



## ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.316

DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.5

© Е. С. МАЛЫШКИНА

### КЛАССИФИКАЦИЯ СОРБЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИЯХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

#### CLASSIFICATION OF SORBENTS USED IN TECHNOLOGIES FOR PURIFICATION OF WASTE WATER FROM PETROLEUM PRODUCTS

*В настоящее время не существует общепринятой классификации сорбентов, применяемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов. Цель данной работы – более полная систематизация сорбентов, используемых при очистке сточных вод, в зависимости от их основных характеристик, а также от экономичности и экологичности. На основании существующих классификаций разработана и дополнена новыми параметрами классификация сорбентов, предназначенных для очистки сточных вод от нефтепродуктов, находящихся в растворенной и эмульгированной формах, а также в виде пленки. Сформирован алгоритм выбора сорбента с точки зрения эффективности его применения, защиты окружающей среды и материальных затрат. В качестве примера выполнена классификация сосновых опилок, которые могут рассматриваться как эффективная основа сорбентов.*

**Ключевые слова:** классификация, сорбенты, нефтепродукты, сточная вода, эффективность применения, экологическая безопасность.

#### Введение

Нефтепродукты считаются одними из наиболее приоритетных загрязняющих веществ в поверхностных водах и относятся к 3-му классу опасности (опасные) в зависимости от токсичности, материальной кумуляции и стабильности в водной среде [Росгидромет, 2019 г.]. Проблема очистки всех видов сточных вод от нефтепродуктов является актуальной для Тюменской области как лидера топливной промышленности России.

Весьма актуальна разработка технологий очистки воды, позволяющих извлекать нефтепродукты с минимальными затратами. Наи-

*Currently, there is no a generally accepted classification of the sorbents used in the technologies for wastewater treatment from oil products. The purpose of this work is to more fully systematize the sorbents used in wastewater treatment, depending on their main characteristics, as well as on the economy and environmental friendliness. Based on the existing classifications, the generalized classification of the sorbents designed for wastewater treatment from oil products in the dissolved and emulsified forms, and additionally in the film form, was developed and supplemented with the new parameters. A special algorithm, that allows one to make an informed choice of the sorbent in terms of its application efficiency, environmental protection and material costs, is formed. In this regard, as an example, the classification of pine sawdust has been performed. It can be considered as an effective sorbent base.*

**Keywords:** classification, sorbents, petroleum (oil) products, wastewater, use effectiveness; environmental safety

более важное место в технологических схемах очистных сооружений занимает сорбционная очистка [1–3].

В данной работе изучены характеристики сорбентов и рассмотрен вопрос влияния на них температурных, технологических и иных факторов. Сформирован алгоритм, позволяющий выбирать сорбенты, обладающие как максимальной эффективностью с точки зрения извлечения загрязнений, так и с учетом их экологичности и экономичности. На основании литературных источников составлена обобщенная классификация сорбентов для удаления нефтепродуктов из сточных вод.

### Обзорная информация

Все водные объекты, расположенные на территории Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов, большинство водных объектов Курганской (93 % створов), Свердловской (69 % створов), Тюменской (78 % створов) и Челябинской (53 % створов) областей по многолетним наблюдениям характеризуются низким качеством воды в диапазоне 4-го класса от разрядов «а» и «б» («грязная» вода) до разрядов «в» и «г» («очень грязная») [Росгидромет, 2019 г.].

Существенным источником загрязнения природной среды нефтепродуктами считаются неочищенные или частично очищенные производственные сточные воды предприятий нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, металлургической, химической и других видов промышленности. Также значительное количество нефтепродуктов попадает в водные объекты с прилегающих промышленных территорий во время дождей и снеготаяния [4]. В сточных водах нефтепродукты могут находиться в свободном, связанном и растворенном состояниях.

Реки Тюменской области относятся к Карскому гидрографическому району, в котором отмечены наиболее высокие концентрации нефтепродуктов – выявлено превышение 10, 30, 50 и 100 ПДК (рис. 1) [Росгидромет, 2019 г.].

В практике водоочистки достаточно сложно подобрать оптимальный метод очистки: каждый из них требует учитывать множество различных факторов. Очистка может производиться химическими методами с использованием реагентов,

но при этом происходит вторичное загрязнение воды. Мембранные фильтроэлементы имеют высокую стоимость, но быстро выходят из строя и могут быть использованы, как правило, на завершающей стадии очистки воды. Сорбционные методы являются наиболее приемлемыми, легко поддаются автоматизации и не требуют больших эксплуатационных затрат. Анализ сорбентов позволяет принимать оптимальные решения в данном вопросе [5].

