

KİMYA ELMLƏRİ**УДК:54.****ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ
МЕТОДОМ СОРБЦИИ**

*доцент, к.х.н., Маммедова Рена Искендер кызы,
Барихаишвили Кахи Зазаевич
Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности
Abdullayeva-1974@inbox.ru*

Аннотация: Загрязнение промышленных сточных вод нефтепродуктами является одной из наиболее актуальных экологических проблем современности. Основные источники нефтяных загрязнителей связаны с деятельностью предприятий нефтехимической, машиностроительной и металлургической отраслей, а также с функционированием транспортной и энергетической инфраструктуры.

Попадание нефтепродуктов в сточные воды происходит в результате технологических процессов, аварийных утечек и недостаточной эффективности очистных сооружений. Эти факторы приводят к существенному антропогенному воздействию на водные экосистемы, создавая угрозу для их устойчивого функционирования и вызывая долговременные негативные последствия для окружающей среды и здоровья человека.

Сорбционная технология очистки сточных вод от нефтепродуктов является одним из наиболее эффективных методов удаления органических загрязнений. Эти технологии основаны на способности сорбентов адсорбировать и удерживать молекулы нефтепродуктов на своей поверхности или в пористой структуре. В отличие от других методов, сорбционные процессы характеризуются сравнительной простотой реализации, экономической целесообразностью и универсальностью. Это позволяет применять их в целях очищения сточных вод различного химического состава и степени загрязнения.

Активированный уголь отличается не только высокой удельной поверхностью, но и многообразием активных центров на своей поверхности, что способствует эффективной адсорбции различных типов углеводородов и нефтепродуктов. Благодаря высокой пористости активированный уголь способен поглощать как низкомолекулярные соединения, так и более крупные молекулы нефтепродуктов.

Помимо этого, данный сорбент обладает высокой химической и термической стабильностью, что позволяет его использовать в широком диапазоне температур и агрессивных сред. Важным преимуществом является возможность многократной регенерации активированного угля с помощью термических, химических или паровых методов, что делает его экономически выгодным сорбентом для многократного использования в процессах очистки сточных вод.

Его универсальность и способность эффективно адсорбировать различные загрязнители делают активированный уголь одним из самых востребованных сорбентов в промышленной экологии, особенно при очистке воды от нефтепродуктов.

Açar sözlər: sorbsiya, tullantı suları, neft məhsulları, aktivləşdirilmiş karbon.

Key words: sorption, wastewater, petroleum products, activated carbon.

Ключевые слова: сорбция, сточные воды, нефтепродукты, активированный уголь.

ВВЕДЕНИЕ

Активированный уголь представляет собой один из наиболее распространенных и эффективных сорбентов, применяемых для удаления нефтепродуктов из сточных вод. Его уникальные физико-химические свойства, такие как высокая удельная поверхность и пористая структура, обеспечивают значительную адсорбционную способность, что делает его идеальным материалом для очистки вод от углеводородов.

Активированный уголь обладает сложной пористой структурой, состоящей из микропор, мезопор и макропор, что значительно увеличивает его общую площадь поверхности до 500-1500 м²/г. Эта структура позволяет эффективно адсорбировать молекулы различных размеров, включая как низкомолекулярные соединения, так и более крупные молекулы нефтепродуктов. Химическая и термическая стабильность активированного угля позволяет использовать его в широком диапазоне температур и pH, а наличие активных функциональных групп на поверхности улучшает взаимодействие с загрязнителями [1].

Исследования показывают, что активированный уголь может эффективно адсорбировать как алифатические, так и ароматические углеводороды, такие как бензин, дизельное топливо и мазут. Механизм адсорбции включает физическую и хемосорбцию, где первая основана на слабых межмолекулярных взаимодействиях, а вторая — на более прочных химических связях. Эффективность сорбции нефтепродуктов зависит от ряда факторов, таких как концентрация загрязняющих веществ, температура и pH среды, что делает процесс очистки адаптивным к различным условиям.

В процессе очистки сточных вод активированный уголь может использоваться как в виде суспензии, так и в виде гранулированного материала. Процесс адсорбции позволяет удалить до 95% нефтепродуктов, в зависимости от условий и характеристик загрязняющих веществ. После адсорбции углеводородов активированный уголь может быть подвергнут регенерации, что позволяет значительно снизить эксплуатационные затраты. Методы регенерации могут включать термические и химические процессы, что делает активированный уголь экономически выгодным для многократного использования [2].

