

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-3-69-74>

УДК 612.821.8, 591.185

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ РТУТИ ИЗ ВОДЫ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ФЬЮЖН

А. Сатаева^{1,2)}, Ж. Тауанов^{1,3)}, У. Жантукеев^{1,3)}, А. Байменов^{1,3)}, С. Азат^{1,3,4)}, И. Аллан³⁾

¹⁾ *ТОО «Жалын», Алматы, Казахстан*

²⁾ *Назарбаев Университет, “National Laboratory Astana”, Нур-Султан, Казахстан*

³⁾ *Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Факультет химии и химической технологии, Алматы, Казахстан*

⁴⁾ *Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан*

E-mail для контактов: aliya.satayeva@gmail.com

В статье приведены результаты разработки новых композитных материалов, полученных из летучей золы угля (ЛЗУ) методом Фьюжн.

Композитные материалы легированы наночастицами серебра и охарактеризованы с использованием передовых методов определения их структурных показателей, а именно: рентгенофазового анализа (XRD), сканирующей электронной микроскопии с элементами полуколичественного анализа (SEM-EDS) и рентгенофлуоресцентного анализа (XRF). В ходе получения синтетических цеолитов на основе ЛЗУ структурная модификация проводилась для быстрого связывания цеолитов с ртутью при удалении ее из водной среды и улучшения качества воды. Синтезированные нанокмпозиты использовались для удаления ртути из водных растворов с различным pH. Установлено, что равновесие адсорбционной способности для синтетических цеолитов наступает примерно через 2 недели, в то время как для исходных ЛЗУ достигается в течение месяца. Предварительные результаты показывают значительно высокое удаление ртути из раствора – от 80 до 90% от исходной концентрации.

Ключевые слова: адсорбция; ртуть, цеолиты, синтетические нанокмпозиты, летучая зола.

ВВЕДЕНИЕ

Ртуть и ее соединения являются токсичными веществами, и, если вода загрязнена ими, типовые технологические процессы обработки воды не эффективны для их удаления [1]. Удаление ртути (II) из водной фазы имеет первостепенное значение, поскольку она является высокотоксичной и опасной для окружающей среды, и здоровья человека. Существуют несколько методов удаления ртути из воды, таких как биоремедиация [2–3], ионный обмен с использованием смол [4], адсорбция на активированном угле и природных цеолитах [5–6], мембранная фильтрация [7]. Перспективным способом удаления ионов ртути (II) из водных растворов является использование адсорбентов, полученных из летучей золы угля (ЛЗУ), таких как синтетические цеолиты [8].

В современной литературе встречается большое количество работ по стабилизации наночастиц металлов в матрицах: полимерах, пористых стеклах и оксидах (SiO_2 , Al_2O_3), которые имеют ряд недостатков по сравнению с алюмосиликатными матрицами [9–10]. Алюмосиликаты имеют явные преимущества, так как обладают более высокой термической, химической устойчивостью и особыми свойствами поверхности, что позволяет рассматривать их как наиболее перспективные материалы для стабилизации наночастиц [11].

Селективность обеспечивается микропорами цеолита, их размер может варьировать в диапазоне 0,2–1,2 нм, который совпадает с размерами многих углеводородных молекул. Помимо интереса, вызван-

ного специфическими каталитическими свойствами цеолитов, они являются интересными объектами и для исследований их сорбционных свойств. Установлено, что синтетические алюмосиликаты являются уникальными материалами, которые обладают свойством поглощать и прочно удерживать в своей структуре, как различные ионы металлов, так и наночастицы металлов [12], что открывает возможности для создания материалов, свойства которых могут быть использованы на практике при создании различных нано- и композитных сорбентов.

Однако применение синтетических цеолитов в данной области крайне мало и часто связано с недостаточной изученностью этих объектов. Таким образом, для целого ряда перспективных областей применения синтетических алюмосиликатов необходимо направленно получать материалы с контролируемыми свойствами. Поскольку синтез магнитных наночастиц является многообещающей областью исследований, существует много работ, посвященных разным методам синтеза магнитных наночастиц [13]. К настоящему времени синтезированы магнитные наночастицы разного состава и формы, включающие в себя оксиды железа, такие как магнетит (Fe_3O_4) и маггемит ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), чистые металлы или сплавы. Среди практически используемых методов синтеза магнитных наночастиц следует выделить ряд основных: соосаждение, термическое разложение, микроэмульсионный, гидротермальный и микроволновый методы [14].

