

УДК 67.08

МУРЗАХАНОВ Я.А. аспирант БГТУ им. В.Г. Шухова
Научный руководитель САПРОНОВА Ж.А., д.т.н., доцент,
(БГТУ им. В.Г. Шухова)
г. Белгород

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛИНИСТЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Природные глины давно известны как эффективные сорбенты в различных областях. Основу их свойств — гидрофильность, сорбционную способность, ионообменные характеристики, прочность, водопроницаемость, пластичность и набухание — обеспечивают глинистые минералы, активные компоненты глин. Средний химический состав минералов определить сложно из-за вариабельности изоморфно замещённых катионов, он уточняется для каждого минерала с помощью химического анализа. Глинистые минералы относятся к слоистым и слоисто-ленточным силикатам и состоят из двух структурных элементов: кремнекислородного тетраэдра, соединяющегося в трёхмерную сеть, и октаэдра с центральным атомом алюминия, железа или магния, окружённым кислородом или гидроксильными группами [1]. Структурная модель кристаллической решетки монтмориллонита приведена на рисунке 1 [2].

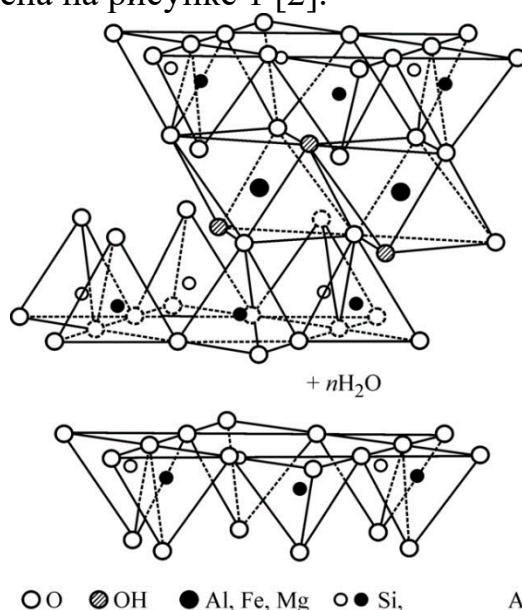


Рисунок 1. Схема кристаллической решетки монтмориллонита

Глинистые минералы привлекают внимание как эффективные адсорбенты благодаря высокой катионообменной способности, большой удельной поверхности и пористости. На адсорбцию загрязнителей влияют pH, температура, дозировка, концентрация вещества и время контакта. Модифицированные или активированные глины показывают более высокую адсорбционную ёмкость, чем необработанные [3].

Широкое применение глин приводит к образованию значительного количества отходов, требующих утилизации. Так, одним из этапов очистки пищевых масел является отбеливание, при котором образуется отработанная отбельная глина. Традиционные методы утилизации включают захоронение, сжигание и компостирование. В работе [4] предложена схема реактивации пищевой отбельной глины: экстракция остаточного масла *n*-гексаном, термическая активация при 600°C в течение 60 мин, кислотная обработка 10% HCl с пропиткой BaCl₂ 5%. Удельная поверхность восстановленных образцов достигала 150–160 м²/г.

Термически обработанная отбельная глина была отмечена как перспективный сорбент для удаления красителей из сточных вод с наибольшей эффективностью при прокаливании при температуре 300–350°C [5]. Аналогично, глинистый отход от очистки пальмового масла был успешно регенерирован прокаливанием при 500–700°C и кислотной активацией с CaCO₃, при этом его адсорбционная способность оказалась сопоставима с исходной [6].

Физико-химические и сорбционные свойства глинистого отхода показали мезопористую структуру и удельную поверхность 185,53 м²/г. При дозировке 1,5 г/дм³ отработанная прокаленная глина удаляет до 96,7% ионов Cu²⁺ (10 мг/дм³), максимальная сорбционная ёмкость прокалённой при 350°C глины — 0,41 ммоль/г. Она может применяться также как пигментный наполнитель в лакокрасочной промышленности [7].

