

DOI: 10.58168/E-SEFTFI2024_133-138

УДК 544.723.2

**ВЛИЯНИЕ pH РАСТВОРА И МАССЫ СОРБЕНТА НА СОРБЦИЮ И СТЕПЕНЬ
ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ МЕДИ ФЕРРИТАМИ МАГНИЯ И ЦИНКА****EFFECT OF SOLUTION pH AND MASS OF THE SORBENT ON SORPTION
AND DEGREE OF PURIFICATION OF WATER FROM COPPER IONS
BY MAGNESIUM AND ZINC FERRITES**

Молчанова О.Н., студентка лесопромышленного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Molchanova O.N., Student of woodworking faculty, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Новикова Л.А., кандидат химических наук, доцент ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

Novikova L.A., PhD in Chemical Sciences, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Томина Е.В., доктор химических наук, доцент, зав. кафедрой химии и биотехнологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, Россия

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

Мещерякова А.А., аспирант кафедры материаловедения и индустрии наносистем химического факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Россия

Meshcheryakova A.A., Postgraduate Student, Department of Materials Science and Industry of Nanosystems, Faculty of Chemistry, Voronezh State University, Voronezh, Russia

Аннотация: В статье представлены результаты исследования влияния pH раствора и массы сорбента на эффективность адсорбции ионов меди ферритами магния и цинка. Установлено, что оптимальное значение pH для сорбции ионов меди составляет 3,0, а при значениях $\text{pH} < 3,0$ сорбция существенно снижается из-за конкуренции ионов H^+ и Cu^{2+} за активные центры на поверхности сорбента. При повышении pH выше 5,3 происходит выпадение осадка гидроксида меди, что затрудняет изучение сорбции в этом диапазоне. Степень очистки воды от ионов меди возрастает с увеличением массы сорбента, что указывает на важность этого фактора при выборе оптимальных условий сорбции. Рекомендуется увеличить количество феррита магния, взятого на единицу объема раствора, или разбавить исходный раствор в несколько раз в случае использования

феррита цинка для достижения максимального извлечения ионов меди. Полученные результаты могут быть использованы для разработки более эффективных методов очистки воды от ионов меди с помощью ферритов магния и цинка.

Abstract: This article presents the results of a study of the effect of the pH of the solution and the mass of the sorbent on the efficiency of adsorption of copper ions by magnesium and zinc ferrites. It was found that the optimal pH value for the sorption of copper ions is 3.0, and when the pH drops below 3.0, sorption decreases significantly due to the competition of H^+ and Cu^{2+} ions for active centers on the surface of the sorbent. When the pH rises above 5.3, precipitation of copper hydroxide occurs, which makes it difficult to study sorption in this pH range. The degree of purification of water from copper ions increases with an increase in the mass of the sorbent, which indicates the importance of this factor in choosing optimal sorption conditions. It is recommended to increase the amount of magnesium ferrite taken per unit volume of the solution, or dilute the initial solution several times if zinc ferrite is used to achieve maximum extraction of copper ions. The results obtained can be used to develop more effective methods of water purification from copper ions using magnesium and zinc ferrites.

Ключевые слова: сорбенты, феррит магния, феррит цинка, тяжелые металлы, ионы меди, сорбция, очистка воды, сточные воды, pH раствора, масса сорбента, экология.

Keywords: sorbents, magnesium ferrite, zinc ferrite, heavy metals, copper ions, sorption, water treatment, waste water, pH of the solution, sorbent mass, environment protection.

Вода является жизненно важным ресурсом для всего живого на Земле, и ее качество играет решающую роль в здоровье человека и экологической безопасности. К сожалению, вода часто загрязняется различными веществами, в том числе тяжелыми металлами, такими как медь, которые могут представлять серьезную угрозу для здоровья человека и окружающей среды. Для удаления ионов меди из воды используются различные методы, одним из которых является адсорбция на различных материалах [1-3]. Ферриты магния и цинка являются уникальными сорбентами для удаления ионов меди из воды благодаря активной поверхности и магнитным свойствам [4]. Эффективность адсорбции зависит от многих факторов, в том числе от pH раствора и массы сорбента.

