

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛОВ МОДИФИЦИРОВАННЫМ ОТХОДОМ МАСЛОЭКСТРАКЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

**И. В. Старостина, Е. С. Антюфеева,
Н. С. Лупандина, А. Н. Лифинцев, А. С. Лушников**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», Белгород, Россия

Ключевые слова: маслоэкстракционное производство; термическая модификация; углеродсодержащий сорбционный материал; фенолсодержащие сточные воды; эффективность очистки.

Аннотация: Рассмотрена возможность применения углеродсодержащего сорбционного материала, полученного из отработанного кизельгурового шлама маслоэкстракционного производства, для извлечения фенола из модельных водных сред. Показано, что максимальная эффективность достигается при использовании частиц размером менее 0,315 мкм.

Изучена кинетика процесса. Отмечено, что сорбционное равновесие устанавливается уже через 15 мин контакта адсорбента и молекул фенола. Для выяснения механизма поглощения фенола углеродсодержащим сорбционным материалом проанализированы ИК-спектры до и после сорбции фенола.

Введение

Для снижения негативного воздействия вредных веществ на водную среду и преодоления проблемы нехватки пресной воды необходимо внедрить более эффективные технологии очистки сточных вод. Такие технологии позволят уменьшить воздействие загрязненных сточных вод на водные объекты, повысить качество очистки и использовать их в системах вторичного водопользования, а также снизить затраты на очистку воды и обеспечить ее устойчивое использование в будущем.

На сегодняшний день существует обширный выбор отечественных и зарубежных технологий, способных эффективно очищать сложные сточные воды. Тем не менее из-за разнообразия химического состава сточных вод каждое предприятие требует индивидуального подхода и проведения исследований, что, в свою очередь, требует значительных финансовых и ресурсных затрат.

Старостина Ирина Викторовна – кандидат технических наук, заведующий кафедрой экобиотехнологии; Антюфеева Елена Сергеевна – старший преподаватель кафедры экобиотехнологии, e-mail: E.S.Antyufeeva@yandex.ru; Лупандина Наталья Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры экобиотехнологии; Лифинцев Александр Николаевич – аспирант кафедры экобиотехнологии; Лушников Артем Сергеевич – аспирант кафедры экобиотехнологии, ФГБОУ ВО «БГТУ им. В. Г. Шухова», Белгород, Россия.

Исследования в литературе указывают на то, что большинство предприятий в настоящее время для очистки сточных вод от органических загрязнителей применяет традиционные технологии, которые включают в себя физико-химические методы с использованием доступных реагентов, коагулянтов и флокулянтов, а также последующую очистку сточных вод путем их отстаивания [1].

Развитие промышленности и сельского хозяйства влечет за собой непереносимое появление значительных объемов сточных вод и усиление негативного воздействия токсичных веществ на водную среду.

Фенол и его производные – одни из самых распространенных органических загрязнителей, которые можно встретить в промышленных сточных водах. Различные отрасли промышленности, такие как нефтепереработка, коксохимия и лесная промышленность, а также предприятия, производящие древесностружечные плиты и минеральные изоляционные материалы, используют фенол и формальдегидные смолы в качестве связующих веществ, что приводит к образованию сточных вод, содержащих фенолы.

Содержание фенолов в производственных или ливневых стоках варьируется в значительных пределах и может достигать $10 \dots 20 \text{ г/дм}^3$ и более при самых разнообразных сочетаниях поллютантов [2].

По токсичности фенолы относятся ко II классу опасности, что обусловлено изменениями молекул белка и нарушением функционирования клетки при его воздействии. Попадание фенола и его производных в водоемы приводит к резкому ухудшению их общего санитарного состояния, оказывает токсическое влияние на живые организмы и является причиной изменения режима биогенных элементов и растворенных газов.

В условиях производства, воздействие фенола на человеческий организм происходит через вдыхание паров или прямой контакт с кожей растворов, что вызывает серьезные ожоги, раздражение глаз и дыхательных путей, а также нарушение нервной системы [3].

Предельно допустимые концентрации (ПДК) фенола составляют 1 мг/м^3 в воздухе производственных помещений и $0,001 \text{ мг/дм}^3$ в воде, согласно санитарно-гигиеническим нормам, поэтому вопрос очистки сточных вод от фенолов имеет особое значение [4].

