП (табл. 1).

Сорбенты представляют собой частицы разного размера, от нескольких мкм до 1 см (рис. 1, см. цв. вкладку II).

Определялась скорость впитывания нефти сорбентами (рис. 2). По мнению специалистов, ледяной покров способствует ограничению распространения нефтяных пятен, что даёт возможность подготовиться к

очистке загрязнённой территории. Масштаб загрязнения напрямую зависит от скорости удаления нефтяного пятна. Быстрое удаление предотвращает проникновение нефти в донные отложения и защищает водные организмы от токсичного воздействия продуктов распада нефти.

Результаты исследования кинетики процесса сорбции модифицированными РСМ показали (рис. 2), что сорбционное равновесие при извлечении НП наступает примерно за 20 мин. Выяснено, что в начальные моменты взаимодействия сорбенты демонстрируют наивысшую поглощающую способность, благодаря чему нефтяные загрязнения эф-

фактивно удерживаются этими материалами, что обусловлено их отличными гидрофобными и олеофильными свойствами.

Гидрофобность сорбентов подтверждается высокой величиной краевого угла смачивания, который составляет 130° – 140° . Чем сильнее гидрофобность, тем ниже вероятность намокания и утяжеления сорбента, что обеспечивает стабильность его поведения на воде при поглощении нефтезагрязнений. В таблице 2 представлены исследования плавучести сорбционных материалов.

Высокая плавучесть сорбентов 2 и 3 (табл. 2) обусловлена не только сильной водоотталкивающей способностью, но и наличием пористой структуры материалов. Пористые структуры обеспечивают и лучшие показатели плавучести, благодаря наличию воздушных полостей, компенсирующих массу самого материала [18].

Изучены адсорбционные характеристики анализируемых сорбентов, учитывая температурный фактор и уровень минерализации воды. Исследования проводили

при температурах модельной морской воды (концентрация соли до 32–35 ‰) от -5 до $+20$ °C (рис. 3).

Результаты исследований демонстрируют, что снижение температуры воды влечёт за собой увеличение поглощающей способности сорбционного материала приблизительно в 2,5 раза, что обусловлено возрастанием вязкости НП. Различия в форме кривых (рис. 3) объясняются динамикой изменения вязкости в зависимости от температуры. При более низких температурах воды сорбционная способность материалов увеличивается, что связано с усилением адгезионных взаимодействий между сорбентом и сорбатом.

Согласно литературным данным [9], сорбция НП в пресной воде примерно на 5 % ниже. Это объясняется более высоким поверхностным натяжением на границе раздела фаз вода-нефть в морской воде, а также увеличенной плотностью солёной воды, что оказывает влияние на процессы взаимодействия нефти и воды, облегчая сорбцию на поверхности солёной воды [9].

Таблица 2 / Table 2

Плавучесть сорбционных материалов, % / Buoyancy of sorption materials, %

Материал / Material	Время, ч / Time, h			
	24	48	72	96
Сорбент 1 / Sorbent 1	100	100	98	80
Сорбент 2 / Sorbent 2	100	100	100	100
Сорбент 3 / Sorbent 3	100	100	100	100