Цель данной работы состояла в исследовании влияния pH раствора и массы сорбента на величину адсорбции и степень очистки воды от ионов меди ферритами магния и цинка.

Объектами исследования являлись нанодисперсные образцы феррита магния ($MgFe_2O_4$, Mg-F) и феррита цинка ($ZnFe_2O_4$, Zn-F), синтезированные методом цитратного горения из стехиометрических количеств реагентов [5]. Адсорбцию ионов меди изучали из водных растворов $CuSO_4$ с концентрацией 0,01 н, при температуре 20 °C и соотношении сорбент/раствор=1:100. Время установления равновесия определено ранее и составляло 80 минут для феррита магния и 40 минут для феррита цинка.

Для определения оптимальных параметров сорбции варьировали значения pH растворов (pH=2,0-5,7) и массы сорбента ($m=0,2-0,6$ г). Для количественного определения ионов Cu^{2+} использовали фотокolorиметрический метод. Величину адсорбции рассчитывали по формуле [6]:

$$a = \frac{(C_p - C_n) \cdot V(p-pa) \cdot M_{\text{экв}}}{m(\text{сорб})},$$

где C_n , C_p – начальная и равновесная концентрация раствора, мг/г; V_{p-pa} – объем раствора, л; $M_{\text{экв}}$ – молярная масса эквивалента меди, г-экв/моль; $m(\text{сорб})$ – масса сорбента, г.

Экспериментальные значения адсорбционной емкости сорбентов в отношении ионов меди в водных растворах с различным pH представлены в табл. 1. Согласно полученным данным, оптимальным значением pH равновесного раствора CuSO_4 для сорбции меди на ферритах магния и цинка является $\text{pH}=3,0$. При этом значение адсорбционной емкости для обоих образцов сорбентов достигает максимальной величины.

Таблица 1. Влияние pH растворов на сорбционную ёмкость сорбентов

Образец	pH		a, мг/г
	до	после	
MgFe_2O_4	2.0	4.4	63.8
	3.1	4.5	71.7
	4.5	5.7	58.2
ZnFe_2O_4	2.0	4.0	27.5
	3.1	4.4	49.9
	4.5	5.6	40.2

При понижении pH растворов ниже значения 3,0, сорбция ионов меди существенно снижается. Это можно объяснить тем, что в кислой среде происходит одновременная сорбция ионов H^+ и Cu^{2+} на отрицательно заряженной поверхности ферритов, что приводит к конкуренции ионов за активные центры на поверхности сорбента. При повышении pH растворов в нейтральную область ($\text{pH}>5,3$) происходит выпадение осадка гидроксида меди ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) и помутнение раствора, что препятствует изучению сорбции в этом диапазоне pH.

Исследование степени очистки воды от ионов Cu^{2+} при соотношении сорбент/раствор 1:100 показало, что ферриты магния и цинка демонстрируют различную эффективность (рис. 1). Степень извлечения ионов меди составила 31,2% для магниевого феррита (Mg-F) и 21,8% для цинкового феррита (Zn-F). Для повышения степени очистки воды от ионов Cu^{2+} был проведен дополнительный эксперимент, в котором менялась масса сорбента от 0,2 до 0,6 г на 20 мл раствора, т.е. при соотношении сорбент/раствор 1:100, 1:50, 1:33. Результаты исследований показывают, что с возрастанием массы сорбента степень очистки воды возрастает.