В настоящее время существует целый ряд методов обезвреживания промышленных фенолсодержащих сточных вод, которые условно можно разделить на механические, химические, физико-химические и биологические. Очистка стоков промышленных предприятий – трудная техническая задача, обусловленная их сложным составом. Хотя эффективность многих методов достигает 95 – 99 %, но остаточное содержание фенола в очищенных стоках остается значительным – от 0,1 до 500 мг/дм^3 , что не удовлетворяет требованиям ПДК.

Известен метод многоступенчатой экстракции, наиболее часто используемый на газогенераторных станциях и обеспечивающий эффективность извлечения фенолов до 90 – 95 %. На коксохимических производствах широкое распространение получили выпарные установки, эффективность которых по фенолу составляет 90 – 93 % [5].

Биологические методы очистки промышленных сточных вод применяются при содержании фенолов в диапазоне от 500 до 1000 мг/дм³ и характеризуются менее эффективной очисткой – примерно 80 – 90 %, с остаточными концентрациями от 10 до 50 мг/дм³. При более высоких концентрациях стоков применяется предварительное разбавление технической водой или бытовыми сточными водами. Важно отметить, что процессы биохимического окисления очень чувствительны к резким колебаниям концентрации загрязнений, поэтому в технологических схемах используются специальные сооружения, предотвращающие поступление стоков с повышенными концентрациями на установки биологической очистки.

Известно, что бактерии могут использоваться в качестве источников питания и энергии для разложения большого количества соединений, опасных для живых систем. Например, исследование [6] продемонстрировало возможность применения штамма-деструктора фенола *Pseudomonas aeruginosa* 21SG для очистки промышленных стоков, содержащих фенол, таких как стоки нефтехимических предприятий и производства дубильных экстрактов. Установлено, что содержание фенола в культурной среде сократилось на 84 % по сравнению с исходным уровнем в течение четырех суток [7, 8].

Активированный уголь, как один из наиболее распространенных сорбентов в системах водоочистки и водоотведения, обладает высокой способностью к адсорбции фенола – 20...30 мг/г, что позволяет получать практически бесфеноловую воду. Однако срок службы активированного угля невысок, а процессы регенерации и извлечения фенолов из него сложны и дороги.

Поэтому особенно актуальным является использование в качестве сорбционных материалов отходов промышленного и сельскохозяйственного производства, что обеспечивает снижение стоимости как самих сорбентов, так и технологических процессов водоотведения в целом. Так, известно применение сорбционного материала на основе отхода энергетики – шлама химводоподготовки, емкость которого по фенолу составила 115 мг/г [9].

В работе [10] показано применение в качестве сорбционных материалов отходов сельскохозяйственного производства – плодовых оболочек зерновых культур – пшеницы, ржи, овса и ячменя в нативном виде и после химической модификации. Исследование показало, что плодовые оболочки зерен овса, подвергнутые модификации 5%-м раствором серной кислоты, обладают наибольшей способностью к сорбции фенола (0,016 ммоль/г).

В работах [11, 12] в качестве сорбционного материала для удаления фенола из водных сред исследовался продукт пиролиза изношенных шин. Полученный материал эффективен для очистки растворов с содержанием фенола от 0,5 до 5 мг/дм³ и высококонцентрированных стоков (от 10 до 80 г/дм³). Показано, что удаление фенола происходит в результате адсорбционно-каталитического воздействия поверхности пор материала.

Цель исследований – рассмотрение возможности очистки модельных фенолсодержащих водных сред углеродсодержащим сорбционным материалом. В качестве объекта исследования использовали отработанный ки-

зельгуровый шлам (ОКШ), образующийся в процессе рафинирования растительных масел на стадии винтеризации при очистке охлажденных растительных масел от восков и воскоподобных веществ.

Материалы и методы

Отработанный кизельгуровый шлам характеризуется содержанием органических примесей до 60 – 70 %. Основные параметры ОКШ представлены ниже.

