

Фильтровально-сорбционный метод очистки нефтесодержащих сточных вод нетканым сорбентом «Экосорб»

С.Е. Ефимов

Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия
s.e.efimov@gmail.com

Аннотация. В работе приводятся результаты исследования эффективности сорбционной очистки нефтесодержащей сточной воды с использованием в качестве фильтрующей загрузки нетканого сорбирующего материала «Экосорб». Проведенные испытания фильтрующей установки показали, что наибольшая эффективность очистки нефтесодержащей сточной воды в заданном режиме работы достигается при четырех слоях сорбента в фильтре. Наиболее оптимальная плотность укладки сорбента в фильтре соответствовала четырем слоям, или 2,4 см общей толщины. Чрезмерное увеличение количества слоев, а соответственно плотности набивки, приводит к снижению эффективности фильтрации вследствие как перекрытия волокон, так и уменьшения пористости материала. Результаты очистки нефтесодержащей сточной воды при укладке сорбента в четыре слоя показывают, что эффективность очистки составляет 79 и 97 %, а концентрация нефтепродуктов в очищенной воде соответственно 0,17 и 0,25 мг/л. Испытания показали, что «Экосорб» обладает достаточно высокой сорбционной способностью по отношению к нефти и может применяться в качестве эффективной сорбирующей загрузки для фильтров предварительной очистки нефтесодержащих сточных вод..

Ключевые слова: сорбция, фильтрация, нетканый материал, нефть, сточные воды.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта № АААА-А17-117040700036-4.

Введение

Нефть и нефтепродукты являются одними из наиболее распространенных загрязнителей окружающей среды. Несмотря на совершенствование производств и безотходных технологий, водопотребление в нефтяной промышленности остается достаточно высоким, что неизбежно приводит к образованию нефтесодержащих сточных вод с последующим сбросом в окружающую среду.

Наиболее эффективным методом очистки сточных вод от нефтепродуктов является сорбционный метод очистки [1, 2]. На практике для очистки воды в основном применяются фильтры. В качестве загрузок для фильтров применяются различные природные и искусственные сорбенты. В XX в. для очистки сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты, в основном использовались различные природные материалы либо материалы, произведенные из них. К традиционным видам можно отнести углеродные сорбенты, цеолиты, глины, песок и др. [3–7]. Некоторые нефтесорбенты, такие как активированные угли, достаточно дорогостоящи, хоть и эф-

фективны в очистке, другие не всегда справляются с возложенными на них задачами [8, 9]. Поэтому были продолжены поисковые работы по разработке эффективных и доступных сорбентов. В настоящее время нашли широкое применение в различных областях полимерные материалы [9–13], в том числе нетканые сорбирующие материалы, обладающие высокими техническими и эксплуатационными характеристиками, кроме того, их преимуществом, в отличие от зернистых сорбентов, является простота и технологичность применения, благодаря форме изготовления в виде полотна.

Материалы и методы

Целью данной работы являлось исследование нефтесорбента «Экосорб» (ООО «ЭКОсервис-НЕФТЕГАЗ»), предназначенного для сбора пролитой нефти или нефтепродуктов в качестве фильтрующей загрузки. Сорбент представляет собой нетканый сорбирующий материал, изготовленный в виде полотна из полипропиленовых волокон иглопробивным способом. Данный

материал имеет высокую сорбцию по нефти и нефтепродуктам, многократную регенерируемость путем отжигания. Технические свойства приведены в табл. 1 [14].

Для очистки воды от нефти была изготовлена экспериментальная установка, включающая в себя исходную емкость с очищаемой сточной водой, погружной насос, фильтр, приемник очищенной воды (рис. 1).

Для регулирования параметров фильтрации в конструкции фильтра (рис. 2) предусмотрен вставляющийся в корпус патрон с перфорацией, предназначенный для отвода очищенной

воды. Собственно фильтрующий элемент из «Экосорба» в необходимом количестве наматывается на перфорированный патрон. Таким образом, имеется возможность регулировать количество слоев сорбента при заданной скорости фильтрации.

