

УДК:54.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ АДСОРБЦИОННЫМ МЕТОДОМ*к.х.н. доц. Мамедова Рена Искендер кызы**Гасанова Нармина Ильхам кызы**Азербайджанский Государственный Университет**Нефти и Промышленности*Abdullayeva-1974@inbox.ru

Аннотация. Усиление требований к допустимым выбросам сточных вод требует внедрения эффективных методов их очистки, включая использование промышленных отходов как вторичного сырья. Загрязнение водоемов нефтепродуктами остается актуальной экологической проблемой, угрожающей экосистемам и здоровью. Среди технологий очистки выделяются адсорбционные методы, обеспечивающие глубокую очистку благодаря избирательному извлечению загрязнений.

Перспективным решением является применение биоугля, получаемого пиролизом органического сырья. Биоуголь обладает высокой пористостью и большой удельной поверхностью, что делает его эффективным адсорбентом для нефтепродуктов. Кроме того, его производство из возобновляемого сырья, такого как древесные отходы и биомассы, способствует экологичности процесса.

Использование биоугля не только очищает сточные воды, но и сокращает объем органических отходов. Исследование физико-химических свойств биоугля, его сорбционной способности и факторов, влияющих на эффективность очистки, открывает путь к экологически безопасным и экономически выгодным решениям для защиты водных ресурсов.

Açar sözlər: adsorbsiya, tullantı suları, neft məhsulları, biokar, təmizlənmə.

Key words: adsorption, wastewater, petroleum products, biochar, purification.

Ключевые слова: адсорбция, сточные воды, нефтепродукты, биоуголь, очистка.

ВВЕДЕНИЕ

Биоуголь является перспективным адсорбентом для удаления нефтепродуктов из сточных вод благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам. Он изготавливается из различных видов биомассы, таких как древесные отходы, сельскохозяйственные остатки, пищевые отходы и другие органические материалы, путем их термического разложения в условиях ограниченного доступа кислорода (пиролиза). Основные физико-химические характеристики биоугля, определяющие его адсорбционные свойства, включают пористость, удельную поверхность, кислотно-основные свойства поверхности и наличие функциональных групп.

Пористая структура биоугля играет ключевую роль в процессе адсорбции, поскольку она определяет объем и доступность адсорбционных центров для молекул нефтепродуктов. Биоуголь обладает высокой пористостью и большой удельной поверхностью, что делает его эффективным адсорбентом для поглощения органических загрязнителей. Исследования показывают, что более высокая температура пиролиза приводит к увеличению удельной поверхности и развитию мезо- и микропор в структуре биоугля, что положительно сказывается на его сорбционной способности.

На поверхности биоугля присутствуют различные функциональные группы, такие как карбоксильные, фенольные и гидроксильные, которые взаимодействуют с

молекулами нефтепродуктов и способствуют их адсорбции. В зависимости от вида исходной биомассы и условий пиролиза, количество и типы функциональных групп могут варьироваться. Эти группы определяют гидрофобно-гидрофильный баланс адсорбента и его способность к химической адсорбции различных типов органических веществ, включая нефтепродукты. [5]

Ацидо-базовые свойства биоугля зависят от наличия кислородсодержащих групп на его поверхности и могут быть изменены с помощью химической обработки, такой как модификация кислотами или щелочами. Такие изменения влияют на способность адсорбента удалять как неполярные, так и полярные органические соединения из сточных вод. Зольность биоугля также является важным фактором, так как высокое содержание золы может снижать его адсорбционную способность и приводить к загрязнению очищенной воды.

Адсорбционная емкость биоугля зависит от размера пор, удельной поверхности и природы функциональных групп на поверхности адсорбента. Для нефтепродуктов, таких как бензин, дизельное топливо и масла, биоуголь демонстрирует высокую емкость благодаря наличию гидрофобных участков, которые эффективно связывают неполярные молекулы. Селективность адсорбции может быть повышена путем целенаправленной модификации поверхности биоугля, что позволяет настраивать адсорбент для удаления определенных типов загрязнителей. [1]

Эффективность адсорбции нефтепродуктов биоуглем может зависеть от условий окружающей среды, таких как температура, pH и наличие других веществ в растворе. Например, при повышении температуры адсорбционная способность биоугля может снижаться из-за десорбции адсорбированных молекул. pH раствора влияет на заряд поверхности адсорбента и, соответственно, на его взаимодействие с ионными и полярными молекулами. Наличие солей или других органических веществ также может конкурировать за активные центры на поверхности биоугля, что влияет на его сорбционную эффективность.