Практически любой процесс сорбции характеризуется капиллярным удержанием, адсорбцией, хемосорбцией, абсорбцией. В зависимости от энергии связи сорбата и сорбента адсорбция может происходить за счет адгезии загрязнений на поверхность частиц сорбента, что не приводит к изменениям химического состава сорбата, или за счет хемосорбции при возникновении химических связей между сорбатом и сорбентом.

К современным сорбирующим материалам предъявляются высокие требования [2]:

- высокая сорбционная способность по отношению к нефти и нефтепродуктам;
- высокая удерживающая способность;
- минимальное время поглощения основной массы загрязнений;
- возможность регенерации сорбата;
- экономичность;
- экологичность;
- технологичность изготовления и утилизации сорбента.

За последние годы значительно повысился интерес ученых и специалистов к разработке

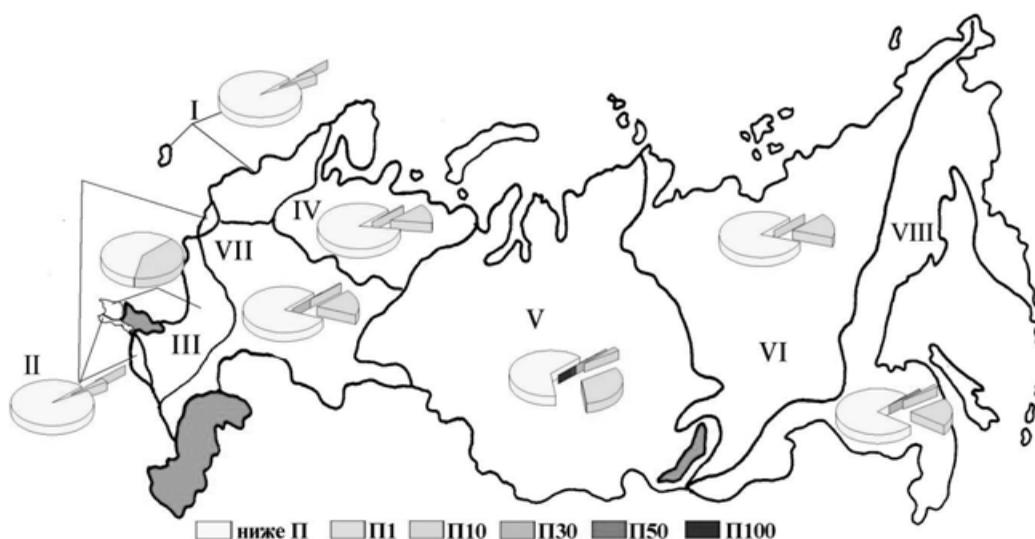


Рис. 4. Соотношение повторяемостей превышения предельно допустимых концентраций (П) нефтепродуктов разного уровня в поверхностных водах отдельных гидрографических районов Российской Федерации в 2018 г.:

I – Балтийский; II – Черноморский; III – Азовский; IV – Баренцевский; V – Карский;  
VI – Восточно-Сибирский; VII – Каспийский; VIII – Тихоокеанский

и использованию различных типов минеральных и синтетических сорбентов, а также сорбентов на основе дешевых растительных отходов [3, 6].

Сорбционные свойства материалов зависят от химического состава и физического состояния поверхности, пористости и удельной поверхности. Анализ структурных характеристик и свойств поверхности сорбционных материалов позволяет оценить эффективность их использования в процессе очистки вод от нефтепродуктов. Правильный выбор сорбента или хорошее сочетание нескольких сорбентов позволяют извлечь различные соединения в широком диапазоне, а также достигнуть очистки больших объемов воды до проскока нефтепродуктов [7].

А.В. Киселевым разработана классификация адсорбентов с разделением их на структурные типы, отличающиеся характером распределения объема пор по размерам и формам, что значительно облегчило исследования высокодисперсных тел и открыло огромные возможности научного подхода в подборе сорбентов. Основные из них – непористый, однородно-крупнопористый, однородно-мелкопористый и смешанный [8]. На основании большого количества опытного материала данная классификация периодически дополнялась и уточнялась [9]. Также в соответствии с классификацией А.В. Киселева сорбенты делятся на три типа [8]:

- неспецифические, которые не имеют на поверхности каких-либо функциональных групп и ионов;
- имеющие на поверхности положительные заряды;
- имеющие на поверхности связи или группы атомов с сосредоточенной электронной плотностью.