На рис. 3 показана схема прохождения воды через фильтрующий патрон.

Испытания изначально проводились при количестве перфораций в патроне 50, однако выяснилось, что общее сечение при этом не обеспечивает достаточную производительность фильтра. Поэтому в целях повышения средней линейной

Таблица 1

Свойства сорбента «Экосорб»

Table 1

Properties of “Ecosorb” sorbent

Поверхностная плотность, г/м ² Surface density, g/m ²	300
Толщина, мм Thickness, mm	6
Сорбционная емкость, г/г Sorption capacity, g/g	20 (для легких фракций) (for light fractions) 25 (для тяжелых фракций) (for heavy fractions)
Удерживающая способность, % Holding capacity, %	95
Скорость поглощения нефтепродукта, мин. Oil product absorption rate, min.	3,0 (для легких фракций) (for light fractions) 5,0 (для тяжелых фракций) (for heavy fractions)
Многократность использования Multiple use	До 50 раз Up to 50 times
Водопоглощение, г/г Water absorption, g / g	1,0–1,5
Плавучесть (визуально) Floatability (visually)	Неограниченная Unlimited

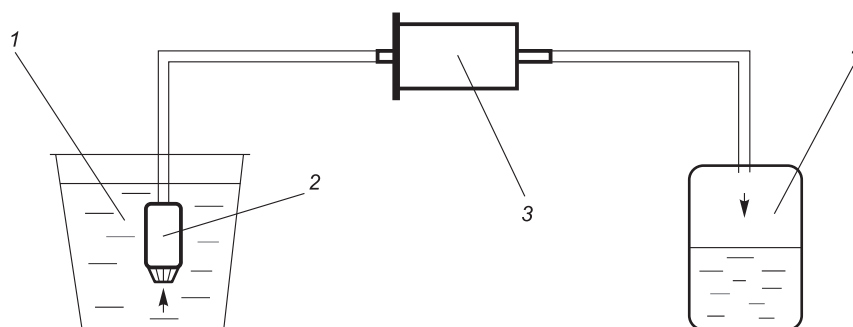


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 – емкость с очищаемой водой; 2 – погружной насос; 3 – фильтр; 4 – приемник очищенной воды.

Fig. 1. Scheme of the experimental installation.

1 – tank with purified water; 2 – underwater pump; 3 – filter; 4 – receiver of purified water.

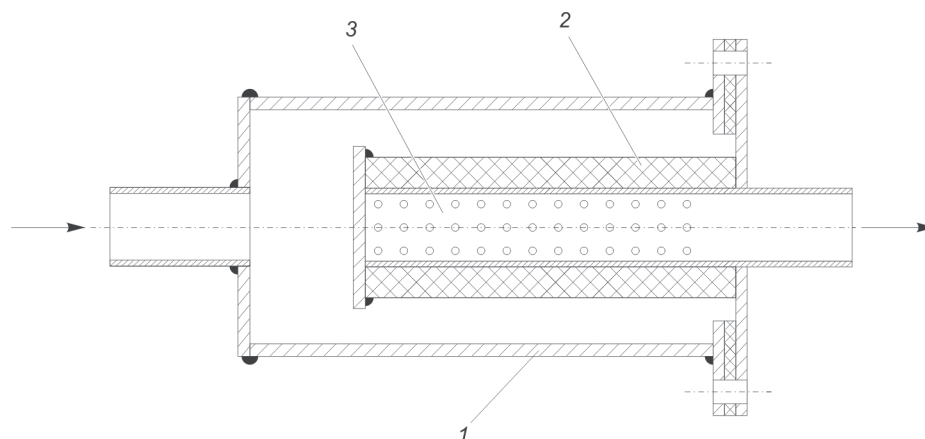


Рис. 2. Экспериментальная модель фильтра для очистки нефтезагрязненных вод.
1 – корпус фильтра; 2 – фильтрующий элемент; 3 – перфорированный патрон.

