



DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-4-561-573

УДК 504.4.054:622.32(045)

Научная статья / Research article

Подбор сорбента при аварийных разливах нефтепромысловых жидкостей на территории Камбарского нефтяного месторождения

Е.А. Борисова, С.А. Красноперова  

Удмуртский государственный университет, Ижевск, Российская Федерация

 krasnoперова-sve@mail.ru

Аннотация. Освоение и эксплуатация месторождений нефти и газа приводят к существенному преобразованию естественных экосистем из-за значительной антропогенной нагрузки на окружающую среду. Поэтому для предотвращения и уменьшения негативных воздействий на природные объекты должны быть использованы современные технологии и технические средства, наиболее экологически приемлемые для конкретных условий территории, где размещаются проектируемые техногенные сооружения. При планировании соответствующих технологий, направленных на восстановление компонентов природной среды, следует учитывать экономическую оценку наносимых ущербов при предупреждении и ликвидации аварийных разливов нефти. Предложен подбор нового сорбента при аварийных разливах нефтепромысловых жидкостей на территории Камбарского нефтяного месторождения, а также проведение экономических расчетов предотвращенного ущерба.

Ключевые слова: нефть и нефтепродукты, сорбент, ликвидация разливов нефтепродуктов, предотвращенный ущерб, разливы нефти и нефтепромысловых жидкостей

Благодарности и финансирование. Благодарим сотрудников АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова за содействие и помощь в предоставлении необходимых материалов для написания статьи.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

История статьи: поступила в редакцию 25.04.2022; доработана после рецензирования 26.08.2022; принята к публикации 12.10.2022.

© Борисова Е.А., Красноперова С.А., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License


<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Для цитирования: Борисова Е.А., Красноперова С.А. Подбор сорбента при аварийных разливах нефтепромысловых жидкостей на территории Камбарского нефтяного месторождения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 4. С. 561–573. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-561-573>

Selection of sorbent in case emergency spills of oilfield liquids on the territory of the Kambarsky oil field

Elena A. Borisova, Svetlana A. Krasnoperova  

Udmurt State University, Izhevsk, Russian Federation

 krasnoperova-sve@mail.ru

Abstract. During the development and operation of oil and gas fields, all components of the natural environment (atmospheric air, surface and underground waters, relief, soil and vegetation cover, fauna) undergo significant transformation. Therefore, to prevent and reduce negative impacts on these natural objects, modern technologies and technical means should be used that are most environmentally acceptable for the specific conditions of the territory where the projected man-made structures are located. When planning appropriate technologies aimed at restoring the components of the natural environment, one should take into account the economic assessment of the damage caused during the prevention and elimination of emergency oil spills. This article proposes the selection of a new sorbent in case of emergency spills of oil-field fluids on the territory of the Kambarsky oil field, as well as conducting economic calculations of the prevented damage.

Keywords: oil and petroleum products, sorbent, elimination of oil spills, prevented damage, oil spills and oilfield liquids

Acknowledgements and Funding. We thank the employees of the A.A. Volkov's Belkamneft joint-stock company for their assistance and assistance in providing the necessary materials for writing the article.

Authors' contributions: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Article history: received 25.04.2022; revised 26.08.2022; accepted 01.10.2022.

For citation: Borisova EA, Krasnoperova SA. Selection of sorbent in case emergency spills of oilfield liquids on the territory of the Kambarsky oil field. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(4):561–573. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-561-573>

Введение

Основой экономического процветания АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова и главным условием сохранения здоровья и работоспособности работников данной организации, а также населения, проживающего на территории расположения производственных объектов, является экологическая безопасность его функционирования. При осуществлении своей деятельности НГДУ решает проблему в соответствии со стратегической целью предприятия, приоритеты которой представлены на схеме (рис. 1).