Наибольшее распространение получили наночастицы на основе оксидов железа, так как, несмотря на более слабые магнитные свойства в сравнении с наночастицами металлов, они устойчивее к окислению, менее токсичны и обладают широкими возможностями функционализации [15]. Модификация наночастицами на основе оксидов железа проводится в гидротермальных условиях. Гидротермальный метод позволяет четко контролировать свойства получаемого продукта, такие как морфология, размер частиц и чистоту фазового состава за счет варьирования следующих параметров: температура, продолжительность синтеза, давление.

1 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для экспериментов использовали химические реагенты NaOH (99,0%), AgNO₃ (> 99,9%) и NaBH₄ (99%) производства Sigma-Aldrich (Сент-Луис, Миссури, США). Ультрочистую воду (UP) с удельным сопротивлением 18,3 МОм·см получали с помощью фильтрационной установки Millipore (Merck, MA, США).

Химический состав образцов изучали методом рентгеновской флуоресценции (XRF) на Axios Max (PANalytical, Малверн, Великобритания). Измерения проводили в атмосфере гелия, при 40–50 кВ, образцы готовили в виде таблеток с 99,5% борной кислотой (Sigma-Aldrich, Сент-Луис, Миссури, США) в соотношении 1/3.

Анализ минералогического состава образцов проводили методом рентгенофазового анализа (XRD) с использованием дифракционной системы Bruker D8-Focus при 40 кВ и 40 мА, излучением CuKα с фильтром Ni (k1, 5406 Å).

Анализ адсорбции азота при низких температурах проводился с помощью Autosorb-1 (Quantachrome Instruments, UK) в диапазоне относительных давлений от 0,005 до 0,991. Структурные характеристики рассчитаны из изотерм с использованием программного обеспечения для анализа данных Quantachrome. Удельную поверхность рассчитывали методом BET. Распределение пор по размерам, площадь поверхности и объем пор были оценены с использованием модели QSDFT для щелевой/цилиндрической равновесной пористой структуры. Были использованы математические модели по теории Брунауэра-Эммета-Теллера (BET) для расчета удельной поверхности материалов, объема пор и распределения пор по размерам.

Морфологические характеристики поверхности цеолитов изучали с помощью растровой электронной микроскопии (SEM) с использованием сканирующего электронного микроскопа JEOL 6380 LV, картирование анализов выполняли с использованием энергодисперсионного рентгеновского спектрометра Si (Li)

(INCA X-Sight, Oxford Instruments, UK), подключенного к SEM.

Для адсорбции ртути синтезированными образцами приготовлены растворы HgCl₂ с исходными концентрациями от 10 до 550 мг/л и дозировкой адсорбента 0,2 г в 40 мл раствора. Начальный pH растворов доводили до 2 с помощью концентрированной азотной кислоты, тогда как исходный pH растворов был около 6,25. Эксперименты проводились при комнатной температуре в статических условиях. Из адсорбционных контейнеров отбирали аликвоты объемом 50–100 мкл для измерения остаточных концентраций ртути до достижения равновесия. Количество удаленной ртути рассчитывали по разнице между начальной и остаточной концентрациями. Все полученные данные рассчитывали с использованием вариационного анализа с применением программы MS Excel.

Для сравнительного анализа химических свойств были исследованы 2 вида синтетических цеолитов из летучей золы экибастузского и каражыринского углей, полученных при температуре 500 °С.

Образцы летучей золы (ЛЗУ) экибастузского угля собраны с угольной электростанции г. Нур-Султан и Каражыринского угля в г. Усть-Каменогорске, и были названы Э-ЛЗУ и К-ЛЗУ соответственно. Все образцы ЛЗУ использовали в исходном виде, без предварительной промывки и просеивания. Перед экспериментом образцы ЛЗУ сушили при 70 °С в течение ночи. Синтез цеолитов проводился с использованием гидроксида натрия (NaOH, х.ч. в определенном соотношении с ЛЗУ (1:1; 1:1.2). Модификация полученных цеолитов проводилась с использованием солей железа (Fe²⁺ и Fe³⁺) для придания магнитных свойств, нитрат серебра (AgNO₃) использовался для легирования полученных цеолитов. Цеолиты, синтезированные из К-ЛЗУ, были названы К-ЦЛЗ, в то время как цеолиты из Э-ЛЗУ названы как Э-ЦЛЗ, соответственно.

