

DOI: 10.58168/E-SEFTFI2024_79-83

УДК 544.723.2

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ НИКЕЛЯ ИЗ ВОДНОЙ СРЕДЫ НОВЫМИ МАГНИТНЫМИ СОРБЕНТАМИ

ЦЕОЛИТ/ $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$

ASSESSMENT OF THE EFFICIECNY OF EXTRACTION OF NICKEL IONS
FROM AQUEOUS MEDIUM BY NEW MAGNETIC SORBENTS ZEOLITE/ $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$

- | | |
|---|--|
| <p>Котова А.В., студентка лесопромышленного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия</p> | <p>Kotova A.V., Student of woodworking faculty, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia</p> |
| <p>Новикова Л.А., кандидат химических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия</p> | <p>Novikova L.A., PhD in Chemical Sciences, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia</p> |
| <p>Томина Е.В., доктор химических наук, доцент, зав. кафедрой химии и биотехнологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия</p> | <p>Tomina E.V., Doctor of Chemical Sciences, associate professor, chairwoman of chemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia</p> |
| <p>Мещерякова А.А., аспирант кафедры материаловедения и индустрии наносистем химического факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Россия</p> | <p>Meshcheryakova A.A., Postgraduate Student, Department of Materials Science and Industry of Nanosystems, Faculty of Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russia</p> |

Аннотация: образцы новых магнитных композитных материалов на основе природного цеолита (Zt) с варьируемым содержанием (5-30%) наночастиц феррита кобальта-цинка $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (F) изучены в отношении сорбционной способности к извлечению ионов никеля из водного раствора с содержанием Ni^{2+} 29,5 мг/л. Установлено время достижения равновесия в системах сорбент-водный раствор NiSO_4 , составляющее 20 мин для всех исследуемых образцов. Величина сорбционной емкости сорбентов возрастает в ряду $\text{Zt} < \text{Zt-5F} < \text{Zt-10F} < \text{Zt-20F} < \text{Zt-30F} < \text{F}$. Показано, что при введении фазы феррита кобальта-цинка степень извлечения ионов Ni^{2+} из водной среды увеличивается в 1,5-1,7 раза по сравнению с цеолитом и достигает ~70-80%. Применение метода

магнитной сепарации позволяет быстро и эффективно извлекать полученные композитные сорбенты из водной фазы для последующей регенерации.

Abstract: the samples of new magnetic composite materials based on natural zeolite (Zt) with varied content (5-30%) of nanoparticles of cobalt-zinc ferrite $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (F) were studied in regard their sorption ability for nickel ions extraction from aqueous solution of 29,5 mg/dm^3 concentration of Ni^{2+} . It was established that the time of sorption equilibrium in the systems sorbent-aqueous solution of NiSO_4 reach ~ 20 min for each investigated sample. The value of sorption capacity of the sorbents increased in the order $\text{Zt} < \text{Zt-5F} < \text{Zt-10F} < \text{Zt-20F} < \text{Zt-30F} < \text{F}$. It was shown that by addition of ferrite phase into composite the degree of nickel ions extraction from aqueous medium rose in 1,5-1,7 times as compared to zeolite, reaching ~ 70 -80%. The obtained composite sorbents are capable of fast and effective magnetic separation from aqueous phase for further regeneration.

Ключевые слова: цеолит, феррит кобальта-цинка, нанокompозитный сорбент, ионы никеля, адсорбция, очистка воды.

Keywords: zeolite, cobalt-zinc ferrite, nanocomposite sorbent, nickel ions, adsorption, water purification.