Рис. 1. Приоритеты стратегической политики предприятия в области охраны окружающей среды



Figure 1. Priorities of the company's strategic policy in the field of environmental protection

В последние десятилетия РФ активизировала политику в области предупреждения и ликвидации последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. Это связано с участвовавшими негативными последствиями для объектов окружающей среды со стороны нефтяного загрязнения. Для устранения последнего разработан комплекс мероприятий, направленных на удаление нефти и стоков нефтепродуктов с поверхности воды и почвы – это сорбционный метод [1–5].

Таким образом, цель данного исследования – провести подбор сорбентов для выявления наиболее эффективного.

Материал и методы исследования

Земельные участки Камбарского нефтяного месторождения, подлежащие комплексным мероприятиям по ликвидации разливов нефти и рекультивации, – это прежде всего:

– куст скважин К-1, включая разворотную площадку для автотранспорта и существующую разведочно-эксплуатационную скв. 883Р;

– нефтегазосборный трубопровод на кусте скважин К-1 до точки врезки в существующий нефтепровод «Скв. 883Р Камбарского нефтяного месторождения – УПН «Балаки»».

Под площадки строительства проектируемых объектов предоставлен лесной участок площадью 2,2 га в аренду на период действия лицензии на право пользования недрами сроком до 25.05.2024.

Существующая разведочно-эксплуатационная скв. 883Р располагается на земельном участке площадью 0,36 га, ранее отведенном в долгосрочное пользование сроком до 25.05.2024.

После завершения строительно-монтажных работ рекультивации подлежат земельные участки, отведенные под куст скважин К-1 и нефтегазосборный трубопровод. Площади земельных участков, подлежащих рекультивации на Камбарском нефтяном месторождении, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Площади земельных участков, подлежащие рекультивации

№ п/п	Наименование проектируемого объекта	Всего, га	В том числе на рекультивацию, га		Из них по угодьям, га	
			техническую	биологическую	Лес	Земли, не покрытые лесом
ГУ УР «Камбарский лесхоз»						
1	Куст скважин К-1, включая разворотную площадку для автотранспорта и существующую скв. 883Р	2,487	2,487	0,612	1,560	0,927
2	Нефтегазосборный трубопровод от КЗОО до точки врезки в существующий нефтепровод «Скв. 883Р Камбарского нефтяного месторождения – точка врезки в нефтепровод»; «Скв. 882 Никольского нефтяного месторождения – УПН «Балаки»»	0,073	0,073	0,073	-	0,073
ИТОГО		2,560	2,560	0,685	1,560	1,000
в том числе под существующей скв. 883Р		0,360	0,360	-	-	0,360

Table 1. Areas of land plots subject to reclamation

№ п/п	The name of the projected object	Total, hectare	Including for reclamation, hectare		Of them by land, hectare	
			Technical	Biological	Forest	Lands not covered by forest
GU UR "Kambarisky forestry"						
1	Bush wells K-1, including a turning platform for vehicles and the existing sle. 883R	2,487	2,487	0,612	1,560	0,927
2	Oil and gas collecting pipeline from KZOU to the point of insertion into the existing oil pipeline "Skv. 883R of the Kambarisky oil field – the point of insertion into the oil pipeline"; "Skv. 882 of the Nikolsky oil field – UPN "Balaki"	0,073	0,073	0,073	-	0,073
TOTAL		2,560	2,560	0,685	1,560	1,000
Including under the existing sq. 883R		0,360	0,360	-	-	0,360

Плодородие почв по агрохимическим и агрофизическим показателям после предполагаемого аварийного разлива нефти исследуемого нефтяного месторождения должно быть доведено до уровня не ниже, чем до отвода под строительство.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ свойств сорбентов показал, что наиболее близким к понятию «оптимальный сорбент для разлитой нефти» является ватин, обладающий необходимым набором свойств, в частности олеофильностью и гидрофобностью. Однако этот сорбент как промышленный продукт имеет высокую стоимость, в связи с чем возникает необходимость удешевления процесса сбора нефти. С целью поиска более дешевого и не менее эффективного поглотителя по сравнению с ватином были изучены отходы хлопкоперерабатывающих предприятий и выявлены крупнотоннажные отходы прядильных и ватных производств, которые успешно могут быть использованы для сбора нефти и нефтепродуктов с места их аварийных разливов.

