

УДК 628.16:66.081

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-1-188-200

*Е.С. МАЛЫШКИНА¹, Е.И. ВЯЛКОВА¹, Е.Ю. ОСИПОВА²,**¹Тюменский индустриальный университет,**²Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Неудовлетворительное состояние водных объектов севера Тюменской области нередко связано с поступлением техногенных загрязнений с промышленных площадок нефтедобывающих производств. В настоящее время активно ведется поиск эффективного, но относительно дешевого сорбционного материала для извлечения различных загрязнений из воды. Большой интерес вызывают отходы деревообрабатывающего производства, которые могут использоваться как сорбент нефтепродуктов в технологиях очистки сточных вод. В статье приведены результаты исследования сорбционных свойств опилок в процессе извлечения нефтепродуктов из модельного раствора. Определена статическая сорбционная емкость опилок в различных условиях физического и физико-химического (нагрев, СВЧ-излучение, озонирование) воздействия на сорбент. Для каждого вида воздействия проведен корреляционный анализ, графически отображена статическая взаимосвязь между такими величинами, как сорбционная способность и исходная концентрация нефтепродуктов в водном растворе. Зафиксировано повышение сорбционной активности опилок в 1,4–4 раза в зависимости от вида модификации и интенсификации. Установлено, что общая обменная емкость сосновых опилок на модельном растворе всего на 19,4 % ниже обменной емкости активированного угля, который весьма дорог для Тюменской области. В случае применения опилок как загрузки фильтрующих сооружений очистки сточных вод, образующихся на промышленных площадках объектов нефтедобычи, решаются одновременно две экологические проблемы: дешевая и эффективная очистка нефтенасыщенного поверхностного стока и утилизация отходов деревообработки.

Ключевые слова: отходы деревообрабатывающего производства; сосновые опилки; сорбция нефтепродуктов; модификация сорбентов; предварительная подготовка растворов; статическая обменная емкость (СОЕ); изотермы.

Для цитирования: 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.

*E.S. MALYSHKINA¹, E.I. VYALKOVA¹, E.YU. OSIPOVA²,**¹Tyumen State Oil and Gas University,**²Tomsk State University of Architecture and Building*

WATER PURIFICATION WITH NATURAL SORBENTS

Industrial waste can be considered as technological and economical raw materials in related industries, and their disposal in compliance with environmental legislation can be environmentally efficient. Nowadays, researchers search for an effective but relatively cheap absorption material to extract various contaminants from water. Of great interest are the industrial waste that can be used in wastewater treatment technology as a secondary raw material. As a rule, active coals are used in drinking water systems and deep wastewater treatment. In the Tyumen region, this type of sorbent is quite expensive, since there are no natural coal deposits.

The sawdust sorbent is proposed to be applied as fuel briquettes. The sorption properties of the modified pine sawdust in relation to oil products are studied herein. The correlation analysis is carried out for each type of sorbent exposure. The solution regression and correlation coefficients are calculated. The obtained equations of regression are used to construct absorption isotherms characterizing the dependence of sorption capacity on the concentration of petroleum products in the solution. The sorption activity of sawdust increases by 1.4–4 times depending on the type of modification and intensification. It is shown that the total exchange capacity of pine sawdust on the model solution is only 19.4% lower than that of activated carbon, which is very expensive for the Tyumen region. In the case of sawdust used for water purification, two environmental problems are solved simultaneously: cheap and effective cleaning of oil-saturated surface runoff and recycling of wood waste.

Keywords: wood-using industry waste; pine sawdust; petroleum product absorption; sorbent modification; preliminary preparation; static exchange capacity; isotherm.

Для цитирования: Malyshkina E.S., Vyalkova E.I., Osipova E.Yu. Ispol'zovanie prirodnykh sorbentov v protsesse ochistki vody ot nefteproduktov [Water purification with natural sorbents]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 1. Pp. 188–200.

Введение

Наиболее значимыми природными ресурсами Тюменской области являются нефть и лес. Нефтегазовая отрасль – один из важнейших сегментов экономики региона и основной источник загрязнения окружающей среды. На топливную промышленность приходится 86,4 % объема промышленного производства области. В Ханты-Мансийском автономном округе – Югре и Ямало-Ненецком автономном округе добывается существенная часть нефти (64 %) и газа (91 %) России. Ежегодно производится около 200–300 млн т нефти и газового конденсата, более 500–600 млрд м³ природного газа [1]. При этом топливная промышленность является основным источником загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами. Лесная промышленность также является одной из перспективных отраслей народного хозяйства Тюменской области. Площадь лесных участков на землях лесного фонда составляет 11,396 млн га. Производимый объем продукции, по данным предприятий лесопромышленного комплекса, составляет более 4,96 млрд руб. [2]. Несмотря на развитие, лесная промышленность признается малоэффективной по управлению отходами: из общего количества образующихся в результате переработки остатков древесины используется вторично только 15 % [3].

Обзорная информация

Общее состояние водных объектов Тюменской области, включая северные округа, является неудовлетворительным, особенно на промышленно развитых территориях. Характерные загрязняющие вещества – это трудно- и легкоокисляемые органические вещества, соединения железа, меди, цинка, марганца, нефтепродукты [4]. Одной из главных причин загрязнения водных ресурсов нефтепродуктами региона является сброс в водоемы недостаточно очищенных и неочищенных производственных и поверхностных (дождевых и талых) сточных вод [5].