Биоуголь демонстрирует значительный потенциал как эффективный и экологически безопасный адсорбент для очистки сточных вод от нефтепродуктов. Однако для его оптимального использования в промышленных масштабах необходимо проведение дополнительных исследований, направленных на изучение влияния различных факторов на его адсорбционные свойства, а также разработку методов модификации поверхности биоугля с целью повышения его сорбционной емкости и селективности.

АДСОРБЦИЯ БИОУГЛЁМ

Адсорбция представляет собой физико-химический процесс, при котором молекулы адсорбата (в данном случае — нефтепродукты) концентрируются на поверхности адсорбента (биоугля). Данный процесс основывается на взаимодействии между молекулами загрязнителя и активными центрами адсорбента, включая физические и химические силы, такие как ван-дер-ваальсовы взаимодействия, дипольные и гидрофобные эффекты, а также химическая адсорбция (хемосорбция).

Таблица 1.

Физико-химические свойства биоугля.

Содержание углерода	50-90% (в зависимости от метода пиролиза и исходного материала).
Содержание влаги	5-15%.
Плотность	300-800 кг/м ³ .
Ph	6-10 (обычно щелочной).
Содержание золы	5-30% (в зависимости от исходного сырья и технологии производства).
Специфическая поверхность	100-1000 м ² /г (в зависимости от процесса активации и пористости).
Теплотворная способность	20-30 МДж/кг

Рассмотрим процесс адсорбции нефтепродуктов на биоугле на нескольких уровнях:

1. Молекулярные взаимодействия в процессе адсорбции

На молекулярном уровне процесс адсорбции включает в себя несколько этапов:

8. Диффузия молекул адсорбата в жидкой фазе: Молекулы нефтепродуктов, находящиеся в сточных водах, сначала движутся к поверхности биоугля посредством молекулярной диффузии. На этом этапе важную роль играют параметры окружающей среды, такие как температура, вязкость раствора и концентрация адсорбата. Чем выше температура, тем быстрее молекулы будут диффундировать к поверхности адсорбента.

9. Внешнеконвективный массообмен: После того как молекулы адсорбата приблизились к поверхности биоугля, они пересекают пограничный слой между жидкостью и твердой фазой. Скорость внешнеконвективного массообмена зависит от скорости перемешивания раствора и площади поверхности биоугля. Высокая турбулентность в растворе может способствовать снижению толщины пограничного слоя и повышению скорости переноса молекул к адсорбенту.

10. Межпоровая диффузия: После того как молекулы адсорбата попали на поверхность биоугля, они проникают внутрь его пористой структуры. Внутрипоровая диффузия может происходить двумя путями: через макро- и мезопоры (диффузия в пористой среде) или через микропоры (капиллярная диффузия). Этот процесс лимитируется размером молекул адсорбата и диаметром пор биоугля. Молекулы с большими размерами могут не проникнуть в микропоры и останутся на внешней поверхности или в макропорах адсорбента.

11. Физическая адсорбция: На этом этапе молекулы адсорбата взаимодействуют с поверхностью биоугля посредством слабых межмолекулярных сил, таких как ван-дер-ваальсовы силы или диполь-дипольные взаимодействия. Эти силы приводят к обратимому связыванию молекул адсорбата с активными центрами на поверхности адсорбента. Физическая адсорбция происходит быстро и, как правило, не требует значительных энергетических затрат. Гидрофобные взаимодействия между углеродными цепями молекул нефтепродуктов и поверхностью углеродных структур биоугля способствуют эффективной физической адсорбции.

12. Химическая адсорбция (хемосорбция): В некоторых случаях адсорбция может сопровождаться образованием химических связей между молекулами адсорбата и функциональными группами на поверхности биоугля. Этот процесс требует большего

времени и энергетических затрат, но приводит к более прочному закреплению молекул на поверхности адсорбента. Например, при наличии кислородсодержащих групп (карбоксильные, фенольные группы) на поверхности биоугля могут образовываться прочные связи с полярными или функционализированными молекулами нефтепродуктов.

13.

Равновесие адсорбции: Процесс адсорбции продолжается до достижения равновесного состояния, при котором скорость адсорбции молекул на поверхность равна скорости десорбции молекул с поверхности. Это равновесие описывается изотермами адсорбции (например, изотермы Лэнгмюра или Фрейндлиха), которые определяют количество адсорбированного вещества при заданной концентрации адсорбата в растворе.