Наибольший интерес представляют отходы прядильных производств («текстильный орешек»), которые имеют вид комочков хлопкового волокна диаметром около 1–3 мм с небольшим содержанием механических примесей растительного происхождения (остатки листьев, стеблей и коробочек хлопчатника). Эти отходы, сбитые в груды, достаточно легко разделяются на отдельные пласты волокнистого материала, которые несложно распределить по поверхности, загрязненной нефтепродуктами [6–8].

Детальные исследования поглощающих свойств сорбента, которому дали название «СИНТАПЭКС», показали, что он не уступает ватину по своим эксплуатационным качествам при сборе нефти (табл. 2), он также хорошо поглощает и другие нефтепродукты: бензин, дизельное топливо, как в чистом виде, так и в слоях различной толщины с поверхности воды. Следует отметить, что во время процесса сорбции бензина одновременно наблюдается и значительное его испарение, в связи с чем данные по сорбции бензина следует считать заниженными.

Важной эксплуатационной характеристикой сорбента «СИНТАПЭКС» является очень низкая величина водопоглощения. При контакте с чистой водой сорбент плавает на его поверхности, при этом водопоглощение составляет всего 0,3 г/г; при контакте со слоем нефтепродукта, разлитого по поверхности воды, водопоглощение не превышает 0,5 г/г при сорбции дизельного топлива, а при сорбции нефти и бензина водопоглощение снижается до нуля.

Таблица 2. Водо- и нефтепоглощение ватина, синтепона и их комбинации

Параметры	Ватин	Синтепон	Ватин – синтепон – ватин
Масса образца, г	1,67	0,67	4,01
Водопоглощение после контакта 1 ч, г/г	0,50	42–52	–
Отжим воды, г/г	0,30	36–46	–
Нефтепоглощение после контакта 1 ч, г/г	24–27	46	17,5
Остаточная нефтеемкость после ее отжима, г/г	3,5	2,4	2,37
Степень регенерации нефти, %	87	94	86
Время пропитки нефтью, с	2–3	2–3	2–3

Table 2. Water and oil absorption of batting, sintepon and their combinations

Parameters	Batting	Sintepon	Batting – sintepon – batting
Sample weight, g	1,67	0,67	4,01
Water absorption after contact 1 hour, g/g	0,50	42–52	–
Water extraction, g/g	0,30	36–46	–
Oil absorption after contact 1 hour, g/g	24–27	46	17,5
Residual oil capacity after its extraction, g/g	3,5	2,4	2,37
Degree of oil regeneration, %	87	94	86
Oil impregnation time, sec.	2–3	2–3	2–3

Благодаря низкой плотности сорбента ($0,04 \text{ г/см}^3$) его расход для сбора разлитых нефтепродуктов очень низок и, в зависимости от мощности разлива, составляет около 0,1–0,5 кг сорбента на 1 кг продукта.

В силу легкой деформируемости пластин текстильного орешка, пропитанного нефтью и нефтепродуктами, не представляет труда отжим значительной части собранного продукта на простейших валковых устройствах, что позволяет утилизировать до 75 % собранной нефти и до 83 % собранного дизельного топлива (последнее отжимается в большей степени в силу меньшей по сравнению с нефтью вязкости). Отработанный сорбент сжигается с остаточной зольностью 3 %.

Причиной высокой гидрофобности сорбента является наличие на поверхности хлопкового волокна жироподобных веществ, препятствующих в природных условиях затоплению парашютирующих семян хлопчатника при попадании их на поверхность воды, как у иных аналогично размножающихся растений. В табл. 3 представлены гидрофобные характеристики сорбента «СИНТАПЭКС», где отмечено, что он даже после десяти суток контакта с водой сохранял свою агрегативную устойчивость и не тонул сразу через несколько минут по сравнению с другими сорбентами.