Нефтепродукты относятся к числу наиболее вредных химических загрязнителей: 1 кг нефти и нефтепродуктов лишает кислорода 40 м³ воды; 1 т нефти и нефтепродуктов загрязняет 12 км² водной поверхности. При концентрации нефтепродуктов 0,2–0,4 мг/дм³ вода приобретает нефтяной запах, который не устраняется фильтрованием и хлорированием [6]. Недостаточно очищенные нефтесодержащие стоки образуют на поверхности водоема нефтяную пленку. Воздействие нефтепродуктов на водную фауну происходит в нескольких направлениях: поверхностная пленка нефти задерживает диффузию газов из атмосферы в воду и нарушает газовый обмен водоема, создавая дефицит кислорода; маслянистые вещества, покрывая поверхность жабр тонкой пленкой, нарушают газообмен и приводят к асфиксии рыб; водорастворимые соединения легко проникают в организм рыб; при концентрации нефти 0,1 мг/дм³ мясо рыб приобретает неустраняемый «нефтяной» запах и привкус; донные отложения нефти нарушают кормовую базу водоемов и поглощают кислород из воды.

В настоящее время удаление нефтепродуктов из воды является достаточно актуальной проблемой, которая решается в нескольких направлениях, в том числе и поиском эффективных и недорогих сорбционных материалов. Например, отходы деревообрабатывающих предприятий – опилки – представляют из себя разновидность фитосорбентов, способных поглощать масла, остатки топлива, растворенные и нерастворенные нефтепродукты. В соответствии с Приказом МПР России от 02.12.2002 г. № 786 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» отходы лесоперерабатывающих предприятий можно отнести к V классу опасности, которые оказывают низкое воздействие на экологию.

Стратегическим направлением в сфере управления отходами является снижение количества образующихся отходов и максимальное использование их в виде вторичных материальных ресурсов. Сегодня проблема сокращения отходов также тесно связана с вопросами устойчивого экономического развития в условиях постоянно растущего спроса на сырье при одновременном сокращении доступных запасов и конечной исчерпаемости природных ресурсов. Рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, охрана окружающей среды являются гарантией долгосрочного социально-экономического развития и формирования основы для развития будущих поколений. Во всем мире возникает все большая заинтересованность в охране окружающей среды, обеспечении устойчивого развития стран и регионов. Это обусловлено глобальными нарушениями экологических условий и ухудшением свойств природной среды [7].

В Российской Федерации действует Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ, который определяет правовые основы обращения с отходами производства и потребления в целях предотвращения вредного воздействия отходов производства и потребления на здоровье человека и окружающую среду, а также включения таких отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья.

Несмотря на огромное количество разработанных технологий обезвреживания, регенерации ценных компонентов и утилизации отходов, в странах Европы в настоящее время вторичному использованию подлежит в среднем

не более 50 % всех образующихся малотоксичных отходов. В Российской Федерации количество возвращаемых в рецикл отходов не превышает 37,8 %, а утилизируется не более 8 % промышленных отходов [3, 7].

Наибольший интерес вызывают отходы производства, которые возможно применять в различных процессах как вторичное сырье. Одним из направлений вторичного использования отходов промышленности является их переработка и производство новых материалов, применяемых в технологиях очистки сточных вод различного происхождения. В этом случае решается сразу две задачи: очистка сточных вод и утилизация отходов предприятий.

В настоящее время активно ведется поиск эффективного, но относительно дешевого сорбционного материала для извлечения различных загрязнений из воды. Наилучшим по качеству очистки и сроку службы считается активированный уголь, изготовленный из скорлупы кокоса, а благодаря высокой прочности его можно многократно регенерировать. Россия, однако, не располагает сырьевыми ресурсами для его производства [8], в связи с чем выгодна разработка аналоговых сорбентов.

Многими авторами считается перспективным использование сорбентов, изготовленных на природной основе [9–16, 25–28]. Изучаются различные модификации материалов, в том числе и отходов производства, позволяющие повысить их сорбционную емкость. При выборе сорбционного материала большое внимание уделяется его сорбционным характеристикам, способам регенерации и утилизации отработанного материала, а также стоимости изготовления и доступности сырьевой базы [9, 10].

Интенсивно изучается сорбционная способность древесной стружки и опилок, отходов растениеводства, образующихся в процессе деятельности лесных и сельскохозяйственных предприятий в больших количествах. В ходе многих научных исследований установлено, что шелуха, околоплодники, солома сельскохозяйственных культур, древесные опилки и стружка, лигнин обладают достаточно хорошей нефтеемкостью. Отходы древесной промышленности обладают более пористой структурой, меньшей плавучестью, гидрофильны. Сорбция нефтепродуктов происходит как на поверхности, так и внутри пор. Отходы растениеводства гидрофобны, структура менее пористая. Вероятнее, сорбция происходит на поверхности [11–14].

