

УДК 665.61

О. Г. Горовых¹, К. Ф. Саевич², Б. А. Альжанов³

¹Филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации»
Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь

²Белорусский государственный экономический университет

³Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОСКОВ ОКОЛОЦВЕТНИКА ПОЧАТКОВ РОГОЗА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Показана возможность использования волосков околоцветника початков рогоза (ВОПР) для очистки поверхностно загрязненных водных объектов от нефти, дизельного топлива, бензина, минерального масла в статических и динамических условиях при различной солености воды. Приведены методики для определения удерживающей способности ВОПР различных углеводородов. Определено изменение массы удерживаемых нефтепродуктов ВОПР в зависимости от времени контакта с загрязнителем. Показано, что увеличение времени контакта ВОПР с нефтепродуктами не увеличивает количество удерживаемого углеводорода. Определено минимальное время контакта ВОПР с нефтью и нефтепродуктами, обеспечивающее полное насыщение ВОПР, которое составляет 5 с. Определено количество нефтепродукта, которое можно утилизировать простым отжиманием предварительно пропитанного углеводородами ВОПР. Показано, что количество отжатого из пропитанного ВОПР нефтепродукта превышает 60%. Дана сравнительная характеристика удерживающей способности исследуемого природного материала с промышленно выпускаемыми нефтяными поглотителями на основе природных материалов. Предложено использовать в качестве эффективного нефтяного поглотителя для проведения работ по ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (ЛАРН) природный материал – волоски околоцветника початков рогоза, который в достаточном количестве произрастает на территории Республики Беларусь.

Ключевые слова: поглотители нефти, волоски околоцветника рогоза, нефть и нефтепродукты.

O. G. Gorovykh¹, K. F. Saevich², B. A. Alzhanov³

¹ Branch “The Institute for Retraining and Professional Development” of the University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus

²Belarusian State Economic University

³University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus

USING THE FUZZ OF THE TYPHA PERIANTH TO CLEAN WATER OBJECTS FROM OIL POLLUTION

The possibility of using the fuzz of the typha perianth (FTP) for cleaning surface-polluted water bodies from oil, diesel, gasoline, and mineral oil in static and dynamic conditions at different salinities is shown. Methods are given for determining the absorbing capacity of FTP of various hydrocarbons. The change in the absorption of the oil products of the FTP depending on the time of contact with the pollutant was determined. It is shown that an increase in the time of contact of the FTP with oil products does not increase the amount of absorbed hydrocarbon. The minimum time of contact of the FTP with oil and petroleum products has been determined, which ensures complete saturation of the FTP, which is 5 seconds. The amount of petroleum product, which can be disposed of by simply squeezing the pre-impregnated FTP, is determined. It is shown that the amount of the oil product pressed from the impregnated FTP exceeds 60%. The comparative characteristic of the absorbing ability of the studied natural material with industrially produced oil absorbers based on natural materials is given. It is proposed to use as an effective oil absorber for work on the elimination of emergency spills of oil and oil products (ESOP) natural material – the fuzz of the typha perianth, which grows in sufficient quantity in the territory of the Republic of Belarus.

Key words: oil absorbers, the fuzz of the typha perianth, petroleum and petroleum products.

Введение. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов (НиНП), возникающие при транспортировке по железной дороге, трубопроводным, автомобильным и водным транспортом, все также имеют место во всех странах мира, и все также остаются проблемы, связанные с эффективной ликвидацией этих разливов, как на твердых поверхностях, так и на водных объектах. Растворимость компонентов НиНП в воде хотя и различна, но в общем случае незначительна, поэтому распределение (накопление) составляющих НиНП происходит в первую очередь на поверхности и на дне водоемов [1, 2]. При толщине нефтяной пленки более 0,1 мм замедляются процессы газообмена [1, 2], а именно проникновение атмосферного кислорода в воду и удаление из воды углекислоты. Пленку НиНП толщиной 0,1 мм (и вплоть до 2 мм) собрать механическими способами невозможно. Наиболее эффективным методом ее ликвидации является сбор с поверхности воды с использованием различных поглотителей, в том числе и сорбентов. Основные задачи, которые необходимо реализовать при ликвидации разливов углеводородных соединений (УС) (нефть и нефтепродукты) – это провести аварийные мероприятия в минимальные сроки, эффективно собрать разлившийся продукт, с наименьшими экономическими затратами (дешево) и с минимальными последствиями для окружающей среды.

Применительно к нефтяным сорбентам данные требования в определенной мере взаимоисключающие. Дешевые сорбенты малоэффективны, и их использование увеличивает время ликвидации и не обеспечивает полной очистки объекта от загрязнения, малая эффективность сорбентов (небольшая сорбционная емкость) приводит к увеличению количества отходов после проведения ликвидационных мероприятий. Эффективные сорбенты углеводородов (искусственные), извлекающие нефтепродукты быстро и в полном объеме, – дорогостоящие, несовместимы с экосистемой и их утилизация приводит к дополнительному загрязнению окружающей среды.