Согласно номенклатуре ИЮПАК (Международного союза теоретической и прикладной химии), все пористые материалы делятся на три класса: микропористые (характерный размер пор  $R < 2$  нм), мезопористые ( $2 < R < 50$  нм), макропористые ( $R > 50$  нм). Макропоры главным образом отвечают за транспортную функцию, а сорбция осуществляется в микро- и мезопорах [10, 11]. Наибольший эффект извлечения нефтепродуктов обеспечивают поры диаметром от 1,5 до 4,5 нм [12].

Современные сорбирующие материалы должны соответствовать таким важным требованиям, как экологичность, низкая стоимость и легкость применения. Таким образом, классификация сорбентов может быть разнообразной и учитывать природу происхождения, физико-химические характеристики, а также способы модификации, регенерации и утилизации сорбентов [1, 2, 13, 14, 5].

Для практического использования важна форма сорбентов. Формованные сорбенты удобны в применении и легко извлекаются, но их труднее утилизировать, так как в основном они являются синтетическими. Эффективность использования формованных сорбентов невысока. Дисперсные сорбенты можно применять в любом количестве, но имеются трудности с их внесением и сбором [14].

Для возможности использования сорбентов необходимо вспомогательное оборудование, поэтому в классификацию включены параметры «По способу использования» и «По уровню сложности извлечения сорбента».

Некоторые типы сорбентов могут обладать специальными свойствами. Например, для ускорения процесса разложения нефтепродуктов биосорбенты содержат иммобилизованные микробиологические культуры. Сорбенты с магнитными свойствами удобны для применения в труднодоступных местах – легко извлекаются из воды магнитными ловушками. Некоторые сорбенты содержат реагенты – отвердители нефти, что упрощает сбор загрязнений [14].

Применяемые в настоящее время для ликвидации загрязнений нефтепродуктами сорбенты либо дорогие, либо требуют дополнительных затрат при утилизации. Активно изучается сорбционная способность материалов из техногенных отходов и на природной основе. Все природные материалы обладают нефтеемкостью, но она невысока. Фитосорбенты характеризуются высоким водопоглощением, что связано с наличием большого количества сильнополярных групп (ОН, СООН и др.), создающих значительное свободное силовое поле и, как следствие, снижающих эффективность их применения [15, 16]. Для увеличения сорбционной емкости [3, 16] и снижения водопоглощения сорбентов [17] проводятся различные модификации. В связи с этим классификация сорбентов дополнена параметром «По состоянию поверхности» и разработан раздел по способам модификаций сорбентов.

Авторами работы [18] для классификации сорбентов с точки зрения экологической безопасности предложен параметр «По степени утилизации», который делит сорбенты на три группы: 1) не утилизируемые, 2) частично утилизируемые, 3) утилизируемые.

Существует проблема утилизации отработанных сорбентов с поглощенным сорбатом. Чаще всего отработанные сорбенты сжигаются, что ведет к вторичному загрязнению окружающей среды. С точки зрения экологической безопасности и экономичности некоторые сорбенты подлежат регенерации с возможностью извлечения поглощенного вещества. В разработанную классификацию включены такие разделы,

как «По степени использования», «По степени экологичности утилизации отработанного сорбента», «По способу регенерации» и «Степень отжима сорбата», что способствует более полному представлению об эффективности сорбента с точки зрения материальных затрат и минимального экологического воздействия.

**Цель, задачи и методы исследования**

В настоящее время не существует общепринятой классификации сорбентов, применяемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов. В научной литературе представлены различные классификации сорбентов неорганической и органической природы, из растительных и синтетических материалов. Чаще всего в основе их классификации лежат следующие характеристики: характер смачивания водой, структура, назначение, емкость, специальные свойства. Такой обобщенный подход к классификации всех типов сорбентов не позволяет проводить квалифицированный сопоставительный анализ, не раскрывает основной сути используемых материалов и не позволяет делать какие-либо выводы по конкретным направлениям их использования [8].