При изучении сорбционных свойств нескольких природных сорбентов и отходов промышленности определено, что нефтеемкость опилок в 1,5 раза выше относительно лигнина, торфа и керамзита [15]. Опилки являются многотоннажным отходом лесоперерабатывающей промышленности, что делает их дешевым вторичным материалом. Следовательно, утилизация опилок в качестве нефтяного сорбента достаточно перспективна.

Основной проблемой, связанной с использованием природных материалов в качестве сорбентов, является недостаточно выраженная сорбционная способность этих материалов. Решение данной проблемы лежит в модификации такого материала – улучшении его сорбционных свойств и, следовательно, эффективности его использования [16, 28].

Опилки хорошо и быстро впитывают как нефть и нефтепродукты, так и влагу, но для повышения сорбционной активности необходимо предусматривать дополнительную модификацию их поверхности [27, 28]. На эффектив-

ность природных сорбентов влияет наличие функциональных групп на поверхности сорбента, пористость и морфология поверхности. Модифицирование проводится с целью направленного регулирования свойств природного сорбента: позволяет изменить физическую и химическую поверхность, увеличить его пористость и площадь межфазной поверхности раздела. Наиболее популярным методом модификации является химическая обработка природных материалов различными химическими реагентами. Одним из способов гидрофобизации поверхности является обработка опилок водоотталкивающими составами, например кислотами [17–19]. Авторы предлагают модификацию поверхности сорбентов при помощи кислот, щелочей и дальнейшей термообработки в сушильном шкафу при различных температурах [20]. Так, по итогам экспериментальной работы [21] установлено, что наилучшие значения водопоглощения и нефтеемкости были получены для образцов опилок ясеня, обработанных 3% раствором азотной кислоты в течение получаса.

На кафедрах водоснабжения и водоотведения Тюменского государственного индустриального и Томского государственного архитектурно-строительного университетов проводится совместное изучение сорбционных свойств природных материалов и отходов производства. Объектом данной исследовательской работы в качестве сорбента приняты активированный кокосовый уголь и сосновые опилки (отход производства деревообрабатывающего цеха), предметом исследования является процесс сорбции растворенных в воде нефтепродуктов. В качестве предварительной обработки растворов и модификации сорбентов рассматриваются нетрадиционные методы: озонирование и облучение электромагнитным полем СВЧ-диапазона.

Цель, задачи и методы исследования

В работе исследовались опилки сосновые с размером частиц 1–5 мм, полученные в ходе технологического процесса изготовления деревянных конструкций в столярном цехе одного из предприятий г. Тюмени. Экспериментально определены следующие характеристики исследуемого опила: насыпной вес – 0,185 г/см³, насыпной объем – 5,405 см³/г, плотность – 2,181 г/см³, истинный удельный объем – 0,459 см³/г, объем межзернового пространства – 4,946 см³/г.

Для сравнения выбран активированный кокосовый уголь NWC, который представляет собой гранулы размером 0,4–1,7 мм с насыпной массой 0,48 г/см³ и удельным весом 1,65 г/см³. Определены следующие физико-механические характеристики материала: насыпной вес – 0,595 г/см³, насыпной объем – 1,681 см³/г, плотность – 3,247 г/см³, истинный удельный объем – 0,308 см³/г, объем межзернового пространства – 1,373 см³/г.

Для приготовления модельного водного раствора использовался смазочный материал (масло) для воздушных компрессоров MobilRarusSHC 1025 производства Франции, имеющий следующие физико-химические характеристики: кинематическая вязкость при +40 °С – 44 сСт, при +100 °С – 7,2 сСт, удельный вес (при +15 °С) – 0,849 г/см³.

Целью работы является изучение сорбционной активности и способов модификации сосновых опилок по извлечению нефтепродуктов из водных растворов. Для этого было поставлено несколько задач:

- установить физико-химические закономерности протекания процессов сорбции в системе «опилки – нефтепродукты»;
- оценить сорбционную емкость опилок относительно активированного угля;
- определить влияние СВЧ-излучения и озонирования на процессы извлечения нефтепродуктов из водных растворов.

Сорбция изучалась в статических условиях: обрабатываемая вода интенсивно перемешивалась с сорбентом, затем сорбент отделялся от воды в результате отстаивания и фильтрования. При однократном введении сорбента в определенном количестве на определенный объем обрабатываемой воды статическая обменная емкость (далее – СОЕ) определяется по формуле, предложенной в работе [21], мг/г:

$$\text{СОЕ} = \frac{(C_{\text{исх}} - C_{\text{равн}})V}{g},$$

где g – масса сухого сорбента, г; V – объем приливаемого к сорбенту раствора, дм^3 ; $C_{\text{исх}}$ – исходная концентрация нефтепродуктов в исходной воде, мг/дм^3 ; $C_{\text{равн}}$ – равновесная (остаточная) концентрация нефтепродуктов в очищенной воде, мг/дм^3 .

Концентрация нефтепродуктов в воде определялась при помощи прибора «Флюорат 02-3М» по стандартной методике ПНД Ф 14.1:2:4.128–98 (изд. 2012 г.). Для обработки сорбентов и растворов использовались озонатор Apion Ozonizer HO-01 (с интенсивностью 400 мг/ч) и СВЧ-печь MMW-2010 (с установленной мощностью 800 Вт).