Fig. 2. Experimental model of filter for cleaning oil-contaminated water.
1 – filter housing; 2 – filter element; 3 – perforated cartridge.

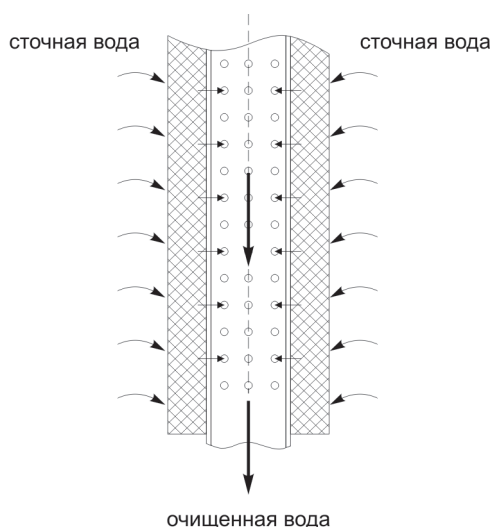


Рис. 3. Схема прохождения воды через фильтрующий патрон.

Fig. 3. Scheme of water passing through the filter cartridge.

скорости фильтрации до 1,0 м/с количество перфораций было увеличено до 100.

При приготовлении модельного раствора сточной воды, несмотря на интенсивное перемешивание в воде товарной нефти, получение однородной эмульсии было затруднено, в связи с чем исходные пробы для определения нефтепродуктов отбирались непосредственно перед входом в фильтр. Концентрация нефти, добавляемой непосредственно в емкость с водой пе-

ред перемешиванием, изменялась в пределах от 9 до 20 мг/л.

Содержание нефтепродуктов в очищаемой воде и фильтрате определялось ИК-спектрометрическим методом [15] с использованием концентратора «ИКН-025».

Результаты и обсуждение

Опытным путем было установлено, что количество слоев сорбента влияет на производительность фильтра незначительно и снижение скорости фильтрации не превышает 10 % от проходящего через фильтр объема воды без сорбента.

Результаты анализов проб фильтрата приведены в табл. 2.

Данные экспериментов показывают, что наибольшая эффективность очистки воды от нефти достигалась при четырех слоях сорбента в фильтре. Наименьшая эффективность – при двух слоях, в данном случае недостаточное количество сорбента приводило к «проскоку» нефти через него. При шести слоях сорбента также наблюдается заметное снижение эффективности очистки. Это может объясняться механизмом поглощения нефтепродуктов волокнистым фильтрующим материалом, в котором система хаотично уложенных неориентированных волокон образует поровое пространство, позволяющее нефти (нефтепродуктам) контактировать с большой поверхностью. В процессе работы фильтрующего материала в результате коалесценции водно-

Результаты очистки воды от нефти «Экосорб»

Table 2

Results of water purification from oil «Ecosorb»

Количество перфораций Number of perforations	Кол-во слоев / толщина, см Number of layers/ thickness, sm	Содержание нефти, мг/л Oil content, mg / l		Эффективность очистки, % Cleaning efficiency, %	
		«Флюорат-02» "Fluorat-02»	«ИКН-025» "ICN-025»	«Флюорат-02» "Fluorat-02»	«ИКН-025» "ICN-025»
50	Исходная Source	–	2,8	–	66
	4 / 2,4	–	0,95		
	Исходная Source	1,47	1,73	64	99
	4 / 2,4	0,53	0,01		
100	Исходная Source	0,90	0,40	58	27
	2 / 1,2	0,38	0,29	71	97
	Исходная Source	2,68	9,52		
	4 / 2,4	0,77	0,25	90	79
	Исходная Source	1,72	0,81		
	4 / 2,4	0,17	0,17	45	81
	Исходная Source	2,19	2,013		
	6 / 3,6	1,20	0,38	59	50
	Исходная Source	1,69	0,46		
	6 / 3,6	0,70	0,23		

