

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ МОДИФИКАЦИИ НА СВОЙСТВА ОТРАБОТАННОГО КИЗЕЛЬГУРА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ УДАЛЕНИЯ НЕФТИ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Е.Ю. Руденко, Е.Н. Макеева, В.В. Ващенко, В.В. Бахарев, Г.С. Муковнина, В.В. Ермаков

Самарский государственный технический университет

Проведено исследование отработанного кизельгура, полученного при фильтрации пива, в качестве сорбента для очистки сточных вод от нефти. Термическая обработка отработанного кизельгура влияет на его способность удалять нефть в процессе очистки сточных вод. Наибольшая степень удаления нефти из модельных растворов сточных вод обнаружена у отработанного кизельгура, модифицированного при температуре 400 °С. Модификация отработанного кизельгура серной, соляной и фосфорной кислотами при различных температурах увеличивает его сорбционные свойства в отношении нефти. Наибольшее удаление нефти из модельных растворов сточных вод происходит при использовании для их очистки отработанного кизельгура, модифицированного 20 %-ной серной кислотой при 100 °С. Использование модифицированного отработанного кизельгура позволяет повысить степень очистки сточных вод, загрязненных нефтью.

Ключевые слова: отработанный кизельгур, модификация, температура, кислоты, сточные воды, очистка, нефть

How the Modifying Methods Influence Over the Properties of Waste Kieselgur Used for Removing Oil from Waste Waters

E.Yu. Rudenko, E.N. Makeeva, V.V. Vaschenko, V.V. Bakharev, G.S. Mukovnina, V.V. Ermakov

Samara State Technical University, 443100 Samara, Russia

The research of a spent kieselgur obtained during beer filtration as a sorbent for cleaning of waste waters from oil. The thermal processing of a spent kieselgur influences over its ability to remove oil in the process of cleaning of waste waters. It has been discovered that the highest degree of removing oil from standardized test solutions of waste waters is provided by a spent kieselgur modified at a temperature of 400 °C. Modifying a spent kieselgur with sulphuric, hydrochloric and phosphoric acids at different temperatures increases its sorption properties in relation to oil. The maximum removal of oil from standardized test solutions of waste waters is achieved by using a spent kieselgur modified with 20 % sulphuric acid at 100 °C for cleaning them. Using a modified spent kieselgur allows increasing the degree of cleaning of waste waters contaminated with oil.

Keywords: spent kieselgur, modifying, temperature, acids, waste waters, cleaning, oil

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-01-20-25

Очистка природных и сточных вод от нефти является одной из актуальных задач, стоящих перед современной экологией. Одним из наиболее широко используемых и перспективных методов является адсорбционная очистка. В последние годы активно ведется поиск новых недорогих и эффективных адсорбентов, позволяющих удалить нефть из водных экосистем и производственных сточных вод. В качестве адсорбентов часто предлагают использовать отходы различных

производств [1–5], пытаясь таким образом снизить стоимость адсорбентов и процессов очистки природных и сточных вод в целом, а также решить проблему утилизации отходов некоторых отраслей промышленности. Одним из перспективных адсорбентов, позволяющих удалять нефть из сточных вод, является отработанный кизельгур, представляющий собой отход пивоваренного производства [6, 7].

Кизельгур, представленный остатками оболочек микроскопических водных одноклеточ-

ных диатомовых водорослей, является микрокристаллической формой тонкодисперсного кремнезема, гораздо менее растворимого и менее реакционно-способного, чем аморфный кремнезем, входящий в состав раковин живых диатомей. Поэтому кизельгур не растворяется в воде, практически не вступает в реакции с химическими соединениями и обладает слабой адсорбирующей способностью [8]. Отработанный кизельгур имеет дополнительные адсорбирующие области, образованные

