

## АНАЛИЗ НЕФТЕСОРБЕНТОВ: ВИДЫ, СВОЙСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

© 2022 г. К. В. Скирдин<sup>1,\*</sup>, О. В. Казьмина<sup>1,\*\*</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, Томск, 634050, Россия

\*E-mail: skirlin.kirill@mail.ru

\*\*E-mail: kazmina@tpu.ru

Поступила в редакцию 3 февраля 2022 г.

После доработки 6 июня 2022 г.

Принята к публикации 14 октября 2022 г.

В статье представлены результаты анализа и обобщения литературных данных, посвященных проблеме оценки эффективности и применения нефтесорбентов, обусловленной отсутствием обобщенных и систематизированных требований к сорбентам, достоверных данных о рынке сорбентов в России, а также использованием существующих формул эффективности, учитывающих ограниченные данные о свойствах сорбентов. Приведен анализ рынка сорбентов в России, определены основные компании производители и страны поставщики. Проанализированы основные свойства сорбентов, объединенных в группы по природе материала. Рассмотрены существующие коэффициенты оценки эффективности применения сорбентов, показана ограниченность использования существующих формул. На основании анализа этапов использования предложены новые коэффициенты, позволяющие комплексно оценить эффективность сорбента на каждом этапе применения, используя показатели, доступные в открытых источниках. Предложена формула расчета унифицированного коэффициента, оценивающего эффективность сорбента исключительно по его свойствам и позволяющая провести упрощенный расчет на основании минимального количества данных, представленных в открытых источниках. Проведена оценка влияния свойств сорбентов на показатели эффективности. На основании предложенного относительного коэффициента эффективности проведено сравнение органических, неорганических и синтетических сорбентов, позволяющее определять наиболее и наименее эффективные нефтесорбенты. Выявлены наиболее эффективные торговые марки.

**Ключевые слова:** требования к сорбентам, коэффициенты эффективности, обзор рынка, рынок в России

**DOI:** 10.31857/S002824212206003X, **EDN:** NPAINH

По состоянию на 2020 г. ежегодная добыча нефти в мире составляет более 4.98 млрд т; в сутки потребляется 13.53 млн т, что удовлетворяет до 60% мировых энергетических потребностей. На территории России в 2020 г. добыто 513 млн т (11 млн баррелей/сутки) нефти. Процессы ее добычи, транспортировки и переработки неразрывно связаны с утечками и аварийными ситуациями, в результате которых, нефть и нефтепродукты вовлекаются в естественные биоценозы. По разным оценкам в окружающую среду в мире попадает порядка 50 млн т сырой нефти ежегодно. Ее поте-

ри только в России, по оценке «Центра экологии ТЭК», составляют около 5% от объема добычи (23 млн т). Только на нефтепроводах месторождений Западной Сибири ежегодно регистрируется до 35 тыс. аварий, причем регистрации подлежат утечки нефти с объемами только более 8 т. При этом около 75% нефтяных загрязнений в виде эмульсий попадают в окружающую среду не в результате аварий, а в периоды безаварийной работы [1–6].

Нефть и нефтепродукты относятся к третьему классу опасности и оказывают организм человека или животного канцерогенное и мутагенное воз-

**Таблица 1.** Основные требования к нефтесорбентам, объединенные по группам

№	Требования к нефтесорбентам			
	функциональные	эксплуатационные	экологические	экономические
1	Нефтеемкость, кг/кг	Температура применения, °С	Экологичность (класс опасности, метод утилизации)	Стоимость, руб/кг
2	Степень самопроизвольной и принудительной десорбции, %	Срок и условия хранения		Стоимость доставки, руб/кг
3	Гидрофобность (минимальное водопоглощение, кг/кг)	Чувствительность к слеживанию	Безопасность (нетоксичность, негорючесть, взрыво- и пожаробезопасность, химическая инертность)	Стоимость утилизации, руб/кг
4	Уровень автоматизации применения и сбора	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Количество циклов регенерации
5	Скорость поглощения, с	Прочность, МПа		
6	Плавуемость, сут., %	Парусность		

действие. Попадание 1 л нефти в водные акватории лишает кислорода примерно 40 тыс. л воды и может покрыть пленкой территорию в 0.2–1 га. Порог токсичности нефтепродуктов для некоторых видов рыб составляет всего 0.0002–0.01 мг/л. Попадание нефти в почву изменяет ее физико-химические свойства, нарушает микро- и макробиоценоз, образует битуминозные солончаки, приводящие к эрозии, деградации и усилению криогенеза. При концентрации свыше порога фитотоксичности происходит угнетение растительности, изменение морфологии растений. Увеличение земель, загрязненных нефтью, составляет не менее 10 тыс. га/год [7–18].

В целях устранения аварийных разливов нефти широко применяют механические, термические, биологические и физико-химические методы. Наиболее универсальным методом устранения загрязнений нефтью является применение сорбентов, к которым предъявляется ряд требований, описанных в работах [19–78].

Значительный вклад в классификацию сорбентов, систематизацию требований к ним внесли отечественные ученые Ф.А. Каменщиков, Е.И. Богомольный, В.Ж. Аренс, О.М. Гридин и др. [6, 42–46]. Обобщение данных по свойствам и материалам для получения нефтесорбентов представлено в обзорных статьях Т.А. Байбурдова, А.Б. Шиповского, С.Л. Шмакова, Л.Ю. Новоселовой, Е.Е. Сироткиной, Е.А. Артюх, Е.В. Веприковой, Н.А. Собгайды, Е.С. Климова, М.В. Бузаевой, А.В. Артемова, А.В. Пинкина [49–64].

Среди научных школ, занимающихся вопросами сорбции нефти, можно отметить коллективы некоторых университетов: РГУНГ им. И.М. Губкина (г. Москва), СГТУ (г. Саратов), КГТУ (г. Петропавловск-Камчатский), ТИУ (г. Тюмень), СПГУ (г. Санкт-Петербург), КНИТУ (г. Казань), УГНТУ (г. Уфа), а также Байкальского Института природопользования СО РАН и Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН [49–76].

Большинство работ посвящено апробации новых нефтесорбентов, методов их модификации, обобщению требований и решению проблем методологического характера. По результатам анализа литературных данных [19–76] выделим требования к нефтесорбентам и объединим их в четыре группы (табл. 1).

С учетом недостаточных сведений о сорбентах, представленных на отечественном рынке, и широком спектре требований к ним, выбор оптимальной марки сорбента затруднен. Данные маркетинговых исследований противоречивы. Например, по состоянию на 2016 г. объем отечественного рынка сорбентов оценивается в работе [77] в 15 тыс. т/год и 2 млрд рублей, в [78] – 8 млрд руб., в [79] – 8 тыс. т/год. В работе [79] подчеркивается, что 70% сорбентов импортные, в работе же [80] имеются данные о преобладании на рынке сорбентов отечественного производства. На сайтах производителей часто приводятся неполные, нередко искаженные данные, связанные с рекламными уловками [81]. Зачастую предоставляют значение сорбционной

емкости в отличных от принятых единиц измерения в кг/кг, заменяя на л/кг и л/л, что позволяет увеличивать числовое значение. Скрываются значения срока годности, методы регенерации и утилизации сорбентов.

Для количественной оценки эффективности эксплуатации сорбентов в настоящее время используют коэффициенты экономической, технико-экономической эффективности и динамической нефтемкости [80].

Коэффициент **экономической эффективности** (формула (1)) показывает стоимость сорбции 1 кг нефти с помощью 1 кг данной торговой марки сорбента. Чем меньше значение коэффициента, тем дешевле проведение процесса и эффективнее сорбент:

$$K_{\text{эк.эф}} = \frac{C_{1\text{кг.сорб.}}}{k}, \quad (1)$$

где  $K_{\text{эк.эф}}$  – коэффициент экономической эффективности, руб/кг;  $C_{1\text{кг.сорб.}}$  – стоимость 1 кг сорбента, руб/кг;  $k$  – нефтемкость сорбента, кг/кг.

Коэффициент технико-экономической эффективности (формула (2)) показывает стоимость сорбции 1 кг нефти с учетом доставки, складирования, применения, удаления и утилизации:

$$K_{\text{т.э.}} = \frac{1}{k} \left( \frac{C_1}{\rho_c \cdot h_{\text{хр}}} + \frac{C_{\text{тр}} \cdot L}{\rho_c} + C_{\text{и}} \cdot m_{\text{ч}} \cdot t_{\text{р}} + C_{\text{ут}} \right), \quad (2)$$

где  $K_{\text{т.э.}}$  – коэффициент технико-экономической эффективности, руб/кг;  $k$  – нефтемкость сорбента, кг/кг;  $C_1$  – стоимость хранения 1 м<sup>2</sup> сорбента, руб;  $\rho_c$  – насыпная плотность сорбента, кг/м<sup>3</sup>;  $h_{\text{хр}}$  – допустимая высота хранения, м;  $C_{\text{тр}}$  – стоимость транспортировки 1 м<sup>3</sup> сорбента на 1 км;  $L$  – расстояние от места хранения до места разлива, км;  $C_{\text{и}}$  – стоимость применения 1 кг сорбента в рублях с учетом затрат на нанесение, сбор и утилизацию, руб;  $m_{\text{ч}}$  – средний расход сорбента в час;  $t_{\text{р}}$  – время проведения работ, ч;  $C_{\text{ут}}$  – стоимость утилизации 1 кг сорбента уполномоченными организациями (на договорной основе), руб.

Коэффициент динамической нефтемкости (формула (3)) показывает значение емкости сорбента в реальных условиях и рассчитывается

через эмпирически определяемые значения (формула (3)):

$$K_{\text{дин.нефт}} = \frac{\zeta_{\text{сорб}}}{\zeta_{\text{нефт}}}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{дин.нефт}}$  – коэффициент динамической нефтемкости, руб/кг;  $\zeta_{\text{сорб}}$  – коэффициент растекаемости сорбента, показывающий площадь растекания 1 кг сорбента по поверхности воды, м<sup>2</sup>/кг;  $\zeta_{\text{нефти}}$  – коэффициент растекаемости нефти, м<sup>2</sup>/кг, показывающий площадь растекания 1 кг нефти заданной плотности при известной толщине нефтяной пленки.

Коэффициенты технико-экономической и динамической нефтемкости не позволяют провести оценку эффективности товарных марок сорбентов на основании данных открытых источников, поскольку для расчета коэффициентов необходимо иметь точные, часто эмпирические данные о свойствах сорбентов. В связи с этим актуальна разработка новых коэффициентов эффективности, основанных на доступных значениях показателей сорбентов. Значительное количество требований, предъявляемых к сорбентам, наряду с ограниченностью достоверной информации, отсутствием расчетных коэффициентов, позволяющих оценить эффективность сорбентов на основании доступной в открытых источниках информации, затрудняет поиск эффективных марок сорбентов.