Учитывая, что воздействие НиНП на живые организмы приводит к нарушению физиологической активности, болезням, вызванным внедрением углеводородов в организм, изменениям среды обитания и т. д. [1, 2], в последнее время большую значимость приобретают технологии, связанные с рациональным природопользованием, что обуславливает необходимость выбора наиболее дешевых сорбентов, характеризующихся высокой нефтеемкостью и способностью длительное время находиться в связанном состоянии с нефтью и нефтепродук-

тами. Они должны быть экологически чистыми и легко утилизируемыми материалами [3].

Поэтому наиболее целесообразно применять при ликвидации разливов УС природные поглотители, так как при их использовании не наносится вреда окружающей среде. Даже если при использовании природных поглощающих материалов часть отработавшего или не работающего, но внесенного на территорию очищаемого объекта поглотителя не удастся собрать, то через определенный промежуток времени он разложится естественным путем.

Сейчас в мире производится или используется для ликвидации разливов нефти около двух сотен различных сорбентов. В Беларуси это «Лигносорб» [4] и «Лессорб».

Наиболее известными нефтесорбентами на основе природных материалов российского производства являются: Лессорб, Ньюсорб (г. Брянск), Петросорб (г. Санкт-Петербург), Версойл и Вермос (г. Апатиты), Миксойл (г. Екатеринбург), Эконафт (г. Курск), Синтап-экс (г. Уфа), Поролас (г. Москва), Уремикс (г. Владимир) и др. [5].

Среди зарубежных нефтесорбентов, изготавливаемых на основе природных материалов, известны ПитСорб (ФРГ), SORBIX WB 0/2 перлит, прошедший специальную обработку (Дания), «Элькосорб» на основе сельскохозяйственных отходов (Финляндия) [6].

Несмотря на уже имеющиеся разнообразные сорбционные материалы, для удовлетворения требований времени (экосовместимость и эффективность) поиск новых материалов и новых решений, обеспечивающих извлечение поверхностных нефтезагрязнений, для ликвидации разливов НиНП продолжается.

По нашему мнению, описанным требованиям в большей мере соответствует такой природный материал, как волоски околоцветника початков рогоза. Рогоз широко распространен, сравнительно дешев и доступен, что позволяет его использовать в качестве собирающего материала при проведении аварийных разливов УС.

Основная часть. Цель данного исследования – определение поглощающих свойств волосков околоцветника початков рогоза (ВОПР) по отношению к различным нефтепродуктам и нефти в статических и динамических условиях, а также при нахождении НиНП на водной поверхности с различной концентрацией содержащихся в ней солей. Исследование проводили на образцах ВОПР, собранных на территории водоемов Борисовского района Минской области.

Рогоз широколистный (*Typha latifolia*) встречается часто по всей территории республики. Растет на мелководье в озерах, реках и

старицах, на низинных болотах, в заболоченных черноольшаниках, на других влажных местах – по канавам, обводненным карьерам и т. п., может образовывать значительные плотные заросли. Рогоз – это многолетнее поликарпическое травянистое растение с толстым горизонтальным ветвистым ползучим корневищем и также толстым прямостоячим неветвистым стеблем без узлов высотой до 2 м. Соцветия (початки) длинно-цилиндрические, плотные, бархатистые, колосовидные, до 1,5 см в диаметре, темно-коричневые (рис. 1).



Рис. 1. Початок рогоза широколиственного с отделяющимися волосками околоцветника

Масса одного початка достигает 180 г. Плотность нераспущенных ВОПР составляет $0,21 \text{ г/см}^3$. Околоцветник женских цветков состоит из длинных волосков. Строение отдельных волосков представлено на рис. 2.

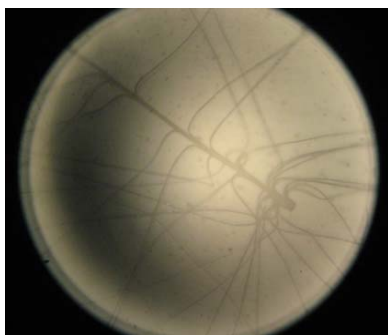


Рис. 2. Строение отдельного волоска околоцветника початка рогоза (микроскоп МЕТАМ ЛВ-32; 50-кратное увеличение)

Распущенные ВОПР представляют собой пушистую массу (рис. 3), которую можно использовать для сбора с водной поверхности разлившихся ННП.

Химический состав прицветных волосков (пух) представлен углеводами (целлюлоза, пентозаны, в гидролизате – арабинозами).

Урожайность воздушно-сухой подземной фитомассы рогоза широколистного достигает 115 т/га [7].