Синтез магнитных цеолитов

В ходе получения синтетических цеолитов на основе летучей золы угля структурная модификация проводилась для быстрого связывания цеолитов с ртутью при удалении ее из водной среды и улучшения физико-химических свойств. Акцент был сделан на увеличение удельной поверхности и пористости синтетическим цеолитам. Придание магнитных свойств осуществлялось методом соосаждения ионов Fe²⁺ и Fe³⁺ (co-precipitation) как показано на рисунке 1. Магнитные свойства улучшают термостойкость за счет создания композитной структуры с наночастицами железа и обуславливают легкое разделение после удаления ртути.

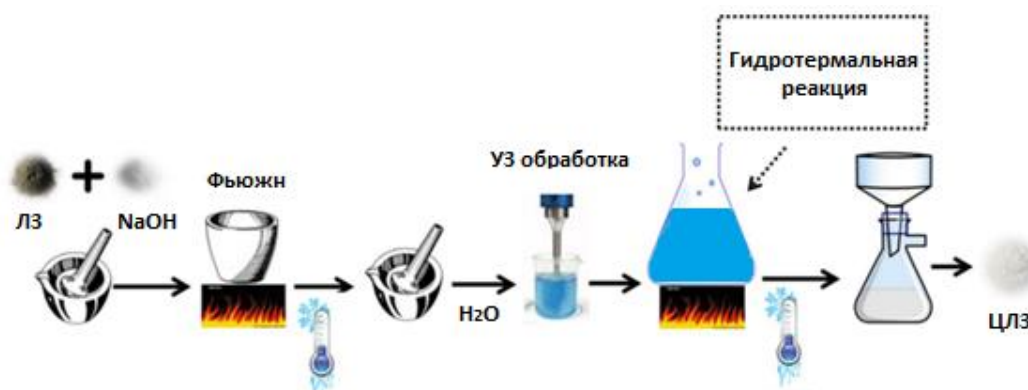


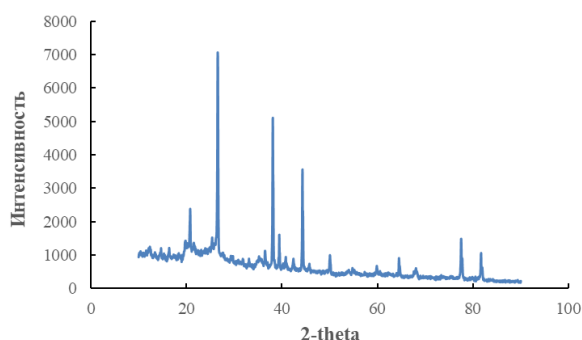
Рисунок 1. Схема получения синтетических цеолитов из ЛЗУ методом Фьюжн

2 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

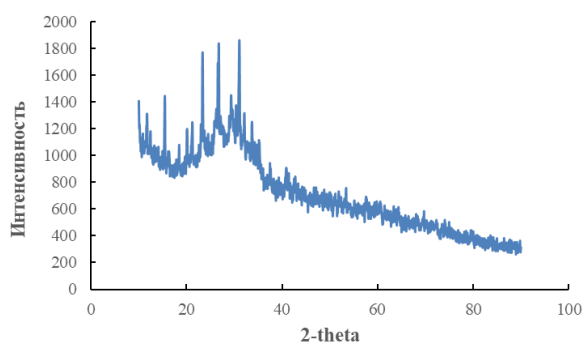
2.1 Характеризация синтезированных материалов

2.1.1 Рентгенофазовый анализ (XRD)

Результаты исследования образцов представлены на рисунках 2–4. Как показывают спектры на рисунке 2, ЛЗУ каражыринского и экибастузкого угля имеют аморфную структуру, что является характерным свойством летучей золы. Основными фазами составляющей ЛЗУ являются муллит, кварц и гематит.