Была разработана методика [8] синтеза минерально-углеродных сорбентов на основе техногенных отходов: в качестве наполнителя использован пиролизный остаток автомобильных покрышек, а связующим компонентом служат глинистые грунты, полученные при котлованных работах. Процесс включает измельчение, смешивание, экструзию и термообработку в инертной атмосфере. Показано, что состав сорбента существенно влияет на его механическую прочность, пористость и адсорбционные характеристики. Введение 10–25% бентонита заметно усиливает прочность гранул (более чем на 80%) и способствует формированию развитой мезопористой структуры с размерами пор 1–4 нм.

Создан сорбент на основе термически регенерированных отходов бентонитовой глины для удаления метиленового синего из водных растворов. Исследования методом периодической адсорбции показали, что процесс является эндотермическим, необратимым, спонтанным и благоприятным. Модель Фрейндлиха лучше согласуется с экспериментальными данными, чем модель Ленгмюра, при этом максимальная адсорбционная ёмкость составила 34,77 мг/г [9].

Композитный материал, включающий активированный уголь и глину, был получен из отработанной отбельной глины производства оливкового масла через карбонизацию с последующей активацией K₂CO₃. Максимальная адсорбционная ёмкость монослоя достигала 104,83 и 178,64 мг/г для красителей кислотного синего 29 и метиленового голубого соответственно при 30°C [10].

Помимо использования непосредственно глинистых отходов, многие исследователи комбинируют природную глину с другими отходами для получения различных сорбционных материалов.

Кроме глинистых отходов пищевых производств, в мире образуется большое количество глин, загрязнённых нефтепродуктами.

По данным компании Kline [11], ежегодное мировое потребление смазочных масел достигает примерно 40 млн тонн. При этом около 13 млн тонн составляют отработанные масла, из которых около 60% подвергаются сжиганию и лишь около 2,5 млн тонн используются для регенерации. В процессе эксплуатации смазочные масла накапливают загрязнения, окисленные соединения и примеси, что снижает их эксплуатационные свойства и требует замены. Для экономии ресурсов отработанные масла собираются и направляются на регенерацию, однако в странах бывшего СССР перерабатывается лишь около 15% из 1,7 млн тонн, собираемых ежегодно. Низкий уровень утилизации обусловлен техническими, экономическими и инфраструктурными ограничениями: совместная переработка с нефтью затруднена из-за присадок, повреждающих оборудование. Для очистки масел применяются природные сорбенты (глины, цеолиты, бокситы) и синтетические материалы (силикагель, алюмосиликаты) [12]. При этом на каждую тонну очищенного масла приходится 80–140 кг отработанного сорбента, который является токсичным и склонным к самовозгоранию [13].

Основные пути обращения с отработанными нефтесорбентами включают захоронение, деструктивную обработку и регенерацию [14].

Физико-химическая регенерация сорбентов осуществляется с использованием жидких или газообразных реагентов, при этом чаще всего применяются органические растворители, такие как четыреххлористый углерод. Такой подход приводит к образованию значительных объемов жидких отходов, требующих последующей утилизации. Показано, что простая промывка горячей водой или продувка смесью воздуха и водяных паров обеспечивает лишь частичное восстановление сорбента. Однако высокая термоустойчивость минералов позволяет применять термическую обработку, эффективно удаляющую адсорбированные вещества [15].

Современные исследования всё чаще рассматривают методы регенерации с использованием излучения, в частности электромагнитного в сверхвысокочастотном диапазоне. Под воздействием такого излучения происходит разрушение сорбата, а в малых дозах инициируется окисление органических соединений кислородом. Этот подход исключает необходимость применения сложных устройств для поддержания давления и температурных режимов, предотвращает нагрев сорбента и способствует сохранению его структурных свойств, что продлевает срок службы материала. Тем не менее, высокие энергозатраты и необходимость специализированного оборудования остаются ограничивающими факторами [16].