Рис. 3. Волоски околоцветника початков рогоза, закрепленные в металлической сетке

Дополнительной обработке (сушке, активации в различных химических реагентах и т. д.) образцы не подвергались. Для определения поглощающей способности ВОПР за основу была взята методика ТУ 214-10942238-03-95, изложенная в работе [8].

Для извлечения напитавшегося материала нами было изготовлено специальное металлическое приспособление.

Металлическая сетка имеет квадратные ячейки размером 0,3 мм, диаметр приспособления – 6,5 см, высота цилиндрической части приспособления – 2 см, высота ручки 23 см.

При испытании материалов на поглощающую способность использовали весы, с пределом взвешивания 1000 г и пределом допускаемой погрешности $\pm 0,01 \text{ г}$.

При помощи электронных весов Adventurer Onaus Corp (предел взвешивания – 1500 г, точность взвешивания – 0,01 г) определяли массу пустого приспособления $G_{\text{пр}}$. В стеклянную чашку помещали нефтепродукт, опускали туда приспособление для извлечения пропитанного нефтепродуктом материала, выдерживали в нефтепродукте 5 мин и затем извлекали приспособление из нефтепродукта, держа его под углом. Давали в течение 2 мин стечь нефтепродукту и определяли массу приспособления с оставшимся нефтепродуктом G_i . Эксперимент проводили многократно.

Массу нефтепродукта, удерживаемого приспособлением, определяли по выражению

$$m_{\text{нпр}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} - m_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где $m_{\text{нпр}}$ – масса удерживаемого приспособлением нефтепродукта, г; m_i – масса приспособления с удерживаемым нефтепродуктом в i -м эксперименте, г; n – количество опытов; $m_{\text{пр}}$ – масса приспособления, г.

Определение поглощающей способности волосков околоцветника початков рогоза проводили в следующей последовательности. Перед испытаниями ВОПР выдерживают в открытом виде, ничем не накрывая, позволяя ему

прийти в состояние равновесия при температуре (18–20)°С и относительной влажности (70 ± 20)% в течение 7 дней.

Навеску исследуемого материала – волосков околоцветника початков рогоза – в количестве 1 г размещали в приспособлении и помещали в емкость, наполненную углеводородом (нефть или нефтепродукт) в количестве 200 мл. Накрывали емкость с углеводородом и навеской ВОПР крышкой. Время контакта навески ВОПР с углеводородом составляло 10 мин. Затем извлекали приспособление с порцией ВОПР, удерживающего нефтепродукт из углеводорода, давали стечь углеводороду с приспособления и порции ВОПР в течение 2 мин и определяли массу ВОПР с удерживаемым нефтепродуктом и с приспособлением (рис. 4).

Массу нефтепродукта $m_{НП}$, удерживаемого природным материалом (ВОПР), в единичном опыте рассчитывали по зависимости

$$m_{НП} = m_i - m_{ВОПР} - m_{нпр} - m_{пр}, \quad (2)$$

где $m_{НП}$ – масса удерживаемого нефтепродукта в i -м опыте, г; m_i – масса нефтепродукта с порцией ВОПР и приспособлением, г; $m_{ВОПР}$ – масса порции ВОПР, взятой на анализ в i -м опыте, г.

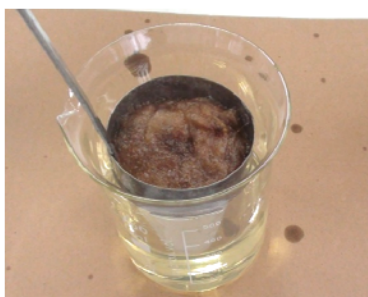


Рис. 4. Извлечение пропитанного углеводородной жидкостью ВОПР

Полученное значение $m_{НП}$ делили на массу навески ВОПР и получали удерживающую способность материала G_{IN} (г нефтепродукта/г ВОПР).

$$G_{IN} = \frac{m_{НП}}{m_{ВОПР}}, \quad \text{г/г.} \quad (3)$$

Полученные результаты удерживающей способности ВОПР по нефти и таким нефтепродуктам, как топливо дизельное ЕВРО по ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009), дизельное топливо, керосин КО-20 по ТУ 38.401-58-10-01, бензин АИ-92 К5 (зимний) по ТУ ВУ 400091131.006-2009, нефрас С-4 150/200 (уайт-спирит) по ГОСТ 3134-78, масло нейтральное по ТУ РБ 300220696.022-04, паракилол нефтяной по ТУ 38.101255-87, приведены в табл. 1.

К одним из основных качеств поглощающего материала для использования при ЛАРН относится возможность регенерации и утилизации поглотителя, которая показывает, насколько возможно его «освободить» от удерживаемого нефтепродукта. Предпочтительно использовать материалы с большим числом вариантов экологически приемлемой утилизации, так как не везде можно осуществить, например, высокотемпературное сжигание синтетических сорбентов (требуется особая система доочиски продуктов горения, которые могут содержать в том числе и цианистые соединения) или произвести их биологическое разложение.