Плотность, кг/м ³	
насыпная.....	410...450
истинная	2600...2620
Содержание органических примесей, масс. %	65

В ходе первоначального этапа исследования выполнен анализ воздействия температуры обработки ОКШ на процесс извлечения фенола из модельных водных растворов. Кизельгуровый шлам подвергался модификации при температурах, варьирующихся от 450 до 530 °С, в условиях недостатка кислорода, в течение одного часа. В результате тепловой обработки шлама произошло частичное окисление органических примесей, что привело к образованию сажеподобных углеродных частиц на поверхности диатомита. Таким образом, создан новый материал – термически модифицированный кизельгуровый шлам (ТКШ). В зависимости от температуры обработки шлама – 450, 500 и 530 °С, полученные сорбционные материалы классифицировались как ТКШ₄₅₀, ТКШ₅₀₀ и ТКШ₅₃₀.

Очистку водных растворов, содержащих фенол, проводили в статических условиях путем добавления 0,5 г ТКШ к модельному раствору фенола объемом 50 см³ с начальной концентрацией 100 мг/дм³. Смесь перемешивали в течение 24 ч, после чего осуществляли процесс фильтрации через бумажный фильтр «синяя лента».

Для определения остаточного содержания фенола в фильтратах использован флуоро-метрический метод на анализаторе «Флюорат 02-2М». Данный метод основан на извлечении фенолов из воды с помощью бутилацетата, последующем повторном извлечении в водный раствор гидроксида натрия и измерении содержания фенола по интенсивности флуоресценции после подкисления реэкстракта [13].

Эффективность извлечения фенола определяли по формуле

$$\Theta = \frac{C_n - C_k}{C_n} \cdot 100 \%,$$

где C_n , C_k – содержание фенола в модельных растворах до и после очистки соответственно, мг/дм³.

В качестве образца-сравнения использовали активированный уголь марки БАУ-А аналогичного гранулометрического состава.

Результаты и методы

Из полученных данных, представленных на рис. 1, очевидно, что максимальная эффективность извлечения фенола из модельного раствора (99 %) достигается при использовании сорбционных материалов ТКШ₅₀₀ и ТКШ₅₃₀. Учитывая энергозатраты на получение сорбционного материала, установлено, что оптимальной температурой обработки ОКШ является 500 °С.

Ранее проведенные исследования показали, что ТКШ₄₅₀ обладает высокой гидрофобностью, обусловленной наличием в углеродном слое растительных восков и воскоподобных веществ [14 – 16]. Приведем содержание компонентов в жировосковой смеси и их количество, масс. %:

Фосфолипиды	2,9
Моноацилглицериды	5,3
Диацилглицериды	13,2
Многоатомные спирты	6,0
Свободные жирные кислоты	3,2
Триглицериды	63,8
Воски	3,8

Получение ТКШ при 500 °С, обеспечивает разрушение восковых компонентов и формирование уже преимущественно гидрофильной поверхности. ТКШ₅₀₀ проявляет сорбционные свойства в отношении ионов тяжелых металлов и красителя метиленового голубого [17, 18].

Далее анализировали влияние гранулометрического состава сорбционного материала ТКШ₅₀₀ на эффективность извлечения фенола. В исследованиях использовали ТКШ₅₀₀ со следующими размерами частиц: менее 0,315; 0,315...0,63 и 0,63...1,25 мм. Процесс очистки осуществляли в статических условиях – гидравлический модуль – 100, длительность перемешивания – 60 мин.

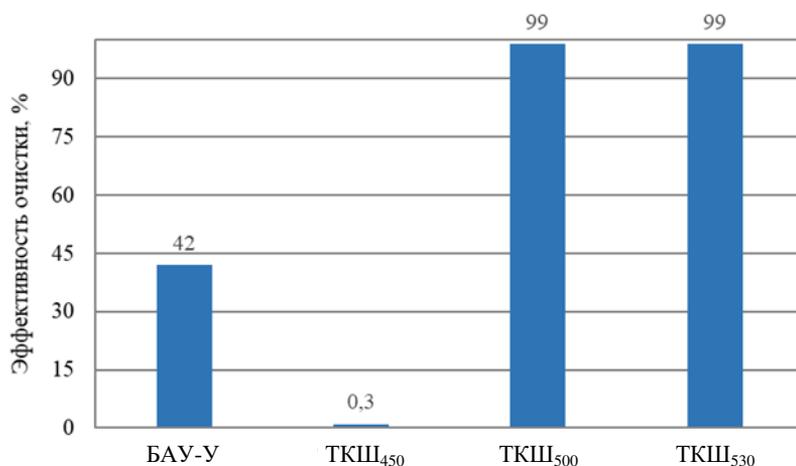


Рис. 1. Эффективность очистки модельных водных сред от фенола с использованием различных сорбционных материалов