нефтяной эмульсии происходит закупорка ячеек порового пространства фильтровального материала каплями нефти, что приводит к уменьшению доли свободного сечения и вследствие этого к повышению гидравлического сопротивления фильтра и снижению скорости фильтрации эмульсии, что ухудшает технико-экономические характеристики фильтрующего элемента [16]. В статье [17] также приводятся данные о том, что при производстве нетканого материала при увеличении плотности прокалывания уменьшаются его пористость и сорбционная емкость.

Заключение

Наиболее оптимальная плотность укладки сорбента в фильтре соответствовала четырем слоям, или 2,4 см общей толщины. Чрезмерное увели-

чение количества слоев, а соответственно плотности набивки в корпусе фильтра, приводит к снижению эффективности фильтрации вследствие как перекрытия волокон, так и уменьшения его пористости.

Результаты очистки нефтесодержащей сточной воды показывают, что эффективность очистки составляет 79 и 97 %, а концентрация нефтепродуктов в очищенной воде соответственно 0,17 и 0,25 мг/л (ПДК для питьевых водоемов – 0,1 мг/л, для рыбохозяйственных – 0,05 мг/л).

Таким образом, результаты проведенных испытаний показали, что сорбент «Экосорб» обладает достаточно высокой сорбционной способностью по отношению к нефти и может применяться в качестве эффективной сорбирующей загрузки

для фильтров предварительной очистки нефтесодержащих сточных вод.

Литература

1. Фазуллин Д.Д., Маврин Г.В., Шайхиев И.Г. Физико-химические свойства сорбентов для очистки вододисперсионных сточных вод // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 6. С. 259.
2. Привалова Н.М. и др. Исследование методов очистки вод от загрязнений нефтью и нефтепродуктами // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского аграрного университета. 2015. № 113. С. 307–308.
3. Кузубова Л.И., Морозов С.В. Очистка нефтесодержащих сточных вод: Аналит. обзор / СО РАН. ГПНТБ, НИОХ. Новосибирск, 1992. С. 25–26.
4. Еремина А.О. и др. Предотвращение загрязнения водоемов нефтесодержащими сточными водами // Успехи современного естествознания. М.: Академия Естествознания. 2004. № 4. С. 142–143.
5. Сироткина Е.Е., Новоселова Л.Ю. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов // Химия в интересах устойчивого развития 2005. № 13. С. 359–377.
6. Фоменко А.И., Соколов Л.И. Сорбционная очистка сточных вод от нефтепродуктов // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19, № 5. С. 8–12.
7. Жмырко Т.Г., Новикова Т.К. Очистка нефтесодержащих вод сорбентами // Эксплуатация морского транспорта. 2015. Вып. 2 (75). С. 92.
8. Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Макарова Ю.А. Фильтры из отходов для очистки сточных вод // Экология производства. 2012. № 3. С. 68.
9. Коледенкова Ю.А., Беренгартен М.Г. Нетканые материалы в технологии фильтрации нефтесодержащих стоков // Сборник статей по материалам II международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в науке и практике», 10 октября 2017 г. Уфа: ООО Дендра. С. 84–91.
10. Матвеев Ю.Н. Нетканые текстильные материалы для очистки сточных вод от нефтепродуктов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. № 2С (315). С. 58–61.
11. Петров Ю.П., Котюков А.Б., Щербинина Т.А., Зехов С.В. Использование углеродных волокнистых сорбентов (УВС) и волокнистых ионообменных нетканых материалов (ВИОН) в конструкциях фильтров для очистки воды // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. Вып. 1 (14). С. 66–67.
12. Дедов А.В., Назаров В.Г. Волокнистый сорбент на основе нетканого иглопробивного материала, пропитанного парафином // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2016. Т. 52, № 1. С. 113–116.
13. Байбурдов Т.А., Шиловская А.Б. Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоемов: обзор русскоязычной литературы за 2000–2017 г.г. (часть 3) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18. Вып. 3. С. 285–298.
14. Есенкова Н.П., Михалькова А.И., Бачерникова С.Г. Нетканые сорбенты для сбора разливов нефтепродуктов и экспресс-метод определения их сорбционной емкости // НефтьГазПромышленность. 2004. № 3. [URL: <http://oilgasindustry.ru/?id=3804>].
15. ФР.1.31.2007.03234 МВИ 01.02.117. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в питьевых, природных и сточных водах ИК-спектрометрическим методом с использованием концентратомера «ИКН-025».
16. Бордунов В.В., Бордунов С.В., Леоненко В.В. Очистка воды от нефти и нефтепродуктов // Экология и промышленность России. 2005. № 8. С. 9–10.
17. Дедов А.В., Назаров В.Г. Влияние структуры нетканых иглопробивных материалов на их сорбционную емкость // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2017. Т. 53. № 4. С. 436–437.