Для повышения уровня гидрофобности сорбента было предложено обрабатывать нижнюю поверхность пласта отхода прядильного производства машинным маслом, например трансформаторным или веретенным, что снижало величину водопоглощения на 20–50 %. Так, например, при

обработке машинным маслом в количестве 0,195 г масла на 1 г сорбента водопоглощение составило 0,2 г/г, тогда как исходный отход имел величину водопоглощения 0,24–0,3 г/г.

Испытания сорбента «СИНТАПЭК» по сбору слоя нефти с поверхности снега, льда и водоледяной шуги показали, что сорбент сохраняет высокие эксплуатационные характеристики и при низких температурах системы (минус 1 °С).

Таблица 3. Гидрофобные характеристики сорбента «СИНТАПЭК»

Время контакта с водой, сут	Влагопоглощение г/г сорбента	Примечание
0,15	0,14	При контакте в течение 1–6 сут увлажняется только подошвенный слой сорбента толщиной 0,2–0,3 см
0,25	0,13	
1,0	0,16	
3,0	0,17	
6,0	0,26	При контакте в течении 10 сут увлажнение слоем сорбента происходит на глубину 0,6–0,8 см
10,0	0,32	

Table 3. Hydrophobic characteristics of the SYNTAPEX sorbent

Time of contact with water, day	Moisture absorption g/g of sorbent	Note
0,15	0,14	Upon contact within 1–6 days. Only the plantar layer of the sorbent with a thickness of 0.2–0.3 cm is moistened
0,25	0,13	
1,0	0,16	
3,0	0,17	
6,0	0,26	Upon contact within 10 days. humidification with a sorbent layer occurs to a depth of 0.6–0.8 cm
10,0	0,32	

Сопоставление трех близких по текстуре сорбентов: ватина, «СИНТАПЭКСА» и отхода ватного производства – показало, что на величину предельного нефтепоглощения хлопкосодержащего сорбента влияет, в первую очередь, количество имеющихся в последнем растительных отходов мусора, состоящего из стеблей и листьев хлопчатника. При этом выявлена обратно пропорциональная зависимость между содержанием мусора и величиной нефтепоглощения. Также отмечено, что в условиях очистки водной поверхности от относительно тонкого слоя нефти (1–3 мм), когда в системе наблюдается избыточное количество поглотителя, оба вида сорбента имеют близкие характеристики.

При сборе нефти с поверхности почвы формируются пласты с уклоном 8–9 градусов, имитирующим неровности исследуемых почв (черноземная, песчаная). Результаты показали, что сорбент «СИНТАПЭК» способен эффективно собирать остаточную нефть, не впитавшуюся в грунт (табл. 4).

Исходя из данных табл. 4 видно, что достигнута величина нефтепоглощения сорбента на уровне 11–12 г/г (следует отметить, что эта величина ниже потенциальной поглощающей способности сорбента, так как пласт сорбента не был полностью пропитан нефтью); более 60% собранной нефти можно утилизировать, отжимая нефть из пласта сорбента. При сборе нефти после имитации повторного разлива, когда нефть попадала на уже пропитанный продуктом грунт, эффективность нефтесбора повысилась до 13 г/г при уровне утилизации нефти более 75 %.

Таблица 4. Сбор нефти с поверхности грунта сорбентом «СИНТАПЭКС»