Возможность регенерации поглотителя (ВОПР) проверяли испытанием на степень отжимания. Оценка степени отжимания проводили, опираясь на п. 10 ГОСТ 33627-2015 [9] в следующей последовательности. Пробу сухого материала ВОПР взвешивали и в приспособлении помещали на две минуты в соответствующий нефтепродукт (контроль времени по песочным часам), извлекали ВОПР с нефтепродуктом и давали НиНП стечь в течение 2 мин и снова взвешивали. В результате вычитания массы исходной навески порции сухих ВОПР определяли массу удерживаемого нефтепродукта ($m_{НП}$). Напитанный нефтепродуктом материал (ВОПР) помещали в отжимное устройство (рис. 5).



Рис. 5. Отжимное приспособление

Отжимное устройство имеет перфорированное дно и хорошо пригнанную верхнюю прижимную крышку. Верхнюю крышку прижимного устройства закручивали. Усилие поворота прижимного устройства контролировали динамометром (10 кПа).

После прекращения поступления через перфорированное дно нефтепродукта (время отжима не превышало 30 с), прижимную крышку освобождали и извлекали пробу отжатого материала. Пробу массы поглотителя переносили в предварительно взвешенную емкость и взвешивали. Остаточную массу нефтепродукта ($m_{НПО}$) определяли вычитанием взятой на анализ массы сухого материала. Количество отжатого НиНП определяли как разницу между удерживаемым нефтепродуктом и остаточной массой нефтепродукта. Для определе-

ния величины отжимаемого НиНП, выраженного в процентах, использовали выражение

$$\%_{\text{отж}} = \frac{m_{\text{НП}} - m_{\text{НПО}}}{m_{\text{НП}}} \cdot 100. \quad (4)$$

Затем переводили полученную величину в проценты от исходного количества поглощенной массы НиНП. Полученные результаты после первого отжима представлены в табл. 1 (столбцы 5 и 6).

Таблица 1

Поглощающая способность волосков околоцветника початков рогоза

Номер опыта	Нефтепродукт	Поглощающая способность G_{iN} , г/г	Средняя поглощающая способность G_N , г/г	Величина отжимаемого НиНП, %	Среднее значение отжимаемого НиНП, %	Плотность нефтепродукта ρ , кг/м ³
1	2	3	4	5	6	7
1	ЕН-590:2009	19,8	20,33	55,8	55	832 (15°C)
2		20,8		54,1		
3		20,4		55,1		
1	Дизельное топливо зимнее	30,46	28,9	71,6	69,2	0,828 (15°C)
2		31,82		68,9		
3		27,52		68,4		
4		25,62		58,7		
5		27,15		68,8		
6		30,2		69,7		
7		29,7		73,1		
8		28,7		74,6		
1	Нефть	16,8	17,4	74,4	62,9	0,823 (15°C)
2		17,57		55,0		
3		18,25		58,0		
4		17,94		58,9		
5		18,67		67,4		
6		15,82		61,1		
7		16,97		65,8		
1	Нефть	23,272	22,7	–	–	0,881 (15°C)
2		20,04		–		
3		24,668		–		
1	Керосин КО-20	18,3	17,4	63	63,3	0,812 (15°C)
2		17,8		63		
3		16,1		64		
1	Бензин АИ-92 К5 (зимний)	20,30	21,7	67,6	69	0,736 (15°C)
2		23,82		70,0		
3		24,43		69,9		
4		20,28		69,2		
5		19,67		68,5		
1	Нефрас С-4 150/200 (уайт-спирит)	17,04	18,8	76,35	67,8	0,812 (15°C)
2		18,9		60,57		
3		20,39		66,57		
1	Масло нейтральное	37,26	35,4	65,9	65,6	0,870 (15°C)
2		36,1		66,7		
3		37,5		66,8		
4		38,6		66,7		
5		32,2		66,6		
6		35,3		63,9		
7		32,7		62,9		
1	Параксиллол	11,88	24,6	59,5	–	0,863 (15°C)

Отжатый поглощающий материал можно опять использовать, хотя при этом его поглощающая способность несколько падает. После двадцати циклов она уменьшается на 10% от первоначальной. При сравнении полученных значений поглощающей способности и степени отжима с некоторыми из сорбентов, выпускаемых промышленностью на основе природных материалов (табл. 2), можно сделать вывод, что применение ВОПР в качестве нефтяного поглотителя является более эффективным при проведении работ по ЛАРН. Поглощающая способность ВОПР по дизельному топливу превышает такой сорбент, как Лессорб-1, в 8,7 раза, по нефти – как минимум в 4,3 раза, по бензину – в 8 раз.