Полученные результаты показали, что использование частиц различных фракций обеспечивает эффективность очистки от 35 до 40 % (рис. 2). При этом максимальное значение – 40 % достигнуто при использовании частиц ТКШ₅₀₀ размером менее 0,315 мм.

Далее изучали кинетику процесса – длительность перемешивания изменяли от 5 до 120 мин (рис. 3). Кинетические кривые сорбции показали, что сорбционное равновесие устанавливается уже через 15 мин контакта адсорбента и молекул фенола.

Дальнейшее увеличение времени экспозиции до 2 ч не приводит к существенному изменению концентрации фенола в растворе. При этом эффективность извлечения фенола составила 42 %.

В целях выяснения механизма поглощения фенола углеродсодержащими сорбционным материалом анализировали ИК-спектры ТКШ₅₀₀ до и после сорбции фенола (рис. 4).

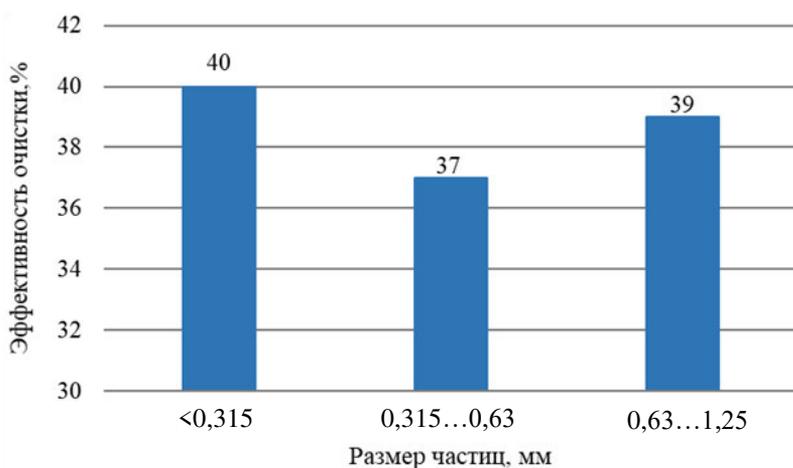


Рис. 2. Влияние фракционного состава сорбционного материала ТКШ₅₀₀ на эффективность извлечения фенола из модельного раствора

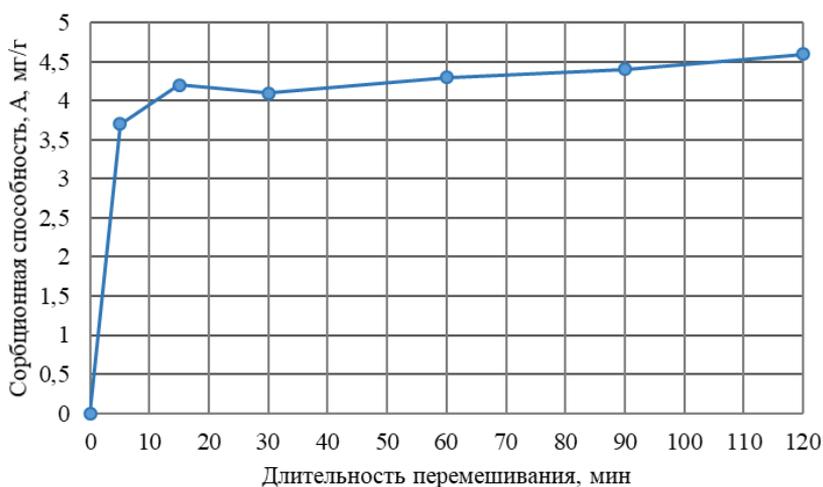


Рис. 3. Кинетическая кривая адсорбции фенола из модельного раствора с концентрацией 100 мг/дм³ на ТКШ₅₀₀ с размером частиц менее 0,315 мм