Показатели	Почвенная система	
	Черноземная	Песчаная
Первичное загрязнение почвы нефтью		
Удельная мощность разлива, л нефти/м ² почвы	7,52	9,05
Уровень разлива:		
– минимальный, мм	0	0
– максимальный, мм	10	12
– средний (расчетный), мм	7,52	9,05
Удельный расход сорбента, г/г нефти	0,067	0,061
Время контакта, ч	2	2
Нефтепоглощение сорбента, г/г	11,9	6,9
Степень очистки загрязнения, %	80,5	41,8
Степень утилизации нефти (%) от:		
– собранной нефти	64,0	48,3
– разлитой нефти	51,6	20,1
Состояние почвы через час после контакта с нефтью:		
– диапазон уровней пропитки нефтью, мм	0–30	0–70
– средний уровень пропитки нефтью, мм	15	35
Средняя пропитка почвы нефтью, г/(см ² см)	0,081	0,114
Повторное загрязнение почвы нефтью		
Удельная мощность разлива, л нефти/м ² почвы	11,50	12,35
Удельный расход сорбента, г/г нефти	0,044	0,045
Время контакта, ч	1,5	1,5
Нефтепоглощение сорбента, г/г	13,05	13,13
Степень очистки загрязнения, %	78,2	77
Степень утилизации нефти (%) от:		
– собранной нефти	76,4	77,0
– разлитой нефти	55,5	59,0

Table 4. Collection of oil from the ground surface by the "SYNTAPEX" sorbent

Indicators	Soil system	
	Chernozem	Sandy
Primary oil pollution of the soil		
Specific oil spill capacity/m ² of soil	7,52	9,05
Spill level:		
- minimum, mm	0	0
- maximum, mm	10	12
- average (calculated), mm	7,52	9,05
Specific consumption of sorbent, g/g of oil	0,067	0,061
Contact time, hour	2	2
Oil absorption of sorbent, g/g	11,9	6,9
Degree of pollution purification, %	80,5	41,8
Oil utilization rate (%) of:		
- collected oil	64,0	48,3
- spilled oil	51,6	20,1
Soil condition an hour after contact with oil:		
- range of oil impregnation levels, mm	0–30	0–70
- average oil impregnation level, mm	15	35
Average soil impregnation with oil, g/(cm ² cm)	0,081	0,114
Repeated contamination of the soil with oil		
Specific oil spill capacity/m ² of soil	11,50	12,35
Specific consumption of sorbent, g/g of oil	0,044	0,045
Contact time, hour	1,5	1,5
Oil absorption of sorbent, g/g	13,05	13,13
Degree of pollution purification, %	78,2	77
Oil utilization rate (%) of:		
- collected oil	76,4	77,0
- spilled oil	55,5	59,0

Одним из путей повышения экономичности нефтесбора может стать использование комбинированного трехслойного сорбента, когда внешние слои выполнены из гидрофобного сорбента «СИНТАПЭКС», а внутренний слой – из дешевого гидрофильного растительного отхода сельского хозяйства в виде сечки соломы или камыша, опилок, при этом слой сорбента «СИНТАПЭКС» предохраняет растительный отход от попадания на него воды при сборе нефтепродукта с ее поверхности. Эффективность нефтепоглощения указанного комбинированного сорбента по сравнению с другими достаточно высокая, при этом наблюдается положительный синергетический эффект.

В целом при сборе нефти с поверхности почвы для сорбента «СИНТАПЭКС» характерны более высокие эксплуатационные качества по сравнению с преобладающим большинством исследованных сорбентов, у которых величина нефтепоглощения практически стабилизируется при толщине слоя нефти 1,5–2 мм. Нефтепоглощение сорбента «СИНТАПЭКС» интенсивно продолжает расти с увеличением толщины слоя нефти, при этом расход сорбента в 2–3 раза меньше, чем расход большинства нефтяных плотителей.

Сопоставление всего информационного массива по потенциальным возможностям различных сорбентов нефти показывает, что высокоселективный сорбент «СИНТАПЭКС» по величине нефтепоглощения уступает только селективной карбамидоформальдегидной смоле, а также неселективному поролону и синтепону и приближен по сорбционным характеристикам к ватину. Остальные изученные сорбенты, в том числе и те, которые уже применяются для сбора нефти, существенно уступают сорбенту «СИНТАПЭКС» по всем параметрам; стоимость сбора разлитой нефти сорбентом «СИНТАПЭКС» составляет всего 0,082 долл. США/кг.

На рис. 2 приведены данные по ряду исследованных сорбентов. Эти данные подтверждают, что сорбент «СИНТАПЭКС» как по эксплуатационным характеристикам, так и по стоимости более конкурентоспособен по отношению к другим широко используемым сорбентам для сбора нефти с места ее аварийного разлива.