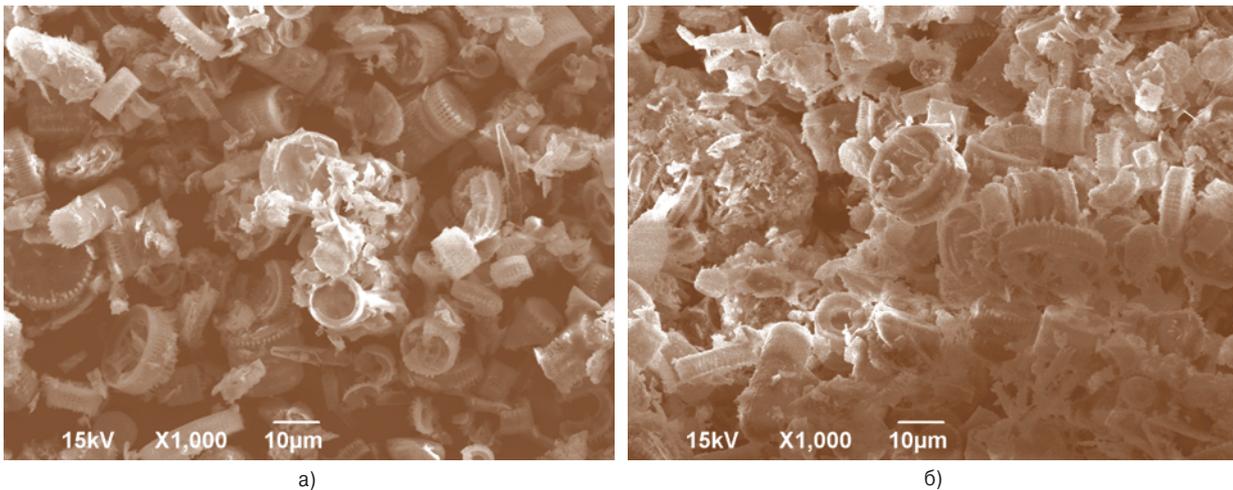


Рис. 1. Структура отработанного кизельгура, высушенного при 105 °С (а) и подвергнутого термообработке при 400 °С в течение 2 ч (б) (x1000)

Fig. 1. Structure of the spent dogwood, dried at 105 °C (a) and subjected to heat treatment at 400 °C for 2 H (b) (x1000)

органическими веществами, связанными с остатками раковин диатомовых водорослей, вследствие чего отработанный кизельгур проявляет более высокую адсорбционную активность по сравнению с чистым кизельгуром [9]. Повысить адсорбционные свойства отработанного кизельгура можно путем изменения его свойств термохимической модификацией [9–12].

Цель исследований — изучение влияния различных способов модификации на свойства отработанного кизельгура, используемого для удаления нефти из сточных вод.

Задачи исследования: изучить структуру поверхности отработанного и модифицированного отработанного кизельгура; исследовать влияние термообработки и кислотной модификации на адсорбционные свойства отработанного кизельгура.

Материалы и методы исследований

В работе использовали отработанный кизельгур влажностью 80 %, полученный на одном из пивоваренных предприятий Самарской области. Влажный отработанный кизельгур высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы.

Модельные растворы сточных вод, имеющие concentra-

ции нефти в воде 100, 200, 300, 400 и 500 мг/л, готовили с использованием высокосернистой нефти средней плотности, полученной на предприятии ОАО "Оренбургнефть". Устойчивые эмульсии получали путем перемешивания навесок нефти с водопроводной водой на магнитной мешалке при комнатной температуре в течение 15 мин при частоте вращения 1500 мин⁻¹.

Микроморфологию и тонкую структуру поверхности отработанного и модифицированного отработанного кизельгура изучали с помощью растрового электронного микроскопа в комплекте с рентгеновским спектрометром JSM-6390A (Япония).

Термическую обработку отработанного кизельгура проводили в течение 2 ч при температуре 200 °С в сушильном шкафу, при температурах 300, 400 и 500 °С — в муфельной печи, затем охлаждали в эксикаторе с хлоридом кальция.

Отработанный кизельгур также модифицировали серной, соляной и фосфорной кислотами, имеющими концентрации 10 и 20 % при комнатной температуре, при температурах 70 и 100 °С. Для этого делали навеску отработанного кизельгура массой 25 г, добавляли к ней 200 мл раствора кислоты и перемешивали на магнитной мешалке при не-

обходимой температуре в течение 40 мин при частоте вращения 1000 мин⁻¹. Затем проводили вакуумную фильтрацию через бумажный складчатый фильтр "красная лента". После модификации отработанный кизельгур промывали 3 раза по 200 мл дистиллированной водой, воду отделяли декантацией и с помощью вакуумной фильтрации. При последнем промывании для нейтрализации кислой среды использовали раствор аммиака. Влажный модифицированный кизельгур высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы, затем охлаждали в эксикаторе с хлоридом кальция.