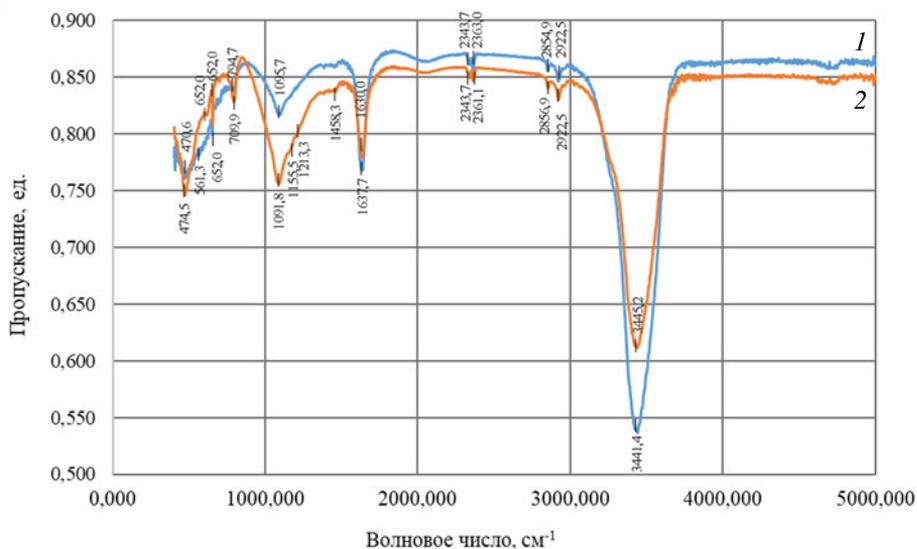


Рис. 4. ИК-спектры углеродсодержащего сорбционного материала ТКШ₅₀₀:
1 – исходный; 2 – после сорбции фенола

Учитывая, что ТКШ₅₀₀ представляет собой сорбционный материал на основе углерода и минералов, содержащий как нейтральные атомы углерода, так и полярную минеральную часть, при адсорбции молекул фенола на нем действуют как дисперсионные силы притяжения, так и индукционные силы, вызванные притяжением диполя, индуцированного электростатическим полем молекулы адсорбента [19].

Таким образом, можно предположить, что механизм сорбции полярных органических веществ, включая фенол, на углеродминеральном сорбционном материале будет более сложным, чем на чистом углеродном сорбенте. Это подтверждается результатами ИК-спектроскопии. Анализ ИК-спектров исходного углеродсодержащего сорбционного материала и после сорбции фенола показал изменения положений и интенсивности полос, характерных для связей O–H, C–H, C=O и Si–O. Так, широкая полоса $3438,8 \text{ см}^{-1}$ в спектре исходного сорбционного материала ТКШ₅₀₀ после сорбции фенола смещается в высокочастотную область и проявляется с большей интенсивностью в положении $3444,5 \text{ см}^{-1}$, которое характерно для валентных связей гидроксильных групп (O–H). В результате сорбции фенола фиксируется смещение полосы $1095,5 \text{ см}^{-1}$, соответствующее валентным колебаниям связи Si–O, в высокочастотную область $1097,7 \text{ см}^{-1}$, увеличение интенсивности указывает на возможное дополнительное взаимодействие адсорбированных молекул фенола с минеральным компонентом сорбционного материала.

Заключение

Валентные ассиметричные и симметричные колебания связей C–H в ТКШ₅₀₀, характеризующиеся полосами $2923,9$ и $2854,4 \text{ см}^{-1}$ на ИК-спектре, после сорбции фенола смещаются в низкочастотную область – $2921,9$ и $2850,6 \text{ см}^{-1}$ соответственно.

В ИК-спектре TKШ_{500} полоса $1635,5 \text{ см}^{-1}$, соответствующая валентным колебаниям связей $\text{C}=\text{O}$ в карбоксильных группах, после сорбции фенола смещается в высокочастотную область и фиксируется при $1637,4 \text{ см}^{-1}$. В результате появляются полосы незначительной интенсивности $1452,3$ и $1492,8 \text{ см}^{-1}$, которые характеризуют деформационные колебания связей $\text{C}-\text{H}$.