Использование активированного угля в процессах очистки сточных вод имеет ряд преимуществ, включая высокую эффективность удаления нефтепродуктов, экологическую безопасность и возможность многократного использования. Однако следует учитывать и ограничения этого метода, такие как высокая стоимость активированного угля по сравнению с некоторыми другими сорбентами и необходимость контроля за состоянием и регенерацией материала для поддержания его эффективности.

Активированный уголь является одним из наиболее эффективных и широко используемых сорбентов для очистки сточных вод от нефтепродуктов благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам. Его применение позволяет достигнуть высоких уровней очистки, что делает его незаменимым компонентом в системах водоотведения и в обеспечении экологической безопасности. Исследования в данной области продолжаются, и совершенствование методов использования активированного угля открывает новые горизонты для эффективной борьбы с загрязнением водоемов [3].

СОРБЦИЯ АКТИВИРОВАННЫМ УГЛЕМ

Процесс сорбции нефтепродуктов активированным углем основан на адсорбции молекул углеводородов на пористой поверхности угля. Благодаря высокой удельной

поверхности и развитой системе пор, активированный уголь эффективно захватывает молекулы нефтепродуктов через физические (ван-дер-ваальсовы силы) и химические (хемосорбция) взаимодействия. Загрязнители проникают в микропоры угля, где удерживаются, что приводит к очистке воды от нефтепродуктов [4].

Таблица 1.

Физико-химические свойства биоугля.

Содержание углерода	85-95% (в зависимости от исходного материала и технологии активации).
Содержание влаги	3-8%.
Плотность	200-600 кг/м ³ (с учетом пространства между частицами)
Рн	4-11 (в зависимости от способа активации).
Содержание золы	1-15% (в зависимости от исходного сырья и технологии активации).
Специфическая поверхность	500-2000 м ² /г (в зависимости от типа угля и метода активации).
Теплотворная способность	25-30 МДж/кг

Ниже можно ознакомиться с процессом сорбции нефтепродуктов на активированном угле на разных уровнях:

I. Молекулярные взаимодействия в процессе сорбции

На молекулярном уровне процесс адсорбции включает в себя несколько этапов:

1. **Диффузия загрязнителей:** Когда сточные воды вступают в контакт с активированным углем, молекулы нефтепродукта диффундируют из раствора к поверхности угля. Диффузия может происходить как в газовой, так и в жидкой фазе. Скорость диффузии зависит от концентрации загрязняющих веществ, температуры и свойств угля.

2. **Физическая адсорбция:** В ходе этого процесса образуются временные взаимодействия между молекулами нефтепродукта и поверхностью активированного угля. Этот процесс включает в себя:

Ван-дер-ваальсовы силы: Слабые, но многочисленные силы, которые действуют между молекулами, позволяют им оседать на поверхности угля.

Гидрофобные взаимодействия: Нефтепродукты, как правило, являются гидрофобными (неполярными), и их молекулы стремятся избежать контакта с водой, что способствует их адсорбции на угле.

3. **Хемосорбция:** Хемосорбция включает в себя более сильные химические взаимодействия, приведенные ниже:

Ковалентные связи: В некоторых случаях, особенно при наличии активных функциональных групп на поверхности угля, может происходить образование ковалентных связей между молекулами нефтепродуктов и углем.

Ионные взаимодействия: Если загрязнитель имеет полярные или ионные группы, может возникнуть электростатическое взаимодействие с активными центрами на поверхности угля.

4. **Сорбция в порах:** После адсорбции на поверхности, молекулы нефтепродуктов могут проникать внутрь микропор и мезопор активированного угля.

Это увеличение доступного объема для адсорбции позволяет удерживать большее количество загрязняющих веществ. Поры действуют в роли «ловушек», которые задерживают молекулы за счет сил притяжения.

5. 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.

6. Заполнение пор и динамика равновесия: С увеличением концентрации адсорбированных молекул на поверхности угля и внутри пор, система достигает равновесия, когда скорость адсорбции равна скорости десорбции (выталкивания молекул из угля обратно в раствор). Это равновесие может зависеть от условий, таких как температура, pH и концентрация загрязнителей

7. Образование сорбционного слоя: В результате взаимодействия образуется сорбционный слой, который препятствует дальнейшему взаимодействию молекул загрязнителей с углем. Этот слой может изменять свойства поверхности угля, например, изменяя его pH [5].

II. Факторы, влияющие на сорбцию нефтепродуктов активированным углем

1. Температура: Температура влияет на скорость молекулярного движения и, следовательно, на диффузию загрязнителей к поверхности угля. В общем, увеличение температуры может повышать скорость адсорбции, но при слишком высоких температурах может происходить десорбция.