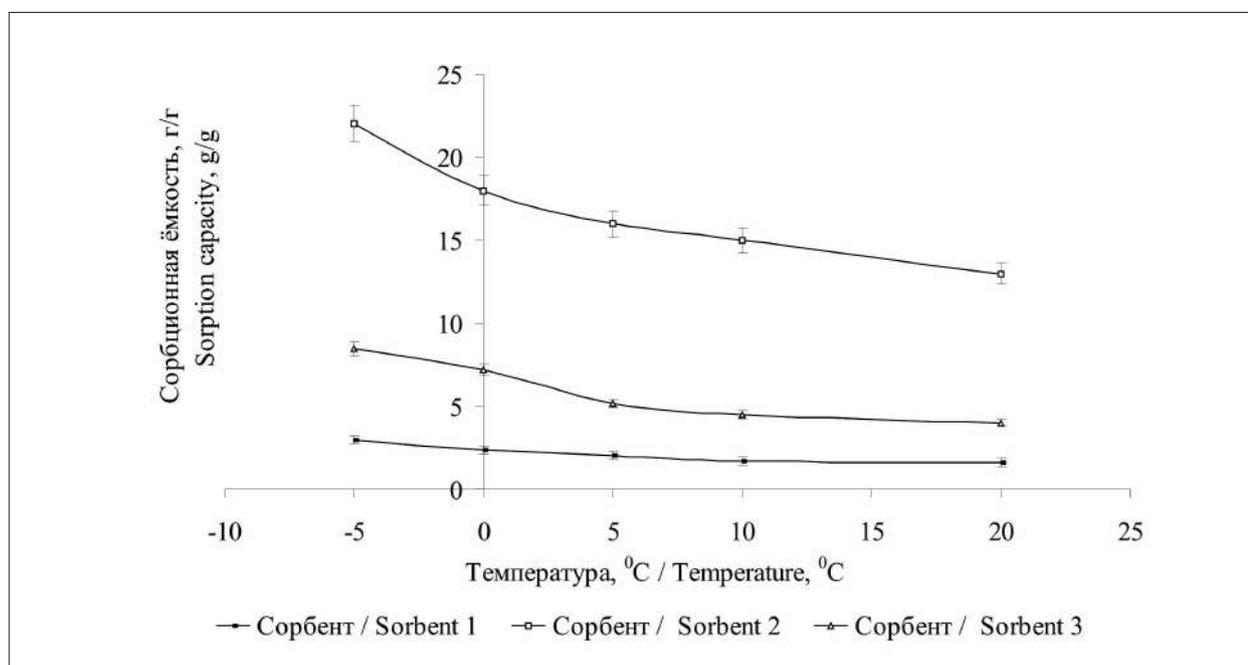


Рис. 3. Изменение нефтеемкости сорбентов в зависимости от температуры воды
Fig. 3. Change in oil capacity of sorbents depending on water temperature