Цель данной работы – обзор существующих на отечественном рынке сорбентов по видам и свойствам, оценка эффективности по предложенным коэффициентам. Рассмотрены основные свойства трех групп сорбентов, представленных на российском рынке: органические, неорганические и синтетические. В работе использованы характеристики сорбентов, представленные на сайтах компаний, занимающихся нефтесорбентами [81–129].

### Органические нефтесорбенты

Согласно анализу данных открытых источников на российском рынке представлено 62 торговые марки органических сорбентов, производимых 34-мя компаниями. Доля отечественных компаний данного производства составляет 71%; в России

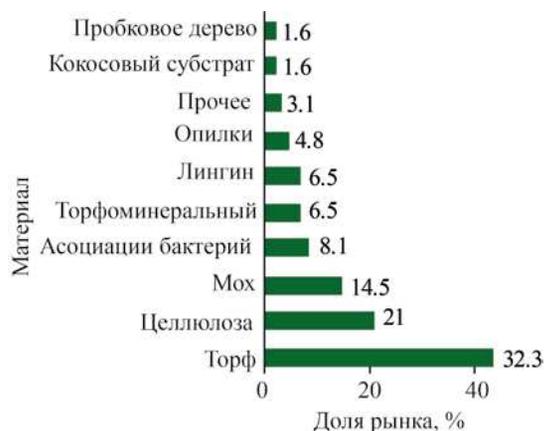


Рис. 1. Диаграмма распределения материалов органических сорбентов.

производится 42 торговых марки, что составляет порядка 69% рынка, на долю стран СНГ приходится 20%, стран Евросоюза 9%, прочие – 2%.

Органические сорбенты представлены значительным спектром материалов, доля применения которых представлена на диаграмме (рис. 1). Как видно, самыми распространенными органическими сорбентами являются торф, целлюлоза и мох. Для удобства сравнительного анализа разделим органические сорбенты на три условные группы (табл. 2): торф и мох (группа 1); древесина, включая древесные отходы, кокосовый субстрат, пробковое дерево, лигнин (группа 2); целлюлоза, волокно целлюлозы и отходы целлюлозного производства (группа 3). В табл. 2 приведены усредненные значения основных показателей органических сорбентов по группам.

Информация по сроку службы и методу утилизации присутствует на сайте производителя не для всех сорбентов. Из 44% сорбентов, с указанным сроком службы, 28% имеют неограниченный срок при соблюдении условий хранения, таких как влажность, температура, отсутствие света. По методу утилизации приводятся следующие данные: 43% органических сорбентов сжигают, 29% – биоразлагают, 16% – захоранивают, 5% – используют в качестве строительного материала дорог и только для 7% сорбентов предполагают повторное использование.

### Неорганические нефтесорбенты

По результатам анализа отечественного рынка неорганических сорбентов установлено, что основ-

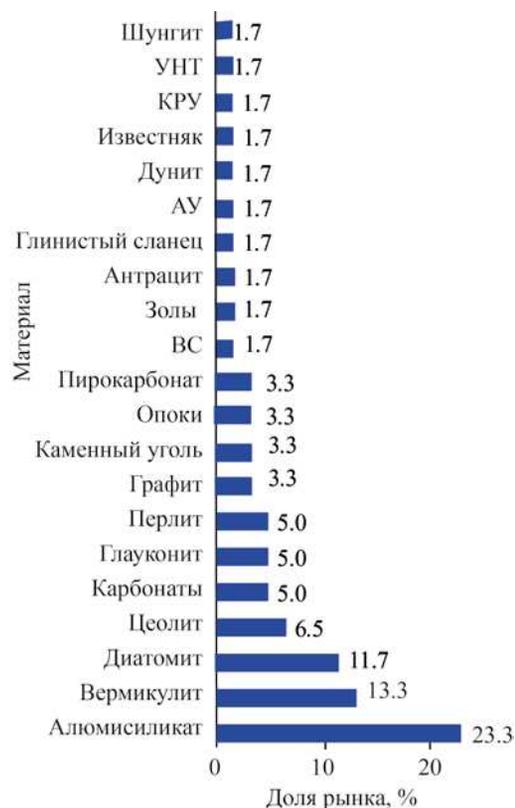


Рис. 2. Диаграмма распределения материалов неорганических сорбентов.

ной объем составляют продукты отечественного производства – 89%, доля стран СНГ – 2%, стран Евросоюза – 9%. Отечественный рынок включает 67 торговых марок неорганических сорбентов, производимых 33-мя компаниями, доля отечественных компаний 77%.

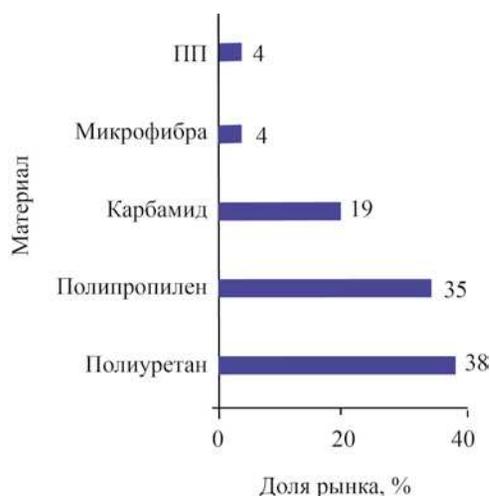
Неорганические сорбенты представлены разнообразным спектром материалов (рис. 2), по химическому составу которых выделено четыре группы (группы 4–7, см. табл. 2). Углеродистые сорбенты (группа 4) включают: углеродные нанотрубки (УНТ), кремнеуглеродный материал (КРУ), активированный уголь (АУ), каменный уголь и графит. Кремнеземистые сорбенты (группа 5) включают вулканические стекла (ВС), опоки, диатомит, перлит; группа карбонатных сорбентов (группа 6) – известняк, пирокарбонат, карбонатные породы. Алюмосиликатные же сорбенты (группа 7) включают: золу, глауконит, цеолит, вермикулит, алюмосиликат. Как видно из рис. 2, к наиболее распространенным сорбентам, относятся сорбенты пятой

**Таблица 2.** Усредненные значения показателей групп сорбентов

№ группы	Основные свойства нефтесорбентов		
	сорбционная емкость, кг/кг	плотность, кг/м <sup>3</sup>	стоимость, руб/кг
Органические сорбенты			
1	6	280	188
2	8	117	262
3	9	102	119
Неорганические сорбенты			
4	13	380	328
5	4	527	147
6	3	285	124
7	3	660	149
Синтетические сорбенты			
8	49	22	322
9	13	227	412
10	14	142	1218
11	15	33	1585
12	40	23	266

и седьмой групп: алюмосиликат – 23%, вермикулит – 13%, диатомит – 12% и цеолит – 7%.

Усредненные значения показателей, рассчитанные для неорганических сорбентов, также приведены в табл. 2. В расчетах не учитывалась стоимость углеродных нанотрубок вследствие того, что она на

**Рис. 3.** Диаграмма распределения материалов синтетических сорбентов.

несколько порядков отличается от стоимости других сорбентов.

Информация по сроку службы неорганических сорбентов указана на сайтах производителей 39% торговых марок. Из них 44% с указанием точного срока годности, 32% с указанием неограниченного срока годности и 24% – неограниченный срок годности при соблюдении условий хранения, таких как температура, отсутствие света, влаги, загрязнителей и нагрузки. При этом неорганические сорбенты менее чувствительны к нарушению условий хранения, чем органические.

Метод утилизации, заявленный на сайтах производителей, указан только для 24% торговых марок неорганических сорбентов. Из них 23% рекомендовано подвергать захоронению на полигоне, 12% возможно использовать в строительстве, 38% допускают повторное использование, 23% допускают регенерацию сжиганием, 4% регенерацию биодеструкцией.

### Синтетические сорбенты

На российском рынке синтетических нефтесорбентов представлено 25 торговых марок, производимых 12 компаниями, 67% компаний отечественные. Доля отечественных торговых марок сорбентов составляет 58%, Евросоюза – 42%.

Синтетические сорбенты представлены спектром материалов (рис. 3), которые условно разделены на пять групп (табл. 2). Это сорбенты, изготовленные из карбамида (группа 8), полиуретана (группа 9), полипропилена (группа 10), микрофибры (группа 11) и полимерного поропласта (ПП, группа 12). Наиболее распространенным материалом является полиуретан – 38%, полипропилен – 35% и карбамид – 19% (рис. 3).

Информация по сроку службы синтетических сорбентов указана на сайтах производителей 48% торговых марок. Из них 17% с указанием точного срока годности, 75% с указанием неограниченного срока годности и 8% – неограниченный срок годности при соблюдении условий хранения. Синтетические сорбенты, способные к биоразложению, требовательны к режиму температуры, отсутствию света, влаги, загрязнителей, волокнистые синтетические сорбенты требовательны к отсутствию нагрузки.

### Сравнительный анализ нефтесорбентов по предложенным коэффициентам эффективности

Для определения наиболее эффективных сорбентов различных групп и торговых марок проведен сравнительный анализ по усредненным значениям основных свойств и стоимости рассматриваемых нефтесорбентов (табл. 2).

Лучшими показателями усредненной сорбционной емкости обладают синтетические сорбенты, изготовленные из карбамида (49 кг/кг) и полимерного поропласта (40 кг/кг), меньшее значение соответствует неорганическим сорбентам, изготовленным из карбонатов и алюмосиликатов (3 кг/кг). Относительно недорогими являются сорбенты, изготовленные из целлюлозы (119 руб/кг), карбонатных (124 руб/кг), кремнеземистых (147 руб/кг) и алюмосиликатных минералов (149 руб/кг). Наименьшей плотностью обладают синтетические сорбенты, основой которых являются карбамид (22 кг/м<sup>3</sup>), полимерный поропласт (23 кг/м<sup>3</sup>) и микрофибра (33 кг/м<sup>3</sup>).

Среди синтетических сорбентов, лучшим сочетанием свойств, обладают сорбенты, изготовленные из карбамида и полимерного поропласта (группы 8 и 12), что обусловлено высокой сорбционной емкостью 49 кг/кг и 40 кг/кг и относительно низкой стоимостью 322 и 266 руб/кг соответственно. Среди органических сорбентов, лучшим сочетанием свойств обладают сорбенты, изготовленные из целлюлозы (группа 3), что обусловлено относительно высоким значением сорбционной емкости 9 кг/кг и низкой стоимостью 119 руб/кг. Среди неорганических сорбентов, лучшим сочетанием свойств обладают углеродистые сорбенты (группа 4), обладающие значительной сорбционной емкостью (13 кг/кг), превосходящей емкость других групп неорганических сорбентов в 3.2 раза при этом средняя стоимость торговых марок углеродистых сорбентов (328 руб/кг) незначительно больше стоимости других групп (в 2.2 раза).