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Список литературы

1. Анализ воздействия предприятий нефтехимического комплекса на гидросферу и пути минимизации их негативного влияния / А. Г. Баландина, Р. И. Хангильдин, И. Г. Ибрагимов, В. А. Мартяшева // Башкирский химический журнал. – 2015. – Т. 22, № 1. – С. 115 – 126.
2. Бетц, С. А. Очистка воды от фенола и его производных на материалах из растительного сырья / С. А. Бетц, В. А. Сомин, Л. Ф. Комарова // Ползуновский вестник. – 2014. – № 3. – С. 243 – 245.
3. Николаева, Л. А. Очистка сточных вод от фенолов отходом энергетики / Л. А. Николаева, Н. Е. Айкенова // Перспективные технологии и материалы : материалы науч.-практ. конф. с междунар. участием (Севастополь, 14-16 октября 2020 г.). – Севастополь, 2020. – С. 211 – 214.
4. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – Текст: электронный. – Введ. 2003-06-15. – URL : <http://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.5.1315-03.htm> (дата обращения: 20.11.2023)
5. Янгулова, Г. А. Современные методы очистки фенолсодержащих сточных вод / Г. А. Янгулова, В. А. Будник, Р. Р. Муратшин // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2011. – № 8. – С. 53 – 56.
6. Применение штамма-деструктора фенола *Pseudomonas aeruginosa* 21SG для очистки промышленных сточных вод / В. В. Коробов, Е. Ю. Журенко, Н. В. Жарикова [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. – 2018. – Т. 73, № 3. – С. 185 – 190.
7. Сорбционная очистка фенолсодержащих сточных вод / И. Н. Липунов, А. Ф. Никифоров, И. Г. Первова [и др.] // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2014. – № 4. – С. 85 – 94.
8. Исследование кинетики процессов адсорбции фенола отходами валяльно-войлочного производства / Р. З. Галимова, И. Г. Шайхиев, Г. А. Алмазова, С. В. Свергузова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2016. – № 10. – С. 179 – 184. doi: 10.12737/22099
9. Николаева, Л. А. Адсорбционная очистка фенолсодержащих сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий / Л. А. Николаева, Н. Е. Айкенова // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – № 4. – С. 136 – 142. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-136-142
10. Галимова, Р. З. Получение и исследование сорбционных свойств модифицированных целлюлозосодержащих сорбционных материалов по отношению к фенолу / Р. З. Галимова, И. Г. Шайхиев // Вода: химия и экология. – 2017. – № 2(104). – С. 60 – 66.
11. Минхайдарова, Г. В. Экологические аспекты утилизации твердого углеродного остатка пиролиза изношенных шин: дис. ... канд. техн. наук : 03.00.16 / Минхайдарова Гюзель Вануровна. – Казань, 2004. – 155 с.

12. Шайхиева, А. А. Адсорбция фенола из водных сред твердым остатком пиролиза шин / А. А. Шайхиева, И. Г. Шайхийев // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: сб. докл. Всероссийской науч. конф. (Белгород, 12 – 15 октября 2021 г.). – Белгород, 2021. – С. 146 – 152.

13. Исследование процессов сорбции фенола нативными и модифицированными отходами валяльно-войлочного производства / Р. З. Галимова, Е. Ю. Кости́на, Г. А. Алмазова, И. Г. Шайхийев // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20, № 12. – С. 147 – 151.