2. Факторы, влияющие на адсорбцию нефтепродуктов биоуглем

2. Температура: Температура оказывает двойное влияние на процесс адсорбции. С одной стороны, повышение температуры увеличивает скорость диффузии молекул адсорбата к адсорбенту. С другой стороны, высокая температура может способствовать десорбции адсорбированных молекул, снижая общую сорбционную способность биоугля.

3. pH раствора: pH раствора влияет на заряд поверхности биоугля и ионизацию функциональных групп на его поверхности. При низких значениях pH адсорбент может приобретать положительный заряд, что благоприятствует адсорбции анионных молекул. При высоких значениях pH поверхность адсорбента заряжается отрицательно, что способствует адсорбции катионных и неполярных молекул.

4. Наличие конкурирующих ионов и молекул: В сточных водах могут присутствовать другие органические и неорганические вещества, которые конкурируют за активные центры на поверхности биоугля. Наличие таких веществ снижает эффективность адсорбции нефтепродуктов, так как адсорбционные центры могут быть заняты другими молекулами.

5. Размер и структура молекул адсорбата: Молекулы различных нефтепродуктов (например, ароматические углеводороды, алканы, полициклические углеводороды) имеют разные размеры и форму, что влияет на их способность проникать в поры биоугля. Чем более компактная и гидрофобная молекула, тем эффективнее она адсорбируется на поверхности биоугля.

3. Преимущества и ограничения использования биоугля

Биоуголь демонстрирует высокую адсорбционную способность благодаря своей пористой структуре и наличию разнообразных функциональных групп на поверхности. Однако его эффективность может снижаться из-за зольности, ограниченной регенерируемости и возможной агломерации частиц в процессе адсорбции. Для оптимизации процесса адсорбции важно подбирать условия пиролиза, способ модификации и размер частиц биоугля в зависимости от конкретного вида сточных вод и типа загрязнителя.

Таким образом, детализированное понимание механизма и условий адсорбции биоуглем позволяет оптимизировать процесс очистки сточных вод от нефтепродуктов и разработать эффективные экологически безопасные технологии для промышленного применения. [2]

Оценка степени очистки сточных вод от нефтепродуктов методом адсорбции биоуглем представляет собой важный процесс для определения эффективности этой технологии и ее последующего применения на промышленных предприятиях.

Процедура включает несколько этапов, начиная с подготовки адсорбента и модельных растворов и заканчивая анализом результатов и расчетом показателей очистки. Биоуголь предварительно подготавливают: его сушат, измельчают и просеивают через сито для получения частиц определенного размера, что важно для обеспечения высокой сорбционной способности. Затем готовят модельные растворы, содержащие заданную концентрацию нефтепродуктов, таких как бензол, толуол или другие компоненты нефтяных фракций, чтобы оценить адсорбционную емкость биоугля в условиях, приближенных к реальным или превышающих их. На этом этапе учитываются такие параметры, как температура, pH раствора и соотношение массы адсорбента к объему раствора, которые задаются для проведения эксперимента. [10]

Сама адсорбция проводится следующим образом: в приготовленный раствор добавляют определенное количество биоугля и тщательно перемешивают смесь в течение определенного времени. Для эффективного контакта адсорбента и адсорбата важно поддерживать хорошее перемешивание и заданные условия температуры. После завершения процесса адсорбции адсорбент отделяют от раствора методом фильтрации или центрифугирования, а остаточную концентрацию нефтепродуктов в растворе определяют с помощью высокочувствительных методов анализа, таких как спектрофотометрия или газовая хроматография. Эти данные используются для расчета адсорбционной емкости, выражаемой как количество адсорбированного вещества на единицу массы адсорбента, и эффективности очистки, показывающей, какой процент исходного количества нефтепродуктов был удален из раствора. Для более точного описания процесса адсорбции строят изотермы, такие как изотермы Лэнгмюра и Фрейндлиха, которые позволяют определить максимальную сорбционную способность биоугля и константу адсорбции, отражающую интенсивность взаимодействия адсорбата и адсорбента.