Для органических, неорганических и синтетических сорбентов были рассчитаны средние значения сорбционной емкости, стоимости и плотности, на основе анализа большого количества свойств торговых марок. Для органических сорбентов среднее значение сорбционной емкости составляет 8 кг/кг, плотности 238 кг/м<sup>3</sup> и стоимости

210 руб/кг. Для неорганических сорбентов среднее значение сорбционной емкости составляет 5 кг/кг, плотности 520 кг/м<sup>3</sup> и стоимости 139 руб/кг. Для синтетических сорбентов: средняя сорбционная емкость 22 кг/кг, плотность 127 кг/м<sup>3</sup> и стоимость 797 руб/кг. Наибольшей средней сорбционной емкостью (22 кг/кг) и наименьшей средней плотностью (127 кг/м<sup>3</sup>) обладают синтетические сорбенты. Наименьшая средняя стоимость характерна для неорганических сорбентов (139 руб/кг).

Представленные в научных работах требования к нефтесорбентам позволяют провести только качественную оценку, без количественных характеристик эффективности сорбентов различных торговых марок на всем жизненном цикле. Существующие формулы оценки эффективности сложны и требуют значительного количества эмпирических данных, которые недоступны из открытых источников. В данной работе для оценки эффективности сорбентов предложены количественные показатели, рассчитанные на основе доступных данных.

Жизненный цикл нефтесорбента (рис. 4), включает этапы: покупка, транспортировка, хранение, использование, сбор, утилизацию или рециклинг. Для оценки эффективности сорбента на каждом этапе предлагается соответствующий коэффициент.

Коэффициенты транспортной эффективности ( $K_1$ ), утилизационной эффективности методом сжигания ( $K_2$ ) и методом захоронения ( $K_3$ ) возможно рассчитать на основании данных, предоставляемых производителями. В то время как коэффициенты (формулы 18–20), требующие специфических данных, предлагается оценить по бальной системе.

Коэффициент транспортной эффективности показывает стоимость транспортировки объема чистого сорбента, необходимого для сорбции одной тонны нефти на расстояние 1 км (формула (4)):

$$K_1 = n_{\text{груз}} \cdot Q_{\text{груз}} \cdot C_{\text{дт}} \cdot L, \quad (4)$$

где  $K_1$  – коэффициент транспортной эффективности, руб;  $n_{\text{груз}}$  – количество грузовиков, шт;  $Q_{\text{груз}}$  – расход дизельного топлива (ДТ) одним грузовиком, л/км;  $C_{\text{дт}}$  – стоимость дизельного топлива, руб/л;  $L$  – расстояние, на которое будет перевезен груз, км.

Количество грузовиков необходимых для транспортировки чистого сорбента для сорбции 1 т нефти (формула (5)):

$$n_{\text{груз}} = \max\left(\frac{V_{\text{сорб}}}{V_{\text{доп.гр}}}; \frac{m_{\text{сорб.}}}{m_{\text{доп.гр}}}\right), \quad (5)$$

где  $V_{\text{сорб}}$  – объем сорбента, необходимый для сорбции 1 т нефти, м<sup>3</sup>;  $V_{\text{доп.гр}}$  – объем чистого сорбента, который возможно перевести в 1 грузовике, м<sup>3</sup>;  $m_{\text{сорб.}}$  – масса сорбента необходимого для сорбции 1 т нефти, кг;  $m_{\text{доп.гр}}$  – масса сорбента, которую возможно перевести в 1 грузовике, кг.

При плотности сорбента выше 150 кг/м<sup>3</sup> значенные отношения  $m_{\text{сорб}}$  к  $m_{\text{доп.гр}}$  больше отношения  $V_{\text{сорб}}$  к  $V_{\text{доп.гр}}$ , поэтому максимальное расчетное количество грузовиков рассчитывается по массе. При плотности менее 150 кг/м<sup>3</sup> расчет производится по объему. В качестве транспортного средства выбрана тентовая ГАЗ-3302 «Газель», грузоподъемностью 1.5 т, объемом кузова 10 м<sup>3</sup> и расходом бензина «АИ-92» 13.87 л/100 км, при стоимости бензина – 45.95 руб/л.

Масса сорбента, необходимая для сорбции 1 т нефти (формула (6)):

$$m_{\text{сорб}} = \frac{m_{\text{нефт}}}{k}, \quad (6)$$

где  $m_{\text{нефти}}$  – масса нефти (1000 кг), кг;  $k$  – нефтеемкость сорбента, кг/кг;

С учетом всех коэффициентов, приведенных выше, значение коэффициента транспортной эффективности примет вид (формула (7)):

$$K_1 = \max\left(\frac{m_{\text{нефт}}}{k \cdot \rho_c \cdot V_{\text{доп.гр}}}; \frac{m_{\text{нефт}}}{m_{\text{доп.гр}} \cdot k}\right) \cdot Q_{\text{груз}} \cdot C_{\text{ДТ}} \cdot (7)$$

**Коэффициент утилизационной эффективности методом сжигания** показывает стоимость утилизации сорбента в количестве необходимом для сорбции одной тонны нефти методом сжигания (формула (8)):

$$K_2 = n_{\text{час}} \cdot C_{\text{ут.сж}}, \quad (8)$$

где  $K_2$  – коэффициент утилизационной эффективности методом сжигания, руб;  $n_{\text{час}}$  – количество

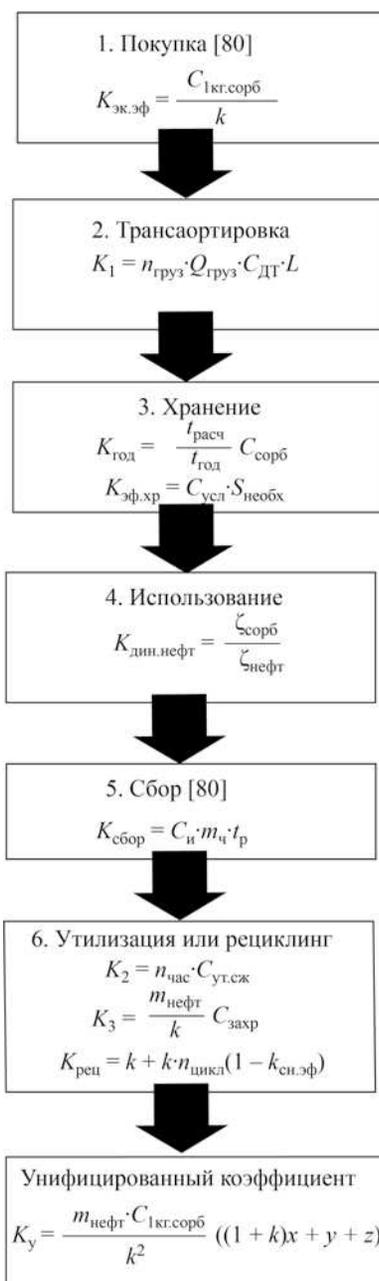


Рис. 4. Коэффициенты эффективности сорбента в течение жизненного цикла.

часов, необходимых для сжигания, час;  $C_{\text{ут.сж}}$  – стоимость утилизации 1 м<sup>3</sup>, руб/ч.

Количество часов, необходимых для сжигания использованного сорбента, можно рассчитать, как максимальное значение из двух отношений; расчет производится по массе (формула 9):

$$n_{\text{час}} = \max \left( \frac{V_{\text{сорб.исп}}}{V_{\text{сж.доп}}}, \frac{m_{\text{сорб.исп}}}{m_{\text{сж.доп}}} \right), \quad (9)$$

где  $V_{\text{сж.доп}}$  – объем использованного сорбента, который возможно утилизировать в одной установке по сжиганию сорбентов в течении 1 ч, м<sup>3</sup>/ч;  $V_{\text{сорб.исп}}$  – объем использованного сорбента, необходимый для сорбции 1 т нефти, м<sup>3</sup>;  $m_{\text{сж.доп}}$  – масса использованного сорбента, которую возможно утилизировать в 1 установке по сжиганию, в течении часа, кг/ч;  $m_{\text{сорб.исп}}$  – масса использованного сорбента необходимого для сорбции 1 т нефти, кг.

Масса использованного сорбента, необходимого для сорбции одной тонны нефти (формула (10)):

$$m_{\text{сорб.исп}} = m_{\text{сорб.ч}} + m_{\text{сорб.к}}, \quad (10)$$

где  $m_{\text{сорб.исп}}$  – масса использованного сорбента, кг;  $m_{\text{сорб.ч}}$  – масса чистого сорбента, необходимого для сорбции 1 тонны нефти, кг;  $k$  – сорбционная емкость сорбента, кг/кг.

Стоимость утилизации методом сжигания (формула (11)):

$$C_{\text{ут.сж}} = Q_{\text{дт}} \cdot C_{\text{дт}} + C_{\text{опл.труд}} \cdot n_{\text{чел}}, \quad (11)$$

где  $Q_{\text{дт}}$  – расход дизельного топлива установкой по сжиганию, л/ч;  $C_{\text{дт}}$  – стоимость дизельного топлива, руб/л;  $C_{\text{опл.труд}}$  – почасовая стоимость оплаты труда, руб/час;  $n_{\text{чел}}$  – количество человек необходимых для эксплуатации установки, чел.

Расчет стоимости утилизации методом сжигания проведен с использованием модельной распространенной автономной установки, работающей на дизельном топливе «Факел–1М(г)». Установка имеет следующие характеристики: производительность 180 кг/ч, объем загрузки камеры сгорания 0.8 м<sup>3</sup>, расход ДТ 17.1 л/ч, по стоимости 51.4 руб/л. Необходимое количество человек для эксплуатации – два, стоимость оплаты труда приняли 80 руб/ч. Максимальное значение ( $n_{\text{час}}$ ) соответствует величине, определяемой через массу использованного сорбента.

Коэффициент утилизационной эффективности методом сжигания (формула (12)):

$$K_2 = \frac{m_{\text{нефт}} \left( \frac{1}{k} + 1 \right)}{m_{\text{сж.доп}}} \cdot (Q_{\text{дт}} \cdot C_{\text{дт}} + C_{\text{опл.труд}} \cdot n_{\text{чел}}), \quad (12)$$

где  $m_{\text{нефт}}$  – масса нефти, которую необходимо сорбировать, кг.

**Коэффициент утилизационной эффективности методом захоронения** показывает стоимость захоронения на полигоне массы сорбента необходимой для сорбции одной тонны нефти. В зависимости от класса опасности материала сорбента по значению коэффициента можно дополнительно оценить экологичность материала (формула (13)):

$$K_3 = m_{\text{сорб}} \cdot C_{\text{захр}} = \frac{m_{\text{нефт}}}{k} \cdot C_{\text{захр}}, \quad (13)$$

где  $K_3$  – коэффициент утилизационной эффективности методом захоронения, руб;  $m_{\text{сорб}}$  – масса чистого сорбента, необходимая для сорбции 1 т, кг;  $C_{\text{захр}}$  – стоимость утилизации 1 т чистого сорбента, руб/кг;  $k$  – сорбционная емкость сорбента, кг/кг;  $m_{\text{нефт}}$  – масса нефти, которую нужно сорбировать, кг.