Результаты

О сорбционных свойствах сорбента можно судить по изотермам, характеризующим зависимость сорбционной способности от концентрации нефтепродуктов в растворе.

Для каждого вида воздействия выполнена статистическая обработка полученных данных – построено корреляционное поле, вычислены коэффициенты регрессии и корреляции, приведенные в таблице.

Уравнения регрессии и коэффициенты корреляции, рассчитанные для каждого вида воздействия

| Вид воздействия | Активированный уголь | Опилки |
|---|----------------------|--|
| | Уравнение регрессии | |
| Модельные растворы | $y = 0,0199x$ | $y = -0,00001x^3 + 0,00078x^2 + 0,00097x - 0,00444$ |
| Озонирование сорбента (2 мин) | $y = 0,02x$ | $y = 0,0009x^2 - 0,0015x + 0,0004$ |
| Озонирование сорбента (5 мин) | $y = 0,0191x$ | $y = 0,0029x$ |
| Подогрев СВЧ-излучением сорбента (5 мин) | $y = 0,0191x$ | $y = 0,0042x$ |
| Подогрев СВЧ-излучением раствора (+40 °С) | $y = 0,0195x$ | $y = 0,000003x^4 - 0,000216x^3 + 0,004187x^2 - 0,013006x + 0,004027$ |

Окончание таблицы

| Вид воздействия | Активированный уголь | Опилки |
|--|--------------------------------|---|
| | Уравнение регрессии | |
| Подогрев СВЧ-излучением раствора (+60 °С) | $y = 0,0193x$ | $y = 0,0008x$ |
| Подогрев СВЧ-излучением «раствор + сорбент» (+40 °С) | $y = 0,0198x$ | $y = -0,00002x^3 + 0,00100x^2 + 0,00174x + 0,00076$ |
| Подогрев СВЧ-излучением «раствор + сорбент» (+60 °С) | $y = 0,019x$ | $y = 0,004x$ |
| Озонирование раствора (2 мин) | $y = 0,0186x$ | – |
| Коэффициенты корреляции R^2 | Находятся в пределах 0,995–1,0 | |

По выведенным коэффициентам регрессии можно рассчитать, как изменится СОЕ (значение y) при изменении концентрации нефтепродуктов в исходном растворе (значение x).

Полученные значения коэффициентов корреляции R^2 0,995–1,0 для каждого способа модификации близки к единице, что говорит о сильной связи между сорбционной способностью и концентрацией нефтепродуктов. Положительное значение коэффициентов указывает на возрастание СОЕ при увеличении концентрации нефтепродуктов в растворе.

По полученным уравнениям регрессии построены изотермы сорбции, характеризующие зависимость сорбционной способности от концентрации нефтепродуктов в растворе (рис. 1–3).