а)



б)

Рисунок 2. Дифрактограмма исходных К-ЛЗУ (а) и Э-ЛЗУ (б)

Синтетические цеолиты, полученные из ЛЗУ, также были исследованы на рентгеновском дифракто-

метре для определения минералогической фазы и подтверждения получения кристаллической структуры. Рисунки 3 и 4 показывают результаты синтеза цеолитов методом Фьюжн, полученных из реакции Э-ЛЗУ и К-ЛЗУ с гидроксидом натрия в соотношении 1:1,2 (мас.%) при температуре плавления 500 °С (Э-ЦЛЗ-500 и К-ЦЛЗ-500).

Согласно полученным результатам образовавшийся Э-ЦЛЗ-500 – цеолит с кристаллической структурой синтетического анальцима с химической формулой $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$. Однако полученный цеолит К-ЛЗУ-500 показал несмешанные фазы, что снижает его физико-химические свойства.

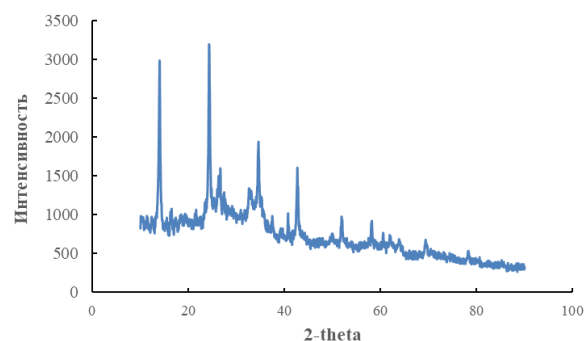


Рисунок 3. Дифрактограмма синтетического цеолита Э-ЦЛЗ-500

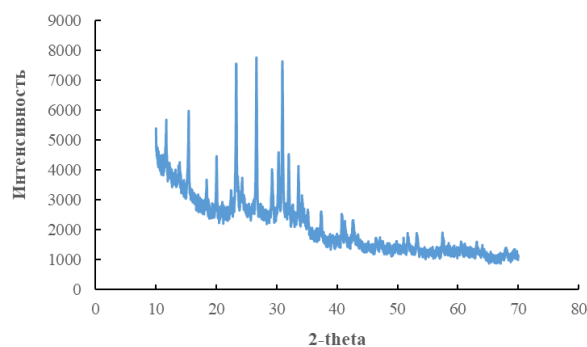


Рисунок 4. Дифрактограмма синтетического цеолита К-ЦЛЗ-500

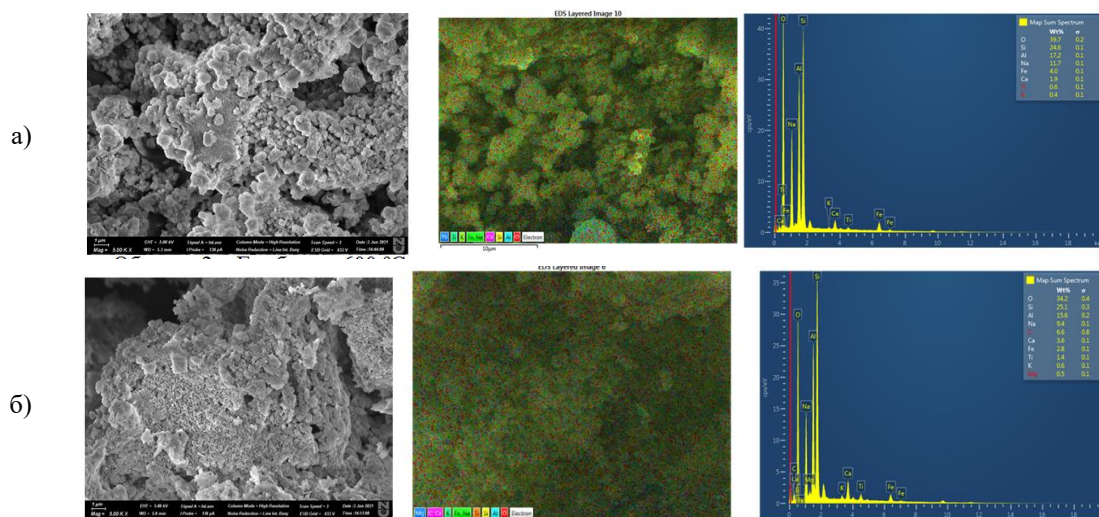


Рисунок 5. Микрофотографии синтетических цеолитов Э-ЦЛЗ-500 (а) и К-ЦЛЗ-500 (б) на SEM и полуколичественный анализ элементов методом EDS

2.1.2 Сканирующая электронная микроскопия с элементным анализом (SEM-EDS)

Результаты SEM-EDS исходных ЛЗУ и полученных цеолитов показаны на рисунках 5, а и 5, б. Результаты сопоставимы с результатами XRF.