Никель относится к тяжелым цветным металлам и является ценнейшей легирующей добавкой при производстве нержавеющей стали. В чистом виде никель в природе не встречается, обычно входит в состав сульфидных медно-никелевых руд и железоникелевых руд, из которых попадает в природные воды в концентрациях до 20 mg/dm^3 [1]. Для жизнедеятельности человека и животных никель необходим в микроколичествах, обеспечивающих эффективность кроветворных и окислительно-восстановительных процессов в организмах, функционирование ДНК и РНК, белков, поступление витаминов. Высокие концентрации никеля токсичны, вызывают ингибирование ферментов, снижают иммунитет, угнетают ЦНС, проявляют канцерогенные свойства [2]. Соединения никеля поступают в водные объекты со сточными водами цехов никелирования, заводов синтетического каучука, никелевых обогатительных фабрик, а также при сжигании ископаемого топлива. Значения ПДК никеля для водной среды составляет - 0,1 mg/dm^3 , для рыбохозяйственных водоёмов - 0,01 mg/dm^3 . Современные технологии очистки промышленных сточных вод от никеля и других тяжелых металлов включают реагентный метод, ионный обмен, сорбцию, электрокоагуляцию, обратный осмос [3]. Для повышения эффективности сорбционного способа очистки воды перспективным является использование новых композитных материалов с высоким сродством к тяжелым металлам и способностью к магнитной сепарации [4].

Цель данной работы включала синтез новых композитных сорбентов на основе природного цеолита и наночастиц смешанного феррита кобальта-цинка и оценку сорбционной способности новых материалов к ионам никеля в водной среде.

Объектами исследования являлись природный цеолит (Zt), содержащий 95 % клиноптилолита, выпускаемый фирмой Zeoset, Словакия, синтетический образец смешанного феррита кобальта-цинка $\text{Co}_{0,5}\text{Zn}_{0,5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (F), полученный методом цитратного

горения и обладающий высокой магнитной восприимчивостью благодаря присутствию ионов Co^{2+} в структуре по сравнению с образцом феррита цинка, изученным ранее. Серия образцов композитов Zt-5F, Zt-10F, Zt-20F, Zt-30F синтезирована путем введения 5-10 масс.% фазы феррита в состав композита с цеолитом [5].

Сорбционная способность образцов изучена в водном растворе NiSO_4 с содержанием ионов Ni^{2+} 29,5 мг/л, при $t=20^\circ\text{C}$ и соотношении сорбент/раствор=1:100. Время сорбции варьировалось от 5 до 80 минут. Для количественного определения ионов никеля в растворе был использован фотоколориметрический метод анализа никеля в виде комплексов с диметилглиоксимом.

На рис. 1 представлены кинетические кривые сорбции ионов никеля из водного раствора, свидетельствующие об установлении сорбционного равновесия в исследуемых системах сорбент-раствор через 20 мин.

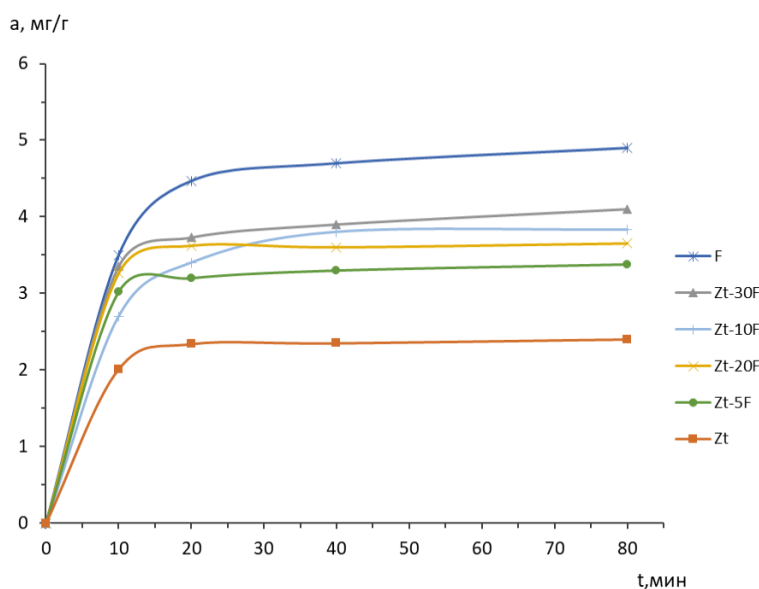


Рисунок 1. Кинетические кривые сорбции ионов Ni^{2+} из водного раствора 0,001 н NiSO_4 сорбентами на основе цеолита и феррита кобальта-цинка