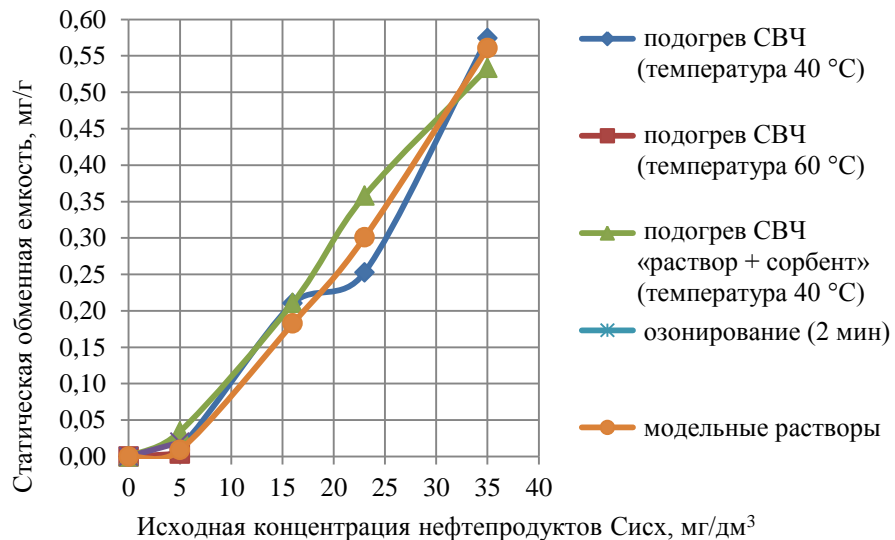


Рис. 1. Изотермы сорбции нефтепродуктов на сосновых опилках

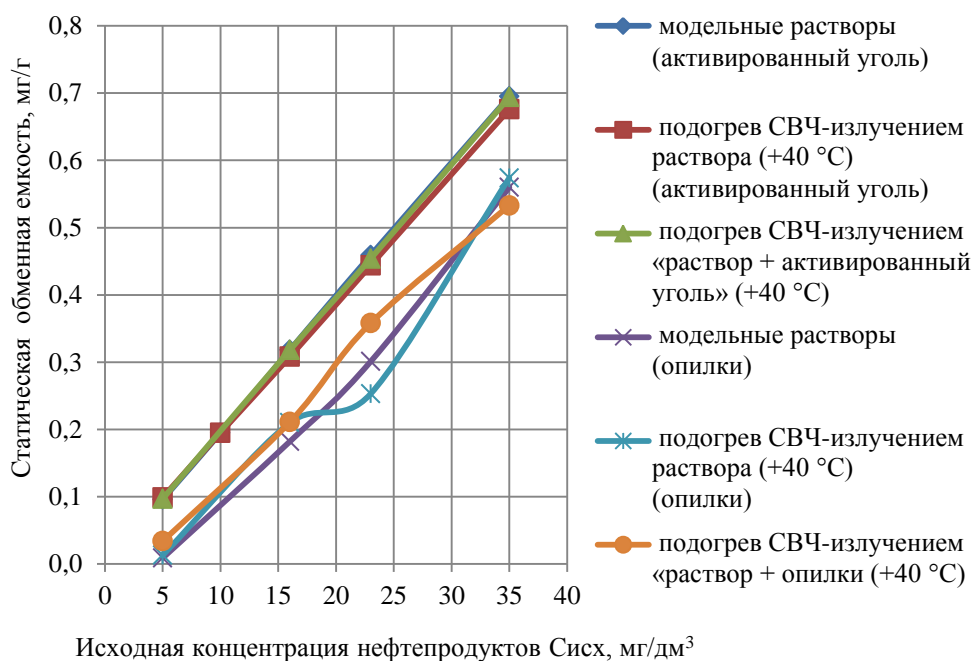


Рис. 2. Изотермы сорбции нефтепродуктов на сосновых опилках при концентрации исходных растворов 5–35 мг/дм³

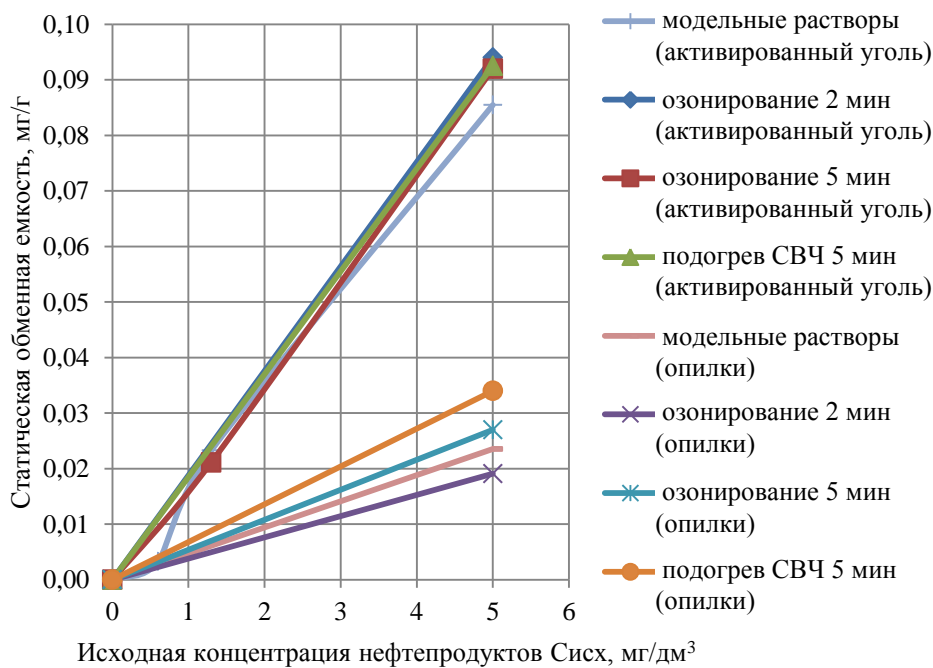


Рис. 3. Изотермы сорбции нефтепродуктов на сосновых опилках при концентрации исходных растворов 0,1–5 мг/дм³

При предварительной подготовке рабочих растворов путем подогрева СВЧ-излучением и озонированием получены изотермы сорбции III, IV и V типа по классификации Брунауэра, Эммета, Теллера (далее – БЭТ) [21] на опилках (рис. 1).

III тип изотерм описывает полимолекулярную адсорбцию и сильное межмолекулярное взаимодействие в веществе сорбата, характерен для непористых и макропористых адсорбентов. Данный тип изотерм часто описывает адсорбцию воды и указывает на высокое водопоглощение опилок [22]. Изотермы типа IV и V отличаются тем, что для них характерна конечная адсорбция.

На рис. 2 и 3 представлены изотермы сорбции для активированного угля и опилок, модифицированных одинаковыми способами, для больших исходных концентраций (от 5 до 35 мг/дм³) и малых концентраций (от 0,1 до 5 мг/дм³) нефтепродуктов в воде.

Изотермы сорбции относятся к I и II типу (активированный уголь) и I, III, IV типу (опилки) по классификации БЭТ [21]. I тип изотерм характерен для микропористых сорбентов и отражает мономолекулярную адсорбцию, II тип – полимолекулярную адсорбцию [23, 24].

Заключение

Из всех рассмотренных методов их модификации и предварительной обработки растворов для модельных растворов с концентрацией нефтепродуктов 35 мг/дм³ неплохой результат был получен при совместной СВЧ-обработке растворов и опилок при температуре +40 °С: сорбционная емкость опилок повышалась на 5–10 % по сравнению с исходным материалом.