Кроме того ВОПР позволяет проводить отжим. Масса отжатых нефтепродуктов в первом цикле составляет от 54,1 до 74,4% от общего количества удерживаемого нефтепродукта, что превышает этот показатель у известных промышленных сорбентов, по которым имеются литературные данные [3, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Так как ВОПР обладает высокой скоростью поглощения НиНП (время насыщения при контакте его со слоем НиНП не превышает нескольких секунд), можно предположить, что такое небольшое время насыщения определяется механизмом сорбции.

Механизм поглощения НиНП ВОПР можно отнести к когезионно-адгезионным, т. е. поглощение обеспечивается как на адгезии нефти к поверхности ВОПР, так и на когезионных свойствах нефти, которые позволяют большому количеству нефти удерживаться ВОПР. Так как поглощающий материал на основе ВОПР имеет форму разрыхленных нитей (рис. 5), когезия нефти способствует образованию застывшей массы, которая замедляет распространение нефти и облегчает сбор смеси нефти и сорбента.

Когезия обычно выше у более вязких нефтепродуктов, что и подтверждается проведенными измерениями (табл. 1).

Небольшое время поглощения позволяет механизировать процесс сбора НиНП. Другим свойством ВОПР, способствующим механизации сбора НиНП, является слабое сцепление отдельных волосков друг с другом, что позволяет без труда отделять необходимую порцию материала от всего его объема. И наконец, насыщенный НиНП слой ВОПР не распадается на отдельные части (рис. 6).



Рис. 6. ВОПР с удерживаемой им нефтью

Для определения поглощающей способности ВОПР при сборе НиНП с водной поверхности были проведены дополнительные испытания. В емкость объемом 3 дм³ помещали 2 дм³ водопроводной воды, сверху наливали 100 мл нефтепродукта. Емкость с нефтепродуктом укрепили на встряхивающем устройстве ЛВУ-01 и устанавливали скорость встряхивания равную 49 об/с (рис. 7), это позволяло сформировать сплошную пленку на поверхности жидкости и эмульгированный слой (нефть в воде) толщиной в несколько сантиметров.

Таблица 2

Характеристика сорбентов, изготовленных на основе природных материалов

Сорбент	Природная основа	Сорбционная емкость, г/г	Сорбтив	Степень отжима нефти, %
Лессорб-1 [10]	Торф с фрагментами сфагнового мха	3,25	Дизтопливо	74 (в первом цикле) 55% (последующие циклы)
		4,0	Нефть	
		2,65	Бензин	
Пит Сорб [11, с. 64]	Торф	4 (6,19)	Нет данных	0
Ньюсорб [12]	Верховой сфанговый торф	4,6–9	Нет данных	Нет данных
Сонет-Сорб [3, 13]	Низовой торф	3,2–3,6	Нет данных	Нет данных
Profisorb Eco [14]	На основе сфагнового мха	3–7	Нет данных	Нет данных
Spill-Sorb [15]	Торфяной сфагновый мох	3,12	Дизтопливо	Нет данных
		3,96–8	Нефть	



Рис. 7. Определение удерживающей способности ВОПР в динамических условиях

После 5 мин встряхивания помещали на поверхность нефтепродукта 4 г ВОПР и продолжали проводить извлечение в динамических условиях в течение 5 мин при температуре воды 16,5–17°С. Затем извлекали поглотитель с удерживаемым нефтепродуктом металлической сеткой.

Время стекания воды и НиНП с сетки с поглотителем ВОПР составляло 2 мин (фиксация песочными часами). Удерживающая способность ВОПР в указанных условиях приведена в табл. 3.

Из представленных результатов видно, что удерживающая способность ВОПР практически

не изменилась при сборе с движущейся водной поверхности НиНП, по сравнению с удерживающей способностью в статических условиях (идеальные условия, максимальная поглощающая способность). Для определения удерживающей способности ВОПР при сборе НиНП с водной поверхности моря был приготовлен раствор «морская вода» (концентрация хлорида натрия 40 г/дм³). Порядок исследования соответствовал ранее описанному для водопроводной воды.

Результаты проведенных измерений представлены в табл. 4. Из представленных результатов видно, что концентрация солей в воде также не влияет на поглощающую способность исследуемого природного материала – ВОПР. Для определения влияния поглощающей способности от времени контакта ВОПР с нефтепродуктом провели исследования, во время которых полностью погружали навеску ВОПР в НиНП и выдерживали заданное время.

Затем ВОПР с поглощенным нефтепродуктом извлекали, давали стечь нефтепродукту в течение 2 мин (фиксация по песочным часам) и определяли количество поглощенного нефтепродукта. Результаты полученных измерений представлены на графиках (рис. 8 и 9).