Задача данной работы заключается в более полной систематизации сорбентов, используемых при очистке сточных вод, в зависимости от их основных характеристик и параметров, а также от экономичности и экологичности. Аналитический материал позволит сформировать представление о сорбционных материалах, выявить их характеристики и сделать правильный выбор сорбента.

В связи с отсутствием в России универсальной методики определения нефтеемкости оценка нефтепоглощающих свойств сосновых опилок проведена в соответствии со стандартом ASTM F726-17 [3, 19]. В сетку помещали 5 г сорбента. Вес сетки и количество удерживаемой на ней нефти определяли предварительно

(холостая проба). Сорбент внутри сетки помещался в нефтепродукты и выдерживался в течение 15 мин. Затем сетку с насыщенным сорбентом вытаскивали и давали стечь избытку нефти, после чего сетку с насыщенным сорбентом взвешивали на весах. Измерение повторяли три раза и вычисляли среднее значение. Нефтеемкость рассчитывалась по формуле

$$HE = (m_1 - (m_2 + m_3)) / m_3, \text{ г/г}, \tag{1}$$

где  $m_1$  – масса сетки с навеской сорбента и удерживаемыми нефтепродуктами, г;  $m_2$  – масса сетки с учетом удерживаемых нефтепродуктов (холостая проба), г;  $m_3$  – масса навески сорбента, г.

Согласно [19] водопоглощение опилок определялось по следующей методике: в чашки разного диаметра, заполненные водой, помещали 5 г сорбента таким образом, чтобы в чашке самого большого диаметра слой сорбента составлял 1–2 мм, в других чашках с последовательно уменьшающимся диаметром – 3-5, 5-7, 10, 20 и 30 мм соответственно. Через три часа сорбент извлекли из чашек в стаканы, вес которых известен. Стаканы с сорбентом взвешивались на весах. Водопоглощение рассчитывалось по формуле

$$W = (m_c - m_3) / m_3, \text{ г/г}, \tag{2}$$

где  $m_c$  – масса сырого сорбента, г;  $m_3$  – масса сухого сорбента, г.

**Результаты**

На основании существующих классификаций и сравнений нефтяных сорбентов [1, 2, 8–10, 6, 18, 12], а также с учетом названных дополнений автором данной статьи предлагается обобщенная систематизация сорбентов, применяемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов (см. таблицу).

Классификация сорбентов для очистки сточных вод от нефтепродуктов

По виду основы:						
неорганические		органические				
из естественных минералов	из искусственных неорганических материалов	органоминеральные	из каустобиолитов	природные		синтетические
				растительно-го происхождения (фитосорбенты) и отходы их переработки	животного происхождения и отходы их переработки	
По способу использования:						
наносимые на поверхность для удаления поверхностных загрязнений воды		загружаемые в фильтры для удаления объемных загрязнений воды		смешиваемые и отстаиваемые		

Продолжение таблицы

<b>По форме:</b>							
дисперсные			формованные				
мелкодисперсные (менее 50 мкм) (порошки)	крупнодисперсные (более 50 мкм) (крошка, гранулы, хлопья)		волокнистые (тканые и нетканые материалы)	прессованные (плиты или изделия иной конфигурации)	комбинированные (сорбирующие боны, подушки, маты с оболочкой из проницаемого материала)		
<b>По пористой структуре:</b>							
непористые	крупно- пористые (радиус кривизны пор более 200 нм)	мезопористые (радиус кривизны пор 1,5–200 нм) (радиус кривиз- ны пор менее 1,5 нм)	мелко- пористые	гетеропористые (радиус кривиз- ны пор меняет- ся в широком диапазоне)	с изотропной пористостью	с анизотропной пористостью	
<b>По характеру смачивания:</b>							
гидрофильные (статический угол смачивания материала сорбента водой меньше 90°)		безразличного смачивания (статический угол смачивания материала сорбента водой примерно равен 90°)			гидрофобные (статический угол смачивания материала сорбента водой больше 90°)		
<b>По плавучести:</b>							
высокой плавучести (более 72 ч)		ограниченной плавучести (3–72 ч)			неплавучие (до 3 ч)		
<b>По водопоглощению:</b>							
низкое (менее 1 г/г)		среднее (1–10 г/г)			высокое (более 10 г/г)		
<b>По нефтеемкости:</b>							
низкая (менее 5 г/г)		средняя (5–15 г/г)			высокая (более 15 г/г)		
<b>По скорости поглощения:</b>							
высокая (менее 10 мин)		средняя (10–30 мин)			низкая (более 30 мин)		
<b>По специальным свойствам:</b>							
магнитные (с добавлением магнетита)		набу- хающие	содержащие ПАВ – диспергаторы нефти	содержащие реагенты – сгустители нефти	содержащие бактери- альные культуры для биоразложения углеводородов		иные (пере- менной плотности, ионообмен- ные и т. п.)
со структурой «ядро- оболочка»	со структурой «ядро-неор- ганическая оболочка»				на основе моно- культуры	на основе нескольких штаммов микро- организмов	
<b>По степени использования:</b>							
одноразового использования				многократного использования			