Результаты элементного анализа методом EDS показали успешное модифицирование ЛЗУ магнитными наночастицами. Среднее процентное содержание магнитных наночастиц в структуре синтетического цеолита после реакции соосаждения составили ($2,8 \pm 0,27$)% для образца К-ЦЛЗ-500 и ($4,0 \pm 0,44$)% для Э-ЦЛЗ-500 композита (при $p < 0,05$).

2.1.3 Низкотемпературная адсорбция азота

Результаты, полученные методом низкотемпературной адсорбции азота, показали, что площади поверхности исходных образцов ЛЗУ каражыринского и экибастузского угля показывают сопоставимые значения, а рассчитанные объемы макропор и мезопор демонстрируют большую долю от общего объема пор, относящуюся к макропорам.

Результаты низкотемпературной азотной порометрии показали, что все синтезированные цеолиты имеют высокую площадь удельной поверхности и объем пор по сравнению с исходными ЛЗУ, что и следовало ожидать. Следовательно, процесс синтеза цеолитов с кристаллической структурой прошел успешно, образовались мезопоры и микропоры, что привело к резкому увеличению площади поверхности и объема пор. Магнитные цеолиты, полученные методом легирования, и покрытые наночастицами оксида железа или серебра, показали другие результаты. Процесс модификации наночастицами оксида железа приводил к незначительному уменьшению площади поверхности и объема пор.

2.1.4 Рентгено-флуоресцентный анализ (XRF)

Элементный состав исходной летучей золы угля месторождений Каражыра и Экибастуз, полученный

методом XRF, представлен в таблице. Содержание всех элементов представлено в %.

Таблица. Элементный состав образцов ЛЗУ месторождений Каражыра и Экибастуз

Элемент	Содержание элементов в ЛЗУ месторождений ($\bar{x} \pm SD$), %	
	Каражыра	Экибастуз
O	— *	— *
Na	$1,38 \pm 0,03$	— *
Mg	$1,08 \pm 0,01$	$0,14 \pm 0,01$
Al	$15,93 \pm 0,25$	$14,16 \pm 1,11$
Si	$45,81 \pm 0,36$	$46,95 \pm 3,27$
P	$1,36 \pm 0,21$	$0,94 \pm 0,45$
S	$3,04 \pm 0,036$	$0,27 \pm 0,08$
Cl	$1,15 \pm 0,01$	$0,74 \pm 0,35$
K	$2,74 \pm 0,2$	$1,56 \pm 0,25$
Ca	$8,32 \pm 0,32$	$6,49 \pm 0,35$
Ti	$3,75 \pm 0,14$	$2,88 \pm 0,03$
Cr	$0,05 \pm 0,03$	$1,15 \pm 0,05$
Mn	$0,14 \pm 0,017$	$0,54 \pm 0,36$
Fe	$13,90 \pm 0,95$	$22,27 \pm 1,23$
Co	$0,05 \pm 0,00$	— *
Ni	$0,08 \pm 0,001$	$0,24 \pm 0,1$
Cu	$0,18 \pm 0,003$	$0,08 \pm 0,03$
Zn	$0,12 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,01$
Ga	$0,02 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,04$
Rb	$0,02 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,00$
Sr	$0,30 \pm 0,02$	$0,44 \pm 0,01$
Zr	$0,08 \pm 0,01$	$0,30 \pm 0,014$
Ba	$0,06 \pm 0,01$	$0,29 \pm 0,02$
Ce	$0,31 \pm 0,01$	$0,23 \pm 0,018$
Pb	$0,04 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$
Y	— *	— *

Примечания: * – элемент не обнаружен;
 $\bar{x} \pm SD$ – среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического.

Согласно результатам, XRF каркас ЛЗУ представляет собой на 65% алюмосиликат, что позволяет синтезировать магнитные цеолиты.