Различные методы модификации сорбента повышают сорбционную активность опилок в растворах с исходными малыми концентрациями нефтепродуктов (до 5 мг/дм³): при предварительном озонировании опилок – в среднем в 1,5 раза; при СВЧ-подогреве – в 2,3–2,5 раза.

Предварительная подготовка растворов (СВЧ-нагрев) также повышает сорбционную емкость опилок на низких концентрациях в 1,5 раза.

Самые лучшие показатели для малых концентраций исходных растворов были получены при совместной СВЧ-обработке растворов и опилок при температуре +40 °С, при этом сорбционная емкость сорбента была выше в 3,7–4 раза, чем для опилок без всякой обработки.

При сравнении СОЕ сосновых опилок на модельном растворе оказалась всего на 19,4 % ниже СОЕ на активированном угле, что говорит о перспективном применении опилок в качестве сорбента.

Отработанные опилки возможно использовать в качестве сорбента без регенерации. Утилизация опилок может быть осуществлена в виде их предварительного брикетирования и сжигания в качестве топливных брикетов. Адсорбированные на поверхности опилок нефтепродукты будут повышать теплоту сгорания и способствовать дополнительному выделению энергии при сжигании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вялкова Е.И. Исследование природных минералов и отходов производства Тюменской области и Уральского региона с целью очистки воды и грунтов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04. Тюмень, 1999. 16 с.

2. Тюменская область: [официальный сайт]. Условия доступа: https://admtyumen.ru/ogv_ru/finance/lk/more.htm?id=11498519@cmsArticle (дата обращения: 22.10.2018).
3. Лотош В.Е. Переработка отходов производства. Екатеринбург: УРГУос, 2002. 426 с.
4. РОСПРИРОДНАДЗОР. Условия доступа: <http://trn.gov.ru/node/8715> (дата обращения: 22.10.2018).
5. Воронов А.А., Мальшикина 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.
6. Щетнева Я.А. Влияние на окружающую среду разливов горюче-смазочных материалов при лесозаготовительных работах // StudArctic forum. 2016. Вып. 1 (1). С. 30.
7. Демьянова В.С., Чумакова О.А., Гусев А.Д. Ресурсосбережение как средство защиты окружающей среды // Региональная архитектура и строительство 2(7). Пенза: ПГУАС, 2009. С. 52–53.
8. ИНФОМАЙН. Условия доступа: <http://www.infomine.ru/research/18/169> (дата обращения: 22.10.2018).
9. Дваденко М.В., Привалова Н.М., Кудяева И.Ю., Стенура А.Г. Адсорбционная очистка сточных вод // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 10. С. 214–215.
10. Дваденко М.В., Привалова Н.М., Кудяева И.Ю., Стенура А.Г. Выбор адсорбента для очистки сточных вод // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 10. С. 213–214.
11. Якубовский С.Ф., Булавка Ю.А., Майорова Е.И. Ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов с использованием сорбента на основе целлюлозосодержащего растительного сырья // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сб. статей по материалам IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч., 15–16 дек. 2015 г.: в 2 ч. Ч. 1 / ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России. Воронеж, 2015. С. 467–471.
12. Пашаян А.А., Нестеров А.В. Создание нефтепоглощающих сорбентов совместной утилизацией древесных опилок и нефтяных шламов // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 9. С. 144–147.
13. Якубовский С.Ф., Булавка Ю.А., Попкова Л.А., Писарева С.С. Сорбционные свойства природных целлюлозо- и лигнинсодержащих отходов для сбора проливов нефтепродуктов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. 2013. С. 110–114.
14. Бакланова А.В., Стешко С.В., Калигин А.Ю. Сравнение природных сорбентов, применяемых для очистки воды, загрязненной нефтепродуктами // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Технические науки. Секция «Экология промышленности». 2013. С. 262–263.
15. Сергеева Е.С. и др. Исследование поглощающих свойств сорбентов для ликвидации разливов нефтепродуктов // Вода: химия и экология. 2010. № 8. С. 32–36.
16. Привалова Н.М., Дваденко М.В., Некрасова А.А., Попова О.С., Привалов Д.М. Очистка нефтесодержащих сточных вод с помощью природных и искусственных сорбентов // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 113 (09). С. 10.
17. Денисова Т.Р., Шайхиев И.Г., Сиппель И.Я. Использование древесных опилок в качестве сорбента для очистки водных сред от нефти // Журнал ЭиПБ. Материалы конференции. 2015. № 1–2. С. 52.
18. Nguyen Trung Duc, Nguyen Thanh Tung, Nguyen Van Khoi. Sorption Studies of Crude Oil on acetylated Sawdust // Journal of Science and Technology. 2016. 54 (2A). P. 201–206.
19. Ismail A.S. Preparation and Evaluation of Fatty-Sawdust as a Natural Biopolymer for Oil Spill Sorption // Chemistry Journal. 2015. V. 5. I. 5. P. 80–85.
20. Rafeah Wahi, Luqman Abdullah Chuah, Thomas Shean Yaw Choong, Zainab Ngaini, Mohsen Mobarekeh Nourouzi. Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview // Separation and Purification Technology. 2013. 113. P. 51–63.
21. Денисова Т.Р., Шайхиев И.Г., Сиппель И.Я. Увеличение нефтеемкости опилок ясеня обработкой растворами кислот // Вестник технологического университета. 2017. Т. 18. № 17. С. 233–235.

22. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. С. 570.
23. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984. 448 с.
24. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. 11. СПб.: НПО «Профессионал», 2006. 916 с.
25. Pimneva L., Malyshkina E., Salnikova E. Regularities of Sorption of Cations of Zinc and Copper by Natural Sorbent // *Procedia Engineering*. 2016. 165. P. 853–859.
26. Малышкина Е.С., Вялкова Е.И., Пимнева Л.А. Исследование термоинтенсификации сорбции ионов меди и цинка каолинитом // Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке: сб. докладов XIX Международной научно-практической конференции. Т. 1. Тюмень: ТИУ, 2017. 322 с.
27. Reza Behnood, Bagher Anvaripour, Nematollah Jaafarzade Haghghi Fard, Masoumeh Farasati. Application of Natural Sorbents in Crude Oil Adsorption // *Iranian Journal of Oil & Gas Science and Technology*. 2013. V. 2. No. 4. P. 1–11.
28. Ikenyiri P.N., Ukpaka C.P. Overview on the Effect of Particle Size on the Performance of Wood Based Adsorbent // *J Chem Eng Process Technol* 7: 315. 2016. DOI: 10.4172/2157-7048.1000315.

REFERENCES

1. Vyalkova E.I. Issledovanie prirodnykh mineralov i otkhodov proizvodstva Tyumenskoi oblasti i Ural'skogo regiona s tsel'yu ochistki vody i gruntov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. Nauk [Natural minerals and industrial wastes of the Tyumen and the Ural regions for water and soil purification. PhD Abstract]. Tyumen, 1999. 16 p. (rus)
2. Tyumenskaya oblast' [The Tyumen region]. Available: https://admtymen.ru/ogv_ru/finance/lk/more.htm?id=11498519@cmsArticle (accessed October 22, 2018). (rus)
3. Lotosh V.E. Pererabotka otkhodov proizvodstva [Waste recycling]. Ekaterinburg: URGuos, 2002. 426 p. (rus)
4. Rosprirodnadzor. Available: <http://rpn.gov.ru/node/8715> (accessed October 22, 2018). (rus)
5. Voronov A.A., Malyshkina E.S., Fugaeva A.M. Sbor i ochistka poverkhnostnykh stochnykh vod s proizvodstvennykh ploshchadok neftepromyslov [Collection and treatment of surface wastewater from oil fields]. *Energoberezhenie i innovatsionnye tekhnologii v toplivno-energeticheskom komplekse: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov, molodykh uchenykh i spetsialistov (Proc. 10th Int. Sci. Conf. 'Energy Saving and Innovation Technologies in Fuel and Energy Sector')*. A.N. Khalin, Ed. Tyumen: TIU, 2018. V. 1. Pp. 144–146. (rus)
6. Shchetneva Ya.A. Vliyanie na okruzhayushchuyu sredu razlivov goryuche-smazochnykh materialov pri lesozagotovitel'nykh rabotakh [Environmental impact of fuel and oil spills during logging operations]. *StudArctic forum*. 2016. No. 1 (1). Pp. 30. (rus)
7. Dem'yanova V.S., Chumakova O.A., Gusev A.D. Resursoberezhenie kak sredstvo zashchity okruzhayushchei sredy [Resource conservation as a means of environmental protection]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2009. No. 2 (7). Pp. 52–53. (rus)
8. Infomain. Available: www.infomain.ru/research/18/169 (accessed October 22, 2018). (rus)
9. Dvadnenko M.V., Privalova N.M., Kudaeva I.Yu., Stepura A.G. Adsorbtsionnaya ochistka stochnykh vod [Adsorption wastewater treatment]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2010. No. 10. Pp. 214–215. (rus)
10. Dvadnenko M.V., Privalova N.M., Kudaeva I.Yu., Stepura A.G. Vybór adsorbenta dlya ochistki stochnykh vod [Adsorbent selection for wastewater treatment]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2010. No. 10. Pp. 213–214. (rus)
11. Yakubovskii S.F., Bulavka Yu.A., Maiorova E.I. Likvidatsiya razlivov nefi i nefteproduktov s ispol'zovaniem sorbenta na osnove tsellyulozosoderzhashchego rastitel'nogo syr'ya [Oil spill response using a cellulose-containing plant-based sorbent]. *Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsii: sb. statei po materialam IV Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uch. (Proc. All-Russ. Conf. 'Problems of Safety in Emergency Relief Operation')*. Voronezh, 2015. Pp. 467–471. (rus)