Определение класса отходов материала проводили в соответствии с ФККО «Федеральный классификационный каталог отходов» (Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 №242 (с изменениями от 29.03.2021 N 149)). Стоимость утилизации отходов проводили в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 (ред. от 24.01.2020) «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах». Стоимость платы при размещении 1 т отходов 4-го класса опасности составляет 663.2 руб/т, отходов 5-го класса – 17.3 руб/т.

Общий **коэффициент эффективности нефте-сорбента** предлагается рассчитывать по формуле 14; меньшее значение коэффициента соответствует наиболее экономичной марке сорбента:

$$K_3 = \frac{C_{\text{1кг.сорб}}}{k} (K_1 + K_2 + K_3), \quad (14)$$

где  $K_3$  – коэффициент общей эффективности сорбента, руб/кг;  $C_{\text{1кг.сорб}}$  – стоимость 1 кг сорбента, руб/кг;  $k$  – нефтеемкость сорбента, кг/кг;  $K_1$  – коэффициент транспортной эффективности, руб;  $K_2$  –

коэффициент утилизационной эффективности методом сжигания, руб;  $K_3$  – коэффициент утилизационной эффективности методом захоронения, руб.

С учетом всех коэффициентов  $K_1, K_2, K_3$  формула расчета коэффициента общей эффективности примет вид (формула (15)):

$$K_3 = \frac{m_{\text{нефт}} \cdot C_{1\text{кг.сорб}}}{k^2} \left( \frac{1+k}{m_{\text{сж.доп}}} (Q_{\text{дт}} \cdot C_{\text{дт}} + C_{\text{опл.труд}} \cdot n_{\text{чел}}) + C_{\text{захр}} + \frac{Q_{\text{груз}} \cdot C_{\text{дт}} \cdot L}{m_{\text{доп.гр}}} \right), \quad (15)$$

где  $m_{\text{нефт}}$  – масса нефти, которую необходимо сорбировать, кг;  $C_{1\text{кг.сорб}}$  – стоимость 1 кг сорбента, руб/кг;  $k$  – нефтеемкость сорбента, кг/кг;  $m_{\text{сж.доп}}$  – масса использованного сорбента, которую возможно утилизировать в 1 установке по сжиганию, в течении часа, кг/час;  $Q_{\text{дт}}$  – расход дизельного топлива установкой по сжиганию, л/час;  $C_{\text{дт}}$  – стоимость дизельного топлива, руб/л;  $C_{\text{опл.труд}}$  – почасовая стоимость оплаты труда, руб/час;  $n_{\text{чел}}$  – количество человек необходимых для эксплуатации установки, чел;  $C_{\text{захр}}$  – стоимость утилизации 1 т чистого сорбента, руб/кг;  $Q_{\text{груз}}$  – расход дизельного топлива одним грузовиком, л/км;  $L$  – расстояние, на которое будет перевезен груз, км;  $m_{\text{доп.гр}}$  – масса сорбента, которую возможно перевести в 1 грузовике, кг.

При расчете транспортного коэффициента по значению плотности (т.е. при плотности сорбента менее 150 м<sup>3</sup>/кг) в формуле 15 значение  $m_{\text{доп.гр}}$  необходимо заменить на произведение допустимого объема сорбента, который можно перевести в 1 грузовике и плотности торговой марки сорбента.

Отметим, что при расчете коэффициента общей эффективности выбор технического оформления метода транспортировки и утилизации оказывает большее влияние на значение данного коэффициента, что может внести дополнительную погрешность при сравнении большого количества торговых марок. Поэтому рассмотрен вариант расчета коэффициента общей эффективности только с учетом свойств сорбента, для чего произведена замена некоторых коэффициентов на  $x, y$  и  $z$  (формула (16)). Такой подход позволяет получить универсальное уравнение при объективной оценке.

$$\left( \begin{array}{l} x = \frac{Q_{\text{дт}} \cdot C_{\text{дт}} + C_{\text{опл.труд}} \cdot n_{\text{чел}}}{m_{\text{сж.доп}}}; \\ y = C_{\text{захр}}; \\ z = \frac{Q_{\text{груз}} \cdot C_{\text{дт}} \cdot L}{m_{\text{доп.гр}}} \end{array} \right). \quad (16)$$

В результате описанных выше преобразований формула расчета коэффициента общей эффективности примет вид (формула (17)):

$$\left( \begin{array}{l} K_3 = \frac{m_{\text{нефт}} \cdot C_{1\text{кг.сорб}}}{k^2} ((1+k)x + y + z); \\ K_3 = \frac{m_{\text{нефт}} \cdot C_{1\text{кг.сорб}}}{k^2} \left( (1+k)x + y + \frac{z}{\rho_{\text{сорб}}} \right) \end{array} \right). \quad (17)$$

Полученное уравнение, унифицированного коэффициента ( $K_y$ ) позволяет количественно оценить эффективность сорбента по его основным свойствам, при минимально необходимом количестве данных, при минимальных расчетах, приняв значение переменных ( $x, y$  и  $z$ ) равными 1. При этом по расчетным данным значение коэффициентов общей эффективности и унифицированного имеют сильную связь по шкале Чеддока (коэффициент корреляции составляет 0.97).

Свойства сорбента в разной степени влияют на значение унифицированного коэффициента. Наибольшее влияние оказывает значение сорбционной емкости, находящееся под знаком квадрата, далее идет стоимость торговой марки сорбента, оба коэффициента находятся за скобками и влияют на каждый коэффициент. Наименее важным является значение плотности, которое влияет на коэффициент транспортной эффективности при условии значения плотности менее 150 кг/м<sup>3</sup>. Предложенный унифицированный коэффициент позволяет количественно оценить эффективность сорбентов по доступным в открытых источниках данным.

**Коэффициенты эффективного срока годности, эффективности рециклинга и эффективности хранения,** требуют специфических данных, отсутствующих в открытых источниках, в связи с чем оценить коэффициенты возможно только качественно.

**Таблица 3.** Расчетные коэффициенты эффективности различных групп сорбентов

№ группы	Расчетные коэффициенты эффективности				
	$K_{\text{эк.эф}}$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_y$
Органические сорбенты					
1	30	70	671	281	454
2	32	70	647	210	398
3	13	70	641	189	159
Неорганические сорбенты					
4	25	177	812	336	314
5	40	274	916	390	737
6	39	244	872	339	760
7	44	256	917	390	840
Синтетические сорбенты					
8	6	63	589	1346	69
9	31	38	621	5041	384
10	86	32	618	4709	1049
11	105	134	615	4421	1268
12	6	70	591	1658	71

Коэффициент эффективного срока годности показывает затраты на закупку сорбента с учетом предполагаемого срока хранения (формула (18)).

$$K_{\text{год}} = \frac{t_{\text{расч}}}{t_{\text{год}}} \cdot C_{\text{сорб}}, \quad (18)$$

где  $t_{\text{расч}}$  – предполагаемый срок хранения, лет;  $t_{\text{год}}$  – срок годности, лет;  $C_{\text{сорб}}$  – стоимость сорбента, руб/кг.

Коэффициент эффективности хранения (формула (19)) показывает стоимость хранения сорбента в зависимости от условий хранения:

$$K_{\text{эф.хр}} = C_{\text{усл}} \cdot S_{\text{необх}} = C_{\text{усл}} \cdot \frac{V_{\text{необх}}}{L_{\text{доп}}}, \quad (19)$$

где  $C_{\text{усл}}$  – стоимость обеспечения требуемых условий хранения на 1 м<sup>2</sup>, руб;  $S_{\text{необх}}$  – необходимая площадь помещения для хранения сорбента, м<sup>2</sup>;  $V_{\text{необх}}$  – объем сорбента, необходимый для сорбции 1 тонны нефти, м<sup>3</sup>;  $L_{\text{доп}}$  – допустимая высота складирования сорбента, м.

Коэффициент эффективности рециклинга показывает количество нефти, которое может поглотить один килограмм сорбента с учетом возможности его регенерации. В реальных условиях повторное использование сорбентов применяется ограниченно (формула (20)):

$$K_{\text{рец}} = k + k \cdot n_{\text{цикл}} (1 - k_{\text{сн.эф}}), \quad (20)$$

где  $k$  – нефтеемкость сорбента, кг/кг;  $n_{\text{цикл}}$  – количество циклов повторного использования, при первом цикле использования следует принять значение равным 0, при втором за 1 и т.д.;  $k_{\text{сн.эф}}$  – коэффициент, показывающий снижение сорбционной емкости с каждым циклом повторного использования (например при снижении на 3%,  $k_{\text{сн.эф}}$  примем равным 0.03).

Таким образом, в зависимости от входных данных по сорбенту, эффективность его использования можно оценить на всем жизненном цикле: покупка, транспортировка, хранение, использование, сбор, утилизация или рециклинг. Это позволяет сделать обоснованный полный сравнительный анализ нефтесорбентов различных видов и торговых марок.

Значения предложенных коэффициентов рассчитаны на примере модельной утечки нефти объемом 100 тонн и приведены в табл. 3.

Минимальным значением унифицированного коэффициента среди органических сорбентов обладают сорбенты, изготовленные из целлюлозы (группа 3), что обусловлено высокой сорбционной емкостью (9 кг/кг) и низкой стоимостью (119 руб/кг). Высоким (худшим) показателем унифицированного коэффициента обладают органические сорбенты, изготовленные из торфа и мха (группа 1), что обусловлено высокой стоимостью (188 руб/кг) и более низкой сорбционной емкостью (6 кг/кг).

Среди неорганических сорбентов минимальным значением унифицированного коэффициента обладают сорбенты, изготовленные из углеродистых материалов (группа 4), что обусловлено высокой сорбционной емкостью (13 кг/кг) нивелирующей влияние относительно высокой стоимости (328 руб/кг). Худшим показателем унифицированного коэффициента обладают неорганические алюмосиликатные сорбенты (группа 7), обладающие невысокой стоимостью (149 руб/кг) при низкой сорбционной емкости (3 кг/кг).

Таблица 4. Количественная и качественная оценка групп сорбентов

Коэффициент эффективности	Сорбенты		
	органические	неорганические	синтетические
Количественная оценка			
$K_{эк.эф}$	33	46	73
$K_1$	110	250	146
$K_2$	687	882	721
$K_3$	323	35692	14208
Качественная оценка			
$K_{ср.год}$	1 балл	3 балла	2 балла
$K_{рец}$	1 балл	3 балла	2 балла
$K_{эф.хр}$	1 балл	3 балла	2 балла
$K_{длин.нефт}$	3 балла	1 балл	2 балла
$K_{сбор}$	1 балл	2 балла	3 балла
Обобщение результатов			
$\sum$ баллов	7 баллов	12 баллов	11 баллов
$K_3$	1970	5236	7042
$K_y$	544	1533	1558
$K_{отн}$	1.28	0.78	0.7

Среди синтетических сорбентов лучшие показатели имеют сорбенты, изготовленные из карбамида и полимерного поропласта (группы 8 и 12). Высокие показатели эффективности обусловлены высокой сорбционной емкостью (49 и 40 кг/кг) и низкой стоимостью (322 и 266 руб/кг) соответственно. Худшим показателем унифицированного коэффициента обладают синтетические сорбенты, изготовленные из микрофибры (группа 11) с высокой стоимостью (1585 руб/кг) и низкой сорбционной емкостью (15 кг/кг).