Подготовленные образцы отработанного кизельгура, подвергнутого термической и кислотной обработке при различных температурах, использовали для очистки модельных растворов сточных вод, имеющих концентрацию нефти 100, 200, 300, 400 и 500 мг/л. Для этого к 100 мл модельного раствора сточных вод добавляли 10 г модифицированного отработанного кизельгура. Пробу перемешивали с помощью магнитной мешалки при комнатной температуре в течение 20 мин при частоте вращения 1000 мин⁻¹, затем отфильтровывали через складчатый бумажный фильтр "красная лента".

Остаточную концентрацию нефти в модельных растворах

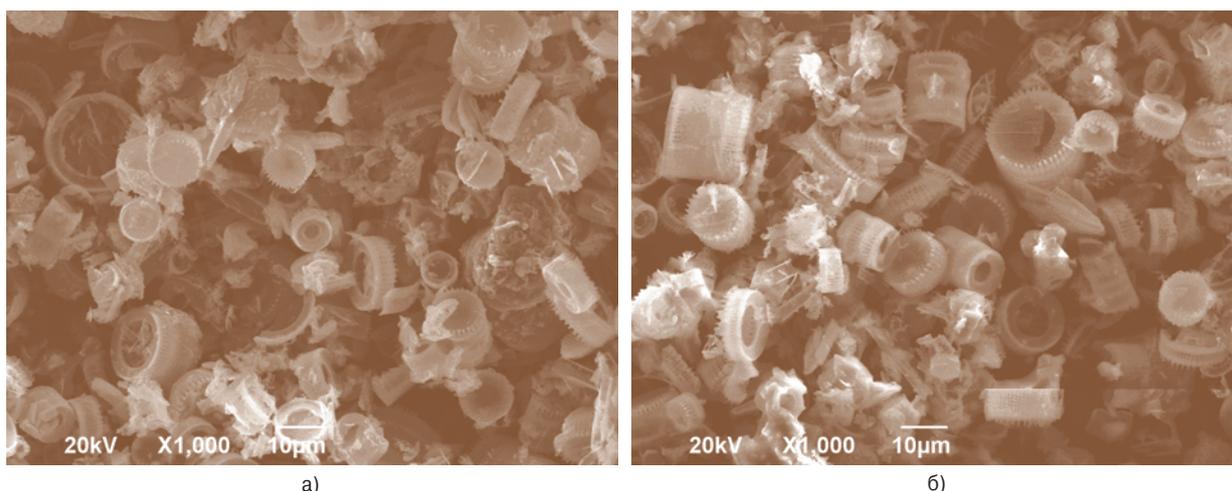


Рис. 2. Отработанный кизельгур, модифицированный 10 %-ной серной (а) и 20 %-ной соляной (б) кислотой при 100 °С (x1000)

Fig. 2. Worked out Kizelgur, modified by 10 % sulfur (a) and 20% salt (b) acids at 100 °С (x1000)

сточных вод после очистки модифицированным отработанным кизельгуром определяли флуориметрическим методом [7].

Остаточную концентрацию нефти, мг/л, в анализируемых пробах вычисляли по формуле:

$$C_{\text{ост}} = C_{\text{изм}} V_{\text{Г}} K / V_{\text{пр}},$$

где $C_{\text{изм}}$ — концентрация нефти в растворе гексана, мг/л; $V_{\text{Г}}$ — объем гексана, взятый для экстракции, мл; $V_{\text{пр}}$ — объем пробы, мл; K — степень разбавления экстракта.

Результаты исследований и их обсуждение

Пористая структура поверхности, обуславливающая способность отработанного кизельгура проявлять адсорбционные свойства, хорошо видна на рис. 1, а. Структурно-функциональными единицами отработанного кизельгура, высушенного при температуре 105 °С, являются остатки раковин диатомовых водорослей длиной от 1,65 до 34,08 мкм и шириной от 4,87 до 17,97 мкм. Стенки раковин диатомовых водорослей имеют хорошо развитую поверхность: они пронизаны множеством отверстий диаметром от 300 до 425 нм.