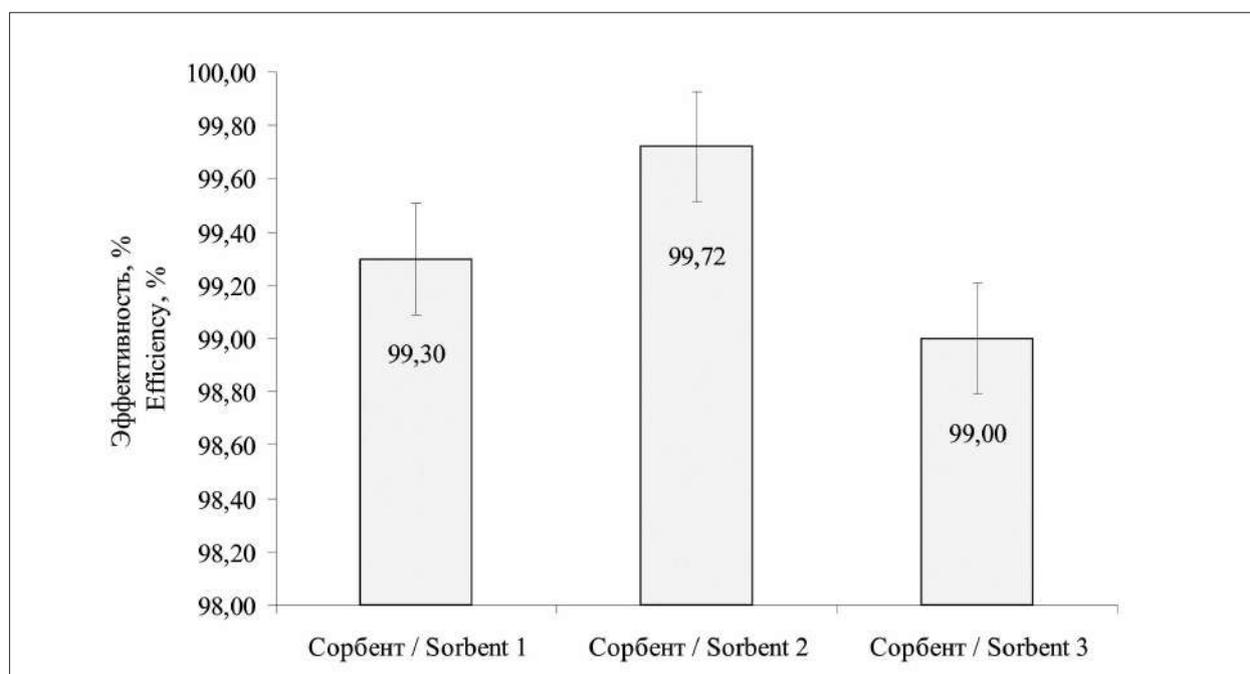


Рис. 4. Эффективность очистки модельной морской воды от плёнок нефти с использованием сорбентов / Fig. 4. Efficiency of model seawater purification from oil films using sorbents

Повышение температуры воды приводит к уменьшению сорбционной ёмкости НП, что характеризует экзотермический процесс и свидетельствует о физической природе сил адсорбции.

Изучение эффективности очистки модельной морской воды от плёнок нефти проводили при +20 °С, имитируя разлив нефти в ёмкости с водой объёмом 100 мл. Нефть приливали до толщины плёнки 2 мм и насыпали на поверхность 1 г сорбционного материала. По результатам эксперимента эффективность очистки составила более 99,0 % для всех сорбентов (рис. 4).

Следов нефти на поверхности воды и стенках посуды не обнаружено (рис. 5, см. цв. вкладку II). Для измерения массовой концентрации НП использовали концентратомер марки «КН-3». Степень очистки водной поверхности от НП при использовании сорбционных материалов определяется количеством применяемого сорбционного материала и может достигать значений 99,9 %.

Сбор сорбентов с поверхности воды после завершения процесса очистки является важной частью процедуры восстановления водных объектов после аварийных разливов нефти и других опасных веществ. Сорбенты либо убираются вручную с помощью специального оборудования (сети, грабли, совки) для удаления частиц насыщенного нефтью сорбента с поверхности воды, либо для этого

используют специализированные устройства, такие как вакуумные установки и скиммеры, которые автоматически собирают сорбированные нефтезагрязнения с поверхности водоёма. Выбор метода зависит от объёма загрязнений, характера водоёма и доступности оборудования.

Сорбент 3 обладает магнитными свойствами за счёт содержания ФГШ [19], что значительно упрощает процесс сбора его с поверхности воды, используя магнит (рис. 5).

Сорбент 3 может быть особенно эффективен при удалении нефтезагрязнений вблизи береговой линии, где есть растительность и неровности рельефа.

Выбор оптимального сорбционного материала снижает затраты на очистительные мероприятия. Высокие параметры процесса очистки водной поверхности (скорость сорбции, нефтеёмкость материалов, плавучесть) позволяют сократить количество используемого сорбента и ускорить процедуру восстановления природных ресурсов.

Освоение нефтяных месторождений в Арктическом регионе вызывает серьёзную озабоченность среди экспертов и общественности. Увеличение объёмов добычи углеводородов сопровождается беспокойством касательно уровня подготовки к возможным аварийным ситуациям, связанным с утечками нефти. Инфраструктура большинства районов Крайнего Севера не соответствует требованиям

для оперативного устранения масштабных загрязнений окружающей среды, возникающих вследствие производственной деятельности нефтяных компаний [20, 21].

