

ХАБИБРАХМАНОВА Е.Н., аспирант (КНИТУ)
научный руководитель ШАЙХИЕВ И.Г., д.т.н., профессор (КНИТУ)
г. Казань

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНОПЛЯНОЙ КОСТРЫ В КАЧЕСТВЕ СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД

Актуальность проблемы очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов (ИТМ) обусловлена их высокой токсичностью, способностью к биоаккумуляции и устойчивостью в окружающей среде. Существующие методы очистки (мембранные, химические, электрохимические) зачастую требуют значительных энергозатрат и использования дорогостоящих реагентов, что ограничивает их широкое применение. В связи с этим разработка и внедрение эффективных, недорогих и экологически безопасных сорбционных технологий, соответствующих критериям Наилучших Доступных Технологий (НДТ), является одной из приоритетных задач [1].

В современной науке об охране окружающей среды активно развивается направление, связанное с применением сельскохозяйственных и промышленных отходов в качестве сорбентов для очистки водных сред от различных поллютантов [2-5]. Многочисленные исследования демонстрируют, что большая часть агроотходов уже апробирована в качестве сорбционных материалов. В рамках этого тренда формируется перспективная ниша — использование биомассы и отходов переработки прядильных культур [6-8].

Целью данного исследования являлась оценка эффективности использования конопляной костры (отходов переработки биомассы технической конопли) в качестве сорбционного материала (СМ) для удаления ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} и Ni^{2+} из модельных водных растворов.

Конопляная костра представляет собой дешевый, возобновляемый материал природного происхождения. В работе исследовался нативный материал и его модифицированные формы, полученные обработкой 3%-ми водными растворами H_2SO_4 и NaOH . Фракционный состав исходного сорбента характеризовался преобладанием частиц размером 1-2 мм (40,5%). Определено, что зольность исследуемого материала составила 18,5%, влажность СМ – 6,5%.

На первом этапе работы были построены изотермы адсорбции ионов Ni^{2+} , Cu^{2+} и Zn^{2+} нативной и модифицированной конопляной кострой. Для этого использовали серию растворов с начальной концентрацией ИТМ в диапазоне от 5 до 2000 мг/дм³. На основе полученных экспериментальных данных о равновесной концентрации и величине сорбционной емкости (A) для каждого ИТМ строились соответствующие изотермы. На рисунке 1 представлены изотермы адсорбции нативной конопляной кострой.

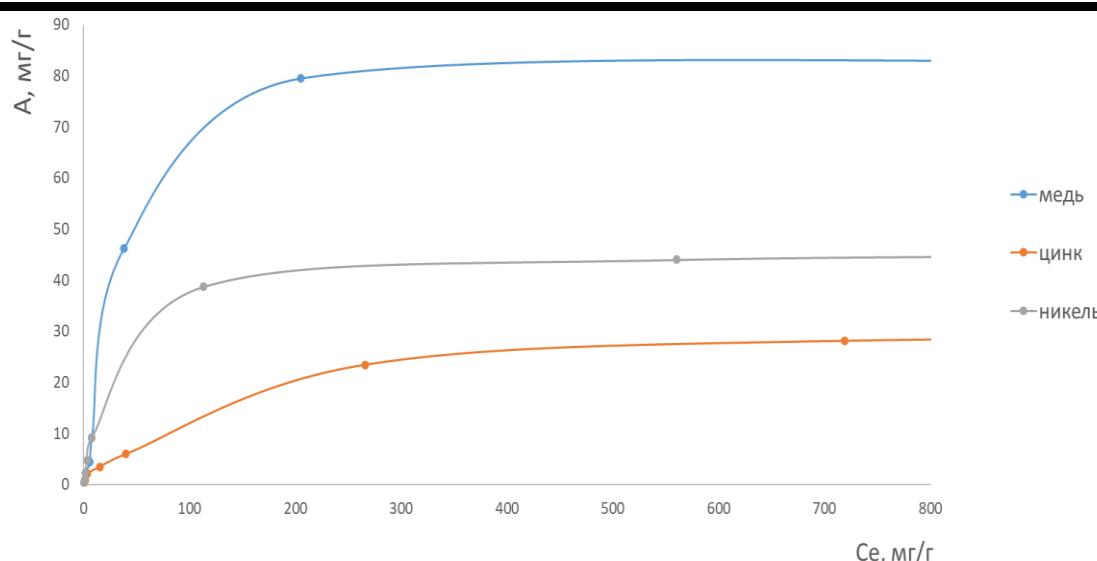


Рисунок 1. Изотерма сорбции ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} в режиме статической адсорбции

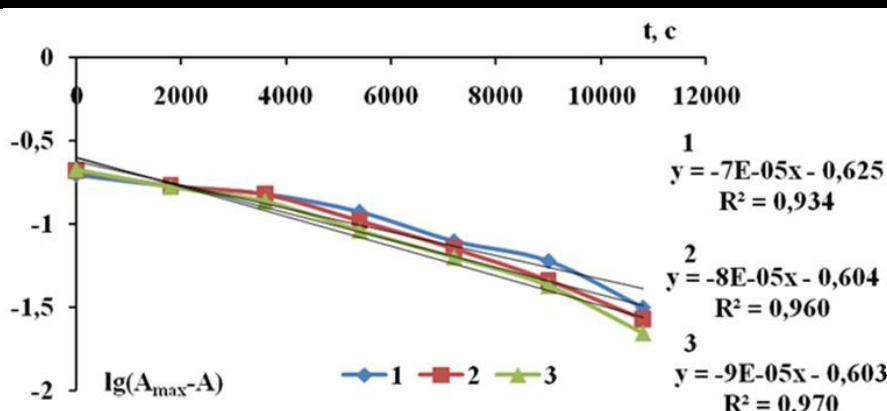
Согласно классификации Брунауэра, Деминга, Деминга и Теллера (БДДТ) изотермы адсорбции относятся к I типу [9]. По классификации Гильса изотермы относятся к L-классу [9]. Общеизвестно, что 1 тип изотерм характерен для микропористых твердых тел с относительно малой долей внешней поверхности.