## Продолжение таблицы

По уровню сложности извлечения сорбента:							
1		2		3			
не требуется извлечение		простота извлечения		сложность извлечения			
По состоянию поверхности:							
без обработки		активированные: – химическая активация – термическая активация		модифицированные			
По способу модификации:							
изменение поверхности				изменение структуры			
увеличение площади поверхности: – термическая обработка – механическая обработка – химическая обработка	отверждение: – термическая обработка – химическая обработка	гидрофобизация: – обработка реагентами – физико-химическая обработка	химическое воздействие: – озонирование – карбонизация – растворами солей – растворами щелочей – растворами кислот – органическими веществами с различными функциональными группами – интеркалирование	физическое воздействие			
				термообработка	электромагнитное излучение: – инфракрасное излучение – микроволновое излучение – ультрафиолетовое излучение		
По степени утилизации:							
не утилизируемые (соответствуют 1 степени экологичности утилизации отработанного сорбента)		частично утилизируемые (соответствуют 2 степени экологичности утилизации отработанного сорбента)		утилизируемые (соответствуют 3 степени экологичности утилизации отработанного сорбента)			
По степени экологичности утилизации отработанного сорбента:							
1			2		3		
отжим-захоронение	обжиг-захоронение	захоронение	отжим-сжигание	сжигание	применение в качестве вторичного сырья	биоразложение	вывоз на свалку для естественного разложения (под действием нескольких природных факторов)
По способу регенерации:							
деструктивные				регенеративные			
химический (при температуре не более +100 °С) обработка органическими и неорганическими реагентами	низкотемпературный (тепловой) (при температуре +100 – +400 °С) обработка паром или газом	термический (при температуре +350 – +600 °С)	извлечение поглощенного вещества: – термическая отгонка сорбата водяным паром – экстрагирование органическими растворителями – диссоциация слабого электролита в равновесном растворе – испарение сорбата под действием потока инертного газообразного теплоносителя			отжим	выжигание

Окончание таблицы

По степени отжима сорбата:			
не извлекается	низкая (менее 30 %)	средняя (30–60 %)	высокая (более 60 %)

Основные отрасли промышленности Уральского федерального округа – топливная промышленность, электроэнергетика, лесная, деревообрабатывающая и деревоперерабатывающая промышленность [Ростидромет, 2019 г.]. Благодаря экологической чистоте, нетоксичности, разложению, широкой сырьевой базе и способности извлекать нефтепродукты при сравнительно низкой стоимости, сорбенты на основе отходов лесной и сельскохозяйственной промышленности могут успешно конкурировать с промышленно производимыми аналогами [19, 20, 16]. При изучении свойств сосновых опилок на кафедре водоснабжения и водоотведения Тюменского индустриального университета рассмотрено влияние различных способов модификаций на изменение структуры опилок под химическим и физическим воздействием [21, 22]. На основании проведенных исследований, а также с учетом работ других авторов [3, 5, 12, 19, 23] составлена характеристика опилок в соответствии с предложенной выше классификацией:

- по виду основы: органические – природные – растительного происхождения (фитосорбенты) и отходы их переработки;
- по способу использования: загружаемые в фильтры для удаления объемных загрязнений воды;
- по форме: дисперсные – крупнодисперсные (более 50 мкм);
- по пористой структуре: гетеропористые (радиус кривизны пор меняется в широком диапазоне);
- по характеру смачивания: гидрофильные (статический угол смачивания материала сорбента водой меньше 90°);
- по плавучести: неплавучие (до 3 ч);
- по водопоглощению: средние (1–10 г/г);
- по нефтеемкости: низкая (менее 5 г/г);
- по степени использования: одноразового использования;
- по уровню сложности извлечения сорбента: 2 – простота извлечения;
- по состоянию поверхности: модифицированные;
- по способу модификации: изменение структуры – химическое и физическое воздействие;
- по степени утилизации: утилизируемые;
- по степени экологичности утилизации отработанного сорбента: 2 – сжигание;
- по степени отжима сорбата: отсутствует.