Модифицирование 10 и 20 %-ными растворами серной, соляной и фосфорной кислот при температурах до 100 °С существенно не изменяет структуру поверхности отработанного кизельгура, различимую с

помощью растрового электронного микроскопа (рис. 2). Обработка при температурах от 200 до 500 °С способствует частичному спеканию структурно-функциональных единиц отработанного кизельгура, представленных остатками раковин диатомей, различимому на рис. 1, б.

Модифицирование отработанного кизельгура 10 %-ным раствором серной кислоты без нагревания снижает остаточную концентрацию нефти в модельном растворе сточных вод в 1,24–1,59 раз по сравнению с контрольным образцом отработанного кизельгура, высушенного при температуре 105 °С, нагревание отработанного кизельгура в процессе модификации до 70 °С позволяет уменьшить остаточную концентрацию нефти в очищаемом модельном растворе сточных вод в 1,41–2,21 раз по сравнению с контролем, увеличение температуры модификации отработанного кизельгура до 100 °С приводит к снижению остаточной концентрации нефти в очищенном модельном растворе сточных вод в 1,62–3,21 раз по сравнению с немодифицированным отработанным кизельгуром (рис. 3, а). Использование для модификации 20 %-ного раствора серной кислоты без нагревания позволяет уменьшить остаточную концентрацию нефти в очи-

щаемом обработанным таким образом кизельгуром модельном растворе сточных вод в 1,30–2,87 раз по сравнению с контрольным образцом, повышение температуры модификации отработанного кизельгура серной кислотой до 70 °С способствует снижению остаточной концентрации нефти в очищенном модельном растворе сточных вод в 1,49–3,85 раз по сравнению с немодифицированным отработанным кизельгуром, нагревание до 100 °С снижает остаточную концентрацию нефти в модельном растворе сточных вод, очищенных этим модифицированным кизельгуром, в 1,72–6,48 раз по сравнению с контролем.

Модификация отработанного кизельгура 10 %-ным раствором соляной кислоты без нагревания позволяет уменьшить остаточную концентрацию нефти в очищаемом этим кизельгуром модельном растворе сточных вод в 1,08–1,17 раз по сравнению с контролем, нагревание до 70 °С снижает остаточную концентрацию нефти в модельном растворе сточных вод, очищенных этим модифицированным кизельгуром, в 1,23–1,40 раз по сравнению с контрольным образцом. Повышение температуры модификации отработанного кизельгура соляной кислотой до 100 °С способствует снижению остаточной концентрации неф-

ти в модельном растворе сточных вод в 1,39–1,49 раз по сравнению с немодифицированным отработанным кизельгуром (рис. 3, б). Модифицирование отработанного кизельгура 20 %-ным раствором соляной кислоты без нагревания позволяет уменьшить остаточную концентрацию нефти в модельном растворе сточных вод в 1,18–1,30 раз в сравнении с контролем, нагревание отработанного кизельгура в процессе модификации до 70 °С снижает остаточную концентрацию нефти в модельном растворе сточных вод в 1,36–1,58 раз по сравнению с контрольным образцом немодифицированного отработанного кизельгура, повышение температуры модификации отработанного кизельгура до 100 °С снижает остаточную концентрацию нефти в модельном растворе сточных вод в 1,59–2,09 раз по сравнению с контрольным раствором сточных вод, очищенным немодифицированным отработанным кизельгуром.

Модифицирование отработанного кизельгура 10 %-ным раствором фосфорной кислоты без нагревания снижает остаточную концентрацию нефти в модельном растворе сточных вод в 1,08–1,10 раз по сравнению с немодифицированным отработанным кизельгуром, нагревание отработанного кизельгура в процессе модификации до 70 °С позволяет уменьшить остаточную концентрацию нефти в очищаемых модельных растворах сточных вод в 1,16–1,21 раз в сравнении с контролем, увеличение температуры модификации отработанного кизельгура до 100 °С снижает остаточную концентрацию нефти в модельном растворе сточных вод в 1,32–1,34 раз по сравнению с контрольным образцом немодифицированного отработанного кизельгура (рис. 3, в). Использование для модификации 20 %-ного раствора фосфорной кислоты без нагревания, позволяет уменьшить остаточную концентрацию нефти в очищаемом отработанным таким