14. Применение карбонизованного углеродсодержащего отхода маслоэкстракционного производства для сорбционной очистки сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов / А. Е. Никитина, И. В. Старостина, Е. В. Порожняк [и др.] // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2018. – № 12. – С. 23 – 29. doi: 10.30713/0132-2222-2018-12-23-29

15. Temperature Modification of Diatomite Sludge of Oil Extraction Production at Obtaining a Sorbent / I. V. Starostina, Yu. L. Makridina, Zh. Sapronova, I. V. Bomba // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Vol. 945, No. 1. – P. 012078. doi: 10.1088/1757-899X/945/1/012078

16. Исследование текстурных, структурных и сорбционных свойств углеродсодержащих материалов на основе шламового отхода производства растительных масел / И. В. Старостина, А. В. Череватова., Д. В. Столяров, И. В. Анищенко // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина. – 2020. – № 2(299). – С. 119 – 132. doi: 10.33285/2073-9028-2020-2(299)-119-132

17. Application of Carbon-Containing Sorption Material for Wastewater Purification from Methylene Blue Dye / I. V. Starostina, D. O. Polovneva, Yu. L. Makridina, L. V. Denisova // Conference Proceedings of the Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future (Belgorod, 18–19 May 2021). – Vol. 160. – Springer Cham, 2021. – P. 269 – 276. doi: 10.1007/978-3-030-75182-1_36

18. Starostina, I. V. Extracting Copper (II) Ions from Model Solutions with Carbon Containing Adsorption Material / I. V. Starostina, D. V. Stolyarov, M. M. Kosukhin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Chelyabinsk, 25–27 September 2019). Chelyabinsk, 2019. – Vol. 687, No. 6. – P. 066067. doi: 10.1088/1757-899X/687/6/066067

19. Коваленко, Т. А. Исследование физико-химических закономерностей сорбции органических веществ и ионов металлов на углеродминеральных сорбентах, полученных из сапропелей : дис. ... канд. хим. наук : 02.00.04 / Коваленко Татьяна Александровна. – Омск, 2010. – 126 с.

References

1. Balandina A.G., Khangil'din R.I., Ibragimov I.G., Martyasheva V.A. [Analysis of the impact of petrochemical enterprises on the hydro-sphere and ways to minimize their negative impact], *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2015, vol. 22, no. 1, pp. 115-126. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Betts S.A., Somin V.A., Komarova L.F. [Purification of water from phenol and its derivatives using materials from plant raw materials], *Polzunovskiy vestnik* [Polzunovsky Bulletin], 2014, no. 3, pp. 243-245. (In Russ., abstract in Eng.)

3. Nikolayeva L.A., Aykenova N.Ye. *Perspektivnyye tekhnologii i materialy: materialy nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem* [Perspective technologies and materials: scientific and practical materials conf. with international participation], (Sevastopol', 14-16 October 2020), Sevastopol', 2020, pp. 211-214. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Available at: <http://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.5.1315-03.htm> (accessed 20 November 2023)
5. Yangulova G.A., Budnik V.A., Muratshin R.R. [Modern methods of purification of phenol-containing wastewater], *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tekhnicheskiye dostizheniya i peredovoy opyt* [Oil refining and petrochemistry. Scientific and technical achievements and best practices], 2011, no. 8, pp. 53-56. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Korobov V.V., Zhurenko Ye.Yu., Zharikova N.V., Yasakov T.R., Markusheva T.V. [Application of the phenol destructor strain *Pseudomonas aeruginosa* 21SG for industrial wastewater treatment], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16. Biologiya* [Bulletin of Moscow University. Episode 16. Biology], 2018, vol. 73, no. 3, pp. 185-190. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Lipunov I.N., Nikiforov A.F., Pervova I.G., Nikolayev I.V., Starygin L.A., Averikhina Ye.V. [Sorption treatment of phenol-containing wastewater], *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye* [Water management of Russia: problems, technologies, management], 2014, no. 4, pp. 85-94. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Galimova R.Z., Shaykhiyev I.G., Almazova G.A., Sverguzova S.V. [Study of the kinetics of phenol adsorption processes by waste from fulling and felt production], *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova* [Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova.], 2016, no. 10, pp. 179-184. doi: 10.12737/22099 (In Russ., abstract in Eng.)
9. Nikolayeva L.A., Aykenova N.Ye. [Adsorption purification of phenol-containing wastewater from oil refineries], *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology], 2020, no. 4, pp. 136-142. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-136-142 (In Russ., abstract in Eng.)
10. Galimova R.Z., Shaykhiyev I.G. [Preparation and study of the sorption properties of modified cellulose-containing sorption materials in relation to phenol], *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: chemistry and ecology], 2017, no. 2(104), pp. 60-66. (In Russ., abstract in Eng.)
11. Minkhaydarova G.V. *PhD Dissertation (Engineering)*, 03.00.16, Kazan', 2004, 155 s. (In Russ.)
12. Shaykhiyeva A.A., Shaykhiyev I.G. *Bezopasnost', zashchita i okhrana okruzhayushchey prirodnoy sredy: fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya: sb. dokl. Vserossiyskoy nauch. konf.* [Safety, protection and protection of the natural environment: fundamental and applied research: collection. report All-Russian scientific conf.], (Belgorod, October 12-15, 2021), Belgorod, 2021, pp. 146-152. (In Russ., abstract in Eng.)
13. Galimova R.Z., Kostina Ye.Yu., Almazova G.A., Shaykhiyev I.G. [Study of the processes of sorption of phenol by native and modified waste from fulling and felt production], *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2017, vol. 20, no. 12, pp. 147-151. (In Russ., abstract in Eng.)
14. Nikitina A.Ye., Starostina I.V., Porozhnyuk Ye.V., Anishchenko I.V., Bodnar' O.B. [Application of carbonized carbon-containing waste from oil extraction production for sorption treatment of wastewater from emulsified petroleum products], *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoy promyshlennosti* [Automation, telemechanization and communications in the oil industry], 2018, no. 12, pp. 23-29. doi: 10.30713/0132-2222-2018-12-23-29 (In Russ., abstract in Eng.)
15. Starostina I.V., Makridina Yu.L., Saponova Zh., Bomba I.V. Temperature Modification of Diatomite Sludge of Oil Extraction Production at Obtaining a Sorbent, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020, vol. 945, no. 1, pp. 012078. doi: 10.1088/1757-899X/945/1/012078