Таблица 3

Поглощающая способность ВОПР различных углеводородов, расположенных на водной поверхности пресного водоема в динамических условиях

Нефтепродукт	Поглощающая способность G_{iN} , г/г	Средняя поглощающая способность G_N , г/г	Количество отжимаемого нефтепродукта, %	Количество отжимаемого нефтепродукта, %
Ен-590	26,4	20,61	62,8	60,26
	24,4		67,7	
	24,6		65,9	
	17,9		53,2	
	16,42		56,03	
	13,92		55,98	
Ен-590*	14,7	14,6	51,9	52,4
	14,8		52,3	
	14,3		53	
Дизельное топливо	35,35	35,35	27,3	27,3
Нефрас С2 80/120	15,80	15,4	63,3	63,36
	15,5		67	
	14,82		60,4	
Нефрас С-4 150/200	18,06	18,74	57,8	61,4
	18,46		67,5	
	19,7		58,9	
Масло нейтральное	88,38	101,04	62,5	59,2
	76,57		59,4	
	122,71		57	
	116,50		57,8	

Примечание. *Использовали рогоз после семи лет хранения.

Таблица 4

Поглощающая способность ВОПР различных углеводородов с поверхности воды, содержащей хлорид натрия (динамические условия)

Нефтепродукт	Поглощающая способность G_{IN} , г/г	Средняя поглощающая способность G_N , г/г	Количество отжимаемого нефтепродукта, %	Количество отжимаемого нефтепродукта, ср. %
Е-590	17,3	20,2	62,1	62,6
	20,0		64,7	
	23,2		61,0	
Е-590	12,5	12,62	46,3	48,7
	13,9		54,4	
	11,4		45,5	
Е-590*	16,8	18,2	53,6	58,9
	19,0		61	
	18,8		62	
Нефрас С-4	17,5	19,2	53	54
	19,7		54	
	20,5		55	
	19,2		54	

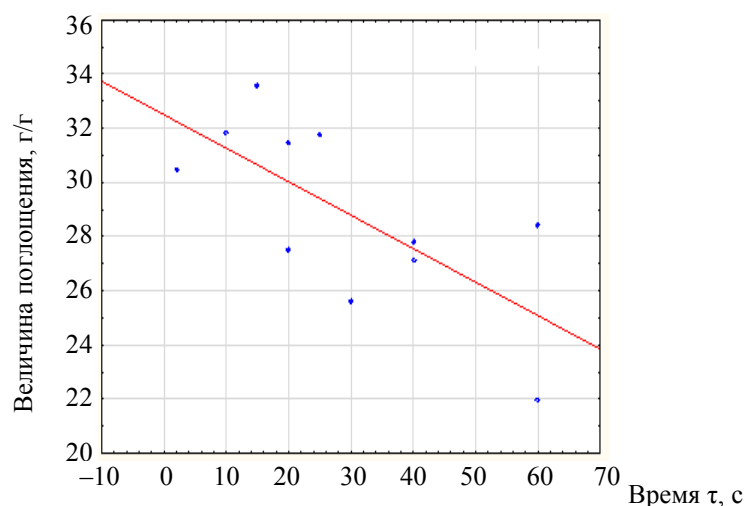


Рис. 8. Изменение поглощающей способности ВОПР в зависимости от времени контакта с поглощаемым веществом (дизельное топливо)

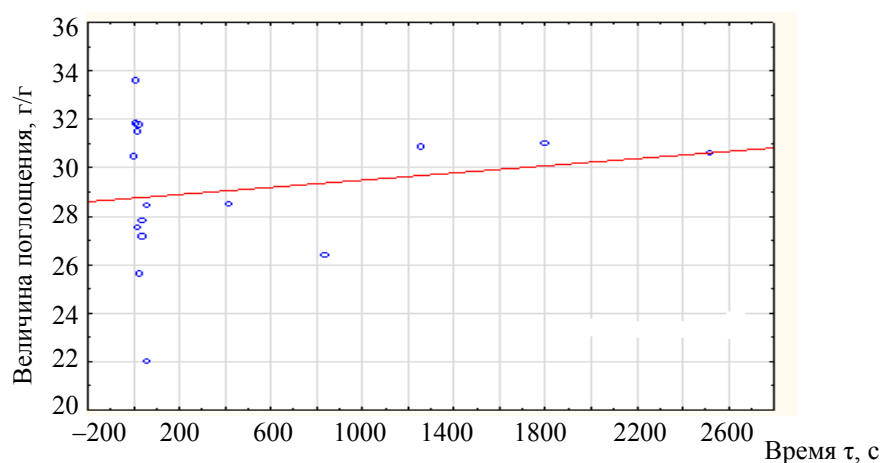


Рис. 9. Изменение поглощающей способности ВОПР в зависимости от времени контакта с поглощаемым веществом (дизельное топливо)

Из представленных на рис. 7 и 8 графиков видно, что поглощающая способность ВОПР слабо меняется с изменением времени контакта его с углеводородной жидкостью, и находится в преде-

лах 32–25 г/г. Причем если на рис. 8 в интервале времени от 5 до 60 с регрессионная кривая указывает на снижение поглощающей способности, то на графике, изображенном на рис. 9, поглощаю-

щая способность незначительно повышается, что соответствует общей тенденции, характерной для всех поглощающих материалов. Однако такое незначительное повышение поглощающей способности указывает на возможность быстрого сбора материала (ВОПР) с поверхности воды, что позволит механизировать данный процесс, что еще раз указывает на перспективность использования рассматриваемого природного материала.