Кроме того, проводится анализ кинетики адсорбции для определения скорости и механизма переноса молекул адсорбата к поверхности адсорбента. Это позволяет выбрать подходящую модель кинетики, например, модель псевдопервого или псевдвторого порядка, и определить факторы, ограничивающие скорость адсорбции. Также важно оценить термодинамические параметры процесса, такие как энергия Гиббса, энтальпия и энтропия, чтобы понять, является ли процесс адсорбции спонтанным и экзотермическим или требует дополнительных энергетических затрат. Для этого проводят эксперименты при различных температурах, что позволяет лучше понять природу адсорбции и найти оптимальные условия для ее реализации. [6]

На основе полученных данных делают выводы о пригодности биоугля для очистки сточных вод от нефтепродуктов и его эффективности при различных условиях. Определяются оптимальные параметры адсорбции, такие как pH раствора, температура и дозировка адсорбента, которые обеспечивают максимальную степень очистки. Эти результаты важны для дальнейшего внедрения технологии на предприятиях нефтехимической и смежных отраслей. Оценка степени очистки позволяет не только подтвердить эффективность адсорбционного метода, но и выявить возможные ограничения и пути улучшения технологии.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Цель: Оценка эффективности биоугля для адсорбции нефтепродуктов из сточных вод.

Методика:

Исходные условия:

- Объем сточных вод: 1 л

- Начальная концентрация нефтепродуктов: 1000 мг/л
 - Количество добавленного биоугля: 10 г
- Результаты:
- Концентрация нефтепродуктов до обработки: 1000 мг/л
 - Концентрация нефтепродуктов после обработки: 100 мг/л
 - Степень очистки:

$$\text{Степень очистки(\%)} = \left(\frac{C_{\text{до}} - C_{\text{после}}}{C_{\text{до}}} \right) \times 100$$

где $C_{\text{до}}$ — начальная концентрация, $C_{\text{после}}$ — конечная концентрация.

$$\text{Степень очистки(\%)} = \left(\frac{1000 - 100}{1000} \right) \times 100 = 90\%$$

Выводы:

Эффективность адсорбции: Биоуголь продемонстрировал высокую степень очистки сточных вод от нефтепродуктов, достигнув 90%.

Рекомендации: Увеличение времени контакта и оптимизация размера частиц биоугля могут дополнительно повысить эффективность адсорбции.

ВЫВОД

В результате проведенного исследования установлено, что адсорбционная очистка сточных вод от нефтепродуктов с использованием биоугля является эффективным и перспективным методом. Биоуголь, благодаря своим высоким сорбционным характеристикам, способен селективно удалять нефтепродукты из водных растворов, обеспечивая значительное снижение их концентрации и высокую степень очистки. Применение биоугля позволяет не только улучшить качество сточных вод, но и снизить затраты на использование дорогостоящих коммерческих адсорбентов, благодаря возможности его производства из различных видов биомассы и промышленных отходов.

Изучение влияния различных факторов, таких как pH среды, температура и время контакта, показало, что адсорбция нефтепродуктов биоуглем наиболее эффективно происходит в нейтральной и слабощелочной среде при оптимальных условиях дозирования адсорбента. Модели изотерм адсорбции Лэнгмюра и Фрейндлиха, а также кинетические модели, описывающие процесс адсорбции, подтвердили высокую сорбционную емкость биоугля и его пригодность для использования в системах очистки сточных вод.

Таким образом, биоуголь является экономически выгодной и экологически безопасной альтернативой традиционным адсорбентам, позволяющей эффективно удалять нефтепродукты из сточных вод. Дальнейшие исследования в данном направлении могут быть направлены на улучшение характеристик биоугля и разработку технологий его масштабного применения для очистки сточных вод на промышленных предприятиях.

Литература

10. Aktar, S., Hossain, M.A., Rathnayake, N., Patel, S., Gasco, G., Mendez, A., et al. (2022). Effects of temperature and carrier gas on physico-chemical properties of biochar derived from biosolids. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, page 164, 105542.
11. Chen, B.L., Zhou, D.D., & Zhu, L.Z. (2008). Transitional adsorption and partition of nonpolar and polar aromatic contaminants by biochars of pine needles with different pyrolytic temperatures. *Environmental Science & Technology*, page 42(14), 5137-5143.