Проблема регенерации отработанных сорбентов остаётся актуальной из-за её сложности, трудоемкости и высокой стоимости, что стимулирует поиск альтернативных методов обработки. Одним из перспективных направлений является использование химических и биохимических преобразований для превращения отходов в новые функциональные материалы. Также изучаются методы комбинированной регенерации, сочетающие термическую и сорбционно-химическую обработку, позволяющие повысить эффективность восстановления. Интерес представляют и подходы с механохимическим воздействием. Все эти

направления открывают перспективы для создания более устойчивых и экономически оправданных технологий обращения с отходами.

Список литературы:

1. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М.: ГЕОС, 2013. 576 с.
2. Golubeva O.Yu., Korytkova E.N., Gusarov V.V. Hydrothermal synthesis of magnesium silicate montmorillonite for polymer-clay nanocomposites // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2005. V. 78, № 1. P. 26–32.
3. Lamrani M., et al. Clay minerals for effective dye and heavy metal removal // *J. Water Environ. Nanotechnol*. 2025. V. 10, № 1. P. 85–107.
4. Handoko O.T., Hasanudin U., Suroso E., et al. Economic and environmental analysis of spent bleaching earth reactivation // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2024. V. 1308. 012061. 11 p.
5. Сапронова Ж.А., Свергузова С.В., Гафаров Р.Р., Лупандина Н.С. Пути декарбонизации производства с использованием отхода отбельной глины // *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. 2024. № 2. С. 51–60.
6. Kurniawan E.S., Saputro E., Siswanti P., Nugroho D.W., et al. Reactivating adsorption capacities of spent bleaching earth for using in crude palm oil industry // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2020. V. 924. 012014. 8 p.
7. Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Гафаров Р.Р., Сапронова Ж.А. Рациональное использование отхода маслоэкстракционного производства — отработанной отбельной глины // *Экология и промышленность России*. 2024. Т. 28, № 7. С. 14–19.
8. Самонин В.В., Подвязников М.Л., Спиридонова Е.А., Хрылова Е.Д., Хохлачев С.П., Гарабаджиу А.В. Получение композиционных сорбционно-активных материалов состава «технический углерод — глинистый материал» из техногенных отходов // *Российский химический журнал*. 2022. № 3. С. 61–69.
9. Shubber M.D.H., Yousefi Kebria D. Recycling the wasted bentonite clay as a low-cost and novel adsorbent for the removal of the methylene blue dye in the aqueous solution // *Advances in Environmental Technology*. 2024. V. 10, № 1. P. 70–84.
10. Marrakchi F., Bouaziz M., Hameed B.H. Activated carbon–clay composite as an effective adsorbent from the spent bleaching sorbent of olive pomace oil: process optimization and adsorption of acid blue 29 and methylene blue // *Chem. Eng. Res. Des.* 2017. V. 128. P. 221–230.
11. The role of EPR in the used oil value chain. Kline Group. URL: https://klinegroup.com/energy/the-role-of-epr-in-the-used-oil-value-chain (дата обращения: 10.06.2025).
12. Технологии регенерации отработанных масел [Электронный ресурс]. 2025. URL: https://www.tqm.by/index.php/tekhpodderzhka/kontrol-parametrov-smazochnykh-materialov/blog/183-tekhnologii-regeneratsii-otrabotannykh-masel (дата обращения: 10.06.2025).

-
13. Sabour M.R., Shahi M. Spent bleaching earth recovery of used motor-oil refinery // Civil Eng. J. 2018. V. 4, № 3. P. 572–584.
 14. Цыбульская О.Н., Ксеник Т.В., Юдаков А.А., Перфильев А.В. Неорганические сорбенты для очистки воды от нефтепродуктов на основе минерального и техногенного сырья: получение, применение, регенерация // Сорбционные процессы и материалы. Вестник ДВО РАН. 2024. № 6. С. 104–126.
 15. Плнасюгин А.С., Сильванович И.А., Михалап Д.П., Немененок Д.Б. Система очистки вод машиностроительного комплекса от нефтепродуктов // Литье и металлургия. 2005. № 2 (34). С. 179–181.
 16. Лоскутова Е.П., Гусаров И.А., Ушакова Е.С. Регенерация углеродных нефтесорбентов // VI Всеросс. конф. «Химия и химическая технология: достижения и перспективы». 2022, 29–30 ноября. С. 1–4.