Комплексную оценку сорбентов предлагается проводить с учетом предложенных коэффициентов эффективности и коэффициентов, которые оцениваются качественно, с присвоением соответствующего количества баллов сорбентам: 1 балл – удовлетворительно, 2 балла – хорошо, 3 балла – отлично. Для итогового сравнения между собой органических, неорганических и синтетических сорбентов предлагается использовать относительный коэффициент эффективности (формула (21)):

$$K_{отн} = \frac{\sum \text{баллов}}{K_y} \times 100. \quad (21)$$

Чем больше значение баллов, характеризующих качество сорбента, и меньше значение унифицированного коэффициента, тем выше оценка группы сорбента (табл. 4).

По расчетным коэффициентам наилучшими являются органические сорбенты, значение коэффициентов которых лидируют по всем количественным показателям. Общие затраты ( $K_3$ ) использования органических сорбентов более чем в 2.6 раза меньше аналогичного показателя для неорганических и синтетических сорбентов. Результат комплексной оценки, учитывающий количественные и качественные коэффициенты, позволяет заключить, что наиболее эффективными являются органические сорбенты. Значение относительного коэффициента эффективности в 1.5 раза больше аналогичного показателя других групп.

На основании проведенного расчета показателей эффективности для отдельных торговых марок (табл. 5) возможно выбрать лучшие. Выбор наилучших торговых марок сорбентов производили комплексно с учетом всех количественных коэффициентов. При этом комплексный подход позволяет так же нивелировать незначительные колебания цены сорбента, изменяющейся в зависимости

Таблица 5. Расчетные коэффициенты эффективности лидирующих торговых марок

№	Торговая марка сорбента	Расчетные коэффициенты эффективности					
		$K_{эк.эф}$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_3$	$K_y$
Органические сорбенты							
1	ЭридГроу	2	12	591	43	89	16
2	<i>Ecollose H-Lic</i>	3	141	618	123	176	33
3	<i>Сорбцел</i>	3	231	637	182	201	38
4	<i>AG-Sorb</i>	6	45	636	178	393	81
5	<i>СНЦ-3</i>	6	193	649	216	406	78
6	<i>Русорб</i>	7	45	634	173	444	91
7	<i>СЦН-СОРБ</i>	8	160	636	176	487	92
8	<i>Нефлесорб</i>	10	25	607	91	607	116
9	<i>Лесорб Экстра</i>	14	64	618	123	897	166
Неорганические сорбенты							
10	ECO-DRY Compact	5	25	603	3000	301	56
11	<i>ВермиСорб</i>	10	76	673	11053	684	133
12	<i>ECO-DRY Plus</i>	10	44	629	6001	6901	138
13	<i>СДА-Ф</i>	9	427	1154	66320	1172	384
14	<i>Цеолит-сорб-К</i>	9	541	1307	83949	1321	538
15	<i>Цеолит-сорб-М</i>	10	592	1378	92111	1532	538
16	<i>СТРГ</i>	17	108	588	1326	1002	176
17	<i>Карбоверм-2</i>	15	95	666	10203	1019	197
18	<i>Профсорб Ультра</i>	34	63	649	8290	2244	426
19	<i>ТШР</i>	61	51	641	7368	3964	814
Синтетические сорбенты							
20	<i>Униполимер-М</i>	4	57	587	1206	262	46
21	<i>Униполимер-Био</i>	5	70	590	1473	332	58
22	<i>Турбополимер</i>	7	70	591	1658	394	71
23	<i>Унисорб</i>	8	64	589	1367	472	85
24	<i>Унисорб-Био</i>	9	57	589	1367	499	89
25	<i>Уремикс-913</i>	29	96	591	1560	17396	314

<sup>a</sup> ■ – наилучший результат; □ – 2 место; ■ – 3 место; ■ – 4 место; ■ – 5 место.

<sup>b</sup> Курсивом выделены сорбенты производства России.

от источника информации, что позволяет получить более объективные результаты. В табл. 5 представлены торговые марки сорбентов, получившие лидирующие позиции по нескольким коэффициентам эффективности.

Результаты расчетов показывают, что значения, полученные как по формуле унифицированного коэффициента, так и с учетом более полного набора коэффициентов, коррелируют. Это подтверждает достоверность выбранного подхода к оценке эффективности посредством разработанных формул.

Таким образом, среди органических сорбентов первые три места занимают сорбенты торговых марок, с наилучшим показателем унифицированного коэффициента ( $K_y$ ): «ЭридГроу» (16 руб/кг), «Ecollose H-Lic» (33 руб/кг), «Сорбцел» (38 руб/кг). Среди неорганических и синтетических сорбентов лучшие торговые марки: «ECO-DRY Compact» (56 руб/кг), «ВермиСорб» (133 руб/кг), «ECO-DRY Plus» (138 руб/кг) и «Униполимер-М» (46 руб/кг), «Униполимер-Био» (48 руб/кг), «Турбополимер» (71 руб/кг) соответственно. Высокие показатели эффективности торговых марок, занимающих пер-

вое место, обусловлены оптимальным сочетанием свойств высокой сорбционной емкости 22–55 кг/кг и относительно низкой стоимости 60–245 руб/кг.

### ВЫВОДЫ

Анализ полученных данных позволил объективно оценить нефтесорбенты, присутствующие на отечественном рынке, ранжировать их по эффективности применения с использованием предложенных коэффициентов и сделать следующие выводы.

Анализ российского рынка сорбентов показал наличие 154-х торговых марок нефтесорбентов, производимых 68-ю компаниями. Доля отечественных производителей составляет 83%, которые выпускают большинство торговых марок 76%. Основную часть рынка занимают неорганические (43%) и органические (40%) нефтесорбенты, меньшая часть приходится на синтетические материалы.

Предложенный относительный коэффициент эффективности, учитывающий затраты на всем жизненном цикле материала, позволил ранжировать группы сорбентов в следующий ряд по мере снижения их эффективности: органические, неорганические и синтетические нефтесорбенты. Относительный коэффициент эффективности органических сорбентов более чем в 1.5 раза больше аналогичного показателя неорганических и синтетических сорбентов. При этом общая стоимость применения органических сорбентов более чем в 2.6 раза меньше.

По значениям унифицированного коэффициента установлены лидеры торговых марок нефтесорбентов. Лучшими показателями обладают торговые марки органических, синтетических и неорганических сорбентов: «ЭридГроу», «Униполимер-М» и «ECO-DRY Compact» соответственно.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Скирдин Кирилл Вячеславович, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6564-3280>

Казьмина Ольга Викторовна, д.т.н., ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5285-3329>

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаров Г.Н., Хаджиев С.Н. К вопросу о неисчерпаемости запасов нефти (Гипотеза Белозерова–Шарова–Минина) // Нефтехимия. 2019. Т. 59. № 2. С. 123–128. <https://doi.org/10.1134/S0028242119020151> [Sharov G.N., Khadzhiev S.N. On the inexhaustibility of oil reserves (Belozerov–Sharov–Minin hypothesis) // Petrol. Chemistry. 2019. V. 59. № 2. P. 123–128. <https://doi.org/10.1134/S0028242119020151>]
2. Сан Д., Джинг Д., Джинг П., Лу Й., Чен К., Ху Х. Приготовление и оценка свойств стабильных пен, полученных на основе тяжелой нефти // Нефтехимия. 2017. Т. 57. № 2. С. 226–234. <https://doi.org/10.7868/S0028242117020071> [Sun J., Jing J., Jing P., Li Y., Chen X., Hu H. Preparation and performance evaluation of stable foamy heavy oil // Petrol. Chemistry. 2017. V. 57. № 2. P. 226–234. <https://doi.org/10.7868/S0028242117020071>].
3. Filimonova I.V., Nikitenko S.M., Provornaya I.V., Dzyuba Y. Forecast of regional structure of oil production in Russia // Eurasian Mining. 2020. V. 2020. № 1. P. 25–30. <https://doi.org/10.17580/em.2020.01.05>
4. Alrassas A.M., Al-Qaness M.A.A., Ewees A.A., Ren S., Elaziz M.A., Damaševičius R., Krilavičius T. Optimized ANFIS model using aquila optimizer for oil production forecasting // Processes. 2021. V. 9. № 7. P. 1–17. <https://doi.org/10.3390/pr9071194>
5. Поникаров С.И., Алексеев В.А., Вилохина П.В., Маннанова А.Ф. Анализ причин возникновения аварий на магистральных нефтепроводах // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 23. С. 365–368.
6. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта. М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2006. 528 с.
7. Алтунина Л.К., Сваровская Л.И., Яценко И.Г., Ельчанинова Е.А. Экологическое состояние водных объектов на территории нефтедобывающих комплексов Среднего Приобья // Нефтехимия. 2017. Т. 57. № 3. С. 340–345. <https://doi.org/10.7868/S0028242117020034> [Altunina L.K., Svarovskaya L.I., Yaschenko I.G., El'chaninova E.A. Ecological state of water bodies in Middle Ob oil-producing areas // Petrol. Chemistry. 2017. V. 57. № 3. P. 340–345. <https://doi.org/10.7868/S0028242117020034>]
8. Gorbatiuk L.O., Pasichna O.O. Toxic impact of oil pollution on fish organism in freshwater and marine

