

## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ АДСОРБЕНТОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ CU И NI ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Данилов К.О., студент

*Научный руководитель: Галимова А.Р., доцент, к.х.н.*

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ, г.Казань, Российская Федерация*

*Эксперименты показали, что использование разработанного композитного сорбента на основе кокосового угля и природного цеолита приводит к выраженному снижению концентрации ионов никеля ( $Ni^{2+}$ ) и меди ( $Cu^{2+}$ ) уже в первые 60 минут контакта с модельными растворами. Контрольные замеры проводились через 10, 30 и 60 минут, и по результатам наблюдалось постепенное уменьшение концентрации ионов металлов с течением времени.*

*Ключевые слова: Тяжелые металлы, композитный сорбент, селективная сорбция, промышленные стоки, адсорбционная способность.*

Загрязнение водных объектов промышленными выбросами, в состав которых входят медь и никель, создает существенные риски для экологии и здоровья человека. Накопление ионов  $Cu^{2+}$  и  $Ni^{2+}$  в гидросфере запускает процессы биоаккумуляции и мутагенеза, оказывая выраженное токсическое воздействие. Для людей последствия контакта с такими загрязнителями проявляются в форме анемии, нарушения репродуктивных функций и замедления физического развития.

В связи с этим критически важной задачей становится внедрение эффективных методов очистки стоков. Особый интерес представляют сорбционные методы с использованием природных компонентов. Применение смешанных сорбентов позволяет достичь синергии, повышая поглонительную способность и избирательность очистки при одновременном снижении эксплуатационных расходов. Данная работа посвящена сопоставительному анализу комбинированных материалов для селективного извлечения ионов  $Ni^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ , а также изучению кинетики их адсорбционной активности.

Технология приготовления фильтроматериалов:

1. Для экспериментальных исследований использовали активированный кокосовый уголь высшего сорта и гидролизный лигнин. Готовили комбинированный фильтроматериал из двух сорбентов в соотношении 1:1. Общая масса навески составила 0,5г.

2. Для экспериментальных исследований использовали цеолитсодержащую породу Татарско-Шатрашанского месторождения,

размером фракции 0,2-0,8 мм и активированный кокосовый уголь высшего сорта. Готовили комбинированный фильтроматериал из двух сорбентов в соотношении 1:1. Общая масса навески составила 0,5г.

3. Для экспериментальных исследований использовали цеолитсодержащую породу Татарско-Шатрашанского месторождения, размером фракции 0,2-0,8 мм и гидролизный лигнин. Готовили комбинированный фильтроматериал из двух сорбентов в соотношении 1:1. Общая масса навески составила 0,5г.

Были подготовлены модельные растворы для ионов металлов Cr(III), Cu(II) и Ni(II) с концентрацией 5 мг/л. В стаканы емкостью 250 мл поместили полученный фильтроматериал массой по 0,5 г с модельными растворами каждого металла объемом 100 мл. Измеряли концентрации ионов металлов в течение 10, 30, 60 минут.

Эффективность сорбции  $E_s$  [%] вычислялась для каждого металла по формуле:  $E_s = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \cdot 100$  ;

Где  $C_0$  [ $\frac{мг}{л}$ ] — начальная концентрация металла в растворе,  $C_e$  [ $\frac{мг}{л}$ ] — начальная концентрация металла в растворе после адсорбции на сорбенте.

Адсорбционную ёмкость рассчитали по формуле:  $A_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \cdot V$  ;

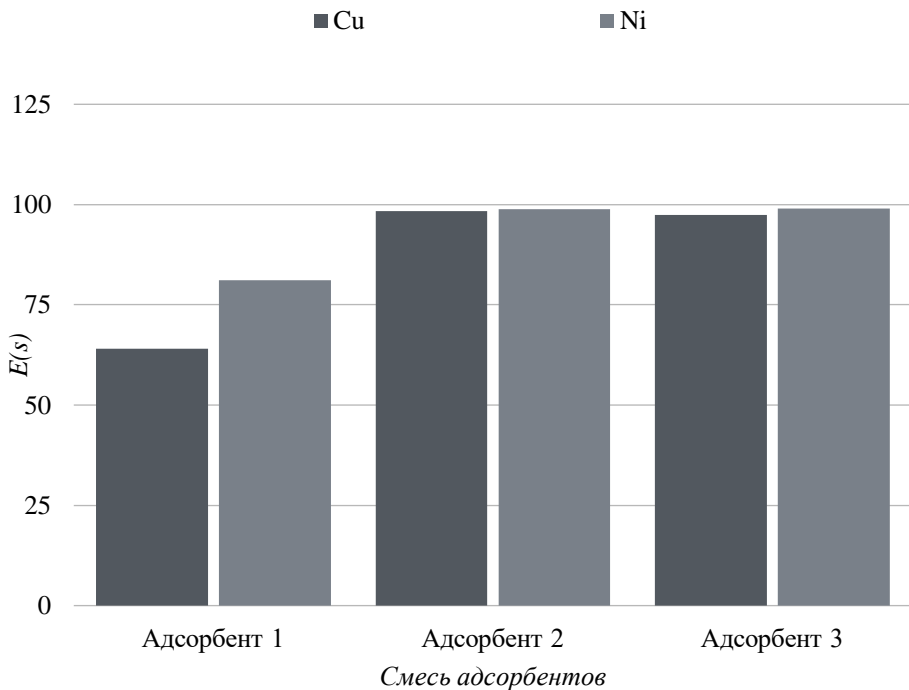
Где  $A_e$  [ $\frac{мг}{г}$ ] — адсорбционная ёмкость адсорбента,  $V$  [л] — объём,  $m$  [г] — масса адсорбента.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1. — Концентрация ионов металлов до и после адсорбции фильтроматериалом.