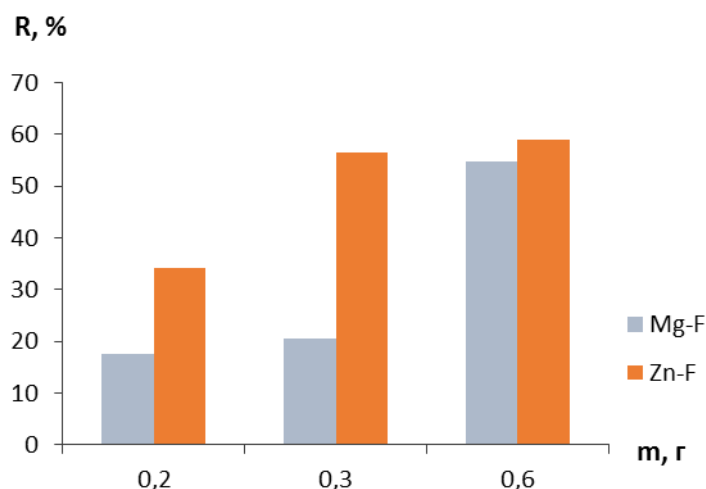


Рисунок 1. Степень очистки воды от ионов Cu^{2+} при изменении массы вводимого сорбента (Mg-F и Zn-F)

Обнаружено, что с повышением массы вводимого сорбента, сорбционная емкость феррита цинка по отношению к ионам Cu^{2+} уменьшается, в то время как емкость феррита магния остается практически неизменной. Это свидетельствует о конкуренции активных центров на поверхности сорбента за частицы сорбата, особенно в случае феррита цинка, когда с увеличением массы сорбента количество доступных центров превышает количество сорбата.

При увеличении массы сорбента степень очистки воды от ионов меди возрастает: для феррита цинка с 34 до 58 %, для феррита магния – с 18 до 55 % и более. Для достижения максимального извлечения ионов меди с использованием этих сорбентов рекомендуется увеличить количество феррита магния, взятого на единицу объема раствора, а также разбавить исходный раствор в несколько раз в случае использования феррита цинка.

Таким образом, полученные результаты могут быть использованы для повышения эффективности сорбционного метода очистки воды от ионов меди и других тяжелых металлов с помощью магнитных сорбентов на основе ферритов, что поможет предотвратить их негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

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

Список литературы

1. Очистка воды от ионов меди и железа динамической мембраной нейлон-полистирол / Д. Д. Фазуллин, Г. В. Маврин, Р. Д. Фазылова, И. Г. Шайхiev // Вестник Технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 6. – С. 93-96. – EDN QGVDLQ.
2. Скугорева, С. Г. Удаление ионов меди(II) из водных растворов листьями различных видов высших растений / С. Г. Скугорева, Г. Я. Кантор, А. В. Жукова // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием,

Киров, 03–05 декабря 2018 года / отв. ред. Т.Я. Ашихмина. Кн. 1. – Киров: Вятский государственный университет, 2018. – С. 131-135. – EDN YQMTON.

3. Гафаров, Р. Р. Использование отбеленной глины для удаления ионов меди / Р. Р. Гафаров, С. В. Свергузова, Н. С. Лупандина // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология : Сборник докладов Междунар. науч. конференции, Алушта-Белгород, 05–09 июня 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 188-193. – EDN JFYWJL.

4. Новикова, Л. А. Регенерация композитных сорбентов цеолит/ $ZnFe_2O_4$ после сорбции ионов меди из водной среды / Л. А. Новикова, А. В. Котова, Е. В. Томина // Перспективные ресурсосберегающие технологии развития лесопромышленного комплекса : Матер. Междунар. науч.-практ. конференции молодых ученых и студентов, Воронеж, 29 сентября 2023 года. – Воронеж, 2023. – С. 104-108. – DOI 10.58168/R-STDTIC2023_104-108. – EDN IHHCWO.

5. Tomina E., Novikova L., Kotova A., Meshcheryakova A., Krupskaya V., Morozov I., Koroleva T., Tyupina E., Perov N., Alekhina Y. $ZnFe_2O_4$ /Zeolite Nanocomposites for Sorption Extraction of Cu^{2+} from Aqueous Medium // *AppliedChem.* 2023, 3, 452-476. <https://doi.org/10.3390/appliedchem3040029>.