2. pH среды: Изменение pH может повлиять на заряд поверхности активированного угля и на ионное состояние нефтепродуктов, что, в свою очередь, может изменить адсорбционные взаимодействия. Например, в кислой среде могут образовываться ионные взаимодействия между углем и полярными группами на молекулах нефтепродуктов.

3. Время контакта: Время, в течение которого сточные воды находятся в контакте с активированным углем, также имеет значение. Достаточно длительное время контакта позволяет достичь максимального уровня сорбции, тогда как короткое время может не обеспечить полного захвата загрязнителей.

4. Химический состав сточных вод: Состав сточных вод, включая тип и концентрацию нефтепродуктов, влияет на сорбцию. Разные молекулы нефтепродуктов имеют различные физико-химические свойства (например, размер, полярность), что может оказывать влияние на их способность адсорбироваться [6].

III. Преимущества и ограничения использования биоугля

Использование активированного угля для адсорбции нефтепродуктов из сточных вод является эффективным и широко используемым методом очистки, имеющим как преимущества, так и ограничения. Прежде всего, одним из основных преимуществ активированного угля является его высокая адсорбционная способность благодаря большой удельной поверхности и развитой пористой структуре. Это позволяет эффективно адсорбировать разнообразные нефтепродукты и другие органические загрязнители, что делает данный метод привлекательным для очистки различных типов сточных вод, включая производственные, городские и нефтехимические [7].

Кроме того, процесс сорбции активированным углем отличается сравнительной простотой в реализации. Он не требует сложного оборудования, что упрощает его интеграцию в существующие системы очистки. Также, важную роль играет экономическая выгода, так как при правильной эксплуатации активированный уголь может стать экономически эффективным решением для очистки сточных вод. Более того, активированный уголь обладает возможностью регенерации, что позволяет его повторное использование и, как следствие, снижение общих затрат на очистку. Также стоит отметить, что этот метод не приводит к образованию токсичных побочных продуктов, что делает его экологически безопасным [8].

Тем не менее, у использования активированного угля также имеет ограничения. Высокая концентрация загрязнителей является одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность активированного угля. При наличии большого количества нефтепродуктов сорбция может стать менее эффективной из-за заполнения пор и истощения активных центров. Помимо этого требуется частая замена или регенерация активированного угля, что может увеличить эксплуатационные расходы [9].

Другим важным аспектом является ограниченная селективность активированного угля. В сложных смесях загрязнителей он может не всегда эффективно избирать нефтепродукты, так как другие вещества могут конкурировать за активные центры. Кроме того, эффективность сорбции может значительно варьироваться в зависимости от условий среды, таких как температура и pH, что требует тщательного контроля этих параметров. Также стоит отметить, что отработанный активированный уголь, содержащий токсичные вещества, требует соблюдения определенных норм и стандартов при утилизации, что может усложнить процесс.

В заключение, использование активированного угля для сорбции нефтепродуктов из сточных вод является эффективным и практичным методом очистки, который обладает значительными преимуществами. Однако необходимо учитывать и его ограничения, такие как необходимость в регулярной замене и чувствительность к условиям окружающей среды. Для оптимизации процессов очистки сточных вод может потребоваться применение комбинации различных технологий и методов, что обеспечит более комплексный подход к решению проблемы загрязнения [10, 11].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Цель: Оценка эффективности активированного угля для сорбции нефтепродуктов, содержащихся в промышленных сточных водах.

Методика:

Лабораторные условия:

Объем сточной воды: 1 литр.

Концентрация нефтепродуктов в исходной воде: 80 мг/л.

Масса активированного угля: 5 г.

Результаты:

Концентрация нефтепродуктов после: 15 мг/л.

Эффективность очистки:

$$\eta = \frac{(C_{\text{нач}} - C_{\text{очищ}})}{C_{\text{нач}}} \times 100\%$$

где η – эффективность очистки (%), $C_{\text{нач}}$ – концентрация нефтепродуктов в воде до анализа мг/л, $C_{\text{очищ}}$ – концентрация нефтепродуктов в воде после анализа мг/л.

$$\eta = \frac{(80 - 15)}{80} \times 100\% = 81,25\%$$

В лабораторных условиях, при объёме воды 1 литр и использовании 5 г активированного угля, концентрация нефтепродуктов была снижена с 80 мг/л до 15 мг/л, что дало степень очистки примерно 81.25%.