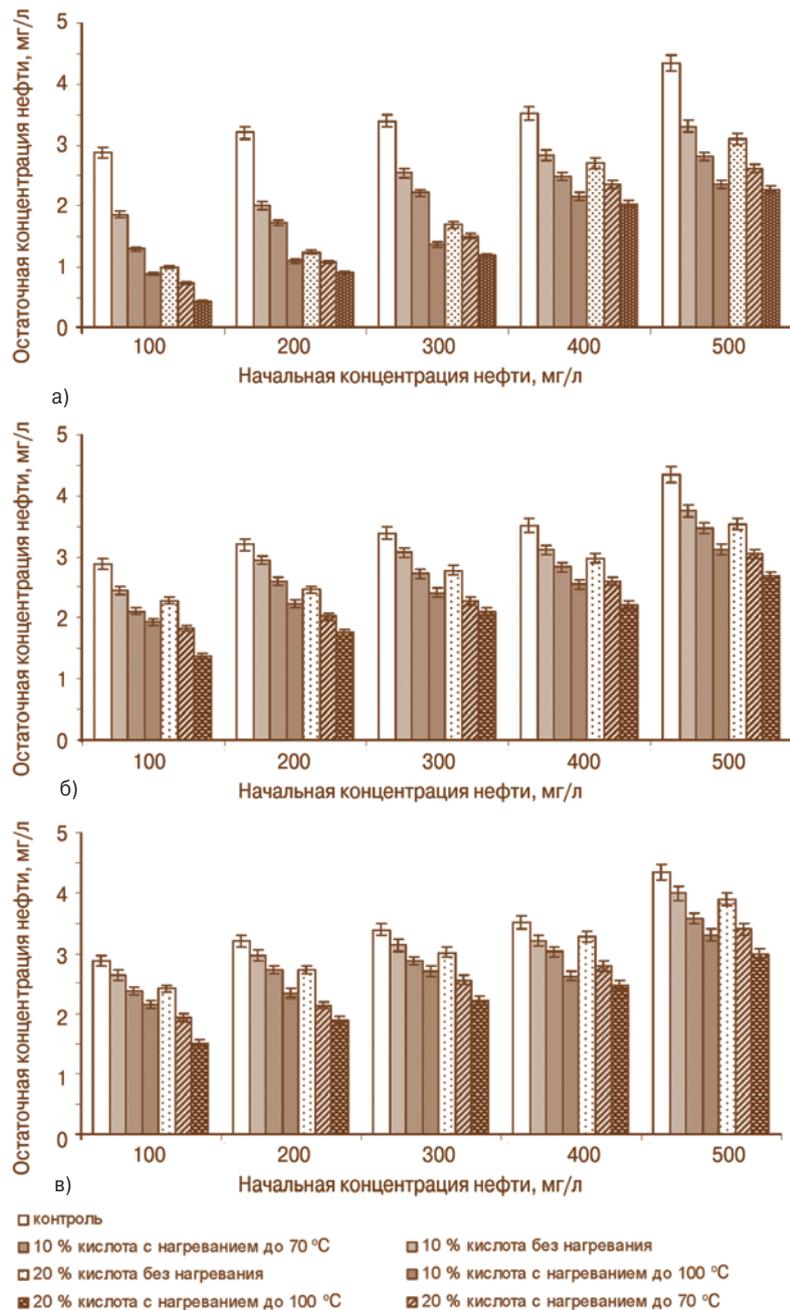


Рис. 3. Остаточная концентрация нефти в модельных растворах сточных вод, очищенных отработанным кизельгуром, модифицированным серной (а), соляной (б) и фосфорной (в) кислотами

Fig. 3. Residual concentration of oil in model solutions of wastewater, purified by spent Kieselgurom, modified sulfuric (a), hydrochloric (b) and phosphoric (c) acids

образом кизельгуром модельном растворе сточных вод в 1,07–1,19 раз по сравнению с контрольным образцом. Повышение температуры модификации отработанного кизельгура фосфорной кислотой до 70 °С снижает остаточную концентрацию нефти в модельном растворе сточных вод, очищенных этим модифицированным кизельгуром, в 1,26–1,48 раз по

сравнению с контролем, нагревание до 100 °С способствует снижению остаточной концентрации нефти в очищенном модельном растворе сточных вод в 1,42–1,90 раз по сравнению с немодифицированным отработанным кизельгуром.