Сорбционные свойства конопляной костры изучались в статических условиях. Полученные изотермы сорбции обрабатывались с помощью моделей Ленгмюра, Фрейндлиха, Дубинина-Радушкевича и Темкина. Наибольшее соответствие экспериментальным данным показала модель Ленгмюра, что свидетельствует о мономолекулярной адсорбции ИТМ на гомогенной поверхности СМ. Максимальная сорбционная емкость для каждого исследуемого ИТМ представлена в таблице 1.

Таблица 1. Значения максимальной сорбционной емкости для Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+}

Металл	A (мг/г), нативный образец	A (мг/г), модиф. H_2SO_4	A (мг/г), модиф. NaOH
Cu^{2+}	83	94,2	101
Zn^{2+}	28,9	30,2	36,7
Ni^{2+}	45	67,2	77,6

Кинетические исследования сорбции ионов Cu^{2+} показали, что лимитирующей стадией процесса является смешанная диффузия. Установлено, что кинетика процесса на примере извлечения ионов меди наилучшим образом описывается моделью псевдо-первого порядка (модель Лагергрена). На рисунке 2 представлены графические зависимости обработки кинетических зависимостей в рамках модели псевдо-первого порядка.



1 – нативной кострой, 2 – модифицированной 3%-ым раствором H_2SO_4 ,
3 – модифицированной 3%-ым раствором NaOH

Рисунок 2. Результаты обработки кинетических зависимостей в рамках модели псевдо-первого порядка процессов адсорбции ионов Cu^{2+} нативной и модифицированными образцами конопляной костры

Важным аспектом с точки зрения практического применения является влияние pH среды на эффективность сорбции. Проведенные исследования в диапазоне pH = 4–8 показали незначительное изменение степени извлечения ИТМ, что свидетельствует о стабильной работе СМ в широком интервале pH и упрощает его использование в реальных условиях. В таблице 2 представлено влияние pH среды на эффективность извлечения.

Таблица 2. Влияние pH среды на эффективность сорбции ИТМ конопляной кострой, %

pH среды	Медь (Cu^{2+})	Никель (Ni^{2+})	Цинк (Zn^{2+})
4.0	85-87%	83-85%	82-84%
5.0	86-88%	84-86%	83-85%
6.0	87-89%	85-87%	84-86%
7.0	88-90%	86-88%	85-87%
8.0	87-89%	85-87%	84-86%

Таким образом, конопляная костра продемонстрировала высокую эффективность в качестве СМ для удаления ИТМ из водных сред. К ее ключевым преимуществам, соответствующим принципам НДТ, относятся:

1. Экономическая эффективность: использование отходов сельскохозяйственного производства;
2. Экологическая безопасность: природное происхождение и отсутствие вторичного загрязнения;
3. Энерго- и ресурсосбережение: процесс не требует высоких энергозатрат и сложного оборудования;
4. Технологическая эффективность: высокая сорбционная емкость и стабильность в широком диапазоне pH.

Полученные результаты позволяют рекомендовать сорбент на основе конопляной костры в качестве наилучшей доступной технологии для локальной очистки сточных вод гальванических производств и других предприятий, содержащих ИТМ, перед сбросом в городскую канализацию.

Список литературы:

1. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 28.11.2015) «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2016)
2. Singh S., Chaudhary I.J., Kumar P. Utilization of low-cost agricultural waste for removal of toxic metals from environment: A review // International Journal of Scientific Research in Biological Sciences. - 2019. - vol. 6. - No 4. - P. 56-61.
3. Hempbased adsorbents for sequestration of metals: a review / N. Morin-Crini, S. Loiacono, V. Placet et al. // Environmental Chemistry Letters. - 2019. vol. 17. - No 1. - P. 393-408.
4. Отходы от переработки бахчевых культур в качестве реагентов для удаления загрязняющих веществ из водных сред / И.Г. Шайхиев и др. // Экономика строительства и природопользования. - 2020. - № 3(76). - С. 108-126.
5. Хабибрахманова Е.Н., Шайхиев И.Г. Исследование конопляной костры в качестве сорбционного материала для удаления ионов меди из водных сред // Сборник докладов Международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология», Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. - С. 169-174.
6. Домрачев О.А., Хабибрахманова Е.Н., Шайхиев И.Г. Использование конопляной костры в качестве нефтесорбента // Сборник докладов Всероссийской научной конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования», Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. - С. 49-52.
7. Хабибрахманова Е.Н., Шайхиев И.Г., Галимова Р.З., Санатуллова З.Т. Адсорбция ионов меди нативной и модифицированной конопляной костью // Российский химический журнал, Москва: Ивановский государственный химико-технологический университет, Московское химическое общество им. Д.И. Менделеева, 2024. - С. 31-37
8. Использование отходов от переработки биомассы овса в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред (обзор литературы) / С.В. Свергузова, И.Г. Шайхиев, А.С. Гречина, К.И. Шайхиева // Экономика строительства и природопользования. - 2018. - № 2(67). - С. 51-60.
9. Галимова Р.З., Шайхиев И.Г., Свергузова С.В. Обработка результатов исследования процессов адсорбции с использованием программного обеспечения Microsoft Excel, Казань-Белгород, 2017. - 60 с.