2.2 Эксперименты по удалению ртути из загрязненной воды

Проведены эксперименты по изучению кинетики адсорбции ртути из водных растворов с различной pH синтетическими цеолитами. В результате получены изотермы адсорбции, представленные на рисунке 6.

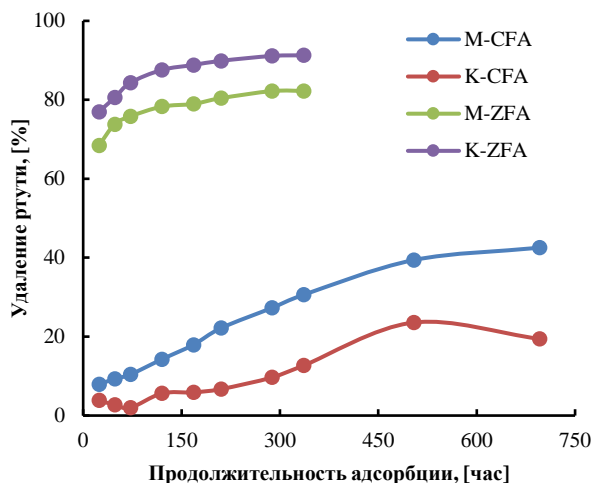


Рисунок 6. Кинетика адсорбции ртути синтезированными цеолитами

Полученные цеолиты, а именно образцы Э-ЦЛЗ-500 и К-ЦЛЗ-500 и их исходные образцы ЛЗУ, испытаны на адсорбционную способность ионов ртути (II) из водных растворов с исходной концентрацией ионов 10 ppm при pH равной 2. Установлено, что в среднем равновесие адсорбционной способности для образцов Э-ЦЛЗ-500 и К-ЦЛЗ-500 наступает примерно через 2 недели, в то время как для исходных ЛЗУ достигается в течение месяца.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Предварительные результаты показали значительно высокий процент адсорбции ртути из раствора в сравнении с исходной летучей золой. Образец № Э-ЦЛЗ-500 удалил более 90% ионов ртути, тогда как исходная летучая зола удалила лишь пятую часть. Образец К-ЦЛЗ-500 показал почти 80% удаления ионов ртути по сравнению с исходной летучей золой, что демонстрирует целесообразность синтеза цеолитов, которые имеют более пористую и кристаллическую структуру.

В данной работе был использован новый метод Фьюжн, который широко используется в мире другими исследователями [16–18]. Однако в отличие от известного метода была разработана его новая модификация на основе импрегнации наночастиц серебра и магнетита, которые увеличивают удельную поверхность и способствуют усиленному удалению ртути в водной среде в определенных условиях.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта МОН РК, ИРН проекта: AP08857007 «Синтетические магнитные композиты, полученные из летучей золы угля для решения водно-экологических проблем загрязнения ртутью».