Модифицирование отработанного кизельгура кислотами при нагревании увеличивает его адсорбционную способ-

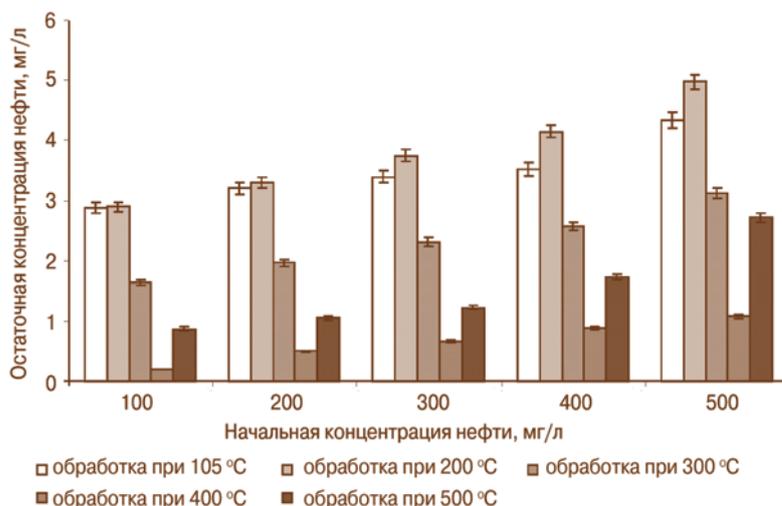


Рис. 4. Остаточная концентрация нефти в модельных растворах сточных вод, очищенных отработанным кизельгуром, модифицированным термообработкой

Fig. 4. Residual concentration of oil in the model solutions of wastewater, purified by spent kieselgurom, modified heat treatment

ность за счет повышения их концентраций, которые возрастают вследствие перехода воды из раствора в паровое состояние. Чем больше концентрация кислоты, тем больше она воздействует на тонкую структуру диатомита. Возможно, более высокие концентрации кислот при более высоких температурах способствуют образованию большего количества центров адсорбции за счет вымывания органических веществ, осевших на отработанном кизельгуре при фильтрации пива, из пор, обнаруженных в остатках раковин диатомовых водорослей.

Снижение остаточной концентрации нефти в модельных растворах сточных вод, очищенных отработанным кизельгуром, модифицированным различными минеральными кислотами, может быть связано со "старением" кизельгура, обусловленным возрастанием размера пор и понижением величины удельной поверхности. Увеличение диаметра пор может происходить также за счет растворения некоторого количества адсорбента. Под действием серной и соляной кислот, возможно, увеличивается диаметр пор, однако разрушения или так называемого "спекания" пор

не происходит, следовательно, величина удельной поверхности уменьшается незначительно. Серная кислота, по-видимому, оказывает более щадящее воздействие на поры кизельгура, чем соляная кислота. Фосфорная кислота слабо воздействует на адсорбционные свойства кизельгура, поэтому можно предположить, что под ее воздействием поры кизельгура очищаются от органических веществ, отфильтрованных из пива, но их количество и размеры не изменяются.

Модифицирование отработанного кизельгура обработкой температурой от 200 до 400 °C снижает остаточную концентрацию нефти в очищаемых модельных растворах сточных вод в 3,94–14,52 раз по сравнению с контролем, при увеличении температуры обработки отработанного кизельгура от 400 до 500 °C его способность адсорбировать нефть снижается (рис. 4).

Можно предположить, что при температуре 400 °C происходит максимальное выгорание органических веществ из пор отработанного кизельгура, увеличение уже имеющихся пор, а также образование новых макро-, мезо- и микропор. При дальнейшем увеличении

температуры до 500 °C эффективность очистки сточных вод от нефти уменьшается. Возможно, при данной температуре происходит изменение микроструктуры кизельгура: внешние поверхности остатков раковин диатомовых водорослей спекаются, образуя крупные частицы, при этом их внутренняя пористая структура остается без изменений, однако в структурной сетке кизельгура исчезают тонкие ответвления и, таким образом, снижается общий объем пор. При температуре свыше 400 °C начинает происходить уменьшение пор структурно-функциональных единиц отработанного кизельгура, общая удельная площадь поглощения уменьшается, вследствие этого кизельгур поглощает меньше нефти из очищаемых модельных растворов сточных вод.