6. Молчанова О.Н., Новикова Л.А., Томина Е.В. Изучение сорбционного извлечения ионов меди из модельных сточных вод новыми сорбентами на основе ферритов металлов // Сборников трудов Национальной научно-практической конференции «Циркулярная экономика для целей устойчивого развития отраслей и территорий», 14-15 мая 2024 г., ВГЛУ, г. Воронеж. – устный доклад Молчановой О.Н.

7. Novikova L.A., Tomina E.V., Kotova A.A., Molchanova O.N., Zhukova E.A., Doroshenko A.V., Tyupina E.A. METAL FERRITE BASED SORBENTS FOR HEAVY METAL EXTRACTION FROM AQUEOUS MEDIUM // *Innovations in Life Sciences: сборник матер. VI Междунар. симпозиума*, г. Белгород, 22–24 мая 2024 г. / отв. ред. А.А. Присный. – Белгород : ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ», 2024. – 239-240 с.

References

1. Purification of water from copper and iron ions by a dynamic nylon-polystyrene membrane / D. D. Fazullin, G. V. Mavrin, R. D. Fazylova, I. G. Shaikhiev // *Bulletin of the Technological University.* – 2019. – vol. 22, No. 6. – pp. 93-96. – EDN QGVDLQ.

2. Skugoreva, S. G. Removal of copper(II) ions from aqueous solutions by leaves of various species of higher plants / S. G. Skugoreva, G. Ya. Kantor, A.V. Zhukova // *Biodiagnostics of the state of natural and natural-technogenic systems : Materials of the XVI All-Russian scientific and practical conference with international participation*, Kirov, December 03-05, 2018 / responsible editor T.Y. Ashikhmina. Book 1. – Kirov: Vyatka State University, 2018. – pp. 131-135. – EDN YQMTON.

3. Gafarov, R. R. The use of bleached clay to remove copper ions / R. R. Gafarov, S. V. Sverguzova, N. S. Lupandina // *Rational use of natural resources and processing of*

technogenic raw materials: fundamental problems of science, materials science, chemistry and biotechnology : Collection of reports of the International Scientific Conference, Alushta-Belgorod, 05-09 June 2023 of the year. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. – pp. 188-193. – EDN JFYWJL.

4. Novikova, L. A. Regeneration of zeolite/ ZnFe_2O_4 composite sorbents after sorption of copper ions from an aqueous medium / L. A. Novikova, A.V. Kotova, E. V. Tomina // Promising resource-saving technologies for the development of the timber industry : Materials of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students, Voronezh, September 29, 2023. – Voronezh: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2023. – pp. 104-108. – DOI 10.58168/R-STDTIC2023_104-108. – EDN IHHCWO.

5. Tomina E., Novikova L., Kotova A., Meshcheryakova A., Krupskaya V., Morozov I., Koroleva T., Tyupina E., Perov N., Alekhina Y. ZnFe_2O_4 /Zeolite Nanocomposites for Sorption Extraction of Cu^{2+} from Aqueous Medium // *AppliedChem.* 2023, 3, 452-476. <https://doi.org/10.3390/appliedchem3040029>

6. Molchanova O.N., Novikova L.A., Tomina E.V. Study of sorption extraction of copper ions from model wastewater with new sorbents based on metal ferrites // Proceedings of the National Scientific and Practical Conference "Circular Economy for sustainable development of industries and territories", May 14-15, 2024, VGLTU, Voronezh– oral report by Molchanova O.N.

7. Novikova L.A., Tomina E.V., Kotova A.A., Molchanova O.N., Zhukova E.A., Doroshenko A.V., Tyupina E.A. METAL FERRITE BASED SORBENTS FOR HEAVY METAL EXTRACTION FROM AQUATIC MEDIUM // *Innovations in Life Sciences: proceedings of the VI International Symposium, Belgorod, May 22-24, 2024* / ed. by A.A. Prisny. – Belgorod: Publishing house "BelGU" NRU "BelGU", 2024. – 239-240 p.