Заключение

Проведённые исследования показали возможность использования композиционных сорбционных материалов, изготовленных из отходов промышленности, для очистки морской воды от разливов нефти в диапазоне температур от -5 до $+20$ °С. Изучены физико-механические свойства предлагаемых материалов (удельная поверхность, плотность, пористость, механическая прочность), которые являются важной характеристикой сорбентов. Показано, что сорбенты содержат до 80–90 % мезопор, в которых хорошо сорбируются молекулы нефти. Установлено, что сорбенты обладают высокими показателями по гидрофобности и плавучестью до 96 ч, что позволяет их отнести к высокоплавучим сорбентам. Проанализированы нефтеёмкостные свойства материалов для сбора нефти при нормальных и пониженных температурах. Представленные сорбенты имеют такие преимущества, как магнитные свойства и высокая нефтеёмкость. Так, нефтеёмкость сорбентов на основе окисленного графита и материала с использованием ферритизированного гальваношлама, опилок и парафина (3,0–10 и 13–25 г/г, соответственно) превышает этот показатель для известных на рынке сорбционных материалов «Спилсорб» (9,0 г/г) и «Ньюсорб» (4,6–9,0 г/г). Данные о динамике сорбции нефти разработанными сорбентами показали, что время впитывания нефти составляет 20 мин, что меньше в 1,5–2 раза, чем у представленных на рынке сорбентов.

Физико-механические свойства и гидрофобность полученных композиционных сорбционных материалов (на основе ПЭТФ, ОГ и ФГШ с добавлением опилок и парафина) позволяют рекомендовать их для использования при очистке от разливов нефти в исследованном достаточно широком диапазоне температур от $+20$ до -5 °С.

Литература

1. Альжанов Б.А., Горовых О.Г. Содержание растворённых углеводородов нефти в объёме воды при использовании различных методов ликвидации аварийных разливов нефти // Тенденции и перспективы развития

современного научного знания: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф. М.: Изд-во «Институт стратегических исследований»: Изд-во «Перо», 2015. С. 29–33.

2. Гуславский А.И., Канарская З.А. Перспективные технологии очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 20. С. 191–199.

3. Харлямов Д.А., Денисова Т.Р., Маврин Г.В., Шайхиев И.Г. Физико-химические и сорбционные свойства композиционных материалов на основе отходов деревообработки и синтетического магнетита // Вода: химия и экология. 2018. № 10–12 (117). С. 119–125.

4. Шайхиев И.Г., Санатуллова З.Т., Шайхиева К.И., Свергузова С.В. Шерсть и отходы её переработки в качестве сорбционных материалов. 2. Органических соединений // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. № 3. С. 103–109.

5. Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н. Сорбенты для очистки вод от нефтепродуктов. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2010. 108 с.

6. Николаева Л.А., Лаптев А.Г., Бородай Е.Н., Новые возможности утилизации шламов химической водоподготовки на ТЭС // Вода: химия и экология. 2009. № 3. С. 2–5.

7. Калинина Е.В., Глушанкова И.С., Рудакова Л.В., Сабиров Д.О. Получение модифицированного сорбента на основе шламов содового производства для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов с поверхности воды // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 5. С. 30–35. doi: 10.18412/1816-0395-2018-5-30-35

8. Тангиева Д.Б., Темирханов Б.А., Султыгова З.Х., Арчакова Р.Д. Применение терморасширенного графита при ликвидации разливов нефти // Химия и химическое образование. XXI век: материалы Всеросс. науч. конф. с междунар. участием. Владикавказ: Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова, 2014. С. 207–210.

9. Мелкозеров В.М., Журавлев Д.Н., Шарипов И.А., Вильданов А.А., Васильев С.И. Исследование свойств полимерных сорбентов различных модификаций, используемых для устранения нефтепродуктов на водных акваториях арктической зоны // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2019. № 1. С. 49–54. doi: 10.33285/2411-7013-2019-1(286)-49-54

10. Панкеев В.В., Панова Л.Г., Свешникова Е.С. Модификация целлюлозосодержащих отходов, обеспечивающая создание сорбентов с высокой удельной нефтеёмкостью // Технические науки – от теории к практике. 2012. № 7–2. С. 59–63.

11. Бухарова Е.А., Татаринцева Е.А., Ольшанская Л.Н. Получение сорбента на основе полиэтилентерефталата и его применение для очистки сточных и поверхностных вод от нефтепродуктов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2014. № 9. С. 31–34.