Заклучение

Отработанный кизельгур, являющийся отходом пивоваренного производства, модифицированный различными способами, может быть использован в качестве сорбента для очистки сточных вод от нефти. Термическая и модификация кислотами увеличивают сорбционные свойства отработанного кизельгура. Увеличение концентрации кислот и повышение температуры модификации способствуют снижению остаточной концентрации нефти в очищаемых модельных растворах сточных вод. Наилучшие адсорбционные свойства в отношении нефти проявляет отработанный кизельгур, подвергнутый термической активации при 400 °C и модифицированный 20 %-ной серной кислотой при 100 °C. Использование модифицированного отработанного кизельгура позволяет увеличить степень очистки нефтезагрязненных сточных вод и утилизировать промышленные отходы, что способствует уменьшению антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания №10.3260.2017/4.6.

Литература

1. Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н., Макарова К.Н., Макарова Ю.А., Собгайда Н.А. Использование отходов производства в качестве сорбентов нефтепродуктов. Экология и промышленность России. 2009. Январь. С. 36–38.
2. Долбня И.В., Татаринцева Е.А., Ольшанская Л.Н. Сорбционный материал на основе абрикосовой косточки для очистки сточных вод от нефтепродуктов. Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 4 (88). С. 32–37.
3. Долбня И.В., Татаринцева Е.А., Козьмич К.В., Комисаренко М.В., Шахриев И.Г. Очистка нефте содержащих сточных вод магнитосорбентами на основе ферритизированного гальваношлама. Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 23. С. 154–156.
4. Степанова С.В., Трушков С.М., Гальблауб О.А., Шахриев И.Г. Сорбционные материалы для нефти на основе отходов переработки сельскохозяйственного сырья. Журнал экологии и промышленной безопасности. 2017. № 1–2. С. 26–27.
5. Денисова Т.Р., Шахриев И.Г., Маврин Г.В., Сиппель И.Я. Влияние ультразвуковой обработки опилок ясеня на нефте- и водопоглощение. Вода: химия и экология. 2017. № 6 (108). С. 28–34.
6. Ващенко В.В., Руденко Е.Ю., Бахарев В.В., Муковнина Г.С., Ермаков В.В. Изучение возможности очистки сточных вод от нефти отработанным кизельгуром. Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19. № 5. С. 36–39.
7. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. М., БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 270 с.
8. Tsai W.T., Lai C.M., Hsien K.J. Characterization and adsorption properties of diatomaceous earth modified by hydrofluoric acid etching. J. Colloid Interface Sci. 2006. V. 297. P. 749–754.
9. Tsai W.T., Hsu H.C., Su T.Y., Lin K.Y., Lin C.M. Removal of basic dye (methylene blue) from wastewaters utilizing beer brewery waste. J. Hazard. Mater. 2008. V. 154. P. 73–78.
10. Tsai W.T., Hsien K.J., Yang J.M. Silica adsorbent prepared from spent diatomaceous earth and its application for removal of dye from aqueous solution. J. Colloid Interface Sci. 2004. V. 275. P. 428–433.
11. Tsai W.T., Hsien K.J., Lai C.M. Chemical activation of spent diatomaceous earth by alkaline etching in the preparation of mesoporous adsorbents. Ind. Eng. Chem. Res. 2004. V. 3. P. 7513–7520.
12. Tsai W.T., Hsien K.J., Chang Y.M., Lo C.C. Removal of herbicide paraquat from an aqueous solution by adsorption onto spent and treated diatomaceous earth. Bioresour. Technol. 2005. V. 96. P. 657–663.