12. Pashayan A.A., Nesterov A.V. Sozдание neftepgloshchayushchikh sorbentov sovmestnoi utilizatsiei drevesnykh opilok i neftyanykh shlamov [Creation of oil-absorbing sorbents by joint utilization of sawdust and oil sludge]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2017. V. 20. No. 9. Pp. 144–147. (rus)
13. Yakubovskii S.F., Bulavka Yu.A., Popkova L.A., Pisareva S.S. Sorbtionnye svoystva prirodnykh tsellyulozo- i ligninsoderzhashchikh otkhodov dlya sbora prolivov nefteproduktov [Sorption properties of natural cellulose and lignin-containing wastes for collecting spillages of petroleum products]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya V*. 2013. Pp. 110–114. (rus)
14. Baklanova A.V., Steshko S.V., Kaligin A.Yu. Sravnenie prirodnykh sorbentov, primenyaemykh dlya ochistki vody, zagryaznennoi nefteproduktami [Comparison of natural sorbents for water purification from petroleum products]. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики. Tekhnicheskije nauki. Sektsiya 'Ekologiya promyshlennosti'*. 2013. Pp. 262–263. (rus)
15. Sergeeva E.S., et al. Issledovanie pogloshchayushchikh svoystv sorbentov dlya likvidatsii razlivov nefteproduktov [Absorbing properties of sorbents for oil spill elimination]. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2010. No. 8. Pp. 32–36. (rus)
16. Privalova N.M., Dvadenko M.V., Nekrasova A.A., Popova O.S., Privalov D.M. Ochistka neftesoderzhashchikh stochnykh vod s pomoshch'yu prirodnykh i iskusstvennykh sorbentov [Oily wastewater purification with natural and artificial absorbents]. *Nauchnyi zhurnal KubGAU*. 2015. No. 113 (09). Pp. 10. (rus)
17. Denisova T.R., Shaikhiev I.G., Sippel' I.Ya. Ispol'zovanie drevesnykh opilok v kachestve sorbenta dlya ochistki vodnykh sred ot nefti [Sawdust sorbent for water purification from oil]. *Zhurnal EiPB. Materialy konferentsii*. 2015. No. 1–2. Pp. 52. (rus)
18. Nguyen Trung Duc, Nguyen Thanh Tung, Nguyen Van Khoi. Sorption studies of crude oil on acetylated sawdust. *Journal of Science and Technology*. 2016. No. 54 (2A). Pp. 201–206.
19. Ismail A.S. Preparation and evaluation of fatty-sawdust as a natural biopolymer for oil spill sorption. *Chemistry Journal*. 2015. V. 5. No. 5. Pp. 80–85.
20. Rafeah Wahi, Luqman Abdullah Chuah, Thomas Shean Yaw Choong, Zainab Ngaini, Mohsen Mobarekeh Nourouzi. Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview. *Separation and Purification Technology*. 2013. V. 113. Pp. 51–63.
21. Denisova T.R., Shaikhiev I.G., Sippel' I.Ya. Uvelichenie nefteemkosti opilok yaseniya obrabotkoi rastvorami kislot [Ash sawdust oil capacity increased by acid solution treatment]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2017. V. 18. No. 17. Pp. 233–235. (rus)
22. Kasatkin A.G. Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii [Main processes and chemical technology apparatuses]. Moscow: Khimiya, 1973. 570 p. (rus)
23. Lur'e Yu.Yu. Analiticheskaya khimiya promyshlennykh stochnykh vod [Analytical chemistry of industrial wastewater]. Moscow: Khimiya, 1984. 448 p. (rus)
24. *Novyi spravochnik khimika i tekhnologa. Protsessy i apparaty khimicheskikh tekhnologii*. [New reference chemist and technologist. Processes and devices of chemical technology]. St-Petersburg: Professional, 2006. 916 p. (rus)
25. Pimneva L., Malyschkina E., Salnikova E. Regularities of sorption of cations of zinc and copper by natural sorbent. *Procedia Engineering*. 2016. V. 165. Pp. 853–859.
26. Malyschkina E.S., Vyalkova E.I., Pimneva L.A. Issledovanie termointensifikatsii sorbtssii ionov medi i tsinka kaolinitom [Thermal intensification of copper and zinc ions absorbed with kaolinite]. *Problemy upravleniya rechnymi basseinami pri osvoenii Sibiri i Arktiki v kontekste global'nogo izmeneniya klimata planety v 21 veke: sb. dokladov 19 Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Proc. 19th Int. Sci. Conf. 'Problems of river basin management in the development of Siberia and the Arctic in Global Climate Change of the Planet in the 21st Century')*. Tyumen, 2017. 322 p. (rus)
27. Reza Behnood, Bagher Anvaripour, Nematollah Jaafarzade Haghghi Fard, Masoumeh Farasati. Application of natural sorbents in crude oil adsorption. *Iranian Journal of Oil and Gas Science and Technology*. 2013. V. 2. No. 4. Pp. 1–11.
28. Ikenyiri P.N., Ukpaka C.P. Overview on the effect of particle size on the performance of wood based adsorbent. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*. 2016. No. 7. V. 315. DOI: 10.4172/2157-7048.1000315.

Сведения об авторах

Малышкина Елена Сергеевна, аспирант, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Вялкова Елена Игоревна, канд. техн. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Осипова Елена Юрьевна, канд. геол.-мин. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kaf_wiw@tsuab.ru

Authors Details

Elena S. Malyshkina, Research Assistant, Tyumen State Oil and Gas University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia.

Elena I. Vyalkova, PhD, A/Professor, Tyumen State Oil and Gas University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia.

Elena Yu. Osipova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kaf_wiw@tsuab.ru