- ecosystems (a review) // *Hydrobiological J.* 2020. V. 56. № 6. P. 83-93. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v56.i6.70>
9. *Госсен Л.П., Величкина Л.М.* Экологические проблемы рационального использования нефтегазовых запасов и получения высококачественных нефтепродуктов // *Нефтехимия.* 2012. Т. 52. № 2. С. 154–158. <https://doi.org/10.1134/S0965544112020065> [*Gossen L.P., Velichkina L.M.* Environmental problems of sustainable management of oil and gas resources and production of high-quality petroleum products // *Petrol. Chemistry.* 2012. V. 52. № 1. P. 154–158. <https://doi.org/10.1134/S0965544112020065>].
  10. *Mekkaoui M., Belhadri M., Hammadi L., Boudjenane N.E.* Реологические свойства сырой нефти: влияние температуры и морской воды // *Нефтехимия.* 2017. Т. 57. № 5. С. 520–524. <https://doi.org/10.7868/S0028242117050124> [*Mekkaoui M., Belhadri M., Hammadi L., Boudjenane N.E.* Rheological behaviour of crude oil: effect of temperature and seawater // *Petrol. Chemistry/* 2017. V. 57. № 5. P. 520–524. <https://doi.org/10.7868/S0028242117050124>].
  11. *Глаголева О.Ф., Капустин В.М.* Физико-химические аспекты технологии первичной переработки нефти (обзор) // *Нефтехимия.* 2018. Т. 58. № 1. С. 3–10. <https://doi.org/10.7868/S002824211801001X> [*Glagoleva O.F., Kapustin V.M.* Physicochemical aspects of primary oil processing technology (review) // *Petrol. Chemistry.* 2018. V. 58. № 1. P. 3–10. <https://doi.org/10.7868/S002824211801001X>].
  12. *Малкин А.Я., Хаджиев С.Н.* О реологии нефти (обзор) // *Нефтехимия.* 2016. Т. 56. № 4. С. 303–314. <https://doi.org/10.7868/S0028242116040109> [*Malkin A.Ya., Khadzhiev S.N.* On the rheology of oil (review) // *Petrol. Chemistry.* 2016. V. 56. № 4. P. 303–314. <https://doi.org/10.7868/S0028242116040109>].
  13. *Liu G., Sun P., Ji Y., Wan Y., Wang H., You X.* Текущее состояние и энергетический анализ процессов пиролиза горючих сланцев в мире (обзор) // *Нефтехимия.* 2021. Т. 61. № 2. С. 138–156. <https://doi.org/10.31857/S0028242121020027> [*Liu G., Sun P., Ji Y., Wan Y., Wang H., You X.* Current status and energy analysis of oil shale's retorting process in the world // *Petrol. Chemistry.* 2021. V. 61. № 2. P. 138–156. <https://doi.org/10.31857/S0028242121020027>].
  14. *Смольникова В.В., Емельянов С.А., Дементьев М.С.* Воздействие углеводородов нефти на окружающую среду и способы очистки нефтезагрязненных субстратов // *Известия Самарского научного центра РАН.* 2009. Т. 11. № 1–6. С. 1378–1380.
  15. *Poletaeva O.Y., Kolchina G.Y., Leontev A.Y., Babayev E.R., Movsumzade E.M., Khasanov I.I.* Geometric and electronic structure of heavy highly viscous oil components // *ChemChemTech.* 2019. V. 62. № 9. P. 40–45. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196209.6022>
  16. *Бигалиев А.Б., Кожакметова А.Н.* Загрязнение нефтью и сопутствующими тяжелыми металлами, радионуклидами и накопление в организме гидробионтов казахстанской зоны Каспия // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.* 2020. Т. 331. № 12. С. 60–66. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/12/2939> [*Bigaliyev A.B., Kozhakhmetova A.N.* Oil pollution and associated heavy metals, radionuclides in the body of hydrobionts of the Kazakhstan zone of the Caspian Sea // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering.* 2020. V. 331. № 12. P. 60–66. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/12/2939>].
  17. *Сафаров А.Х., Водопьянов В.В., Ягафарова Г.Г., Дусаева Я.М., Акчурина Л.Р.* Прогнозирование биодegradации тяжелой нефти ассоциацией аборигенных нефтеструктурирующих микроорганизмов // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.* 2019. Т. 330. № 12. С. 111–118. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/12/2407> [*Safarov A.H., Vodopyanov V.V., Yagafarova G.G., Dusaeva I.M., Akchurina L.R.* Prediction of heavy oil biodegradation by association of aboriginal petrodestructive microorganisms // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering.* 2019. V. 330. № 12. P. 111–118. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/12/2407>].
  18. *Кахраманлы Ю.Н.* Исследование процесса сорбции нефти и нефтепродуктов с водной поверхности сорбентами на основе пенополистирола // *Нефтехимия.* 2011. Т. 51. № 5. С. 392-396. <https://doi.org/10.1134/S0965544111050082> [*Kakhramanly Yu.N.* Study of the sorption of petroleum and petrochemicals from the water surface by polystyrene foam-based Sorbents // *Petrol. Chemistry.* 2011. V. 51. № 5. P. 392–396. <https://doi.org/10.1134/S0965544111050082>].
  19. *Крылов И.О., Крылова А.В.* Регенерация шунгитовых сорбентов, содержащих нефтепродукты, адсорбированные из водных растворов // *Нефтехимия.* 2008. Т. 48. № 3. С. 224–230. <https://doi.org/10.1134/S0965544108030092> [*Krylov I.O., Krylova A.V.* Regeneration of schungite sorbents containing petroleum products recovered from aqueous solutions // *Petrol. Chemistry.* 2008. V. 48. № 3. P. 224–230. <https://doi.org/10.1134/S0965544108030092>].
  20. *Слижов Ю.Г., Гавриленко М.А., Матвеева Т.Н.* Хроматографическое разделение углеводородов в потоке водяного пара на силипоре с поверхностно-привитыми слоями ацетилацетонатов металлов // *Нефтехимия.* 2001. Т. 41. № 2. С. 149–152 [*Slizhov Yu.G., Gavrilenko M.A., Matveeva T.N.*

- Chromatographic separation of hydrocarbons in a steam flow on silipore with surface-grafted layers of metal acetylacetonates // *Petrol. Chemistry*. 2001. V. 41. № 2. P. 149–152].
21. *Ергожин Е.Е., Акимбаева А.М.* Очистка фенолсодержащих водных растворов природным цеолитом и его аминированной формой // *Нефтехимия*. 2005. Т. 45. № 4. С. 318–320 [*Ergozhin, E.E., Akimbaeva A.M.* Purification of phenol-containing aqueous solutions with natural zeolite and its aminated form // *Petrol. Chemistry*. 2005. V. 45. № 4. P. 318–320].
  22. *Abbas H., Manasrah A.D., Abidi Saad A., Sebakhy K.O., Bouhadda Y.* Исследование адсорбции асфальтенов алжирской нефти на синтетических наночастицах маггемита // *Нефтехимия*. 2021. Т. 61. № 1. С. 78–86. <https://doi.org/10.31857/S002824212101007X> [*Abbas H., Manasrah A.D., Abidi Saad A., Sebakhy K.O., Bouhadda Y.* Adsorption of algerian asphaltenes onto synthesized maghemite iron oxide nanoparticles // *Petrol. Chemistry*. 2021. V. 61. № 1. P. 78–86. <https://doi.org/10.31857/S002824212101007X>].
  23. *Луценко А.Н.* О применении инновационных сорбентов и устройств для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов // *Технологии техносферной безопасности*. 2012. № 3(43). С. 1–8.
  24. *Мельников А.А., Гордина Н.Е., Тюканова К.А., Гусев Г.И., Гуцин А.А., Румянцев Р.Н.* Синтез сорбционных систем на основе механохимически активированного вермикулита // *Известия высших учебных заведений. серия: химия и химическая технология*. 2021. Т. 64. № 8. С. 63–71 [*Melnikov A.A., Gordina N.E., Tyukanova K.A., Gusev G.I., Gushchin A.A., Rumyantsev R.N.* Synthesis of sorption systems based on mechanochemically activated vermiculite // *ChemChemTech*. 2021. V. 64. № 8. P. 63–71. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216408.6422>].
  25. *Назаренко М.Ю., Кондрашева Н.К., Салтыкова С.Н.* Эффективность применения горючих сланцев и сланцевольных отходов для очистки воды от органических загрязнителей // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2016. Т. 327. № 9. С. 95–103 [*Nazarenko M.Yu., Kondrasheva N.K., Kondrasheva N.K.* Efficiency of applying oil shale and ash-shale wastes for water treatment from organic pollutants. *Bulletin of the Tomsk polytechnic university, Geo Assets Engineering*. 2016. V. 327. № 9. P. 95–103].
  26. *Pagnucco R., Phillips M.L.* Comparative effectiveness of natural by-products and synthetic sorbents in oil spill booms // *J. of Environmental Management*. 2018. V. 225. № 1. P. 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.094>
  27. *Thakkar S.V., Pinna A., Carbonaro C.M., Malfatti L., Guardia P., Cabot A., Casula M.F., Swapneel V.T.* Performance of oil sorbents based on reduced graphene oxide–silica composite aerogels // *J. of Environmental Chemical Engineering*. 2020. V. 8. № 1. P. 295–300. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103632>
  28. *Doshi B., Sillanpaa M., Kalliola S.* A review of bio-based materials for oil spill treatment // *Water Research*. 2018. V. 135. P. 262–277. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.02.034>
  29. *Ifelebuegu A.O., Johnson A.* Nonconventional low-cost cellulose- and keratin-based biopolymeric sorbents for oil/water separation and spill cleanup: A review // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2017. V. 47. № 11. P. 964–1001. <https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1318620>
  30. *Paulauskiene T.* Ecologically friendly ways to clean up oil spills in harbor water areas: crude oil and diesel sorption behavior of natural sorbents // *Environmental science and pollution research*. 2018. V. 25. № 10. P. 9981–9991. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1316-8>
  31. *Singh A.K., Ketan K., Singh J.K.* Simple and green fabrication of recyclable magnetic highly hydrophobic sorbents derived from waste orange peels for removal of oil and organic solvents from water surface // *J. of Environmental Chemical Engineering*. 2017. V. 5. № 5. P. 5250–5259. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.060>
  32. *Saleem J., Adil Riaz M., Gordon M.* Oil sorbents from plastic wastes and polymers: A review // *J. of Hazardous Materials*. 2017. V. 341. P. 424–437. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.07.072>
  33. *Gonzalez J., Figueiras F.G., Aranguren-Gassis M., Crespo B.G., Fernandez E., Moran X.A.G., Nieto-Cid M.* Effect of a simulated oil spill on natural assemblages of marine phytoplankton enclosed in microcosms // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2009. V. 83. № 3. P. 265–276. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.04.001>
  34. *Zamparas M., Tzivras D., Dracopoulos V., Ioannides T.* Application of sorbents for oil spill cleanup focusing on natural-based modified materials: a review // *Molecules*. 2020. V. 25. № 19. P. 1–22. <https://doi.org/10.3390/molecules25194522>
  35. *Bandura L., Wozzuk A., Kolodynska D., Franus W.* Application of mineral sorbents for removal of petroleum substances: a review // *Minerals*. 2017. V. 7. № 3. P. 37. <https://doi.org/10.3390/min7030037>
  36. *Ge J., Zhao H.-Y., Zhu H.-W., Huang J., Shi L.-A., Yu S.-H.* Advanced sorbents for oil-spill cleanup: recent advances and future perspectives // *Advanced materials*. 2016. V. 28. № 47. P. 10459–10490. <https://doi.org/10.1002/adma.201601812>
  37. *Gupta S., Tai N.-H.* Carbon materials as oil sorbents: a review on the synthesis and performance // *J. of*