ВЫВОД

В ходе анализа использования активированного угля для сорбции нефтепродуктов из сточных вод можно сделать несколько ключевых выводов, подчеркивающих его роль в современных технологиях очистки. Активированный уголь представляет собой эффективный сорбент, обладающий высокой сорбционной способностью благодаря своей большой удельной поверхности и развитой пористой структуре. Это делает его особенно пригодным для адсорбции разнообразных нефтепродуктов, что подтверждает его широкое применение в очистных процессах различных типов сточных вод.

Одним из главных преимуществ активированного угля является его относительная простота в использовании и экономическая эффективность. Процесс сорбции не требует сложного оборудования, что облегчает интеграцию этого метода в существующие системы очистки. Способность активированного угля к регенерации также способствует снижению эксплуатационных затрат и делает его более устойчивым к постоянным нагрузкам.

Тем не менее, необходимо учитывать и ограничения, связанные с использованием активированного угля. Высокие концентрации нефтепродуктов могут негативно сказаться на эффективности сорбции, что требует регулярного мониторинга и контроля условий окружающей среды. Ограниченная селективность и необходимость в регулярной замене или регенерации также являются факторами, которые могут увеличить эксплуатационные расходы и усложнить процесс очистки.

В заключение, активированный уголь остаётся важным инструментом в борьбе с загрязнением сточных вод нефтепродуктами, однако для оптимизации его применения необходимо учитывать как преимущества, так и ограничения. Это позволит разработать более комплексные и эффективные стратегии очистки, обеспечивающие высокий уровень защиты окружающей среды и улучшение качества воды.

Литература

1. Akhter, M. S., & Saha, P. K. (2019). Activated carbon as an adsorbent for removal of organic pollutants from wastewater: A review. *Journal of Environmental Management*, 233, 192-205.
2. Yang, Y., & Zhao, H. (2018). Removal of organic pollutants from wastewater using activated carbon: A review. *Chemical Engineering Journal*, 351, 233-248.
3. Mohan, D., & Pittman, C. U. Jr. (2006). Activated carbon for water treatment: A review of the literature. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 36(4), 289-345.
4. Khan, S., & Bhatti, I. A. (2020). Sorption of oil from wastewater using activated carbon. *Desalination and Water Treatment*, 204, 194-207.
5. Namasivayam, C., & Kavitha, D. (2002). Removal of oil from wastewater by adsorbents. *Chemosphere*, 47(5), 789-797.
6. Wang, J., & Chen, C. (2009). Removal of organic pollutants from aqueous solutions using activated carbon. *Environmental Science and Technology*, 43(2), 405-410.

7. Pérez, M. A., & Olguín, M. T. (2020). Removal of petroleum hydrocarbons from wastewater using activated carbon. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101013.
8. Федоров, А. Н., & Михайлов, И. А. (2018). Технология очистки сточных вод от нефтепродуктов с использованием активированного угля. *Журнал прикладной химии*, 91(2), 228-234.
9. Беляев, В. И. (2020). Использование активированного угля для очистки сточных вод. *Экология и промышленность России*, 24(6), 39-43.
10. Смирнов, Е. В. (2019). Методы удаления нефтепродуктов из сточных вод: состояние и перспективы. *Водные ресурсы*, 46(2), 237-245.
11. Петрова, Т. А., & Кузнецова, А. В. (2021). Сорбция нефтепродуктов на активированном угле: механизмы и технологии. *Научный вестник Московского университета, Серия 2: Химия*, 62(1), 85-92.

SƏNAYE TULLANTI SULARININ NEFT MƏHSULLARINDAN SORBSİYA METODU İLƏ TƏMİZLƏNMƏSİ

Məmmədova Rəna İskəndər qızı, Barixəşvili Kaxi Zazaeviç
Xülasə

Sənaye tullantı sularının neft məhsulları ilə çirklənməsi müasir dövrün ən aktual ekoloji problemlərindən biridir. Neft çirkləndiricilərinin əsas mənbələri neft-kimya, maşınqayırma və metallurgiya sahələrində fəaliyyət göstərən müəssisələr, eləcə də nəqliyyat və enerji infrastrukturunun fəaliyyəti ilə bağlıdır.

Neft məhsullarının tullantı sularına düşməsi texnoloji proseslər, qəza sızmaları və təmizləyici qurğuların qeyri-kafi səmərəliliyi nəticəsində baş verir. Bu amillər su ekosistemlərinə əhəmiyyətli antropogen təsir göstərir, onların dayanıqlı fəaliyyətinə təhlükə yaradır və ətraf mühit üçün uzunmüddətli mənfi nəticələrə, həmçinin insan sağlamlığına ziyan vurur.