В данной работе выполнена комплексная оценка эксплуатационных свойств различных сорбентов. Одним из наиболее адекватных подходов к решению таких задач является нечеткое множество, позволяющее наилучшим образом структурировать анализируемые системы, не имеющие четких границ. С этой целью в теории множеств рассматриваются функции принадлежности, которые характеризуют степень близости данного рассматриваемого элемента системы к заданному множеству. Функция принадлежности формировалась на основе ранжирования исходных информационных массивов свойств сорбентов по четырем критериям [9]:

- 1) μ_1 – ранжировка нефтепоглощения;
- 2) μ_2 – ранжировка водопоглощения;
- 3) μ_3 – ранжировка числа циклов работы;
- 4) μ_4 – ранжировка стоимости сорбента.



Рис. 2. Стоимость сбора разлитой нефти различными поглотителями

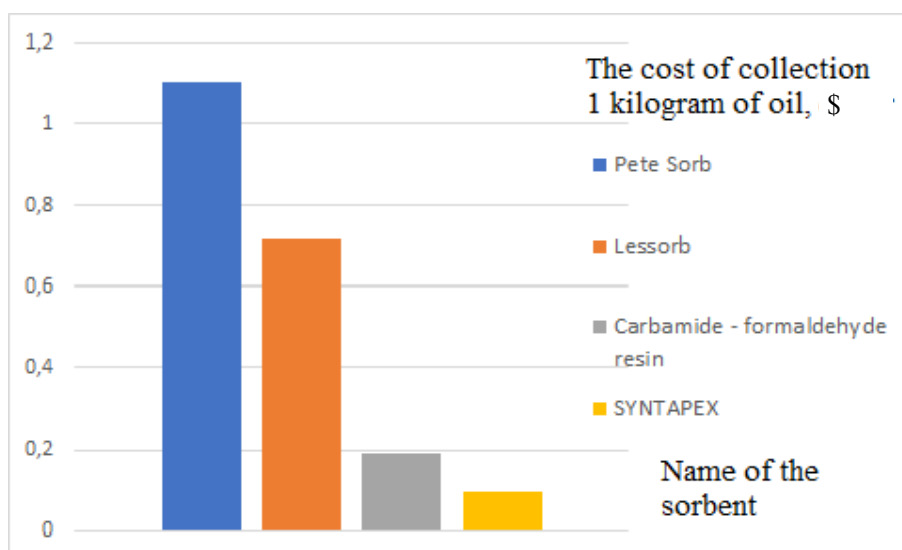


Figure 2. The cost of collecting spilled oil by various sinks

Таблица 5. Техническая характеристика сорбентов и результаты их лабораторных испытаний

Характеристика	Пит Сорб	Лессорб	СИНТАПЭКС
	ТХР*	ТХР	ТХР
Основа сорбента	Торф	Торф	Хлопок
Форма сорбента	Крошка	Крошка	Волокна
Плотность, г/см ³	–	–	0,04
Нефтепоглощение, г/г	6–7	12–15	24,45
Осадок в воде после 3 ч отстоя, %	–	–	нет
Водопоглощение, г/г	г/ф**	г/ф	0,20
Способ утилизации сорбента	Сжигание	Сжигание	Сжигание
Стоимость 1 кг сорбента, долл. США	7	7	2
Упаковка	Тара	Тара	Кипа
Разработчик	Канада	Брянск	Уфа

Примечания: ТХР* – технические характеристики разработчиков и изготовление сорбента;
г/ф** – гидрофобный сорбент

Table 5. Technical characteristics of sorbents and the results of their laboratory tests