Сорбционная емкость цеолита ограничена его катионообменной способностью и в исследуемых системах составила 2,4 мг/г, что в два раза ниже в сравнении с емкостью образца феррита. При увеличении содержания фазы феррита в составе композитных материалов сорбционная емкость образцов возрастает в 1,4-1,6 раза, что обусловлено повышенным сродством фазы феррита к катионам Ni^{2+} аналогично [5].

На рис. 2 представлены значения степени очистки воды, которые вычисляли по формуле: $R, \% = \frac{(C_0 - C_p)}{C_0} * 100\%$, где C_0 и C_p – начальная и равновесная концентрации раствора, моль-экв/л.

Как следует из рис. 2а, природный цеолит позволяет извлечь 48% ионов никеля из водной среды в отличие от композитных сорбентов и чистого феррита F, при использовании которых эффективность очистки воды существенно выше и составляет 68-80% и 99% соответственно. Другим преимуществом композитных сорбентов является их

способность к магнитной сепарации при действии внешнего магнитного поля (рис.2б). При введении 10 % фазы феррита в состав композит сорбент легко отделяется действием неодимового магнита и легко извлекается для регенерации и последующего использования.

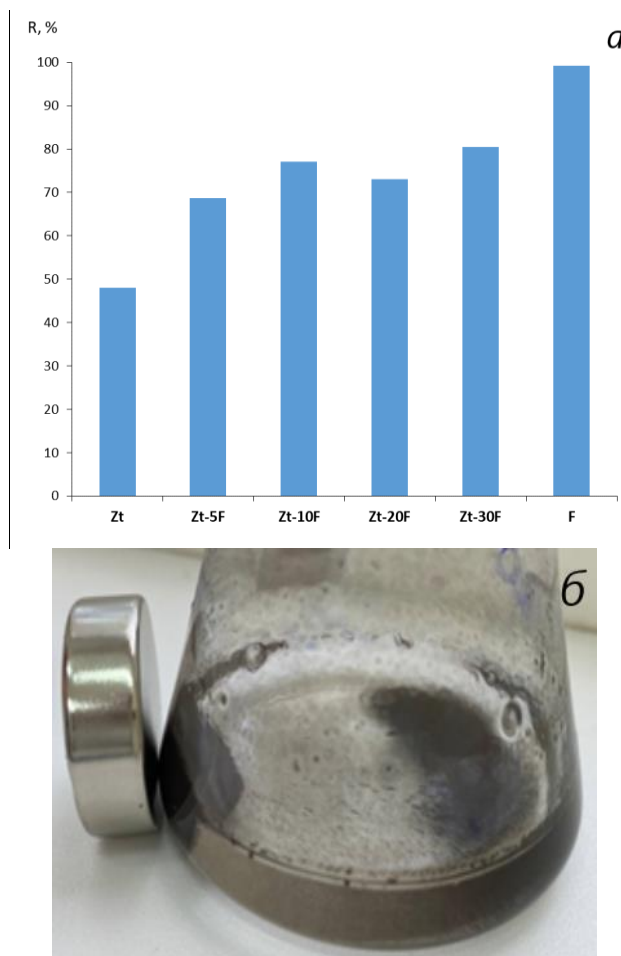


Рисунок 2. Степень очистки воды от ионов Ni^{2+} сорбентами на основе цеолита и феррита кобальта-цинка (2а) и магнитная сепарация композитного сорбента (2б)

Таким образом, при синтезе магнитных композитных сорбентов оптимальным можно считать состав Zt-10F, при котором обеспечивается высокая степень очистки воды и материал приобретает достаточную магнитную восприимчивость для эффективной магнитной сепарации.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, грант № 23-23-00122.