Tullantı sularını neft məhsullarından təmizləmək üçün sorbsiya texnologiyası üzvi çirkləndiricilərin çıxarılmasında ən səmərəli metodlardan biridir. Bu texnologiyalar sorbentlərin neft məhsullarının molekullarını öz səthində və ya məsaməli strukturunda adsorbsiya edərək saxlamaq qabiliyyətinə əsaslanır. Digər metodlardan fərqli olaraq, sorbsiya prosesləri nisbətən sadə tətbiq olunma texnologiyası, iqtisadi cəhətdən məqsədəuyğunluğu və universallığı ilə seçilir. Bu isə onları müxtəlif kimyəvi tərkibə və çirklənmə dərəcəsinə malik tullantı sularının təmizlənməsində tətbiq etməyə imkan yaradır.

Aktivləşdirilmiş kömür yüksək xüsusi səthi ilə yanaşı, səthində olan müxtəlif aktiv mərkəzlərlə də fərqlənir ki, bu da müxtəlif tip karbohidrogenlərin və neft məhsullarının səmərəli adsorbsiyasına şərait yaradır. Yüksək məsaməliliyi sayəsində aktivləşdirilmiş kömür həm aşağı molekulyar birləşmələri, həm də daha iri molekulyar neft məhsullarını udmaq qabiliyyətinə malikdir.

Bundan əlavə, bu sorbent yüksək kimyəvi və istilik sabitliyinə malikdir ki, bu da onu geniş temperatur diapazonunda və aqressiv mühitlərdə istifadə etməyə imkan verir. Əhəmiyyətli üstünlüklərdən biri aktivləşdirilmiş kömürün termik, kimyəvi və ya buxar üsulları ilə dəfələrlə regenerasiya olunma imkanının olmasıdır ki, bu da onu tullantı sularının təmizlənməsi proseslərində təkrar istifadə üçün iqtisadi baxımdan sərfəli sorbent edir.

Onun universallığı və müxtəlif çirkləndiriciləri səmərəli adsorbsiya etmə qabiliyyəti aktivləşdirilmiş kömürü sənaye ekologiyasında, xüsusilə də suyun neft məhsullarından təmizlənməsində ən çox tələb olunan sorbentlərdən birinə çevirir.

TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER FROM PETROLEUM PRODUCTS USING THE SORPTION METHOD

Mammadova Rana Iskandar, Barikhashvili Kakhi Zazaevich

Summary

The contamination of industrial wastewater with petroleum products is one of the most pressing environmental issues of our time. The main sources of petroleum pollutants are associated with the activities of enterprises in the petrochemical, mechanical engineering, and metallurgical industries, as well as the operation of transportation and energy infrastructure.

The entry of petroleum products into wastewater occurs as a result of technological processes, accidental leaks, and the insufficient efficiency of treatment facilities. These factors cause significant anthropogenic impacts on aquatic ecosystems, endanger their sustainable functioning, and lead to long-term negative consequences for the environment and human health.

The sorption technology for treating wastewater from petroleum products is one of the most effective methods for removing organic pollutants. These technologies are based on the ability of sorbents to adsorb and retain petroleum product molecules on their surface or within their porous structure. Unlike other methods, sorption processes are characterized by relative simplicity of implementation, economic feasibility, and versatility. This makes them suitable for cleaning wastewater with various chemical compositions and levels of contamination.

Activated carbon is distinguished not only by its high specific surface area but also by the diversity of active centers on its surface, which enables efficient adsorption of various types of hydrocarbons and petroleum products. Due to its high porosity, activated carbon can absorb both low-molecular-weight compounds and larger molecules of petroleum products.

In addition, this sorbent exhibits high chemical and thermal stability, allowing its use across a wide range of temperatures and aggressive environments. A significant advantage is the ability to regenerate activated carbon multiple times using thermal, chemical, or steam methods, making it an economically advantageous sorbent for repeated use in wastewater treatment processes.

Its versatility and ability to efficiently adsorb various pollutants make activated carbon one of the most sought-after sorbents in industrial ecology, particularly in the purification of water from petroleum products.

Rəyçi k.ü.f.d, Abdullayeva K.S.

Məqalə kafedranın 09.12.2024 tarixli 6 sayılı protokolundan keçmişdir.

Daxil olma tarixi 08 yanvar 2025 –ci il