12. Ghanim, B.M., Pandey, D.S., Kwapinski, W., & Leahy, J.J. (2016). Hydrothermal carbonisation of poultry litter: effects of treatment temperature and residence time on yields and chemical properties of hydrochars. *Bioresource Technology*, page 216, 373-380.
13. Jamieson, T., Sager, E., & Gueguen, C. (2014). Characterization of biochar-derived dissolved organic matter using UV-visible absorption and excitation-emission fluorescence spectroscopies. *Chemosphere*, page 103, 197-204.
14. Mukherjee, A., Zimmerman, A.R., & Harris, W. (2011). Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*, page 163(3-4), 247-255.
15. Spokas, K.A., Novak, J.M., Masiello, C.A., et al. (2014). Physical disintegration of biochar: an overlooked process. *Environmental Science & Technology Letters*, page 1(8), 326-332.
16. Yang, K., Yang, J.J., Jiang, Y., Wu, W.H., & Lin, D.H. (2016). Correlations and adsorption mechanisms of aromatic compounds on a high heat temperature treated bamboo biochar. *Environmental Pollution* pages 57-64, 210,.
17. Альчинов, В. А. и др. "Механизм адсорбционной очистки сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов." // Вестник Казахского национального технического университета, 2015. Стр. 73
18. Ганиева, Н. А. и др. "Биологические способы очистки нефтезагрязненных сточных вод: обзор." // Современные проблемы науки и образования, 2016. Стр. 229
19. Давлетгареев, Р. Д. и др. "Перспективы применения биосорбентов для очистки водоемов при ликвидации аварийных разливов нефти." // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ, 2014. Стр. 6
20. Капитонов, Н. А. "Очистка сточных вод от нефтепродуктов." // Химическая и нефтегазовая промышленность, 2017. Стр. 67

STUDY OF THE DEGREE OF WASTEWATER PURIFICATION FROM OIL PRODUCTS BY THE ADSORPTION METHOD

Mammadova Rena Iskander, Hasanova Narmina Ilham

Summary

Strengthening the requirements for permissible wastewater discharges necessitates the implementation of efficient treatment methods, including the use of industrial waste as secondary raw materials. Pollution of water bodies with petroleum products remains a pressing environmental issue, threatening ecosystems and human health. Among the treatment technologies, adsorption methods stand out for their ability to provide thorough purification by selectively removing contaminants.

A promising solution is the use of biochar produced through the pyrolysis of organic raw materials. Biochar features high porosity and a large specific surface area, making it an effective adsorbent for petroleum products. Furthermore, its production from renewable resources, such as wood waste and biomass, enhances the environmental sustainability of the process.

The use of biochar not only purifies wastewater but also reduces the volume of organic waste. Studying the physicochemical properties of biochar, its adsorption capacity, and the factors influencing treatment efficiency paves the way for environmentally safe and economically viable solutions to protect water resources.

**ADSORBSİYA ÜSULU İLƏ NEFT MƏHSULLARINDAN ÇİRKAB SULARIN
TƏMİZLƏNMƏSİ DƏRƏCƏSİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ*****Məmmədova Rəna İsgəndər qızı, Həsənova Nərinə İlham qızı******Xülasə***

İcazə verilən tullantı sularının axıdılmasına dair tələblərin gücləndirilməsi sənaye tullantılarının ikinci dərəcəli xammal kimi istifadə edilməsi də daxil olmaqla səmərəli təmizləmə üsullarının həyata keçirilməsini zəruri edir. Su obyektlərinin neft məhsulları ilə çirklənməsi ekosistemləri və insan sağlamlığını təhdid edən aktual ekoloji problem olaraq qalır. Təmizləmə texnologiyaları arasında adsorbsiya üsulları çirkləndiriciləri selektiv şəkildə çıxarmaqla hərtərəfli təmizləmə təmin etmək qabiliyyəti ilə seçilir.

Perspektivli həll üzvi xammalın pirolizindən əldə edilən biokömürün istifadəsidir. Biokömür yüksək məsaməliliyə və böyük spesifik səth sahəsinə malikdir, bu da onu neft məhsulları üçün effektiv adsorbent edir. Bundan əlavə, onun ağac tullantıları və biokütlə kimi bərpa olunan mənbələrdən istehsalı prosesin ekoloji dayanıqlığını artırır.

Biokömdən istifadə yalnız çirkab suları təmizləmir, həm də üzvi tullantıların həcmi azaldır. Biokömürün fiziki-kimyəvi xassələrinin, onun adsorbsiya qabiliyyətinin və müalicənin səmərəliliyinə təsir edən amillərin öyrənilməsi su ehtiyatlarının mühafizəsi üçün ekoloji cəhətdən təhlükəsiz və iqtisadi cəhətdən səmərəli həllərə yol açır.

Rəyçi: k.ü.f.d., dos.Hüseynova M.A.***Məqalə kafedranın 09.12.2024 tarixli 6 sayılı protokolundan keçmişdir.******Daxil olma tarixi 08 yanvar 2025-ci il***