16. Starostina I.V., Cherevatova A.V., Stolyarov D.V., Anishchenko I.V. [Study of the textural, structural and sorption properties of carbon-containing materials based on sludge waste from the production of vegetable oils], *Trudy Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza im. I. M. Gubkina* [Proceedings of the Russian State University of Oil and Gas named after I. M. Gubkina], 2020, no. 2(299), pp. 119-132. doi: 10.33285/2073-9028-2020-2(299)-119-132 (In Russ., abstract in Eng.)

17. Starostina I.V., Polovneva D.O., Makridina Yu.L., Denisova L.V. Application of Carbon-Containing Sorption Material for Wastewater Purification from Methylene Blue Dye, *Conference Proceedings of the Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future* (Belgorod, 18-19 May 2021), vol. 160, Springer Cham, 2021, pp. 269-276. doi: 10.1007/978-3-030-75182-1_36

18. Starostina I.V., Stolyarov D.V., Kosukhin M.M. Extracting Copper (II) Ions from Model Solutions with Carbon Containing Adsorption Material, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Chelyabinsk, 25-27 September 2019). Chelyabinsk, 2019, vol. 687, no. 6, pp. 066067. doi: 10.1088/1757-899X/687/6/066067

19. Kovalenko T.A. *PhD Dissertation (Chemical)*, 02.00.04, Omsk, 2010, 126 p. (In Russ.)

Wastewater Treatment from Phenols by Modified Waste from Oil Extraction Production

**I. V. Starostina, E. S. Antyufeeva,
N. S. Lupandina, A. N. Lifintsev, A. S. Lushnikov**

*Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov,
Belgorod, Russia*

Keywords: oil extraction production; thermal modification; carbon-containing sorption material; phenol-containing wastewater; purification efficiency.

Abstract: The possibility of using carbon-containing sorption material obtained from spent kieselguhr sludge from oil extraction production for extracting phenol from modeled aqueous media is considered. It is shown that maximum efficiency is achieved using particles smaller than 0.315 mm. The kinetics of the process is studied. It is noted that the sorption equilibrium is established after 15 minutes of contact between the adsorbent and phenol molecules. To clarify the mechanism of phenol absorption by the carbon-containing sorption material, IR spectra were analyzed before and after phenol sorption.

© И. В. Старостина, Е. С. Антюфеева,
Н. С. Лупандина, А. Н. Лифинцев, А. С. Лушников, 2024