- Materials Chemistry A. 2016. № 4. P. 1550–1565. <https://doi.org/10.1039/C5TA08321D>
38. *Hoang A.T., Nguyen X.P., Duong X.Q., Huynh T.T.* Sorbent-based devices for the removal of spilled oil from water: a review // *Environmental science and pollution research*. 2021. № 28. P. 28876–28910. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13775-z>
  39. *Wu D., Fang L., Qin Y., Wu W., Mao C., Zhu H.* Oil sorbents with high sorption capacity, oil/water selectivity and reusability for oil spill cleanup // *Marine Pollution Bulletin*. 2014. V. 84. № 1–2. P. 263–267. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.05.005>
  40. *Bhardwaj N., Bhaskarwar A.N.* A review on sorbent devices for oil-spill control // *Environmental Pollution*. 2018. V. 243. P. 1758–1771. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.141>
  41. *Мальшикина Е.С.* Классификация сорбентов, используемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов // *Градостроительство и архитектура*. 2020. Т. 10. № 3(40). С. 26–34.
  42. *Аренс В.Ж., Саушин А.З., Гридин О.М., Гридин А.О.* Чистка окружающей среды от углеводородных загрязнений. М.: Интербук, 1999. 370 с.
  43. *Аренс В.Ж., Гридин О.М.* Семь раз отмерь. Рекламные иллюзии и реальные перспективы применения нефтяных сорбентов // *Нефтегазовая вертикаль*. 2000. № 9. С. 29–32.
  44. *Гридин О.М.* Нефтяные разливы и спасительные сорбенты // *Нефть и бизнес*. 1996. № 5–6. С. 10–15.
  45. *Аренс В.Ж., Гридин О.М., Янин А.Л.* Нефтяные загрязнения: как решить проблему // *Экология и промышленность России*. 1999. № 9. С. 33–36.
  46. *Гридин О.М.* Как выбирать нефтяные сорбенты // *Экология и промышленность России*. 1999. №12. С. 28–33.
  47. *Мерициди И.А., Шлапаков А.В.* Критерии выбора нефтяного сорбента для ликвидации аварийных разливов нефти на поверхности водоемов // *Управление качеством в нефтегазовом комплексе*. 2007. № 4. С. 52–57.
  48. *Бейгельдруд Г.М.* Очистка сточных вод в нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности. М.: ЦИОБ, 1997. 120 с.
  49. *Байбурдов Т.А., Шиповская А.Б.* Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоемов: обзор русскоязычной литературы за 2000–2017 гг (Часть 3) // *Известия Саратовского университета. Новая серия. серия: Химия. Биология. Экология*. 2018. Т. 18. № 3. С. 285–298.
  50. *Байбурдов Т.А., Шмаков С.Л.* Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоемов: обзор англоязычной литературы за 2000–2017 гг (Часть 1) // *Известия Саратовского университета. Новая серия. серия: Химия. Биология. Экология*. 2018. Т. 18. № 1. С. 36–44.
  51. *Байбурдов Т.А., Шмаков С.Л.* Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоемов: обзор англоязычной литературы за 2000–2017 гг. (Часть 2) // *Известия Саратовского университета. Новая серия. серия: Химия. Биология. Экология*. 2018. Т. 18. № 2. С. 145–153.
  52. *Новосёлова Л.Ю., Сироткина Е.Е.* Сорбенты на основе торфа для очистки загрязненных сред (обзор) // *Химия твердого топлива*. 2008. № 4. С. 64–77. [*Novoselova L.Yu., Sirotkina E.E.* Peat-based sorbents for the purification of contaminated environments: a review // *Solid fuel chemistry*. 2008. V. 42. № 4. P. 251–262. <https://doi.org/10.3103/S0361521908040125>].
  53. *Артюх Е.А., Мазур А.С., Украинцева Т.В., Костюк Л.В.* Перспективы применения биосорбентов для очистки водоемов при ликвидации аварийных разливов нефти // *Известия СПбГТИ (ТУ)*. 2014. № 26(52). С. 58–66.
  54. *Веприкова Е.В., Терещенко Е.А., Чесноков Н.В., Щипко М.Л., Кузнецов Б.Н.* Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия*. 2010. Т. 3. № 3. С. 285–304. [*Veprikova E.V., Tereshchenko E.A., Chesnokov N.V., Shchipko M.L., Kuznetsov B.N.* Features of water purification from petroleum products using petroleum sorbents, filtering materials and activated carbons. *Journal of Siberian Federal University: Chemistry*. 2010. V. 3. № 3. P. 285–304.]
  55. *Филатова Е.Г., Соболева В.Г.* Извлечение нефти и нефтепродуктов из водных растворов природными адсорбентами // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2019. Т. 62. № 6. С. 131–137 [*Filatova E.G., Soboleva V.G.* Extraction of oil and petroleum products from water solutions by natural adsorbents // *ChemChemTech*. 2019. V. 62. № 6. P. 131–137. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20196206.5836>].
  56. *Собгайда Л.Н., Ольшанская Н.А.* Сорбенты для очистки вод от нефтепродуктов: монография. Саратов, 2010. 107 с.
  57. *Васильева Г.К., Стрижакова Е.Р., Бочарникова Е.А., Семенюк Н.Н., Яценко В.С., Слюсаревский А.В., Барышникова Е.А.* Нефть и нефтепродукты как загрязнители почв. технология комбинированной физико-биологической очистки загрязненных почв // *Российский химический журнал*. 2013. Т. 57. № 1. С. 79–104.
  58. *Vasilyeva G., Kondrashina V., Strijakova E., Ortogonalvo J.J.* Adsorptive bioremediation of soil highly

- contaminated with crude oil // The science of the total environment. 2020. V. 706. P. 135739. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135739>
59. *Sobgaida N.A., Ol'shanskaya L.N., Nikitina I.V.* Fiber and carbon materials for removing oil products from effluent // Chemical and petroleum engineering. 2008. V. 44. № 1–2. P. 41–44. <https://doi.org/10.1007/s10556-008-9011-0>
60. *Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Макарова К.Н., Макарова Ю.А.* Использование отходов производства в качестве сорбентов нефтепродуктов // Экология и промышленность России. 2009. № 1. С. 36–38.
61. *Sobgaida N.A., Olshanskaya L.N., Makarova Y.A.* Cleaning petroleum products from waste water with composite filters based on waste products // Chemical and petroleum engineering. 2010. V. 46. № 3. P. 171–177. <https://doi.org/10.1007/s10556-010-9313-x>
62. *Климов Е.С., Бузаева М.В.* Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод: монография. Ульяновск, 2011. 201 с.
63. *Сироткина Е.Е., Новоселова Л.Ю.* Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т. 13. № 3. С. 359–377.
64. *Артемов А.В., Пинкин А.В.* Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений // Вода: Химия и экология. 2008. № 1. С. 19–25.
65. *Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А., Шеметов А.В.* Ликвидация разливов нефти при помощи синтетических органических сорбентов // Нефтяное хозяйство. 1999. № 2. С. 46–49.
66. *Самойлов Н.А., Хлесткин Р.Н., Шеметов А.В., Шаммазов А.А.* Сорбционный метод ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: монография. М., 2001. 189 с.
67. *Хлесткин Р.Н., Самойлов Н.А.* О ликвидации разливов нефти при помощи растительных отходов // Нефтяное хозяйство. 2000. № 7. С. 84.
68. *Еремин И.С.* Разработка сорбирующего материала на основе сахарного тростника // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. №10. С. 14–17. [*Eremin I.S.* Development of sorbent material based on sugar cane. Ecology and Industry of Russia. 2017. V. 21. № 3. P. 14–17. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-10-14-17>].
69. *Белова Т.П., Латкин А.С.* Разработка сорбентов для решения экологических проблем камчатки: монография. Петропавловск–Камчатский, 2006. 116 с.
70. *Малышкина Е.С., Вялкова Е.И., Осипова Е.Ю.* Использование природных сорбентов в процессе очистки воды от нефтепродуктов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 1. С. 188–200.
71. *Коган В.Е.* Стеклообразные пеноматериалы неорганической и органической природы и перспективы очистки окружающей среды от загрязнений нефтью и нефтепродуктами // Записки горного института. 2016. Т. 218. С. 331–338.
72. *Коган В.Е., Згонник П.В., Шахпаронова Т.С., Ковина Д.О.* Физико-химические аспекты получения нефтесорбентов из фосфатных пеностекол и кинетика нефтепоглощения // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 4. С. 33–36.
73. *Лимбах И.Ю., Каранетян Г.О., Каранетян К.Г., Новикова И.И., Бойкова И.В., Писарев И.Н., Леднев В.А.* Биопрепарат «АВАЛОН» для очистки объектов окружающей среды от нефти и нефтепродуктов, способ его получения // Патент РФ № 2181701. 2002.
74. *Бадмаева С.В., Дашинамжилова Э.Ц., Ханхасаева С.Ц.* Применение сорбентов, полученных из растительных отходов, для поглощения нефтепродуктов // Вестник бурятского государственного университета. Химия. Физика. 2018. № 4. С. 30–35. <https://doi.org/10.18101/2306-2363-2018-4-30-35>
75. *Кондаленко О.А., Шайхиев И.Г., Трушков С.М.* Отходы от переработки сельскохозяйственных культур в качестве сорбентов для удаления нефтяных пленок с поверхности воды // Экспозиция нефть газ. 2010. № 5(11). С. 46–50.
76. *Денисова Т.Р., Шайхиев И.Г., Синпель И.Я.* Увеличение нефтеемкости опилок ясеня обработкой растворами кислот // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 17. С. 233–236.
77. *Бондаренко А.С., Петренко И.В., Аникина Ю.А.* Анализ рынка сорбентов для ликвидации последствий разливов нефти и рекультивации земель. Тезисы докл. научн. конф. «Лесной и химический комплексы – проблемы и решения». Красноярск.: СибГУ. 2016. С. 234–238.
78. *Горщикова А.Р., Москова М.М., Попов А.И., Шубин И.Н.* Анализ рынка сорбентов. Тезисы докл. научн. конф. «Главные характеристики современного этапа развития мировой науки». Саратов.: ООО «Центр профессионального менеджмента «Академия Бизнеса»». 2018. С. 39–42.
79. *Козлов А.П., Исмагилов З.Р.* Современное состояние и перспективы создания производства сорбентов в Кузбассе. Тезисы докл. научн. конф. «Углекислотная и экология Кузбасса». Кемерово.: ФИЦ УУХ СО РАН. 2017. С. 22–23.
80. *Мерициди И.А.* Производство нефтяных сорбентов на месте аварии как эффективный способ сокращения затрат на ликвидацию разливов нефти и нефтепродуктов // Территория нефтегаз. 2017. № 11. С. 70–77.