Поступила в редакцию 20.01.2020

Принята к публикации 05.03.2020

Об авторе

ЕФИМОВ Сергей Егорович, младший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа СО РАН, Россия, 677980, Якутск, улица Петровского, 2, ORCID ID 0000-0003-2234-603X, s.e.efimov@gmail.com.

Информация для цитирования

Ефимов С.Е. Фильтровально-сорбционный метод очистки нефтесодержащих сточных вод нетканым сорбентом «Экосорб» // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 1. С. 118–124. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-12>

Filter-sorption method for treatment of oil-containing wastewater with non-woven sorbent «Ecosorb»

S.E. Efimov

Institute of Oil and Gas Problems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Russia, Yakutsk)
s.e.efimov@gmail.com

Abstract. The paper presents the results of the study of the efficiency of sorption treatment of oily wastewater using nonwoven sorbing material «Ecosorb» as a filter load. The tests of the filter unit showed that the highest purification efficiency of oily wastewater in a given operating mode is achieved with four layers of sorbent in the filter. The most optimal density of the sorbent in the filter corresponded to four layers or 2.4 cm in total thickness. With an excessive increase in the number of layers, and accordingly the density of the packing, it leads to a decrease in the filtration efficiency due to both the overlap of the fibers and the decrease in its porosity. The results of cleaning oil-containing waste water when placing the sorbent in four layers show that the cleaning efficiency is 79 and 97 %, and the concentration of petroleum products in the treated water is 0.17 and 0.25 mg/l, respectively. The tests have shown that «Ecosorb» has a sufficiently high sorption capacity in relation to oil and can be used as a effective sorbing load for filters for pre-treatment of oil-containing wastewater.

Key words: sorption, filtration, nonwoven material, oil, wastewater.

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of project No. AAAAA 17-117040700036-4.