Список литературы

1. Харитонов Л.А., Гончаров Д.В. Определение никеля в водных объектах оптическим методом анализа // Проблемы теоретической и экспериментальной химии – XXIX ; Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия». – Екатеринбург, 2019. С. 85.

2. Яковлева М.Н., Перминова Е.В. Генотоксические эффекты соединений никеля и возможности модификации никель-индуцированного мутагенеза в клетках человека // Токсикологический вестник. 2007. № 4 (85). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/genotoksicheskie-effekty-soedineniy-nikelya-i-vozmozhnosti-modifikatsii-nikel-indutsirovannogo-mutageneza-v-kletkah-cheloveka-1>.
3. Belova T.P. Adsorption of heavy metal ions (Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} and Fe^{2+}) from aqueous solutions by natural zeolite // Heliyon. 2019 Vol. 5, № 9, e02320, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02320>.
4. Котова А.В., Новикова Л.А., Томина Е.В., Мещерякова А.А. Применение новых композитных сорбентов цеолит/ ZnFe_2O_4 для извлечения ионов тяжелых металлов из водных сред // Энергосберегающие и экологически перспективные технологии лесного и лесопромышленного комплекса : Матер. Всерос. науч.-практ. конференции молодых ученых и студентов, Воронеж, 25 мая 2023 года / отв. ред. А.Ю. Корчагина. – Воронеж, 2023. – С. 72-75. – DOI 10.58168/FTIC2023_72-75.
5. Tomina E., Novikova L., Kotova A., Meshcheryakova A., Krupskaya V., Morozov I., Koroleva T., Tyupina E., Perov N., Alekhina Y. $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{Zeolite}$ Nanocomposites for Sorption Extraction of Cu^{2+} from Aqueous Medium. *AppliedChem* **2023**, 3, 452-476. <https://doi.org/10.3390/appliedchem3040029>.

References

1. Kharitonova L.A., Goncharov D.V. Opredelenie nikelya v vodnykh ob'yektakh opticheskim metodom analiza // Problemy teoreticheskoy i eksperimentalnoy khimii – XXIX ; Voennyi uchebno-nauchnyi tsentr VVS “Voenno-vozdushnaya akademiya”, Ekaterinburg, 2019. S. 85.
2. Yakovleva M.N., Perminova E.V. Genotoksicheskie efekty soedineniy nikelya I vozmozhnosti modifikatsii nikel-indutsirovannogo mutageneza v kletkakh cheloveka // Toksikologicheskii vestnik. 2007. №4 (85). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/genotoksicheskie-effekty-soedineniy-nikelya-i-vozmozhnosti-modifikatsii-nikel-indutsirovannogo-mutageneza-v-kletkah-cheloveka-1>
3. Belova T. P. Adsorption of heavy metal ions (Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} and Fe^{2+}) from aqueous solutions by natural zeolite // Heliyon. 2019 Vol. 5, № 9, e02320, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02320>.
4. Kotova A.V., Novikova L.A., Tomina E.V., Meshcheryakova A.A. Primeneniye novykh kompozitnykh sorbentov zeolyt/ ZnFe_2O_4 dlya izvlecheniya ionov tyazhelykh metallov iz vodnykh sred // Energosberegauschiye I ekologicheski perspektivnye tekhnologii lesopromyshlennogo kompleksa : Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students, Voronezh, May 25, 2023 / ed.-in-chief A.Yu. Korchagina. – Voronezh, 2023. – S. 72-75. – DOI 10.58168/FTIC2023_72-75.
5. Tomina E., Novikova L., Kotova A., Meshcheryakova A., Krupskaya V., Morozov I., Koroleva T., Tyupina E., Perov N., Alekhina Y. $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{Zeolite}$ Nanocomposites for Sorption Extraction of Cu^{2+} from Aqueous Medium. *AppliedChem* **2023**, 3, 452-476. <https://doi.org/10.3390/appliedchem3040029>.