81. Нефтесорбент [Электронный ресурс]: ЗАО «Белнефтесорб», 2012. URL: <http://belneftesorb.by/neftesorbent/> (дата обращения: 03.12.2021).
82. Сорбенты для нефти и нефтепродуктов: основные материалы и их характеристики [Электронный ресурс]: Пункты приема вторсырья в России, 2019. URL: <https://punkti-priema.ru/articles/sorbenty-dlya-nefti-i-nefteproduktov> (дата обращения: 02.12.2021).
83. Сыпучие сорбенты [Электронный ресурс]: ТИЭТ сорбенты и сорбционные свойства, 2019. URL: <https://www.tiet-sorbent.ru/granular%20sorbents/granular%20sorbents.htm> (дата обращения: 01.12.2021).
84. Продукция ЭридГроу [Электронный ресурс]: ЭридГроу, 2021. URL: <https://www.aridgrow.by/> (дата обращения: 02.12.2021).
85. Сорбент РТС-1. Описание [Электронный ресурс]: Производственная компания ООО «Армонс», 2021. URL: <https://adr-arm.ru/shop/sypuchie-sorbenty/sorbent-ecolight/> (дата обращения: 06.12.2021).
86. Сорбенты для ликвидации разливов [Электронный ресурс]: Моспромзнак, 2021. URL: <https://mospromznak.ru/produktsiya/sypuchie-sorbenty.html> (дата обращения: 04.12.2021).
87. Торфяной сорбент «Сорбойл» [Электронный ресурс]: Деловые контакты. Справочник предприятий России, 2021. URL: [https://www.opt-union.ru/i\\_store/item\\_1000123014/torfyanoy-sorbent-sorboyl.html](https://www.opt-union.ru/i_store/item_1000123014/torfyanoy-sorbent-sorboyl.html) (дата обращения: 01.12.2021).
88. Сорбенты в Красноярске [Электронный ресурс]: Пульс цен, 2021. URL: <https://krasnoyarsk.pulscen.ru/> (дата обращения: 02.12.2021).
89. Сорбенты и абсорбенты [Электронный ресурс]: Завод Химических Компонентов. Экотек, 2021. URL: <https://www.eko-tec.ru/5933/> (дата обращения: 03.12.2021).
90. Сорбенты [Электронный ресурс]: ЗАО «Центр экологических инициатив Пресс-торф», 2021. URL: <https://center-ecology.ru/> (дата обращения: 02.12.2021).
91. Сорбент «ПироСорб» [Электронный ресурс]: Компания по утилизации отходов ИП Шмельков А.В., 2021. URL: <http://vtorresurs30.ru/sorbent-pirosorb> (дата обращения: 02.12.2021).
92. Сорбент нефтепродуктов Экопросорб [Электронный ресурс]: ООО «Про-Экология», 2021. URL: <https://pro-ecology.ru/gu/> (дата обращения: 05.12.2021).
93. Каталог сорбентов [Электронный ресурс]: Компания Приоритет: производитель решения для экологической и промышленной безопасности, 2021. URL: <https://www.sverad.ru/product/po-katalogu/> (дата обращения: 01.12.2021).
94. Сорбенты (Нефтесорбенты) и сорбирующие боны [Электронный ресурс]: ООО «Аквахим», 2021. URL: <https://himrus.ru/katalog/sorbentyi-neftesorbentyi> (дата обращения: 01.12.2021).
95. Сорбенты и изделия на его основе [Электронный ресурс]: Производственное объединение НПО «Спецоборудование», 2021. URL: [http://specudm.ru/production/catalog\\_4.html](http://specudm.ru/production/catalog_4.html) (дата обращения: 05.12.2021).
96. Сорбенты [Электронный ресурс]: ООО «Лессорб», 2021. URL: <https://lessorb.ru/products/sorbenty/sorbenty-/> (дата обращения: 08.12.2021).
97. Сорбенты для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс]: ГК «Терра Экология», 2021. URL: <https://terra-ecology.ru/product-category/sorbents/absorbenty-nefteproduktov/> (дата обращения: 07.12.2021).
98. Oclansorb Oil Absorbent [Электронный ресурс]: Hi-Point Industries, 2021. URL: <https://www.oclansorb.com/oclansorb-oil-absorbent> (дата обращения: 03.12.2021).
99. Сыпучие сорбенты [Электронный ресурс]: ООО «ТЗ Групп», 2021. URL: <https://tze1.ru/catalog/sorbenty/sypuchie-sorbenty/> (дата обращения: 06.12.2021).
100. Сорбенты [Электронный ресурс]: ООО «ЛАРН 32», 2021. URL: <https://larn32.ru/> (дата обращения: 04.12.2021).
101. Сорбирующие материалы [Электронный ресурс]: "Эконад Технолоджи", 2021. URL: <https://econadin.com/production/sorbiryyschie-materialu/> (дата обращения: 08.12.2021).
102. Сорбенты в Иваново Ивановской области [Электронный ресурс]: Bizorg товары и услуги, 2021. URL: <https://bizorg.su/ivanovo-rg/sorbenty-g> (дата обращения: 07.12.2021).
103. Каталог продукции [Электронный ресурс]: АО «Сорбент», 2021. URL: <https://sorbent.su/> (дата обращения: 05.12.2021).
104. PIG Lite-Dri Loose Absorbent [Электронный ресурс]: New Pig Corporation, 2021. URL: <https://www.newpig.com/pig-lite-dri-loose-absorbent/p/PLP201> (дата обращения: 03.12.2021).
105. Сорбенты для сбора нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс]: ООО «Эфхим», 2021. URL: <https://efhim.ru/product-category/sorbenty/> (дата обращения: 01.12.2021).
106. Эффективное средство для сбора нефти и нефтепродуктов сорбент AG-Sorb [Электронный ресурс]: ООО «Естественные технологии»,

2021. URL: <https://ag-sorb.ru/> (дата обращения: 01.12.2021).
107. Сырье [Электронный ресурс]: Нефтянники. Нефть и газ, 2021. URL: [https://www.nftn.ru/stuff/raw\\_materials/2](https://www.nftn.ru/stuff/raw_materials/2) (дата обращения: 01.12.2021).
108. Сорбент для сбора нефтепродуктов "СОРБЦЕЛ" [Электронный ресурс]: ООО «Эковата», 2021. URL: <http://ekovatanv.ru/> (дата обращения: 02.12.2021).
109. Товары и услуги [Электронный ресурс]: СООО "ЭридГроу Продакшн", 2021. URL: [https://aridgrow.deal.by/product\\_list](https://aridgrow.deal.by/product_list) (дата обращения: 09.12.2021)
110. Сорбенты (Нефтесорбенты) [Электронный ресурс]: ГК ООО «РоссПолимер», 2021. URL: <https://rosspolimer.ru/produksiya/himicheskoe-syre/sorbenty-neftesorbenty-dlya-likvidatsii-razlivov-nefti-nefteproduktov-gsm-otrabotannogo-masla-i-dr-zhidkostej/> (дата обращения: 05.12.2021).
111. Фильтрующие материалы [Электронный ресурс]: Aquatic Filter, 2021. URL: [https://aquatic-filter.ru/catalog/filtruyushchie\\_materialy/](https://aquatic-filter.ru/catalog/filtruyushchie_materialy/) (дата обращения: 05.12.2021).
112. Фильтрующие материалы [Электронный ресурс]: Гидросити, 2021. URL: <https://gidrositi.ru/catalog/napolniteli/> (дата обращения: 05.12.2021).
113. Силикагели [Электронный ресурс]: ЭТП ГПБ, 2021. URL: <https://etpgpb.ru/portal/catalog/categories/silikageli/> (дата обращения: 18.12.2021).
114. Сорбент [Электронный ресурс]: ООО «ВВТ-М», 2021. URL: <https://www.epool.ru/catalog/1417954> (дата обращения: 17.12.2021).
115. Каталог сорбентов: ионообменные смолы, активированный уголь, силикагель, кварцевый песок и др. [Электронный ресурс]: ООО "Индиго", 2021. URL: <https://insorb.ru/vse-produkty> (дата обращения: 16.12.2021).
116. Сорбент «Виван» [Электронный ресурс]: ООО "Енисей - спасательные средства", 2021. URL: [https://www.спас-жилет.рф/goods/129734785-sorbent\\_vivan](https://www.спас-жилет.рф/goods/129734785-sorbent_vivan) (дата обращения: 15.12.2021).
117. Sorbents [Электронный ресурс]: All-Biz Ltd and licensors, 2021. URL: [https://all.biz/search/goods?q=sorbent&cat\\_id=341](https://all.biz/search/goods?q=sorbent&cat_id=341) (дата обращения: 12.12.2021).
118. Сорбенты промышленные [Электронный ресурс]: «Группа «ПГС», 2021. URL: <https://swatstroj.ru/catalog/sorbenty/> (дата обращения: 11.12.2021).
119. Сорбенты, биосорбенты для аварийной ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов (ЛАРН) [Электронный ресурс]: ООО «Рантайм Системс№», 2021. URL: <http://www.sorbix.ru/> (дата обращения: 10.12.2021).
120. Сорбент для нефтепродуктов [Электронный ресурс]: ХимСтройИнжиниринг, 2021. URL: <https://him-stroy.ru/catalog/ochistka-vod-ot-nefteproduktov/sorbent-dlya-nefteproduktov/> (дата обращения: 10.12.2021).
121. Сорбенты [Электронный ресурс]: ООО "СОРБЭКО", 2021. URL: <https://sorbeco.pulscen.ru/catalog/128392-sorbenty> (дата обращения: 08.12.2021)
122. Сорбенты [Электронный ресурс]: УИК, 2021. URL: <https://novosibirsk.uik-rus.ru/category/sorbenty/> (дата обращения: 07.12.2021).
123. Сорбенты [Электронный ресурс]: ООО «Про-Экология», 2021. URL: <https://pro-ecology.ru/ru/products/sorbents> (дата обращения: 07.12.2021).
124. Сорбенты [Электронный ресурс]: ООО НПФ «Экосорб», 2021. URL: <http://www.ecosorb.su/%D1%81%D0%BE%D1%80%D0%B1%D0%B5%D0%B%D1%82%D1%8B/> (дата обращения: 07.12.2021).
125. Сорбент д/сбора нефтепродуктов Oilbinder [Электронный ресурс]: Liqui Moly, 2021. URL: <https://liquimoly.ru/catalog/prochie-sredstva1/sorbent-d-sbora-nefteproduktov-oilbinder/> (дата обращения: 07.12.2021).
126. Продукция [Электронный ресурс]: ООО «Холдинговая компания Меншен групп», 2021. URL: <https://irvelen.com/> (дата обращения: 07.12.2021).
127. Сорбент нефтепродуктов в Ростове-на-Дону [Электронный ресурс]: PromPortal.su, 2021. URL: [https://rostov-na-donu.promportal.su/tags/23578/sorbent-nefteproduktov/?](https://rostov-na-donu.promportal.su/tags/23578/sorbent-nefteproduktov/) (дата обращения: 07.12.2021).
128. Нефтесорбент фиброил (fibroil) [Электронный ресурс]: Joomla!, 2021. URL: <http://фиброил.рф/index.php> (дата обращения: 07.12.2021).
129. Сорбирующие материалы, сыпучие абсорбенты [Электронный ресурс]: Сорбенты.ру, 2021. URL: <http://sorbenti.ru/absorbenty> (дата обращения: 10.12.2021).