12. Бухарова Е.А., Татаринцева Е.А., Захаревич А.М. Изучение физико-химических и сорбционных свойств таблетированного сорбента на основе ТРГ // Журнал экологии и промышленной безопасности. 2014. № 1–2. С. 18–20.

13. Долбня И.В., Татаринцева Е.А., Козьмич К.В., Комиссаренко М.В., Шайхiev И.Г. Очистка нефтесодержащих сточных вод магнитосорбентами на основе ферритизированного гальваношлама // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 23. С. 154–156.

14. Бугера Ф. Особенности сбора нефтепродуктов с поверхности воды в условиях Севера // Экологические проблемы промышленных городов: сборник научных трудов 11-й Международной научно-практической конференции. Саратов: ООО «Амирит», 2023. С. 215–218.

15. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта. М.: Институт компьютерных исследований; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2006. 525 с.

16. Витязь П.А., Шелег В.К., Капцевич В.М., Медведев В.Б., Мазюк В.В., Сорокина А.Н., Савич В.В. Определение краевого угла в капиллярно-пористых материалах // Заводская лаборатория. 1985. Т. 55. № 4. С. 53–55.

17. Яценко И.Г. Тяжёлая и вязкая нефть различных секторов Арктики // Neftegaz.RU. 2024. № 11. С. 60–68.

18. 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.

19. Ольшанская Л.Н., Татаринцева Е.А., Лазарева Е.Н., Яковлева Е.В., Арефьева О.А. Энерго- и ресурсосберегающие технологии утилизации металлсодержащих гальваношламов // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 167–173. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-167-173

20. Knol M., Arbo P. Oil spill response in the Arctic: Norwegian experiences and future perspectives // Marine Policy. 2014. V. 50. Pt. A. P. 171–177. doi: 10.1016/j.marpol.2014.06.003

21. Павлов А.В., Васильева Ж.В. Исследование сорбентов нефти и нефтепродуктов для ликвидации аварийных разливов нефти в морях Арктического региона // Проблемы региональной экологии. 2019. № 5. С. 89–94. doi: 10.24411/1728-323X-2019-17089

References

1. Alzhanov B.A., Gorovykh O.G. Content of dissolved oil hydrocarbons in water using various methods of oil spill response // Trends and prospects for the development of modern scientific knowledge: materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moskva: Izdatelstvo "Institut strategicheskikh issledovaniy": Izdatelstvo "Pero", 2015. P. 29–33 (in Russian).

2. Guslavskiy A.I., Kanarskaya Z.A. Promising technologies for cleaning water and soil from oil and oil products // Herald of Kazan Technological University. 2011. No. 20. P. 191–199 (in Russian).

3. Kharlyamov D.A., Denisova T.R., Mavrin G.V., Shaikhiev I.G. Physicochemical and sorption properties of composite materials based on wood processing waste and synthetic magnetite // Water: Chemistry and Ecology. 2018. No. 10–12 (117). P. 119–125 (in Russian).

4. Shaikhiev I.G., Sanatullova Z.T., Shaikhieva K.I., Sverguzova S.V. Using wool and its processing wastes as sorption materials. 2. Organic compounds // Herald of Technological University. 2018. V. 21. No. 3. P. 103–109 (in Russian).

5. Sobgaida N.A., Olshanskaya L.N. Sorbents for water purification from oil products. Saratov: Saratov State Technological University, 2010. 108 p. (in Russian).

6. Nikolaeva L.A., Laptev A.G., Boroday E.N., New possibilities for recycling chemical water treatment sludge at thermal power plants // Water: Chemistry and Ecology. 2009. No. 3. P. 2–5 (in Russian).