Characteristic	Pit Sorb	Lessorb	SYNTAPEX
	TXP*	TXP	TXP
The basis of the sorbent	Peat	Peat	Cotton
Sorbent form	Canopy	Canopy	Fibers
Density, g/cm ³	–	–	0.04
Oil absorption, g/g	6–7	12–15	24.45
Sediment in water after 3 hours of sediment, %	–	–	No
Water absorption, g/g	G / F**	г/ф	0,20
Method of sorbent utilization	Burning	Burning	Burning
The cost of 1 kg of sorbent, \$	7	7	2
Packaging	Tara	Tara	Boiling
Developer	Canada	Bryansk	Ufa

Notes: TXP* - technical characteristics of the developers and manufacture of the sorbent;
g/f** - hydrophobic sorbent

Из-за большого разброса цен стоимость сорбентов была ранжирована по четырем классам. К первому классу относили материалы, стоимость которых превышала 150 тыс. рублей за тонну, четвертый класс представлял собой менее 30 тыс. рублей за тонну.

Функция принадлежности по каждому из i критериев для каждого из j сорбентов μ_{ij} рассчитывалась как

$$\mu_{ij} = (n - k)/n, \quad (1)$$

где n – общее количество рассмотренных сорбентов; k – порядковый номер j -го сорбента при упорядочении информационного массива по каждому из i критериев.

Для анализа было отобрано 7 сорбентов. В качестве обобщенного критерия оценки эксплуатационных свойств сорбентов использована свертка функций принадлежности. Результаты расчетов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Обобщенная характеристика свойств сорбентов

Сорбент	Нефтепоглощение, г/г		Водопоглощение, г/г		Число циклов		Стоимость сорбента		Свертка
	значение	μ_1	значение	μ_2	значение	μ_3	класс	μ_4	
Ватин	24	0,765	0,5	0,824	300	0,900	2	0,267	0,624
Лессорб – Э	12,1	0,471	6,9	0,235	1	0,267	3	0,567	0,360
Пенопласт	9,26	0,353	4,45	0,412	1	0,267	2	0,267	0,319
Пит Сорб	6,19	0,176	0,71	0,706	1	0,267	1	0,167	0,273
Поролон	14,5	0,529	1,3	0,588	300	0,900	2	0,267	0,523
СИНТАПЭКС	25	0,882	0,2	1,000	300	0,900	4	0,900	0,919
Торф	17,7	0,588	24,3	0,118	1	0,267	4	0,900	0,359

Table 6. Generalized characteristics of sorbent properties

Сорбент	Oil absorption, g/g		Water absorption, g/g		Number of cycles		The cost of the sorbent		Convolution
	meaning	μ_1	meaning	μ_2	meaning	μ_3	class	μ_4	
Batting	24	0.765	0.5	0.824	300	0.900	2	0.267	0.624
Lessorb – E	12.1	0.471	6.9	0.235	1	0.267	3	0.567	0.360
Styrofoam	9.26	0.353	4.45	0.412	1	0.267	2	0.267	0.319
Pete Sorb	6.19	0.176	0.71	0.706	1	0.267	1	0.167	0.273
Foam rubber	14.5	0.529	1.3	0.588	300	0.900	2	0.267	0.523
SYNTAPEX	25	0.882	0.2	1.000	300	0.900	4	0.900	0.919
Peat	17.7	0.588	24.3	0.118	1	0.267	4	0.900	0.359

Заключение

Таким образом, из изученных сорбентов свертка функций принадлежности является лучшей для сорбента «СИНТАПЭКС», составляя максимальную величину 0,919, ближайший сорбент по величине данной функции – это ватин, который имеет свертку 0,624, сорбенты типа «Лесорб» и «Пит Сорб» имеют величину свертки лишь на уровне 0,27–0,36, уступая сорбенту «СИНТАПЭКС» в три раза.