### Заключение

Разработанная классификация включает в себя разнообразное разделение сорбентов, способных извлекать нефтепродукты из сточной воды, в зависимости от их наиболее значимых характеристик и технологических параметров. Классификация дает более полное представление как о самих сорбентах, так и о способах их получения, обработки, применения и утилизации. Это позволит сделать более обоснованный выбор сорбентов с точки зрения эффективности применения, защиты окружающей среды и материальных затрат.

Проведенные исследования и составленная на их основе классификация показали, что сосновые опилки могут рассматриваться как эффективная основа сорбентов, характеризующаяся экологической безопасностью, дешевой сырьевой базой и простотой применения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бойко Ю. Н., Агошков А. И., Гульков А. Н., Соломенник С. Ф., Гулькова С. Г., Майсс Н. А. Природные сорбенты, использующиеся для очистки вод от нефти и продуктов ее переработки // Горный информационно-аналитический бюллетень: (научно-технический журнал). 2013. № S22. С. 12–17.
2. Каменщиков Ф. А., Богомольный Е. И. Нефтяные сорбенты. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 268 с.
3. Ismail A. S. Preparation and evaluation of fatty-sawdust as a natural biopolymer for oil spill sorption // Chemistry Journal. 2015. V. 5. No. 5. P. 80–85.
4. Воронов А. А., Малышкина Е. С., Фугаева А. М. Сбор и очистка поверхностных сточных вод с производственных площадок нефтепромыслов // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов / отв. ред. А.Н. Халин. Тюмень: ТИУ, 2018. Т. 1. С. 144–146.
5. Рынок сорбентов и фильтров в России. Анализ цен и характеристик по состоянию на 2010 год. New CEO Nalco Reich. 2010. Условия доступа: <http://www.nanonewsnet.ru/files/info.pdf/> (дата обращения: 03.04.2020).
6. Кахраманлы Ю. Н. Классификация пенополимерных нефтяных сорбентов // Вода: Химия и экология. 2012. № 7. С. 39–43.

7. Elena Vialkova et al 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 365 022001 P. 1–9. DOI: 10.1088/1757-899X/365/2/022001.
8. Киселев А. В. Молекулярные основы адсорбционной хроматографии. М.: Химия, 1986. 272 с.
9. Комаров В. С. Адсорбенты и их свойства. Минск: Наука и техника, 1977. 248 с.
10. Matysik S., Herbarth O., Mueller A. Determination of microbial volatile organic compounds (MVOCs) by passive sampling onto charcoal sorbents // *Chemosphere*. 2009. V. 76 P. 114–119.
11. Molina-Sabio M., Rodriguez-Reinoso F. Role of chemical activation in the development of carbon porosity // *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. 2004. V. 241. P. 15–25.
12. Веприкова Е. В., Терещенко Е. А. Особенности очистки воды и нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей // *Журнал Сибирского федерального университета*. 2010. № 3. С. 285–303.
13. Привалова Н. М., Двядненко М. В., Некрасова А. А., Потова О. С., Привалов Д. М. Очистка нефтесодержащих сточных вод с помощью природных и искусственных сорбентов // *Научный журнал КубГАУ*. 2015. № 113(09). С. 1–10.
14. Гридин О. М., Аренс В. Ж., Гридин А. О., Кондрашенко В. М. Семь раз отмерить. Рекламные иллюзии и реальные перспективы применения нефтяных сорбентов // *Нефтегазовая вертикаль*. 2000. № 9. С. 28–32.
15. Cortez, J.S.A., Kharisov, B. I., Quezada, T.E.S. et al. Micro- and nanoporous materials capable of absorbing solvents and oils reversibly: the state of the art // *Pet. Sci*. 2017. Pp. 84–104. Условия доступа: <https://doi.org/10.1007/s12182-016-0143-0> (дата обращения: 01.05.2020).
16. Egle Anuzyte, et al. *Energy Procedia* 147. 2018. Pp. 295–300.
17. Ewa Knapik, et al. Separation of BTEX Fraction from Reservoir Brines by Sorption onto Hydrophobized Biomass in a Fixed-Bed-Column System // *Energies*. 2020. 13. 1064. Pp. 2–15.
18. Гарева М. М., Зинатишина А. В., Бахтизина А. Р. Исследование сорбционной емкости сорбента «ЭКОСОРБ» в условиях отрицательных температур // *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья*. 2016. № 4. С. 59–62.
19. Булавка Ю. А., Якубовский С. Ф., Майорова Е. И. Сорбционные материалы на основе отходов агропромышленного комплекса для сбора проливов нефтепродуктов // *Экология, здоровье, и образование в XXI веке. Глобальная интеграция современных исследований и технологий: сборник материалов III Кавказского экологического форума. Грозный, 2017. С. 119–125.*
20. Crini G., Lichtfouse E., Wilson L., Morin-Crini N. Adsorption-oriented processes using conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. *Green Adsorbents for Pollutant Removal // Environmental Chemistry for a Sustainable World 18*. Springer Nature, 2018. Pp. 23-71. Условия доступа: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92111-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92111-2_2) (дата обращения: 01.05.2020).
21. Vialkova E., Malyschkina E. 2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 272 022012 P. 1–6. DOI: 10.1088/1757-1315/272/2/022012.
22. Малышкина Е. С., Вялкова Е. И., Оситова Е. Ю. Использование природных сорбентов в процессе очистки воды от нефтепродуктов // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2019. Т. 21. № 1. С. 188–200. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-1-188-200.
23. Денисова Т. П., Шайхиев И. Г., Сиппель И. Я. Использование древесных опилок в качестве сорбента для очистки водных сред от нефти // *Журнал экологии и промышленной безопасности*. 2015. № 1-2. С. 51–53.

