

## Удаление ионов тяжелых металлов и органических красителей из воды целлюлозой, модифицированной ангидридом

Кудратходжаева Мадина Абдугоффор кизи

докторант Ташкентского государственного технического университета

Республика Узбекистан, г. Ташкент E-mail: [kmadina07112303@gmail.com](mailto:kmadina07112303@gmail.com)

Йулдошов Шерзод Абдуллаевич

д-р хим. наук, ст. науч. сотр. Института химии и физики полимеров АН РУз, Республика

Узбекистан, г. Ташкент E-mail: [sherzodbek\\_y@mail.ru](mailto:sherzodbek_y@mail.ru)

Гойибназаров Илхом Шухрат угли

докторант Института химии и физики полимеров АН РУз,

Республика Узбекистан, г. Ташкент E-mail: [igoibnazarov@bk.ru](mailto:igoibnazarov@bk.ru)

**Аннотация.** Загрязнение водных ресурсов ионов тяжелых металлов и органическими веществами, такими как красители, является одной из самых актуальных экологических проблем, с которыми сталкивается современное общество. Эти загрязнители, попадая в экосистемы, вызывают нарушение биоценозов, а их высокая токсичность угрожает здоровью человека, животных и растений. Одним из наиболее опасных видов загрязнителей являются тяжелые металлы (например, свинец, кадмий, медь и др.), которые способны накапливаться в живых организмах, вызывая тяжелые заболевания и нарушения биологических процессов[1].

Органические красители, используемые в текстильной и пищевой промышленности, также представляют опасность из-за своей высокой стабильности и токсичности. Эти вещества могут долго сохраняться в водоемах, нарушая экологическое равновесие и ухудшая качество питьевой воды. На фоне растущей потребности в эффективных методах очистки воды от таких загрязнителей, внимание исследователей привлекает использование природных адсорбентов. Целлюлоза, являющаяся одним из самых распространенных и доступных природных полимеров, представляет собой перспективный материал для удаления загрязнителей из воды. Однако её природные адсорбционные свойства ограничены, что требует разработки методов модификации, способных улучшить её способность к адсорбции[2]. Одним из таких методов является химическая модификация целлюлозы с использованием ангидридов. Модификация с использованием ангидридов уксусной кислоты (АУК) может значительно улучшить её адсорбционные свойства за счет образования функциональных групп, таких как карбоксильные, которые обладают высокой аффинностью к ионам тяжелых металлов и органическим загрязнителям. В данном исследовании рассматривается процесс модификации целлюлозы ангидридом уксусной кислоты и её использование для удаления ионов тяжелых металлов и органических красителей из водных растворов.

**Ключевые слова:** Целлюлоза, тяжелые металлы, адсорбция, ангидрид уксусной кислоты.

## INTRODUCTION

**Введение.** На протяжении последних нескольких десятилетий были разработаны различные методы очистки вод от ионов тяжелых металлов и органических загрязнителей. Среди них химическое осаждение, ионный обмен, мембранные технологии, фото каталитические методы, а также адсорбция с использованием природных и синтетических материалов. Однако многие из этих методов имеют ограничения, такие как высокая стоимость, сложность в эксплуатации или необходимость применения токсичных реагентов.

Целлюлоза, как природный полимер, обладает рядом преимуществ, таких как низкая стоимость, биосовместимость и высокая доступность. Исходная целлюлоза имеет ограниченные способности к адсорбции из-за своей структуры и отсутствия функциональных групп на поверхности. Однако её химическая модификация позволяет создать новый материал с улучшенными адсорбционными свойствами[3,4].

Модификация целлюлозы с использованием ангидридов является одним из наиболее эффективных методов, поскольку ангидриды способны вступать в реакцию с гидроксильными группами целлюлозы, образуя карбоксильные группы, которые имеют сильное сродство к ионам металлов[5]. В литературе приведены примеры использования модифицированных целлюлозных материалов для удаления различных загрязнителей, таких как ионы меди, кадмия, свинца, а также органические красители, такие как метиленовый синий, флуоресцеин и др.

Модификация целлюлозы с использованием ангидрида уксусной кислоты значительно повышает её адсорбционные свойства.

Исследования продемонстрировали, что модифицированная целлюлоза обладает высокой эффективностью удаления ионов металлов и органических красителей, благодаря увеличению поверхности для адсорбции и образованию активных групп, взаимодействующих с загрязнителями[6].

### Материалы и методы

*Исходный материал:* Для модификации использовалась целлюлоза, полученная из древесных волокон, очищенная от примесей и механически обработанная для улучшения контактной поверхности.

*Модификация целлюлозы:* Модификация целлюлозы проводилась с использованием ангидрида уксусной кислоты. Реакция модификации происходила в ацетоновой среде, что обеспечивало стабильность реакции и предотвращало гидролиз ангидрида. В процессе реакции целлюлоза и ангидрид уксусной кислоты смешивались в эквивалентных молярных пропорциях, и реакция протекала при комнатной температуре в течение 4 часов с постоянным перемешиванием. Полученный продукт промывался раствором дистиллированной воды для удаления излишков реагента и высушивался при температуре 40°C.