Заключение. Полученные при изучении удерживающей способности природного материала ВОПР результаты позволяют сделать вывод о перспективности использования рассматриваемого природного материала в качестве наиболее эффективного поглотителя при проведении аварийно-спасательных работ при ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов в условиях Беларуси и других стран.

Литература

1. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды. Л.: Химия, 1982. 168 с.
2. Mazeans L., Budzinski H. // *Environ. Sci. Technol.* 2002. No. 36(2), P. 130.
3. 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.
4. Лиж Ю. В. Беларуси началось производство уникального нефтесорбента // *Советская Беларусь*. 2015. № 27. С. 2.
5. Бudyкина Т. А., Бudyкина К. Ю. Перспективные реагенты и комплексы для ликвидации аварийных разливов нефти [Электронный ресурс] // *Современные материалы, техника и технологии*. 2016. № 4 (7). С. 21–27. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-reagenty-i-kompleksy-dlya-likvidatsii-avariynyh-razlivov-nefti> (дата обращения: 02.12.2018).
6. Каменщиков Ф. А., Богомольный Е. И. Нефтяные сорбенты. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 286 с.
7. Гигевич Г. С., Власов Б. П., Вынаев Г. В. Высшие водные растения Беларуси. Эколого-биологическая характеристика, использование и охрана. Минск: БГУ, 2001. 231 с.
8. Каменщиков Ф. А., Богомольный Е. Н. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований, 2006. 528 с.
9. Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов: ГОСТ 33627–2015. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.
10. Сорбенты «Лессорб» ТУ 9010-002-35615057-99 / ТУ 0390-001-35615057-99. Технические характеристики [Электронный ресурс] // *Лессорб*. URL: <http://www.lessorb.ru/sredstva-sorbcionno-ochistki/sorbenty-nefteproduktov/sorbenty-lessorb> (дата обращения: 02.12.2018).
11. Сорбционный метод ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: учеб. пособие / Н. А. Самойлов [и др.]. М.: Химия, 2001. 190 с.
12. Сорбент «НьюСорб» – гидрофобный сорбент для нефти и нефтепродуктов. Технические характеристики [Электронный ресурс] // *ХимСтройИнжиниринг*. URL: <https://him-stroy.ru/catalog/ochistka-vod-ot-nefteproduktov/sorbent-nyusorb-mineral/> (дата обращения: 05.12.18).
13. Бudyкина Т. А., Емельянов С. Г. Процессы и аппараты защиты гидросферы. М.: Академия, 2010. 288 с.
14. Органические и органо-минеральные соединения природных и техногенно-нарушенных экосистем: [промежуточный] отчет о науч.-исслед. работе «Почва и почвенный покров России как основа ее устойчивого развития» [Электронный ресурс]. URL: <https://istina.msu.ru/download/40540229/1gM7Sb:YvtXjuq3qHHT9uejkT3pfrkRvfo> (дата обращения: 05.12.18).
15. Сравнительные испытания эффективности сорбента Spill-Sorb с двумя главными конкурентами на российском рынке торфяных сорбентов [Электронный ресурс] // *Терра. Экология*. URL: <http://terra-ecology.ru/sravnitelnoe-ispytaniya-jeffektivnos> (дата обращения: 05.12.18).

References

1. Smirnov A. D. *Sorbtsionnaya ochistka vody* [Sorptions water purification]. Leningrad, Khimiya Publ., 1982. 168 p.
2. Mazeans L., Budzinski H. *Environ. Sci. Technol.*, 2002, no. 36(2), p. 130.
3. Chukhareva N. V., Shishmina L. V. Comparison of sorption properties of peat of high and lowland types in relation to marketable oil and stable gas condensate. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant materials], 2012, no. 4, pp. 193–200 (In Russian).
4. Lijh Yu. Production of unique oil sorbent started in Belarus. *Sovetskaya Belarus'* [Soviet Belarus], 2015, no. 27, p. 2 (In Russian).
5. Budykina T. A., Budykina K. Yu. Perspective reagents and complexes for oil spill response. *Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologii* [Modern materials, technics and technology], 2016, no. 4 (7),

pp. 21–27 (In Russian). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-reagenty-i-kompleksy-dlya-likvidatsii-avariynyh-razlivov-nefti/> (accessed 02.12.2018).