References

1. Fazullin D.D., Mavrin G.V., Shaykhiyev I.G. Fiziko-khimicheskiye svoystva sorbentov dlya ochistki vodoemul'sionnykh stochnykh vod . Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2015. Vol. 18, No. 6. P. 259.
2. Privalova N.M. i dr. Issledovaniye metodov ochistki vod ot zagryazneniy nef'tyu i nefteproduktami. Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo agrarnogo universiteta. 2015. No. 113. P. 307–308.
3. Kuzubova L.I., Morozov S.V. Ochistka neftesoderzhashchikh stochnykh vod: Analit. obzor / SO RAN. GPNTB, NIOKH. Novosibirsk, 1992. P. 25–26.
4. Yermolina A.O. i dr. Predotvrashcheniye zagryazneniya vodoyemov neftesoderzhashchimi stochnymi vodami. Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. M.: Akademiya Yestestvoznaniya. No. 4. 2004. P. 142–143.
5. Sirotkina Ye.Ye., Novoselova L.Yu. Materialy dlya adsorbtsionnoy ochistki vody ot nef'ti i nefteproduktov. Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. 2005. No. 13. P. 359–377.
6. Fomenko A.I., Sokolov L.I. Sorbtsionnaya ochistka stochnykh vod ot nefteproduktov // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2015. Vol. 19, No. 5. P. 8–12.
7. Zhmyrko T.G., Novikova T.K. Ochistka neftesoderzhashchikh vod sorbentami // Ekspluatatsiya morskogo transporta. 2015. Iss. 2 (75). P. 92.
8. Sobgayda N.A., Ol'shanskaya L.N., Makarova Yu.A. Fil'try iz otkhodov dlya ochistki stochnykh vod // Ekologiya proizvodstva. 2012. No. 3. P. 68.
9. Koledenkova Yu.A., Berengarten M.G. Netkanyye materialy v tekhnologii fil'tratsii neftesoderzhashchikh stokov // Sbornik statey po materialam II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nyye voprosy v nauke i praktike», 10 oktyabrya 2017 g. Ufa: OOO Dendra. P. 84–91.
10. Matveyev Yu.N. Netkanyye tekstil'nyye materialy dlya ochistki stochnykh vod ot nefteproduktov // Izv. vyzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. 2009. No. 2S (315). P. 58–61.
11. Petrov Yu.P., Kotyukov A.B., Shcherbinina T.A., Zekhov S.V. Ispol'zovaniye uglevodnykh voloknistykh sorbentov (UVS) i voloknistykh ionoobmennyykh netkanykh materialov (VION) v konstruktivnykh fil'trov dlya ochistki vody // Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya. 2012. Iss. 1 (14). P. 66–67.
12. Dedov A.V., Nazarov V.G. Voloknistyy sorbent na osnove netkanogo igloprobivnogo materiala, propitanogo parafinom // Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov. 2016. Vol. 52, No. 1. P. 113–116.
13. Bayburdov T.A., Shipovskaya A.B. Polimernyye sorbenty dlya sbora nefteproduktov s poverkhnosti vodoyemov: obzor russkoyazychnoy literatury za 2000–2017 g.g. (chast' 3) // Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Khimiya. Biologiya. Ekologiya. 2018. Vol. 18, vyp. 3. P. 285–298.
14. Yesenkova N.P., Mikhalkova A.I., Bachernikova S.G. Netkanyye sorbenty dlya sbora razlivov nefteproduktov i ekspress-metod opredeleniya ikh sorbtsion-

noy yemkosti // Neft'GazPromyshlennost'. 2004. No. 3. [URL: <http://oilgasindustry.ru/?id=3804>].

15.FR.1.31.2007.03234 MVI 01.02.117. Metodika vypolneniya izmereniy massovoy kontsentratsii nefteproduktov v pitijevykh, prirodnykh i stochnykh vodakh IK-spectrometricheskimi metodami s ispolzovaniem kontsentratomera IKN-025

16. Bordunov V.V., Bordunov S.V., Leonenko V.V. Ochistka vody ot nefti i nefteproduktov // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2005. No. 8. P. 9–10.

17. Dedov A.V., Nazarov V.G. Vliyaniye struktury netkanykh igloprobivnykh materialov na ikh sorbtsionnuyu yemkost'. Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov. 2017. Vol. 53. No. 4. P. 436–437.

About the author

EFIMOV Sergey Egorovich, junior researcher, Institute of Oil and Gas Problems of SB RAS, Yakutsk, 677980, 2 Petrovskogo str., Russia, ORCID ID 0000-0003-2234-603X, s.e.efimov@gmail.com.

Citation

Efimov S.E. Filter-sorption method for treatment of oil-containing wastewater with non-woven sorbent «Ecosorb» // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, N 1. P. 118–124. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-12>