Список литературы

- [1] Хаустов А.П., Редина М.М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. М.: Дело, 2006. 552 с.
- [2] Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 268 с.
- [3] Набаткин А.Н., Хлебников В.Н. Применение сорбентов для ликвидации нефтяных разливов // Нефтяное хозяйство. 2000. № 11. С. 61.
- [4] Сорбционный метод ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Н.А. Самойлов, Р.Н. Хлесткин, А.В. Шеметов, А.А. Шаммазов. М.: Химия, 2001. 189 с.
- [5] Нефтеёмкость 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. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36896> (дата обращения: 24.10.2021).
- [6] Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Кутукова К.Н., Макарова Ю.А. Использование отходов производства в качестве сорбентов нефтепродуктов // Экология и промышленность России. 2009. Январь. С. 36–38.
- [7] Красноперова С. А. Применение отходов растительных остатков для очистки нефтезагрязненных почв // Городская среда: экологические и социальные аспекты: сборник статей науч.-практ. конф., 19.04.2017. Ижевск: Удмуртский университет, 2017. С. 280–282.
- [8] Горожанкина Г.И., Пинчукова Л.И. Сорбенты для сбора нефти: сравнительные характеристики и особенности применения // Трубопроводный транспорт нефти. 2000. № 4. С. 12–17.
- [9] Темирханов Б.А., Темердацев З.А., Елецкий Б.Д., Шпигун О.А. Оценка эффективности использования некоторых сорбентов при очистке поверхностных вод от нефти и нефтепродуктов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2005. № 5. С. 22–23.

References

- [1] Khaustov AP, Redina MM. *Environmental protection in oil production*. Moscow: Delo Publ.; 2006 (In Russ.).
- [2] Kamenshchikov FA, Bogomol'nyi EI. *Oil sorbents*. Moscow; Izhevsk: Institute of Computer Research Publ., 2003. (In Russ.).
- [3] Nabatkin AN, Khlebnikov VN. The use of sorbents for the elimination of oil spills. *Oil industry*. 2000;(11):61. (In Russ.).
- [4] Samoilov NA, Khlestkin RN, Shemetov AV, Shammazov AA. *Sorption method of liquidation of emergency oil and petroleum product spills*. Moscow: Chemistry Publ.; 2001. (In Russ.).

- [5] Lim LA, Reutov VA, Rudenko AA, Chudovskii AS. Oil capacity of the sorbent: the problem of choosing a method of determination. *Successes of modern natural science*. 2018;(10):144–150. Available at: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36896> (accessed: 24.10.2021). (In Russ.).
- [6] Sobgaida NA, Ol'shanskaya LN, Kutukova KN, Makarova YuA. The use of industrial waste as sorbents of petroleum products. *Ecology and industry of Russia*. 2009:36–38. (In Russ.).
- [7] Krasnoperova SA. The use of waste plant residues for cleaning oil-contaminated soils. *Urban environment: ecological and social aspects: collection of articles of scientific and practical conference*, 19.04.2017. Izhevsk: Udmurt University Publ.; 2017. (In Russ.).
- [8] Gorozhankina GI, Pinchukova LI. Sorbents for oil collection: comparative characteristics and application features. *Pipeline transportation of oil*. 2000;(4):12–17. (In Russ.).
- [9] Temirkhanov BA, Temerdashchev ZA, Elets'kii BD, Shpigun OA. Evaluation of the effectiveness of the use of certain sorbents in the purification of surface waters from oil and petroleum products. *Environmental protection in the oil and gas complex*. 2005;(5):22–23. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Борисова Елена Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды Удмуртского государственного университета, Российская Федерация, 426000, Ижевск, Университетская ул., д. 1. E-mail: e_borisova75@mail.ru
Краснoperова Светлана Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры геологии нефти и газа Удмуртского государственного университета, Российская Федерация, 426000, Ижевск, Университетская ул., д. 1. ORCID: 0000-0003-4818-6302, eLIBRARY SPIN-код: 4680-9236. E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru

Bio notes:

Elena A. Borisova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Environmental Engineering of the Udmurt State University, 1 Universitetskaya St, Izhevsk, 426000, Russian Federation. E-mail: e_borisova75@mail.ru

Svetlana A. Krasnoperova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Geology of the Udmurt State University, 1 Universitetskaya St, Izhevsk, 426000, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4818-6302, eLIBRARY SPIN-code: 4680-9236. E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru