

УДК 665.61 : 628.16 : 503.36

Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей

**Е.В. Веприкова^а,
Е.А. Терещенко, Н. В. Чесноков^{а,б*},
М.Л. Щипко^а, Б.Н. Кузнецов^{а,б}**

^а *Институт химии и химической технологии СО РАН,
Россия 660036, Красноярск, Академгородок*

^б *Сибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79¹*

Received 6.09.2010, received in revised form 13.09.2010, accepted 20.09.2010

Рассмотрены особенности процессов очистки воды от нефти и нефтепродуктов нефтяными сорбентами, фильтрующими материалами и активными углями. Показано влияние на эффективность удаления нефтепродуктов из природных и сточных вод свойств и структуры этих материалов.

Ключевые слова: нефтепродукт, сорбент, фильтрующий материал, очистка, вода.

Введение

Нефтедержащие воды подразделяются на две разные группы: первая – это воды естественных водоемов, загрязненные в результате аварийных и не санкционированных сбросов нефтепродуктов, а также за счет поверхностных стоков с городских и промышленных площадок, морских портов и др.; вторая – это сточные воды, образующиеся в результате технологических процессов на объектах добычи, хранения, переработки и транспортировки нефти, мойки любого вида транспорта и др.

Жесткие требования к качеству воды питьевого и хозяйственно-бытового назначения по содержанию нефтепродуктов диктует не-

обходимость удаления нефтяных загрязнений из поверхностных и сточных вод, которые подлежат повторному использованию или сливу в природные водоемы.

Технологические схемы очистки от нефтепродуктов для этих групп загрязненных вод отличаются принципиально. Однако объединяет их эффективное использование для удаления загрязнителя на разных стадиях сорбционных материалов.

Очистка поверхности водоемов от загрязнений включает удаление пленки нефти механическими и (или) физико-химическими способами. Наиболее перспективным и экологически целесообразным считается способ

* Corresponding author E-mail address: cnv@icct.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

удаления пленки нефтепродуктов с помощью нефтяных сорбентов [1].

В сточных водах нефтепродукты могут находиться в свободном, связанном и растворенном состояниях. Крупнодисперсные, свободные нефтепродукты удаляются в результате отстаивания. Для удаления мелкодисперсных и связанных нефтепродуктов традиционно используют флотационные способы очистки, методы электрокоагуляции и электрофлотации. В результате этих процессов в воде остаются нефтепродукты до 20 мг/л. Более глубокая очистка от мелкодисперсных, особенно эмульгированных, нефтепродуктов до 10 мг/л достигается в процессах фильтрования. Удаление растворенных примесей до 0,5 – 1 мг/л происходит на стадии сорбционной доочистки [2, 3].

В литературе описаны многочисленные способы получения сорбентов и фильтрующих материалов для очистки воды от нефтепродуктов и технологические схемы их применения.

Задача настоящей работы заключается в обзоре особенностей очистки различных нефтесодержащих вод с помощью сорбционных материалов и описании основных свойств, определяющих возможность эффективного использования нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей в процессах очистки воды от нефтепродуктов.

Нефтяные сорбенты

Материалы, применяемые для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности водоемов, принято называть нефтяными сорбентами, а также нефтесобирателями и нефтепоглотителями. Для определения качества нефтяных сорбентов используют три основных показателя: нефтепоглощение, водопоглощение, плавучесть. Эффективность сорбентов для сбора нефти оценивают в первую очередь по

значению нефтеемкости. Высокое водопоглощение можно устранить практически для всех материалов дополнительной гидрофобизацией. Материалы с низкой плавучестью могут эффективно использоваться в изделиях с армирующей оболочкой – бонах, матах, салфетках и др. [1, 4].

Для производства нефтяных сорбентов применяют разнообразное сырье [5-11]. Свойства некоторых материалов, которые используются при сборе нефти или служат основой для получения нефтяных сорбентов, приведены в табл. 1.

По механизму удаления нефти различают сорбенты, для которых доминирует физическая поверхностная сорбция. Здесь сбор нефти происходит за счет адгезии на поверхность частиц сорбента. В этом случае количество поглощаемых нефтепродуктов определяется величиной удельной поверхности материала и ее свойствами (гидрофобностью и олеофильностью). Как показывают литературные данные, такой механизм сбора нефти и нефтепродуктов реализуется для олеофильных порошковых и гранулированных материалов с закрытой пористой структурой и материалов, в которых поры по размеру недоступны для молекул удаляемого вещества. Характерным примером этого механизма является сбор нефти с помощью порошковой корбамидоформальдегидной смолы (размер частиц менее 1 мм), гранулированного полипропилена и пенополистирола [4, 5].

Измельчение сорбирующего материала является наиболее простым способом увеличения площади его поверхности и поглотительной способности по отношению к нефти и нефтепродуктам. При измельчении может достигаться критический размер частиц сорбента, когда процесс смачивания нефтью прекращается и сорбция не происходит. Реальный предел измельчения в технологии

Таблица 1. Свойства различных материалов для сбора нефти

Материал	Нефтепоглощение, г/г	Водопоглощение, г/г	Степень отжима нефти, %
Природные органические материалы			
Солома пшеничная (сечка)	4,1	4,3	36
Камышовая сечка: листья стебли	6,1	4,6	31
	2,7	3,9	17
Шелуха гречихи	3,0 – 3,5	2,2	44
Кора осины / сосны	0,5/0,3	0,8 / 0,8	25 / 0
Древесные опилки	1,7	4,3	10 – 20
Лигнин гидролизный	1,5 – 3,0	4,1	25
Отходы ватного производства	8,3	0,26	60
Торф	17,7	24,3	74
Мох сухой	3,5 – 5,8	3,1 – 3,5	-
Шерсть	8,0 – 10,0	4,5	87
Уголь бурый измельченный	1 – 2	0,2	-
Макропористый технический углерод	4,0 – 4,5	0 – 1,0	10 – 81
Синтетические органические материалы			
Пенополистирол: гранулы волокно	9,3	4,5	0
	7,0-12,0	6,0-11,5	80-90
Полипропилен: гранулы волокно	1,6	0,8	0
	12 – 40	1 – 6	40 – 80
Шины измельченные	3,6	7,2	55
Каучуковая крошка	5,1	0,3	0
Смола карбамидоформальдегидная: куски порошок	23,3	0,1	0
	39,6	0,1	60
Фенолформальдегидная смола (порошок)	4,4	14,5	0
Поролон: листовой гранулированный	14,5 – 35,2	1,3 – 25,9	75 – 85
	36,9	30,7	-
Синтепон	46,3	42 – 52	94
Лавсан (волокно)	4,7 – 14,1	4,3 – 13,9	60 – 82
Неорганические материалы			
Вспененный никель	2,9	3,0	0
Стекловолокно	5,4	1,7	60
Графит модифицированный	40,0 – 60,0	0,5-10,0	10 – 65
Перлит	5,0 – 7,0	0,5	0
Базальтовое волокно модифицированное	37	0,5	27

производства нефтяных сорбентов зависит от природы используемого материала и составляет не менее 0,1 мкм [1, 4].

Поглощение нефти и нефтепродуктов гидрофобными порошковыми материалами не сводится только к поверхностной сорбции. Этот процесс в реальных условиях доминирует при очистке поверхности водоемов от мономолекулярных пленок поллютанта. При контакте твердых олеофильных частиц с толстой пленкой нефти вокруг них образуются мицеллы, взаимодействующие между собой с образованием своеобразной сетчатой структуры. Это приводит к значительному увеличению вязкости суспензии в целом, и при больших концентрациях порошковых сорбентов в нефти наблюдается образование плотных конгломератов. В этом случае порошковые гидрофобные материалы играют роль веществ-сгустителей и приводят к уменьшению площади пятна нефти. При больших концентрациях сыпучих материалов может происходить потопление нефтепродуктов, что из-за большого экологического риска недопустимо [1, 4, 5].

При использовании гранулированного материала с закрытой пористой структурой (например, гранулированный полистирол и полипропилен) размещение нефти возможно лишь между гранулами в слое сорбента за счет капиллярных сил и олеофильности. При достаточной толщине нефтяной пленки происходит эффективное внедрение нефти в зону порозности, но при контакте слоя с водой начинается также всасывание воды в пространство между гранулами несмотря на гидрофобность сорбента. Жидкость между гранулами удерживается за счет адгезии и капиллярных сил, поэтому в отстойниках под действием гравитации происходит частичное стекание из слоя поглотителя собранной нефти (до 90 %) [7, 8].

Другой вид нефтяных сорбентов – это материалы, для которых характерен процесс поглощения нефти и нефтепродуктов всем объемом. Эффективность нефтепоглощения зависит от химического сродства материала сорбента и поглощаемой жидкости и от структуры материала. Поглощение нефти протекает в результате начального быстрого смачивания поверхности сорбента нефтью. Затем нефть более медленно проникает в пористую структуру материала, заполняя все пустоты под действием, в основном, капиллярных сил.

По структурному типу сорбенты делятся на волокнистые и объемно-пористые (с закрытой или открытой структурой пор).

Волокнистые материалы представляют собой систему хаотично уложенных свободно распределенных в пространстве тонких нитей. Они, как правило, имеют пространственно неориентированную структуру, позволяющую загрязнению контактировать с большой поверхностью в единицу времени. Типичными волокнистыми материалами для сбора нефти являются вата, войлок, ткани, синтепон, текстильный горошек, базальтовое волокно и др. В процессе поглощения нефти волокна сорбентов способны раздвигаться, создавая специфическую структуру сорбент – НП, которая после сбора начинает постепенно сжиматься под действием силы тяжести и отцеживать до 20-25 % собранного нефтепродукта [9 – 11]. Как показывают данные табл. 1, все волокнистые сорбенты характеризуются высокой степенью отжима поглощенной нефти. Некоторые поглотители с волокнистой структурой демонстрируют достаточно высокое водопоглощение (синтепон, листовой поролон толщиной 18 мм), что обусловлено низкой гидрофобностью поверхности. Данный недостаток может быть устранен введением специальных гидрофобизирующих добавок.

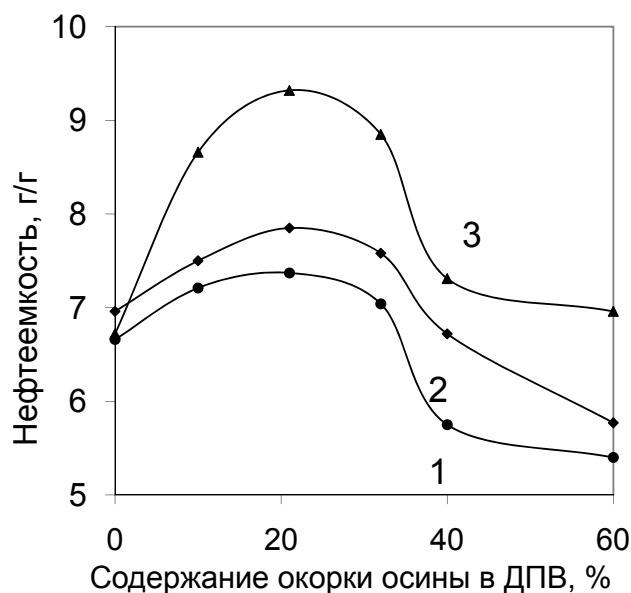


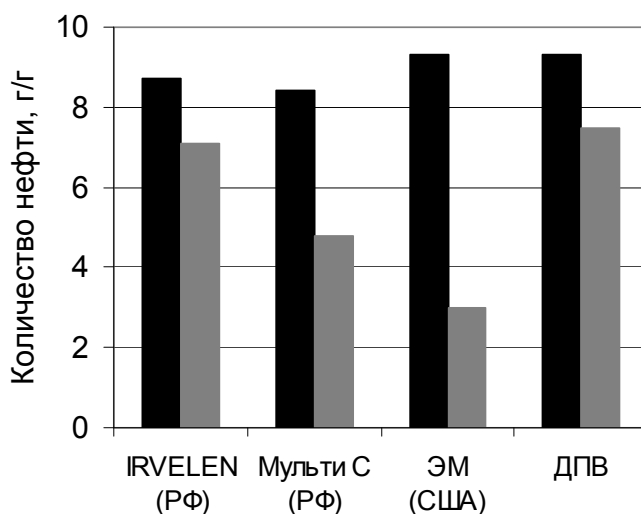
Рис. 1. Влияние содержания окорки осины на нефтеемкость образцов древесно-полистирольного волокна (ДПВ) при различных температурах: 1 – 22 °С; 2 – 10 °С; 3 – 0 °С

Необходимо отметить, что для волокнистых поглотителей характерно наличие периода нестационарного состояния структуры материала, в течение которого происходит увеличение объема сорбента от минимального значения при сжатии до максимальной величины при упругом расширении структуры материала. Если сорбент, не обладающий селективностью к нефти, попадает в период нестационарного состояния структуры на зеркало воды с пленкой нефти, то восстанавливаемая структура начинает одинаково интенсивно поглощать нефть и воду. Это явление препятствует использованию таких материалов в механизированных устройствах для сбора нефти [4, 8, 9].

Особый интерес представляют волокнистые композиционные нефтесобиратели, в которых в качестве наполнителей используются разнообразные растительные отходы. Доступность и дешевизна таких наполнителей позволяют значительно снизить себестоимость синтетических композитов и расширить масштабы их применения для решения

экологических задач. Известно, что в таких композитах удается сочетать значительную степень замещения синтетического материала (от 25 % и выше) и высокие показатели нефтеемкости и возврата нефтепродуктов [10, 11].

Авторами данной работы был получен древесно-полистирольный волокнистый материал (ДПВ) для сбора нефти и нефтепродуктов, содержащий в качестве наполнителя окорку осины (10-60 мас.% фракции 0,5-1,0 мм). Образование волокнистых композитов происходит в процессе взрывного автогидролиза смеси вспененного полистирола и окорки осины при достаточно мягких условиях (температура процесса 130 °С, время 60 с, давление 3 МПа) и без применения связующих. Волокна полистирола в композите являются армирующей матрицей, в которой достаточно равномерно распределены волокна окорки осины. Выход воздушно-сухого волокнистого сорбента составляет 95 – 98 %. Установлено, что значения нефтеемкости древесно-полистирольных волокнистых сор-



■ – собранная нефть при 0 °С
 ■ – отжатая нефть при 22 °С

Рис. 2. Сравнительные характеристики волокнистых сорбентов

бентов с содержанием окорки осины до 35 – 40 мас.% превышают нефтеемкость чистого волокна полистирола, полученного в идентичных условиях (рис. 1). Максимальное значение нефтеемкости демонстрирует образец, содержащий 21 % древесного наполнителя. Показатели нефтеемкости для всех исследованных образцов древесно-полистирольного волокна увеличиваются с понижением температуры (рис. 1). Данные рис. 2 показывают, что по количеству собранной нефти при 0 °С древесно-полистирольный сорбент ДПВ (21 % окорки осины) не уступает ряду промышленных волокнистых нефтесобирателей.

Это можно считать существенной положительной чертой, поскольку нефтеемкость многих известных собирателей при температуре ниже 4 °С уменьшается на порядок [4, 9]. Образцы ДПВ теряют способность собирать нефть при температурах ниже 0 °С из-за высокой вязкости поллютанта. При этом они характеризуются хорошими показателями маслосемкости. Установлено, что при минус 21 °С маслосемкость исследованных образцов составляет 5,8 – 6,5 г/г. Степень отжима

нефти для образцов ДПВ не менее 80 %, и по этому показателю они превосходят сравниваемые волокнистые нефтесобиратели (рис. 2). Исследованные сорбенты характеризуются 100 %-й плавучестью на поверхности воды после сбора нефти в течение 200 ч выдержки. Степень нефтеотдачи при этом не превышает 0,5 – 1,0 %.

Таким образом, метод взрывного автогидролиза позволяет получать древесно-полистирольные сорбенты с хорошими эксплуатационными свойствами. Отсутствие химических связующих и одностадийность процесса обеспечивают экологическую чистоту технологии получения и относительно низкую себестоимость сорбентов.

Объемно-пористые сорбенты состоят из каркаса и системы пустот (пространства пор) и имеют устойчивую структуру [12].

Для описания процесса нефтепоглощения структуру сорбента принято моделировать системой капилляров, где в первый наибольший по диаметру капилляр последовательно входят капилляры меньших диаметров. Известно, что в капиллярах с гидрофобными по-

Таблица 2. Сорбционная емкость по нефтепродуктам углеродных сорбентов

Сорбент	Объем пор, см ³ /г			Емкость по ММ, г/г
	V _Σ	Ws	V _{ма}	
ТНС*	0,94	0,13	0,81	5,2
ДНС*	0,93	0,14	0,79	5,1
СГА*	0,97	0,54	0,43	1,1
АГ-3	0,92	0,32	0,60	1,0
БАУ-МФ	1,37	0,25	1,12	1,2
ОУ-А	1,98	0,41	1,57	2,3

Примечание. V_Σ – суммарный объем пор; Ws – предельный сорбционный объем; V_{ма} – объем макропор; ММ – моторное масло; * – данные работы [19].

верхностями жидкость под действием атмосферного давления может подниматься выше их начального уровня за счет капиллярного эффекта. На этом принципе построено явление капиллярного насоса, обеспечивающее максимальный подъем нефти по высоте [4].

В настоящее время пористые синтетические органические сорбенты находят широкое применение для сбора нефти и нефтепродуктов, поскольку производятся в промышленных масштабах и часто являются отходами производства. Открытая пористая структура, высокая олеофильность этих материалов обеспечивают эффективность их использования в качестве нефтепоглотителей. Типичными представителями таких сорбентов служат поролон, карбамидные пенопласты, материалы на основе полиуретановой пены и др. [4, 8, 13-15]. Такие материалы способны поглощать порядка 50 г нефти на 1 г сорбента, характеризуются высокой скоростью сорбции, плавучестью после сбора нефти. Отличительная особенность синтетических нефтяных сорбентов – возможность регулирования их ячеистой структуры в широких диапазонах в процессе получения. Например, добавление металлических пудр (Al, Zn, Mg) при получении карбамидных пенопластов, выделяющих водород при взаимодействии с кислым отвердителем, способствует образованию мелких

ячеек. Добавление солей меди, аммония или алкансульфонатов позволяет получать пенопласты с низкой удельной плотностью и достаточно регулярной структурой. Вариации исходных компонентов при синтезе пористых материалов позволяют получать сорбенты с заданными свойствами – повышенной гидрофобностью, олеофильностью, биоразлагаемостью, магнитными свойствами и др. [16, 17].

К объемно-пористым материалам относятся активированные угли и продукты карбонизации растительного сырья, возможность применения которых в качестве нефтяных сорбентов описана в литературе. Например, в результате парогазовой активации бурого угля при скоростном нагреве был получен нефтяной сорбент с большим общим объемом пор – 1,78 см³/г, низкой насыпной массой и высокой нефтеемкостью (8,0 г/г по моторному маслу), что в сочетании с невысокой стоимостью делает его конкурентоспособным по отношению к отечественным и зарубежным аналогам [18]. Следует отметить, что потенциал развитой структуры микро- и мезопор у активных углей в процессе сбора нефтепродуктов практически не реализуется. Это подтверждается крайне малыми значениями емкости по нефтепродуктам (табл. 2).

Установлено, что максимальной емкостью по нефтепродуктам обладают макропо-

Таблица 3. Свойства промышленных сорбентов для сбора нефти

Марка	Материал	Температура применения, °С	НЕ, кг/кг	ВП, кг/кг	Степень отжима, %	Расход сорбента для сбора 1 т нефти, кг/т
Пауэр-сорб	Полипропилен (волокно)	0...+40	13-25	3 – 6	70-80	40
IRVELEN	Полипропилен (волокно)	-30...+40	12 -25	5 – 8	70	43
Мегасорб (Россия)	Полипропилен (волокно)	+4...+50	35-40	2 – 4	70-75	0,085
КПФ-сорбент	Карбамидный пенопласт	0...+ 40	40-60	5-10	60-80	25-30
Униполимер	Карбамид-формальдегидная смола	-10... +40	30-50	4,6-10,0	70-80	33
Версойл	Вермикулит	-5-10...+40	8-12	2-17	-	100-120
Peat-Sorb	Торф	-10...+50	6-7	1,6	0	110
Turbo-Jet	Торф	-10 ...+50	3,6	2,0	0	105-120
Сорбойл А	Торф	-35...+80	2-6,5	0,5	25	556
Лесорб	Торф	-5...+80	9-11	3,6	66	115
Сибсорбент	Торф, мох, сапропель	-20...+40	2-8	2	10-25	213
Пенографит	Графит	0...+40	50-60	1 – 4	-	23
СТРГ	Графит	-10...+40	40-60	0,2	-	25-30

ристые сорбенты [19]. Литературные данные также свидетельствуют об эффективном использовании макропористого углеродного нефтяного сорбента, полученного в результате карбонизации опилок (нефтеемкость 4 кг/кг, водопоглощение 0 – 1,0 г/г) [20]. Следовательно, использование активированных углей в качестве сорбента для сбора нефти нецелесообразно.

Анализ структурных характеристик и свойств поверхности материалов позволяет оценить эффективность их использования в процессе очистки водной поверхности от нефтепродуктов. Например, сопоставление таких характеристик для различных видов растительных отходов дает возможность выделить наиболее перспективные материалы. Данные табл. 1 показывают, что сечка камыша и древесные опилки характеризуются практически одинаковым водопоглощением,

но достаточно существенно отличаются по показателю нефтепоглощения. Это возможно объяснить различием структуры материалов. Камыш имеет ячеичную структуру листьев и стеблей. Однако сечка стеблей удаляет нефть значительно хуже, чем сечка листьев, из-за меньшей пористости и большей плотности по сравнению с сечкой листьев (плотность сечки листьев 0,08 г/см³, сечки стебля 0,17 г/см³). Полости в объеме опилок имеют не замкнутую структуру, а капиллярную, что приводит к низкому поглощению нефти. Поглощение нефти и воды растительными отходами протекает по различным механизмам. Гидрофильность таких материалов приводит к тому, что вода легко сорбируется в структуре материалов, в то время как нефть удерживается на поверхности поглотителя адгезионными силами. Поэтому растительные отходы имеют тенденцию лучше удерживать нефть.

Таблица 4. Свойства сорбентов, полученных автогидролизом древесных отходов

Сырье	Фракция, мм	Свойства древесных сорбентов				
		НЕ, г/г	ВП, г/г	Степень отжима нефти, %	Плаучесть (24 ч), %	Степень отдачи нефти в воду (24 ч), %*
Опилки осины	0,5 – 1,0	4,7	4,1	45	100	0,1
Окорка осины	0,5- 1,0	6,7	6,5	45	100	0,1
Кора осины	0,5 – 1,0	4,9	6,1	47	100	0,2
Береста березы	0,5 – 3,0	7,2	5,2	67	100	0,1
Кора сосны	1,0 – 5,0	3,8	4,3	10	100	0,2

Примечание. НЕ – нефтеемкость, ВП – водопоглощение, * – определяли в % от количества собранной нефти.

живать высоковязкую нефть по сравнению с маловязкой [21, 22].

С помощью литературы и INTERNET-ресурсов был проведен анализ сырья, которое используется для промышленного производства нефтяных сорбентов, доминирующих на рынке России (табл. 3). Данные табл. 3 показывают, что практически единственным природным органическим сырьем для производства таких материалов является торф. Отходы агро- и деревоперерабатывающей отраслей, несмотря на большой объем научных разработок, не нашли масштабного практического применения.

Причиной этого могут служить низкие, в сравнении с синтетическими сорбентами, значения нефтеемкости сорбентов, полученных по различным технологиям, – не более 8-10 г/г. Однако сопоставление показателей нефтеемкости, нефтеотдачи (степень отжима 0 – 40 %) для нефтесобирателей из растительных отходов, описанных в литературе, и сорбентов из торфа показывает конкурентоспособность последних для сбора нефти и нефтепродуктов [4, 8, 23]. Поэтому, разработка новых технологических решений по получению нефтяных сорбентов из растительного сырья является актуальным направлением.

В Институте химии и химической технологии СО РАН взрывным автогидролизом древесных отходов были получены сорбенты для ликвидации нефтяных загрязнений. Оптимальные условия получения сорбентов, обеспечивающие максимальное поглощение нефти, следующие: для опилок, окорки, коры осины и березовой бересты – температура 200 °С, давление 4МПа, время выдержки 60 с; для коры сосны – 140, 3 МПа, 90 с. Свойства сорбентов приведены в табл. 4.

Установлено, что высокое водопоглощение снижает эффективность применения древесных сорбентов для устранения тонких пленок нефти и нефтепродуктов. Например, при сборе пленки нефти толщиной 1 мм в течение 5 мин сорбент из бересты собирает 51 % воды и 49 % нефти. На пленках толщиной более 5 мм при одинаковом расходе сорбента водопоглощения не происходит. По значению нефтеемкости сорбенты из опилок осины, коры осины и коры сосны не уступают торфяным сорбентам марок “Turbo-Jet”, “Сорбойл А” и “Сибсорбент” (табл. 3 и 4). Сорбенты, полученные из окорки осины и бересты, сравнимы по нефтеемкости с нефтяным сорбентом на основе торфа “Peat-Sorb”. Исследованные сорбенты демонстрируют высокую степень отжима нефти в сравнении со многими тор-

фьяными нефтесобирателями. Следует отметить, что образец из бересты по этому показателю не уступает сорбенту марки “Лесорб”, который характеризуется максимальным отжимом нефти (табл. 3). Все исследованные древесные сорбенты демонстрируют 100 %-ую плавучесть после сбора нефти в течение 24 ч (табл. 4), что является необходимым требованием для нефтяных сорбентов [4]. При этом степень отдачи нефти в воду не превышает 0,2 %. Таким образом, хорошие свойства сорбентов из древесных отходов и безреагентная технология получения обеспечивают их конкурентоспособность на рынке нефтяных сорбентов.

Фильтрующие материалы

Задача очистки сточных вод и воды хозяйственно-бытового назначения от нефтепродуктов представляет собой комплексную задачу из-за многообразия фазового состояния рассматриваемых поллютантов в воде. Требуемая степень очистки от нефтепродуктов решается последовательно различными способами.

Для снижения концентрации мелкодисперсных нефтепродуктов широко используют процессы фильтрования. Фильтрование нефтесодержащих сточных вод через слой зернистой загрузки происходит в две стадии: доставка частиц к зернам загрузки и прилипание их к зернам. Рабочей зоной при фильтровании являются поверхность материала и пространство между зернами загрузки. При фильтровании жидкости геометрическая структура загрузки непрерывно изменяется в результате отложения частиц нефти на поверхности зерен [24, 25].

При существующем разнообразии технологических приемов фильтрования и инженерных оформлениях этого процесса эффективность работы фильтров с одина-

ковыми гидродинамическими параметрами определяется взаимодействием материала фильтровальной загрузки с нефтепродуктами. Эффективное удаление из воды нерастворенных нефтепродуктов достигается благодаря способности нефтепродуктов к адгезии на поверхности материала загрузки фильтра, которое присутствует в разной степени на всех твердых поверхностях. Явления адгезии и смачивания лежат в основе процесса коалесценции частиц эмульгированных нефтепродуктов на поверхности фильтрующих загрузок. Частицы нефтепродуктов, оседая на поверхности загрузки фильтра, коалесцируют между собой и образуют непрерывную фазу, способную эвакуироваться из объема фильтра под действием гравитационных сил. Такая непрерывная фаза образует на поверхности гранул и в зазорах между ними сплошную пленку, которая ограничивает систему разветвленных каналов фильтра, где протекает эмульсия нефтепродукта. Этот процесс лежит в основе действия гидрофобных коалесцирующих фильтров и в определенной мере (в зависимости от физико-химических свойств эмульсии и фильтрующего материала, скорости фильтрования) влияет на процессы обычного фильтрования нефтесодержащих вод [26].

Правильный подбор зернистой загрузки во многом определяет эффективность фильтрования, которая зависит от свойств фильтрующего материала (крупность, форма, шероховатость) и геометрической структуры слоя (порозность слоя, размер отдельных межзеренных пор, однородность зерен). Основные физико-химические показатели широко используемых фильтрующих материалов приведены в табл. 5.

Как показывают представленные данные, наибольшее снижение концентрации нефтепродуктов достигается при использо-

Таблица 5. Физико-химические показатели некоторых зернистых фильтрующих материалов

Показатель	Песок	Гидроантрацит-Р	Гранитный щебень	Вулканические туфы	Вермикулит вспученный
Измельчаемость, %	2,9	1,7	3,35	0,8	2,9
Истираемость, %	0,7	0,2	0,2	0,3	0,3
Зольность, %	0,2	0,1	0,1	4,5	0,5
Окисляемость, мг/л	9,7	9,2	8,4	7,5	6,2
Кремниевая кислота, мг/л	5,0	0,8	2,5	3,5	2,5
Плотный остаток мг/л	8,7	19,7	5,7	12,6	9,3
Остаточное содержание НП* в воде, мг/л	3,0 – 5,0	1,5 – 2,5	4,5 – 5,0	3,0 – 3,5	1,0 – 2,5

Примечание. НП – нефтепродукт.

вании антрацита и вспученного вермикулита (до остаточной концентрации 1,0 – 2,5 мг/л) за счет природы поверхности, обеспечивающей при контакте с углеводородами нефти больший потенциал действующих сил. Внутренняя поверхность частиц антрацита мала (около 2 м²/г), поэтому для извлечения растворенных нефтепродуктов он не может быть использован. Вспученный вермикулит обладает существенно большей удельной поверхностью, чем антрацит (до 378 м²/г), но также не может извлекать растворенные формы нефтепродуктов из-за низкого значения суммарного объема пор (4,3 см³/г) [27, 28]

При использовании торфа в качестве фильтрующего материала для удаления нерастворенных нефтепродуктов возникает возможность загрязнения очищаемой воды органическими примесями, присутствующими в торфе [29].

Для усиления удельного потенциала адсорбционных сил поверхностного слоя различных природных материалов используется обогащение их углеродными добавками в процессе термической или химической обработки (вермикулит с различными добавками, шунгит, модифицированный углеродным волокном, гидрофобизированный керамзит и

др.). Повышение содержания углерода в поверхностном слое фильтрующих загрузок увеличивает эффективность их применения для очистки от нерастворимых углеводородов [30-32].

В качестве фильтрующих загрузок эффективно используются различные нефтяные сорбенты, которые по прочности и химической стойкости удовлетворяют техническим требованиям для таких материалов, – вспученный вермикулит, перлит, гранулированные и волокнистые синтетические материалы. В процессе фильтрования такие материалы демонстрируют более низкую нефтеемкость слоя по сравнению с процессом сбора разливов нефтепродуктов с различных поверхностей (рис. 3). Однако, благодаря высокой адгезии нефтепродуктов на их поверхности, такие фильтрующие материалы по показателю нефтеемкости превосходят традиционно используемые наполнители фильтров. Например, нефтеемкость кварцевого песка в режиме фильтрации составляет 0,2 – 0,5 кг/кг, антрацита – 0,3 – 1,5 кг/кг [33, 34].

Для нефтяных сорбентов при использовании в качестве фильтрующих материалов критическим является также параметр водопоглощения. В результате набухания гидро-

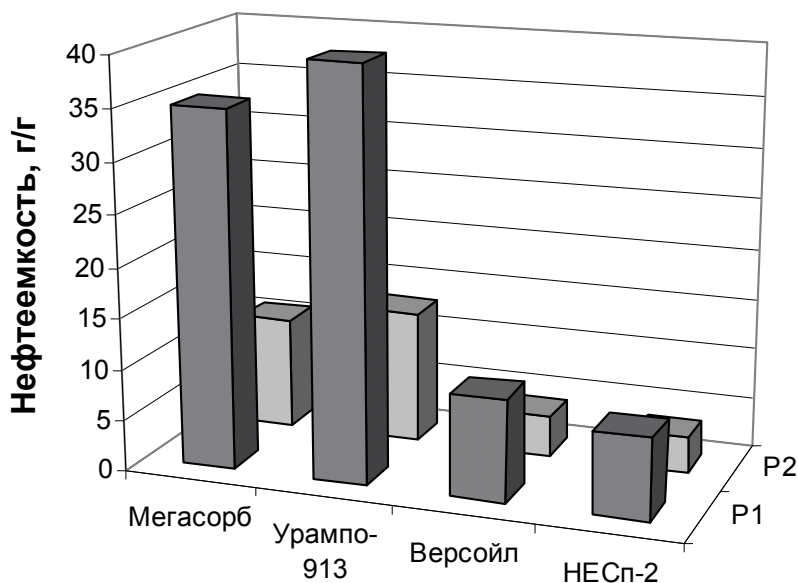


Рис. 3. Изменение нефтеемкости сорбентов при использовании их в качестве нефтесобирателей (P1) и фильтрующих материалов (P2)

фильного материала будет повышаться гидродинамическое сопротивление фильтрованию и сокращаться продолжительность фильтроцикла. При сборе нефтепродуктов в режиме пропитки высокое водопоглощение снижает эффективность использования нефтяных сорбентов только на тонких пленках.

Существует много предложений по использованию в качестве фильтрующих загрузок гранулированных, волокнистых, эластичных синтетических материалов (гранулы и волокна полипропилена, полиэтиленаполистирола, пенополиуретан и др.). Исследования показывают, что в фильтрах с пенополиуретановой, сипроновой или полипропиленовой загрузкой можно обеспечить очистку от нефтепродуктов на уровне 5 – 7 и 0,1 – 0,3 мг/л при исходных концентрациях 10 – 20 и 2 – 5 мг/г соответственно [28, 33]. Благодаря высокой адгезии нефтепродуктов на поверхности синтетических материалов, они эффективно используются и в коалесцентных фильтрах [26]. Следует отметить, что некоторые синтетические материалы

нельзя использовать для доочистки воды после флотации, так как к ним интенсивно прилипают оставшиеся в воде пузырьки воздуха, что препятствует процессам адгезии нефтепродуктов и фильтрации [26, 33, 34].

В настоящее время особенно перспективными считаются пористые фильтрующие загрузки, позволяющие одновременно удалять мелкодисперсные и растворенные нефтепродукты. Извлечение из воды растворенных нефтепродуктов фильтровальной загрузкой возможно, если используемый материал является сорбентом с развитой структурой пор, доступных молекулам примеси.

Активированные угли могут представлять интерес для использования в качестве фильтрующих загрузок, если они удовлетворяют техническим требованиям для данного класса материалов [35]. Особенно это касается показателя прочности материала. Данные табл. 6 характеризуют возможность применения различных промышленных марок активированных углей в фильтрующих установках.

Таблица 6. Показатели прочности промышленных активных углей

Марка угля	Исходное сырье	Размер частиц, мм	Механическая прочность, %
БАУ-А	Древесина	1,0 – 3,5	50
ДАК	Древесина	1,0 – 3,6	55
АГ-3	Каменный уголь	1,0 – 2,8	75
АГ-5	-“-	1,0 – 3,0	75
КАД-йодный	-“-	1,0 – 5,0	60
АГ-ОВ	-“-	0,5 – 2,0	70
ДАУ	-“-	1,0 – 3,0	78
СКТ	Торф	1,0 – 3,6	66
F-100	-“-	0,5 – 1,5	89

Активированные угли из древесного сырья способны эффективно удалять растворенные нефтепродукты из стоков, особенно если в составе растворенных примесей преобладают ароматические углеводороды [2]. Однако в силу низкой прочности возможность их применения для загрузки фильтров ограничена из-за больших потерь материала при промывках и регенерации.

Хотя промышленные марки активных углей на каменноугольной основе уступают по механической прочности углю F- 300 (CHEMVIRON), который широко используется в процессах водоподготовки в странах Европы и США, они могут использоваться в фильтрующих установках. Эффективность их применения оценивается не только показателями сорбционной емкости (достигаемая степень очистки не менее 90 – 98 %), но и рядом эксплуатационных требований: приемлемой износостойкостью при промывках, способностью к регенерации. Потери активного материала на этих стадиях не превышают 15 – 20 %, что определяет высокий потенциал таких углей в процессах глубокой доочистки воды от нефтепродуктов. Кроме того, зерновые угли АГ-3, КАД-йодный и ДАУ с крупностью частиц 1,0 – 3,0 мм могут использоваться как ма-

териал верхнего слоя в фильтрах механической очистки [28, 36].

Из всех природных материалов, изготавливаемых без химической и термической обработки, выделяется своей эффективностью угольный природный сорбент МИУ-С. При очистке воды с содержанием нефтепродуктов 5 – 20 мг/л фильтрованием через данную загрузку концентрация примеси снижается до 0,6 – 1,2 мг/г. Величина удельной поверхности мезопор диаметром 3 – 4 нм составляет 120 м²/г. Следовательно, использование этого фильтрующего материала позволяет удалять нерастворенные и часть растворенных нефтепродуктов. При 3-ступенчатой фильтрации содержание нефтепродуктов в очищенной воде не превышает 0,05 мг/л. Одновременно происходит уменьшение содержания в воде ионов тяжелых металлов, железа, фенолов, аммония и общего микробного числа. Благодаря промывкам и регенерации с частотой 1 – 2 раза в год ресурс МИУ-С достигает 7 лет, без регенерации – 2-3 года [28].

Как отмечалось выше, эффективность удаления растворенных нефтепродуктов зависит от соответствия параметров пористой структуры сорбента размерам молекул примеси. Это требование определяет возможность использования активных углей не только на

Таблица 7. Сравнение величин удельной поверхности (S) активных углей, используемых для очистки воды от нефтепродуктов

Марка угля	$S_{БЭТ}$, м ² /г	$S_{1-10нм}$, м ² /г	$S_{1,5-4,5нм}$, м ² /г	Степень очистки, %
Акант – мезо	950 –1041	320-345	115-215	98- 99
АГ-З	670-715	120	70	95
АГ-ПР	825	215	95	95
АУА	520-700	50-100	15-20	15
F-300	950-1050	275-300	102	98-99
БУС	460-600	150-300	107-240	90-95

Примечание. $S_{1-10нм}$ – удельная поверхность пор радиуса 1-10 нм, $S_{1,5-4,5нм}$ – удельная поверхность пор радиуса 1,5-4,5 нм; БУС – буроугольный сорбент получен в ИХХТ СО РАН.

стадии фильтрования, но и на стадии глубокой доочистки воды от нефтепродуктов.

Сорбенты для удаления растворенных нефтепродуктов

Для глубокой очистки воды от растворенных нефтепродуктов широко используются процессы сорбции. Непременным условием нормальной эксплуатации сорбционных установок является предварительная очистка воды от диспергированных частиц нефти. В противном случае макропоры быстро заполняются частицами примеси и материал теряет свою сорбционную активность.

В литературе описаны свойства разнообразных сорбентов для очистки воды от растворенных нефтепродуктов, отличающихся механизмами процесса удаления примеси.

Сорбенты, которые удаляют нефтепродукты за счет физической сорбции, должны иметь пористую структуру, отвечающую специфике процесса. Наибольший эффект извлечения нефтепродуктов обеспечивают поры диаметром от 1,5 до 4,5 нм, что наглядно подтверждается данными для сорбентов, способных эффективно извлекать нефтепродукты из воды (табл. 7). Как следует из представленных данных, малая величина объема мезопор в пористой структуре активированного угля АУА с большим общим объемом

пор позволяет снизить концентрацию растворенных нефтепродуктов только на 15 – 20 % [2, 28].

Лидером по сорбции нефтепродуктов и других органических соединений (с массой 3 – 100 тыс.) является специализированный сорбент марки Акант-мезо, разработанный на базе донецких антрацитов и соответствующий всем требованиям для фильтрующих материалов [37].

Дробленые сорбенты, получаемые активацией парогазовой смесью буроугольных полукоксов, обладают развитой мезопористой структурой. В зависимости от условий получения удельная поверхность мезопор в таких материалах может достигать 450 м²/г [38]. Например, для буроугольного сорбента БУС удельная поверхность мезопор с радиусом в интервале 1,5 – 4,5 нм составляет 107 – 240 м²/г (табл. 7) и при оптимальных условиях получения может достигать 268 м²/г, что определяет перспективы их применения для очистки воды от нефтепродуктов [39]. Как показывают данные табл. 7, по значению $S_{1,5-4,5нм}$ сорбенты БУС успешно конкурируют с Акант-мезо. Однако при использовании БУС достигается меньшая глубина очистки от растворенных нефтепродуктов. Это можно объяснить вкладом пор радиуса <1,5 нм в сорбцию растворенных нефтепродуктов – объем

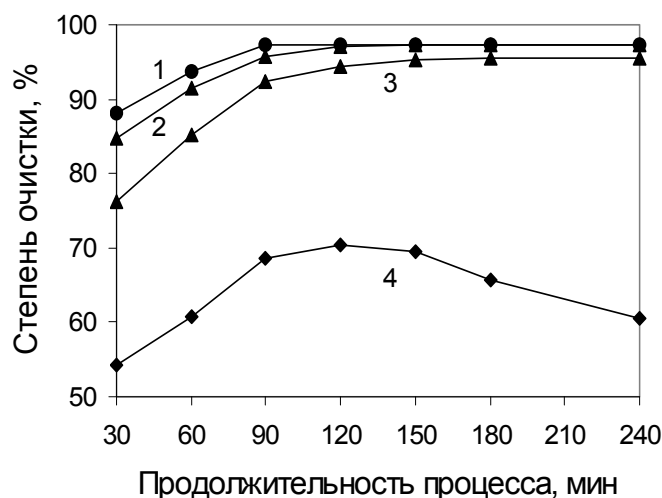


Рис. 4. Степень очистки воды от растворенных нефтепродуктов буроугольным сорбентом при различных скоростях фильтрации. Кривые 1, 2, 3, 4 – скорость фильтрации 0,7; 1,3; 2,5; 3,8 м/ч соответственно

таких пор составляет 0,30-0,45 и 0,07 – 0,14 см³/г для Акант-мезо и БУС соответственно [37, 39].

Исследования показали, что по сорбции растворенных нефтепродуктов буроугольные сорбенты не уступают древесным активным углям [40]. Низкие затраты на производство буроугольных сорбентов позволяют использовать их как материалы одноразового применения. При больших значениях удельной поверхности буроугольные сорбенты обладают достаточной прочностью и по основным показателям соответствуют требованиям, предъявляемым к фильтрующим загрузкам. Следовательно, такие материалы могут успешно использоваться в качестве загрузок адсорбционных фильтров [41]. Это подтверждается результатами исследования сорбции растворенных нефтепродуктов на модельном адсорбционном фильтре (диаметр фильтра 29 мм, загрузка буроугольного сорбента 92,5 г) при различных скоростях фильтрации загрязненной воды. Исходная концентрация растворенных веществ нефти Тюменского месторождения в воде составляет 2,5 мг/л. Это значение моделирует остаточное содержание

примеси после удаления диспергированных нефтепродуктов фильтрованием через слой Гидроантрацита-Р (табл. 5). В качестве загрузки адсорбционного фильтра использовали буроугольный сорбент (фракция 0,5 – 2,0 мм, предельный сорбционный объем по бензолу 0,49 см³/г), полученный в процессе совмещенного пиролиза – активации при температуре 800 °С, продолжительности процесса 20 мин. Активирующим агентом служит смесь дымовых газов с водяным паром (30 % об.) и кислородом (5 % об.) [39].

Данные рис. 4 показывают, что эффективная сорбция растворенных нефтепродуктов происходит при скоростях фильтрации не более 3,8 м/ч. Для исследованного модельного фильтра скорость фильтрации 2,5 м/ч является предельной и обеспечивает очистку воды от растворенных нефтепродуктов на 95,4 %. В этом случае выход адсорбционного фильтра на эффективный режим работы достигается через 150 мин. При снижении скорости фильтрации до 0,7 м/ч высокая степень очистки (97,3 %) достигается через 90 мин процесса и сохраняется в исследованном интервале времени. Было установлено, что

при таком скоростном режиме фильтрования через слой буроугольного сорбента степень очистки не менее 97 % сохраняется при увеличении концентрации растворенных нефтепродуктов до 5,0 мг/г. Повышение содержания примеси в воде до 10 мг/г сопровождается уменьшением степени очистки до 90 %.

Примером полимерного материала, который возможно использовать для очистки воды от диспергированных и растворенных нефтепродуктов в адсорбционных фильтрах с последующей регенерацией, является сорбент на основе амберлита марки ХАД-2 (производство США). Это гранулированная синтетическая смола, обладающая высокой прочностью. Средний размер пор ХАД-2 9,0 нм при площади поверхности 300 м²/г. Такой размер пор обеспечивает высокую эффективность удаления нефтепродуктов из сточных вод [4].

Как правило, образование развитой структуры с большим объемом сорбирующих пор в процессе активации сопровождается большим обгаром и низкой механической прочностью сорбента. Однако прочностные характеристики не критические для порошковых сорбентов, которые применяются в аэраторах – отстойниках. Эффективность их применения определяется величиной сорбционной активности в отношении нефтепродуктов и низкой стоимостью, что позволяет избежать необходимости регенерации материала [38, 42, 43]. Использование порошкообразных активных углей возможно в процессе коагуляции, флокуляции, отстаивания и является менее затратным способом из-за отсутствия эксплуатационных расходов на фильтровально-сорбционную установку [44].

Извлечение нефтепродуктов при помощи природных углеродных материалов (торфа, угля) обусловлено, в основном, процессом хемосорбции. Однако возможность перехода

в очищаемую среду органических веществ таких сорбентов ограничивает их использование на стадии глубокой доочистки воды [45]. За счет взаимодействия с реакционными группами достигается удаление нефтепродуктов из сточных вод некарбонизованными сосновыми опилками. При начальной концентрации примеси 4,5 мг/л использование сорбента позволило снизить содержание нефтепродуктов до 0,24 мг/л [46].

Описано применение для очистки воды от нефтепродуктов адсорбентов – катализаторов в комбинированной схеме, где одновременно протекают три процесса: электрокаталитическое окисление, электрофлотация и электрокоагуляция. Разработанные материалы используются как наполнители фильтров адсорбционно-каталитической доочистки и обеспечивают удаление нефтепродуктов до 0,05 мг/г, что соответствует норме для сброса воды в водоемы рыбохозяйственного назначения [47].

В литературе приводятся данные о возможности использования для очистки сточных вод от нефтепродуктов материалов, эффективных для удаления нефти с водной поверхности. Однако данные по извлечению растворенных веществ примеси не изложены [13, 48].

При оценке эффективности сорбента по сорбционной емкости необходимо принимать в расчет то, что эта величина тем ниже, чем меньше концентрация нефтепродуктов в очищаемой воде. Поэтому при ступенчатой схеме очистки на каждой последующей стадии труднее обеспечить требуемую нормативами степень доочистки воды от нефтепродуктов.

Заключение

Сорбенты, обладающие высокой адгезией по нефтепродуктам, могут эффективно использоваться для сбора нефти с зеркала

воды. Объемно-пористые сорбенты впитывают нефть и нефтепродукты за счет капиллярных сил и удерживают поллютант в объеме за счет адгезии.

Эффективное удаление из воды нерастворенных, диспергированных нефтепродуктов достигается также благодаря способности примеси к адгезии на поверхности фильтрующего материала. Поэтому нефтяные сорбенты, физико-химические свойства которых удовлетворяют техническим требованиям для фильтрующих загрузок, могут применяться для удаления нефтепродуктов из сточных вод на стадии фильтрования.

Активные угли, используемые на стадии глубокой доочистки, обеспечивают возможность удаления растворенных нефтепродуктов в случае соответствия параметров пористой структуры сорбента размерам молекул примеси. Активные угли можно применять в качестве фильтрующей загрузки, если их физико-химические свойства удовлетворяют требованиям для таких материалов. Показано, что использование активных углей в качестве нефтяных сорбентов нецелесообразно, так как потенциал развитой структуры микро- и мезопор в процессе сбора нефти не реализуется.

Список литературы

1. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 268 с.
2. Рябчиков В.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: ДеЛиПринт, 2004. 300 с.
3. Роев Г.А., Юфин В.А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов. М.: Недра, 1987. 224 с.
4. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. 528 с.
5. Горожанкина Г.И., Пинчукова Л.И. Сорбенты для сбора нефти: сравнительные характеристики и особенности применения. *Трубопроводный транспорт нефти*. 2000. № 4. С. 12-17.
6. Набаткин А.Н., Хлебников В.Н. Применение сорбентов для ликвидации нефтяных разливов. *Нефтяное хозяйство*. 2000. № 11. С. 61.
7. Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А., Шеметов А.В. Ликвидация разливов нефти при помощи синтетических органических сорбентов. *Нефтяное хозяйство*. 1999. № 2. С. 46-49.
8. Самойлов Н.А., Хлесткин Р.Н., Шеметов А.В., Шаммазов А.А Сорбционный метод ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. М.: Химия, 2001. 189 с.
9. Бордунов В.В., Коваль Е.О., Соболев И.А. Полимерные волокнистые сорбенты для сбора нефти. *Нефтегазовые технологии*. 2000. № 6. С. 30-31.
10. Kutchin A., Demin V., Shubnitsina E., Sazonov M. Protection of ground and water areas with use natural adsorbents. London:Thomas Telford, 2000.V.2.1486p.
11. Ананьева Т.А., Волков Ф.В., Назарова Е.В. Сорбционно-активный материал для очистки воды от нефтепродуктов. Пат. 2158177 РФ. *Б.И.* 2001. № 4. С. 24.
12. Хейфец Л.И., Неймарк А.В. Многофазные процессы в пористых средах. М.: Химия, 1982.320 с.
13. Кулиев Т.Ф. Способы очистки грунта от нефтепродуктов на объектах железнодорожного транспорта. Иркутск: Изд-во ИрГУПС, 2003. 195 с..