*Методика адсорбции:* Для проведения экспериментов по адсорбции использовались водные растворы ионов  $Pb^{2+}$  (свинец),  $Cd^{2+}$  (кадмий) и органического красителя метиленового синего. Концентрация загрязнителей варьировалась от 10 до 100 мг/л. В экспериментах изменялись такие параметры, как pH раствора (от 4 до 8), время контакта между адсорбентом и раствором (от 30 минут до 24 часов), а также температура (от 20°C до 40°C).

Адсорбция проводилась при постоянном перемешивании раствора с адсорбентом. После

завершения эксперимента, растворы фильтровались, и концентрации загрязнителей измерялись с использованием атомно-абсорбционной спектроскопии для металлов и спектрофотометрию для органических красителей[7,8].

### ***Механизм адсорбции ионов тяжелых металлов и органических красителей***

Механизм адсорбции ионов тяжелых металлов и органических загрязнителей на модифицированной целлюлозе связан с образованием функциональных групп, таких как карбоксильные, которые имеют сильное сродство к загрязнителям. В случае ионов металлов, таких как  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$ , адсорбция происходит через ионный обмен или комплексообразование. Карбоксильные группы на поверхности целлюлозы могут связывать ионы металлов, образуя устойчивые комплексы.

Для органических красителей, таких как метиленовый синий, адсорбция происходит за счет водородных связей, а также  $\pi$ - $\pi$  взаимодействий между ароматическими кольцами красителя и функциональными группами на поверхности целлюлозы. Таким образом, модификация целлюлозы значительно увеличивает её адсорбционную емкость как для ионов металлов, так и для органических загрязнителей.

### ***Результаты эксперимента***

Результаты экспериментов показали, что модификация целлюлозы ангидридом уксусной кислоты значительно повышает её способность к адсорбции ионов  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и органических красителей. При оптимальных условиях (рН 6, температура 25°C, время контакта 6 часов) эффективность удаления ионов  $Pb^{2+}$  составила 87%, а  $Cd^{2+}$  — 84%. Для органического красителя метиленового синего эффективность удаления достигла 92%.

Это подтверждает, что модификация целлюлозы улучшает её свойства, обеспечивая высокую эффективность адсорбции загрязнителей из водных растворов[9]. Также было установлено, что модифицированная целлюлоза сохраняет свою эффективность на протяжении нескольких циклов адсорбции.

Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности модифицированной целлюлозы как адсорбента для очистки воды. Важным аспектом является стабильность материала, что подтверждается возможностью многократного использования целлюлозы без существенного снижения её адсорбционных свойств. Однако, эффективность удаления загрязнителей зависит от различных факторов, таких как концентрация загрязнителей, температура и рН раствора[10].

Также стоит отметить, что модификация целлюлозы может быть адаптирована для удаления других загрязнителей, таких как нефтепродукты и пестициды, что открывает перспективы для использования этих материалов в различных областях экологии и водоочистки.

**Заключение.** Модификация целлюлозы ангидридом уксусной кислоты значительно улучшает её способность к адсорбции ионов тяжелых металлов и органических загрязнителей из водных растворов. Этот материал может быть использован для очистки воды в различных сферах, от промышленной до бытовой, что делает его ценным инструментом для обеспечения чистоты водных ресурсов. В дальнейшем следует провести исследования по регенерации модифицированной целлюлозы и оценить её эффективность в реальных условиях водоочистки.

## Литература

1. Li, H., Zhang, X., & Liu, Y. (2017). Adsorption of heavy metals from aqueous solutions by cellulose-based adsorbents: A review. *Journal of Environmental Management*, 202, 151-160. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.014>

2. Alam, M. M., & Bhuiyan, M. A. H. (2018). Modified cellulose as an effective adsorbent for the removal of heavy metals and organic dyes from aqueous solutions. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(13), 12980-12992. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1607-9>

3. Brahmi, R. A., & Benyahia, S. (2019). Preparation and characterization of cellulose-based adsorbents for the removal of organic dyes from aqueous solutions. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1385-1396. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00873-x>

4. Tan, I. A. W., & Hameed, B. H. (2009). Cellulose-based adsorbents for removal of heavy metal ions from aqueous solutions: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1), 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.054>

5. Jiang, L., & Liu, J. (2020). Modification of cellulose with acetic anhydride for enhanced adsorption of heavy metal ions. *Carbohydrate Polymers*, 233, 115848. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115848>

6. Kurniawan, T. A., Chan, G. Y. S., Lo, W. H., & Babel, S. (2006). Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, 118(1-2), 83-98. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.01.018>

7. Xu, Y., & Li, Q. (2018). The application of cellulose derivatives in water treatment: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*, 347, 174-185. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.12.024>

8. Sun, Q., & Chen, L. (2015). Removal of organic dyes from aqueous solution using modified cellulose adsorbents. *Water Science and Technology*, 71(10), 1513-1521. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.092>

9. Hussain, S., & Shah, S. M. (2014). Removal of lead and cadmium from water by cellulose-based adsorbents. *Environmental Engineering Science*, 31(8), 467-475. <https://doi.org/10.1089/ees.2013.0364>

Zhao, X., & Zhang, W. (2017). Modification of cellulose for the removal of organic and inorganic pollutants from water: A review. *Carbohydrate Polymers*, 168, 265-278. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.049>