## REFERENCES

1. Boyko Yu. N., Agoshkov A. I., Gul'kov A. N., Solomennik S. F., Gul'kova S. G., Mayss N. A. Natural sorbents used for water purification from oil and products of its processing. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal)* [Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2013, no. S22, pp. 12–17. (in Russian)
2. Kamenshchikov F. A., Bogomol'nyy E. I. *Neft-janye sorbenty* [Oil sorbents]. Moscow-Izhevsk, Institut komp'yuternykh issledovaniy Publ., 2005. 268 p.
3. Ismail A. S. Preparation and evaluation of fatty-sawdust as a natural biopolymer for oil spill sorption. *Chemistry Journal*, 2015, vol. 5, no. 5, pp. 80–85.
4. Voronov A. A., Malyschkina E. S., Fugaeva A. M. Collection and treatment of surface wastewater from production sites of oil fields. *Energoberezhenie i innovatsionnye tekhnologii v toplivno-energeticheskom komplekse: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov, molodykh uchenykh i spetsialistov* [Energy Saving and Innovative Technologies in the Fuel and Energy Complex: materials of the international scientific and practical conference of students, postgraduates, young scientists and specialists]. Tyumen: TIU Publ., 2018, vol. 1, pp. 144–146. (in Russian)
5. *Rynok sorbentov i fil'trov v Rossii. Analiz tsen i kharakteristik po sostoyaniyu na 2010 god.* [Sorbents and filters market in Russia. Analysis of prices and characteristics as of 2010.]. Available at: <http://www.nanonewsnet.ru/files/info.pdf> (accessed 03 April 2020).
6. Kakhramanly Yu. N. Classification of polymer foam oil sorbents. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: chemistry and Ecology], 2012, no. 7, pp. 39–43. (in Russian)
7. Vialkova E., Maksimova S., Malyschkina E., Voronov A., Zemlyanova M., Maksimov L. Conceptual approach to the creation of «smart» sewerage system for city surface runoff. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 365, 022001 2018. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/365/2/022001/pdf> (accessed 20 April 2020). DOI:10.1088/1757-899X/365/2/022001
8. Kiselev A. V., Poshkus D. P., Yashin Ya. I. *Molekulyarnye osnovy adsorbtsionnoy khromatografii* [Molecular basics of adsorption chromatography]. Moscow, Khimiya Publ., 1986. 272 p.