14. Ануфриева Н.М., Нестерова М.П. Исследование пенополиуретана как средства удаления нефти с поверхности водоемов. *Водные ресурсы*. 1976. № 4. С. 149-154.
15. Феклистов В.Н., Мелиев Б.У., Антипов В.Н. Разработка технологии очистки водной поверхности от нефтяных загрязнений пенными сорбентами. *Трубопроводный транспорт нефти*. 1994. № 9. С. 5-7.
16. Берлин А.А. Шутов Ф.А. Пенополимеры на основе реакционных олигомеров. М.: Химия, 1978. 289 с.
17. Рязанова Т.В., Федорова О.С., Чупрова Н.А., Стригунова А.А., Ростовцев О.А. Способ получения полимерных сорбентов. Пат. 2315655 РФ. *Б.И.* 2008. № 3. С. 38.
18. Передерий М.А., Скрыбин А.В. Способ получения сорбентов для очистки от нефтепродуктов твердой и водной поверхностей. Пат. 2160632 РФ. *Б.И.* 2000. № 35. С. 27.
19. Передерий М.А., Кураков Ю.И., Маликов И.Н., Молчанов С.В. Сорбция нефтепродуктов углеродными сорбентами. *Химия твердого топлива*. 2009. № 5. С. 42 – 46.
20. Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А., Осипов М.И., Чичирко О.П. Технология сбора нефти с места аварийного разлива при помощи макропористого технического углерода. *Нефтяное хозяйство*. 2005. № 11. С. 111 – 113.
21. Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А. О ликвидации разливов нефти при помощи растительных отходов. *Нефтяное хозяйство*. 2000. № 7. С. 84 – 85.
22. 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.
23. Артемов А.В., Пинкин А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений. *Вода: химия и экология*. 2008. № 1. С. 19 – 25.
24. Журба М.Г. Очистка воды на зернистых фильтрах. Львов: Вища школа, 1980. 200 с.
25. Журба М.Г., Нежлукченко В.М. Адгезионные процессы и формирование осадка в зернистых слоях загрузки контактных фильтров. *Химия и технология воды*. 2008. Т. 30. № 4. С.444 – 459.
26. Роев Г.А. Очистные сооружения газонефтеперекачивающих станций и нефтебаз. М.: Недра, 1981. 240 с.
27. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. Л.: Стройиздат, 1985. 120 с.
28. Гарнопольская М.Г. Фильтрующие материалы для очистки воды от нефтепродуктов и критерии их выбора. *Вода и экология: проблемы и решения*. 2005. № 3. С. 74 – 79.
29. Крупнов Р.А., Базин Е.Т., Попов М.В. Использование торфа и торфяных месторождений в народном хозяйстве. М.: Недра, 1992. 233 с.
30. Агафонов Д.В., Сибиряков Р.В. Фильтрующий сорбент для очистки воды от нефтепродуктов. Патент 2045334 РФ. 1995. *Б.И.* № 10. С.28.
31. Крылов И.О., Ануфриева С.И., Исаев В.И. Установка доочистки сточных и ливневых вод от нефтепродуктов. *Экология и промышленность России*. 2002. № 6. С. 17 – 20.
32. Юдаков А.А., Ксенник Т.В. Материалы 8-го Международного конгресса «Вода: экология и технология» ЭКВАТЭК 2008 (электронный ресурс). М., 2008. «Водоотведение и очистка стоков».

33. Журба М.Т. Пенополистирольные фильтры. М.: Стройиздат, 1992. 176 с.
34. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Альянс, 2005. 753 с.
35. ГОСТ Р 51641 – 2000. Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия. – Введ. 2001-07-01. – М.: Госстандарт России, 2001.
36. Олонцев В.Д., Сазонова Е.А. Труды междунар. науч.-практич. конф. “Чистая вода – 2009”. Кемерово, 2009. С. 207 – 209
37. Гончарук В.В., Клименко Н.А., Когановский А.М., Тимошенко М.Н. Новые возможности фильтрования в технике водоподготовки и глубокой очистки сточных вод. *Химия и технология воды*. 1994. № 1. С. 37 – 43.
38. Передерий М.А., Сиротин П.А., Казаков В.А., Хотулева В.Н. Безотходная переработка бурых углей в пористые углеродные материалы различного назначения. *Химия твердого топлива*. 2002. № 6. С. 19-27.
39. Веприкова Е.В., Рудковский А.В., Щипко М.Л. Очистка воды от гуминовых веществ на буроугольных сорбентах. *Химия твердого топлива*. 2007. № 6. С. 47 – 52.
40. Еремина А.О., Головина В.В., Угай М.Ю., Степанов С.Г., Морозов А.Б. Адсорбция фенола и нефтепродуктов на сорбционных материалах из бурого угля. *Химия твердого топлива*. 2004. № 4. С. 32 – 39.
41. Веприкова Е.В., Щипко М.Л. Сборник трудов XI междунар. науч.-практ. конф. “Химия – XXI век: новые технологии, новые продукты”. Кемерово, 2008. С. 138.
42. Щипко М.Л., Шевцов Е.В., Янголов О.В. Получение в автотермическом режиме и использование для очистки сточных вод полукокса из канско – ачинских углей. *Сибирский химический журнал*. 1992. № 6. С. 59 – 63.
43. Еремина А.О., Головина В.В., Угай М.Ю., Рудковский А.В. Углеродные адсорбенты из древесных отходов в процессе очистки фенолсодержащих вод. *Химия растительного сырья*. 2004. № 2. С. 67 – 71.
44. Montgomery J.M. Water Treatment Principles and Design. John Wiley and Sons, USA. 1985. 268 p.
45. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев: Наукова думка, 1987. 174 с.
46. Багровская Н.А., Никифорова Т.Е., Козлов В.А., Лилин С.А. Сорбционные свойства модифицированных древесных опилок. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2006. Т. 14. № 1. С. 1 – 7.
47. Коваленко Н.А., Неверова И.А., Кочетков А.Ю., Буданов А.А. Очистка производственных и ливневых сточных вод НПЗ. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2008. № 9. С. 10 – 14.
48. Кнатько В.М., Кнатько М.В., Юлин В.А. Сорбент для очистки объектов окружающей среды. *Экологические системы и приборы*. 2004. № 12. С. 38 – 40.

Peculiarity of Water Purifying from Oil Products with Make Use of Oil Sorbents, Filtering Materials and Active Coals

**Eugenia V. Veprikova^a,
Elena A. Tereshchenko^a, Nikolay V. Chesnokov^{a,b},
Maxim L. Shchipko^a and Boris N. Kuznetsov^{a,b}**
*^aInstitute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS,
Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia
^bSiberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

Peculiarity of purifying water processes by oil sorbents, filtering materials and active coals was considered. Affect of properties and structures this materials efficiency of oil products removal from natural waters and sewage was shown.

Keywords: oil product, sorbent, filtering material, purification, water.