7. Kalinina E.V., Glushankova I.S., Rudakova L.V., Sabirov D.O. Obtaining a modified sorbent based on soda production sludge for liquidation of oil and oil products spills from the water surface // Ecology and Industry of Russia. 2018. V. 22. No. 5. P. 30–35 (in Russian). doi: 10.18412/1816-0395-2018-5-30-35

8. Tangieva D.B., Temirkhanov B.A., Sultygova Z.Kh., Archakova R.D. Use of thermally expanded graphite in oil spill response // Chemistry and Chemical Education. XXI century: materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Vladikavkaz: North Ossetian State University after K.L. Khetagurov. 2014. P. 207–210 (in Russian).

9. Melkozerov V.M., Zhuravlev D.N., Sharipov I.A., Vildanov A.A., Vasilyev S.I. Investigation of the properties of polymeric sorbents of various modifications used to solve oil spills in the water areas of the Arctic zone // Environmental protection in oil and gas complex. 2019. No. 1. P. 49–54 (in Russian). doi: 10.33285/2411-7013-2019-1(286)-49-54

10. Pankeev V.V., Panova L.G., Sveshnikova E.S. Modification of cellulose-containing waste, ensuring the creation of sorbents with high specific oil capacity // Engineering sciences – from theory to practice. 2012. No. 7–2. P. 59–63 (in Russian).

11. Bukharova E.A., Tatarintseva E.A., Olshanskaya L.N. Production of polyethylene terephthalate based sorbent and its use for waste and surface water cleaning from oil products // Chemical and petroleum engineering. 2014. No. 9. P. 31–34 (in Russian).

12. Bukharova E.A., Tatarintseva E.A., Zakharevich A.M. Study of the physicochemical and sorption properties of a TEG-based tableted sorbent // Journal of Ecology and Industrial Safety. 2014. No. 1–2. P. 18–20 (in Russian).

13. Dolbnya I.V., Tatarintseva E.A., Kozmich K.V., Komissarenko M.V., Shaikhiev I.G. Treatment of oil-

containing wastewater with magnetosorbents based on ferritized galvanic sludge // Herald of Technological University. 2016. V. 19. No. 23. P. 154–156 (in Russian).

14. Bugerara F. Features of oil products collecting from the water surface in the North // Environmental problems of industrial cities: sbornik nauchnykh trudov 11-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Saratov: Amirit LLC, 2023. P. 215–218 (in Russian).

15. Kamenshchikov F.A., Bogomolny E.I. Removal of oil products from the water surface and soil. Moskva: Institut kompyuternykh issledovaniy; Izhevsk: Regul'yarnaya i khaoticheskaya dinamika, 2006. 525 p. (in Russian).

16. Vityaz P.A., Sheleg V.K., Kaptsevich V.M., Medvedev V.B., Mazyuk V.V., Sorokina A.N., Savich V.V. Determination of the contact angle in capillary-porous materials // Zavodskaya laboratoriya. 1985. V. 55. No. 4. P. 53–55 (in Russian).

17. Yashchenko I.G. Heavy and viscous oil from various sectors of the Arctic // Neftegaz.RU. 2024. No. 11. P. 60–68 (in Russian).

18. Zausalina A.V., Val' A.V., Boyarko G.Yu. Comparative efficiency of oil and oil products sorbents used in the Tomsk region conditions // Environmental protection in oil and gas complex. 2015. No. 2. P. 51–55 (in Russian).

19. Olshanskaya L.N., Tatarintseva E.A., Lazareva E.N., Yakovleva E.V., Arefieva O.A. Energy- and resource-saving technologies for utilization of metal-containing galvanic sludges // Theoretical and Applied Ecology. 2021. No. 4. P. 167–173 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-167-173

20. Knol M., Arbo P. Oil spill response in the Arctic: Norwegian experiences and future perspectives // Marine Policy. 2014. V. 50. Pt. A. P. 171–177. doi: 10.1016/j.marpol.2014.06.003

21. Pavlov A.V., Vasilyeva Zh.V. Investigation of sorbents of oil and oil product for the elimination of emergency oil spills in the seas of the Arctic region // Problems of Regional Ecology. 2019. No. 5. P. 89–94 (in Russian). doi: 10.24411/1728-323X-2019-17089