References

1. Sobgaida N.A., Ol'shanskaya L.N., Makarova K.N., Makarova Yu.A., Sobgaida N.A. Ispol'zovanie otkhodov proizvodstva v kachestve sorbentov nefteproduktov. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2009. Yanvar'. С. 36–38.
2. Dolbnya I.V., Tatarintseva E.A., Ol'shanskaya L.N. Sorbtionnyi material na osnove abrikosovoi kostochnki dlya ochistki stochnykh vod ot nefteproduktov. Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie. 2015. № 4 (88). S. 32–37.
3. Dolbnya I.V., Tatarintseva E.A., Koz'mich K.V., Komisarenko M.V., Shakhriev I.G. Ochistka nefte-soderzhashchikh stochnykh vod magnitosorbentami na osnove ferritizirovannogo gal'vanoshlama. Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2016. T. 19. № 23. S. 154–156.
4. Stepanova S.V., Trushkov S.M., Gal'blaub O.A., Shakhriev I.G. Sorbtionnye materialy dlya nefi na osnove otkhodov pererabotki sel'skokhozyaistvennogo syr'ya. Zhurnal ekologii i promyshlennoi bezopasnosti. 2017. № 1–2. S. 26–27.
5. Denisova T.R., Shakhriev I.G., Mavrin G.V., Sippel' I.Ya. Vliyanie ul'trazvukovoi obrabotki opilok yasenya na nefte- i vodopogloshchenie. Voda: khimiya i ekologiya. 2017. № 6 (108). S. 28–34.
6. Vashchenko V.V., Rudenko E.Yu., Bakharev V.V., Mukovkina G.S., Ermakov V.V. Izuchenie vozmozhnosti ochistki stochnykh vod ot nefi otrabotannym kizel'gurom. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2017. T. 19. № 5. S. 36–39.
7. Drugov Yu.S., Rodin A.A. Ekologicheskie analizy pri razlivakh nefi i nefteproduktov. M., BINOM. Laboratoriya znaniy, 2007. 270 s.
8. Tsai W.T., Lai C.M., Hsien K.J. Characterization and adsorption properties of diatomaceous earth modified by hydrofluoric acid etching. J. Colloid Interface Sci. 2006. V. 297. P. 749–754.
9. Tsai W.T., Hsu H.C., Su T.Y., Lin K.Y., Lin C.M. Removal of basic dye (methylene blue) from wastewaters utilizing beer brewery waste. J. Hazard. Mater. 2008. V. 154. P. 73–78.
10. Tsai W.T., Hsien K.J., Yang J.M. Silica adsorbent prepared from spent diatomaceous earth and its application for removal of dye from aqueous solution. J. Colloid Interface Sci. 2004. V. 275. P. 428–433.
11. Tsai W.T., Hsien K.J., Lai C.M. Chemical activation of spent diatomaceous earth by alkaline etching in the preparation of mesoporous adsorbents. Ind. Eng. Chem. Res. 2004. V. 3. P. 7513–7520.
12. Tsai W.T., Hsien K.J., Chang Y.M., Lo C.C. Removal of herbicide paraquat from an aqueous solution by adsorption onto spent and treated diatomaceous earth. Bioresour. Technol. 2005. V. 96. P. 657–663.

Е.Ю. Руденко – д-р биол. наук, профессор, Самарский государственный технический университет, 443100 Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская 244, e-mail: e_rudenko@rambler.ru • Е.Н. Макеева – магистрант, e-mail: katerina.makeeva000@yandex.ru • В.В. Ващенко – магистрант, e-mail: v.makore@yandex.ru • В.В. Бахарев – д-р хим. наук, декан, e-mail: fpp@samgtu.ru • Г.С. Муковнина – канд. хим. наук, доцент, e-mail: galinamukovkina@yandex.ru • В.В. Ермаков – канд. техн. наук, доцент, e-mail: ncpe@mail.ru

E.Yu. Rudenko – Dr. Sci. (Biol.), Professor, Samara State Technical University, 443100 Russia, Samara, Molodogvardeyskaya Str. 244, e-mail: e_rudenko@rambler.ru • E.N. Makeeva – Undergraduate Student, e-mail: katerina.makeeva000@yandex.ru • V.V. Vaschenko – Undergraduate Student, e-mail: v.makore@yandex.ru • V.V. Bakharev – Dr. Sci. (Chem.), Dean, e-mail: fpp@samgtu.ru • G.S. Mukovkina – Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, e-mail: galinamukovkina@yandex.ru • V.V. Ermakov – Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, e-mail: ncpe@mail.ru