| Металл | Адсорбент | Время [мин] | Концентрация после адсорбции [ $\frac{мг}{л}$ ] |
|--------|-----------|-------------|---|
|        |           |             |   |

|           |   |    |       |
|-----------|---|----|-------|
| $Cu^{2+}$ | 1) активированный кокосовый уголь высшего сорта и гидролизный лигнин  | 10 | 3,6   |
|           |   | 30 | 3,6   |
|           |   | 60 | 1,8   |
| $Ni^{2+}$ |   | 10 | 2,4   |
|           |   | 30 | 1,7   |
|           |   | 60 | 0,94  |
| $Cu^{2+}$ | 2) активированный кокосовый уголь высшего сорта и цеолитсодержащая порода Татарско – Шатрашанского месторождения, размером фракции 0,2 – 0,8 мм | 10 | 0,193 |
|           |   | 30 | 0,118 |
|           |   | 60 | 0,084 |
| $Ni^{2+}$ |   | 10 | 0,056 |
|           |   | 30 | 0,055 |
|           |   | 60 | 0,054 |
| $Cu^{2+}$ | 3) гидролизный лигнин и цеолитсодержащая порода Татарско – Шатрашанского месторождения, размером фракции 0,2 – 0,8 мм                           | 10 | 0,132 |
|           |   | 30 | 0,132 |
|           |   | 60 | 0,132 |
| $Ni^{2+}$ |   | 10 | 0,064 |
|           |   | 30 | 0,057 |



|  |  |    |       |
|--|--|----|-------|
|  |  | 60 | 0,051 |
|--|--|----|-------|

Рисунок 1. — Эффективная ёмкость смеси сорбентов по истечению 60 минут

Анализ динамики процесса не показывает конкретных закономерностей. Однако динамика поглощения ионов меди изученными смесями сорбентов демонстрирует менее заметный рост во времени. В случае с ионами никеля временной фактор оказывает существенное влияния на эффективность поглощения. На основе полученных результатов установлено, что композиция из гидролизного лигнина и активированного кокосового угля обладает наименьшим сорбционным потенциалом по отношению к обоим металлам в сравнении с альтернативными составами.

Тем не менее, синергия свойств предложенных материалов позволяет существенно повысить эффективность очистки стоков. Применение данных разработок экономически оправдано за счет доступности сырьевой базы и увеличения ресурса фильтрующих элементов. Подобный подход полностью

соответствует стратегии экологической безопасности и принципам устойчивого природопользования.

### **Литература:**

1. Панфилова О. Н. Степанов С.В., Доочистка сточных вод от ионов тяжелых металлов сорбентами на основе природных материалов // Самарский Государственный технический университет - 2023
2. Е. Г. Филатова, Ю. Н. Пожидаев, О. И. Помазкина, Адсорбция ионов цинка(II) и хрома(III) модифицированными цеолитами // Иркутский национальный исследовательский технический институт – 2020 г.
3. Охрана труда. Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации: официальный сайт. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/c50/4293808608.pdf?ysclid=mnoqu4zvf308263971> (дата обращения: 02.04.2026).
4. Охрана труда. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования: официальный сайт. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/c50/4293808608.pdf?ysclid=mnor8327pb588506270> (дата обращения: 02.04.2026).
5. Шатрова А.С., Богданов А.В., Тюкалова О.В. Сорбция тяжелых металлов лигнинсодержащими осадками целлюлозно-бумажной промышленности // Известия томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 5. – С. 66–74.
6. Линник В. Н., Линник Л. И., Молоток Е. В., Галушков П. А. Концентрационная зависимость сорбции ионов никеля(II) сульфированным гидролизным лигнином // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С: Фундаментальные науки. – 2004. – № 4. – С. 56–58
7. Линников О. Д., Родина И. В., Бакланова И. В., Сунцов А. Ю. Сорбция ионов Cu(II) активированным углём марки БАУ-А // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 554–562.
8. Янкова В.Г., Удянская И.Л., Слонская Т.К. и др. Исследование адсорбционной активности энтеросорбента на основе гидролизного лигнина // Вопросы практической педиатрии. – 2022. – Т. 17, № 1. – С. 150-156.
9. Зиникова И.В., Пяткова А.В., Гротов А.С. Исследование сорбционных свойств цеолитсодержащих пород Татаро-Шатрашанского месторождения по отношению к ионам тяжелых металлов // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 384-391.