6. Kamenshchikov F. A., Bogomol'nyy Ye. I. *Neftyanyye sorbenty* [Oil sorbents]. Izhevsk, Institut komp'yuternykh issledovaniy Publ., 2003. 286 p.

7. Gigevich G. S., Vlasov B. P., Vynayev G. V. *Vysshiyee vodnyye rasteniya Belarusi. Ekologo-biologicheskaya kharakteristika, ispol'zovaniye i okhrana* [Higher aquatic plants of Belarus. Ecological and biological characteristics, use and protection]. Minsk, BGU Publ., 2001. 231 p.

8. Kamenshchikov F. A., Bogomol'nyy Ye. N. *Udalenie nefteproduktov s vodnoy poverkhnosti i grunta* [Removal of petroleum products from water and soil]. Izhevsk, NITS "Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika"; Institut komp'yuternykh issledovaniy Publ., 2006. 528 p.

9. GOST 33627–2015. Activated carbon. Standard method for determining the sorption characteristics of adsorbents. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 15 p. (In Russian).

10. TU 9010-002-35615057-99 / TU 0390-001-35615057-99. *Sorbenty "Lessorb". Tekhnicheskkiye kharakteristiki* [Sorbents "Lessorb". Technical characteristics]. Available at: <http://www.lessorb.ru/sredstva-sorbcionno-ochistki/sorbenty-nefteproduktov/sorbenty-lessorb> (accessed 02.12.18).

11. Samoylov N. A., Khlestkin R. N., Shemetov A. V., Shamazov A. A. *Sorbtsionnyy metod likvidatsii avariynykh razlivov nefiti i nefteproduktov* [Method for the Elimination of Emergency Spills of Oil and Oil Products]. Moscow, Khimiya Publ., 2001. 190 p.

12. *Sorbent "N'yuSorb" – gidrofobnyy sorbent dlya nefiti i nefteproduktov. Tekhnicheskkiye kharakteristiki* [Sorbent "NewSorb" is a hydrophobic sorbent for oil and oil products. Specifications]. Available at: <https://himstroy.ru/catalog/ochistka-vod-ot-nefteproduktov/sorbent-nyusorb-mineral/> (accessed 05.12.18).

13. Budykina T. A., Yemel'yanov S. G. *Protsessy i apparaty zashchity gidrosfery* [Processes and devices for the protection of the hydrosphere]. Moscow, Akademiya Publ., 2010. 288 p.

14. *Organicheskkiye i organo-mineral'nyye soyedineniya prirodnykh i tekhnogenno-narushennykh ekosistem: [promezhutochnyy] ochet o nauch.-issled. rabote "Pochva i pochvennyy pokrov Rossii kak osnova yeye ustoychivogo razvitiya"* [Organic and organo-mineral compounds of natural and technogenically disturbed eco-systems: [interim] report on scientific research work "The soil and soil cover of Russia as the basis of its sustainable development"]. Available at: <https://istina.msu.ru/download/40540229/1gM7Sb:YvtXjuq3qHNT9uejKt3pfrkRvfo> (accessed 05.12.18).

15. *Sravnitel'nyye ispytaniya effektivnosti sorbenta Spill-Sorb s dvumya glavnyimi konkurentami na rossiyskom rynke torfyanykh sorbentov* [Comparative testing of the efficiency of the sorbent Spill-Sorb with two main competitors in the Russian market of peat sorbents]. Available at: <http://terraecology.ru/sravnitelnoe-ispytaniya-jeffektivnos> (accessed 05.12.18).

Информация об авторах

Горовых Ольга Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры специальной подготовки. Филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации» Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (222515, д. Светлая Роща, д. 1, Борисовский р-н, Республика Беларусь).

Саевич Константин Федорович – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физикохимии материалов и производственных технологий. Белорусский государственный экономический университет (220070, г. Минск, Партизанский пр-т, 26, Республика Беларусь). E-mail:

Альжанов Бауржан Алпысович – адъюнкт. Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, Республика Беларусь). E-mail: alzhanov73@mail.ru

Information about the authors

Gorovykh Olga Gennadievna – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Special Training. Branch "The Institute for Retraining and Professional Development" of the University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus (1, village Svetlaya Roshcha, Borisov area, 222515, Republic of Belarus).

Saevich Konstantin Fedorovich – DSc (Biology), Professor, Professor, the Department of Physical Chemistry of Materials and Production Technologies. Belarusian State Economic University (26, Partizanskiy Ave., 220070, Minsk, Republic of Belarus).

Alzhanov Baurzhan Alpysovich – adjunct. University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, (25, Mashinostroiteley str., 220118, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alzhanov73@mail.ru

Поступила 04.01.2019