9. Komarov V. S. *Adsorbenty i ikh svoystva* [Adsorbents and their properties]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1977. 248 p.
10. Matysik S., Herbarth O., Mueller A. Determination of microbial volatile organic compounds (MVOCs) by passive sampling onto charcoal sorbents. *Chemosphere*, 2009, vol. 76, pp. 114–119.
11. Molina-Sabio M., Rodriguez-Reinoso F. Role of chemical activation in the development of carbon porosity. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, 2004, vol. 241, pp. 15–25.
12. Veprikova E. V., Tereshchenko E. A. Peculiarities of water and oil products purification using oil sorbents, filter materials and activated carbons. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta* [Journal of the Siberian Federal University], 2010, no. 3, pp. 285–303. (in Russian)
13. Privalova N. M., Dvadenko M. V., Nekrasova A. A., Popova O. S., Privalov D. M. Oily wastewater purification with natural and artificial absorbents. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific Journal of the KubSAU], 2015, no. 113 (09), pp. 1–10. (in Russian)
14. Gridin O. M., Arens V. Zh., Gridin A. O., Kondrashenko V. M. Measure seven times. Advertising illusions and real prospects for the use of oil sorbents. *Neftegazovaya vertikal'* [Oil and Gas Vertical], 2000, no. 9, pp. 28–32. (in Russian)
15. Cortez J.S.A., Kharisov, B.I., Quezada, T.E.S., Garcia T.C.H. Micro- and nanoporous materials capable of absorbing solvents and oils reversibly: the state of the art. *Petroleum Science*, 2017, pp. 84–104. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12182-016-0143-0> (accessed 1 May 2020).
16. Anuzyte E., Vaisis V. Natural oil sorbents modification methods for hydrophobicity improvement. *Energy Procedia*, 2018, pp. 295–300. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.095> (accessed 27 April 2020).
17. Knapik E., Chruszcz-Lipska K., Stopa J., Marszałek M. Separation of BTX Fraction from Reservoir Brines by Sorption onto Hydrophobized Biomass in a Fixed-Bed-Column System. *Energies*, 2020, pp. 2–15. Available at: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/5/1064> (accessed 30 April 2020).
18. Gareev M. M., Zinatshina A. V., Bakhtizina A. R. Study of the sorption capacity of the “EKOSORB” sorbent in conditions of negative temperatures. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya* [Transportation and Storage of Petroleum Products and Hydrocarbons], 2016, no. 4, pp. 59–62. (in Russian)
19. *Tekhnika i tekhnologii lokalizatsii i likvidatsii aviariynykh razlivov nefti i nefteproduktov: Spravochnik* [Technique and technology of limitation and liquidation of emergency oil spills and petroleum products]. Saint Petersburg, Scientific production association «Professional» Publ., 2008. 824 p.
20. Crini G., Lichtfouse E., Wilson L., Morin-Crini N. Adsorption-oriented processes using conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment. *Green Adsorbents for Pollutant Removal. Environmental Chemistry for a Sustainable World 18*. Springer Nature, 2018, pp. 23–71. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92111-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92111-2_2). (accessed 1 May 2020).
21. Vialkova E., Malyshkina E. Process intensification of the petroleum product extraction from the aqueous solutions by natural sorbents. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 272, 022012, 2020. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/272/2/022012/pdf> (accessed 30 April 2020). DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022012
22. Malyshkina E. S., Vyalkova E. I., Osipova E. Yu. Water purification with natural sorbents. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering], 2019, vol. 21, no. 1, pp. 188–200. (in Russian)
23. Denisova T. R., Shaykhiev I. G., Sippel' I. Ya. Use of sawdust as a sorbent for cleaning water media from oil. *Zhurnal ekologii i promyshlennoy bezopasnosti* [Ecology and Industrial Safety Journal], 2015, no. 1-2, pp. 51–53. (in Russian)

Об авторе:

**МАЛЫШКИНА Елена Сергеевна**

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения  
Тюменский индустриальный университет  
625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38  
тел. (3452)28-39-23  
E-mail: lena-malysh-90@yandex.ru

**MALYSHKINA Elena S.**

Postgraduate Student of the Water Supply  
and Wastewater Chair Industrial University of Tyumen  
625000, Russia, Tyumen, Volodarsky str., 38,  
tel. (3452)283923  
E-mail: lena-malysh-90@yandex.ru

Для цитирования: Малышкина Е.С. Классификация сорбентов, используемых в технологиях очистки сточных вод от нефтепродуктов // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 3. С. 26–34. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.5.

For citation: Malyshkina E.S. Classification of Sorbents Used in Technologies for Purification of Waste Water from Petroleum Products. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 3, Pp. 26–34. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.5.