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Seitkhan Azat, Synthesis of biosourced silica-Ag nanocomposites and amalgamation reaction with mercury in aqueous solutions / Azat Seitkhan, Elizabeth Arkhangelsky, Thanasis Papathanasiou, Antonis A. Zorpas, Askar Abirov and Vassilis J. Inglezakis // *Comptes Rendus Chimie*. – 2020. – Volume 23, issue 1. – P. 77–92.
- Gomes, M.V.T. Phytoremediation of water contaminated with mercury using *Typha domingensis* in constructed wetland / M. V. T. Gomes, R. R. de Souza, V. S. Teles, E. Araújo Mendes, // *Chemosphere*. – 2014. – Vol. 103. – P. 228–233.
- Saranya, K. Bioremediation of mercury by vibrio fluvialis screened from industrial effluents / K. Saranya, A. Sundaramanickam, S. Shekhar, S. Swaminathan, T. Balasubramanian // *Biomed Res. Int.* – Volume 2017. – Article ID 6509648. <https://doi.org/10.1155/2017/6509648>
- Chiarle, S. Mercury removal from water by ion exchange resins adsorption / S. Chiarle, M. Ratto, M. Rovatti // *Water Research*. – 2000. 34(11). – P. 2971–2978.
- Zhang, F.-S. Mercury removal from water using activated carbons derived from organic sewage sludge / F.-S. Zhang, J. O. Nriagu, H. Itoh // *Water Res.* – 2005, 39. – P. 389–395.
- Chojnacki, A. The application of natural zeolites for mercury removal: From laboratory tests to industrial scale / A. Chojnacki, K. Chojnacka, J. Hoffmann, H. Görecki // *Miner. Eng.* – 2004. 17. – P. 933–937.
- Azimi, A. Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters: A Review / A. Azimi, A. Azari, M. Rezakazemi, M. Ansarpour // *ChemBioEng Rev.* – 2017. 4 – P. 37–59.
- Arkhangelsky, E. Nanoparticles as a Powerful Tool for Membrane Pore Size Determination and Mercury Removal / E. Arkhangelsky, V. Inglezakis, V. Gitis, A.V. Korableynyk // Chapter in book: *Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment*. – P. 63–86.
- Gottardi, G. Mineralogy and crystal chemistry of zeolites in: Sand / G. Gottardi, L. Mumpton, F. (eds.) // *Natural Zeolites*, Oxford: Pergamon. – 1978. – P. 31–442.
- Gottardi, G.; Galli, E. *Natural zeolites*, Berlin: Springer-Verlag, 1985. Passaglia, E.; Sheppard, R. A.: *The crystal chemistry of zeolites*, in: Bish, D. L.; Ming, D. W. (eds.): *Natural zeolites: Occurrence, properties, applications: Reviews in mineralogy and geochemistry* (45), Washington, DC: Mineralogical Society of America. – 2001 – P. 69–1164.
- Deer, W. A.; Howie, R.; Wise, W. S.; Zussmann, J.: *Rock forming minerals Volume 4B: Framework silicates: Silica minerals, Feldspathoids and the Zeolites*, London: Geological Society of London, 2004.
- Syed Salman, Conversion of coal fly ash to zeolite utilizing microwave and ultrasound energies: A review / Syed Salman Bukhar, Jamshid Behin, Hossein Kazemian, Sohrab Rohani // *Fuel* 140 (2015). – P. 250–266.
- Luiz Fernando Oliveira Maia, Removal of mercury (II) from contaminated water by gold-functionalised Fe₃O₄

- magnetic nanoparticles / Luiz Fernando Oliveira Maia, Mayra Soares Santos, Thainá Gusmão Andrade, Rodrigo de Carvalho Hott, Márcia Cristina da Silva Faria, Luiz Carlos Alves Oliveira, Márcio César Pereira & Jairo Lisboa Rodrigues. // Environmental Technology. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1515989>
14. Liu, Y. Reusable DNA-functionalized-graphene for ultra-sensitive mercury (II) detection and removal. Biosens / Liu, Y., Wang, X., Wu, H. // Biosensors and Bioelectronics. – 2017. – Volume 87. – P. 129–135.
15. Vassilis J. Inglezakis, Magnetic Fe₃O₄-Ag₀ Nanocomposites for Effective Mercury Removal from Water / Vassilis J. Inglezakis, Aliya Kurbanova, Anara Molkenova, Antonis A. Zorpas and Timur Sh. Atabaev // Sustainability. – 2020, 12, 5489. <https://doi.org/10.3390/su12135489>.
16. Li Xian-bo, Ye Jun-jian, Liu Zhi-hong, Qiu Yue-qin, Li Long-jiang, Mao Song, Wang Xian-chen, Zhang Qin, Microwave digestion and alkali fusion assisted hydrothermal synthesis of zeolite from coal fly ash for enhanced adsorption of Cd(II) in aqueous solution. - J. Cent. South Univ. (2018) 25: 9–20, <https://doi.org/10.1007/s11771-018-3712-0>
17. Zhandos Tauanov, Dhawal Shah, Vassilis Inglezakis, Prashant K. Jamwal Hydrothermal synthesis of zeolite production from coal fly ash: A heuristic approach and its optimization for system identification of conversion. – Journal of Cleaner Production 182 (2018) 616 – 623.
18. Tunde V. Ojumu, Pieter W. Du Plessis, Leslie F. Petrik, Synthesis of zeolite A from coal fly ash using ultrasonic treatment – A replacement for fusion step Ultrasonics Sonochemistry 31 (2016) 342–349.

ФЬЮЖН ӘДІСПЕН АЛЫНҒАН СУДАН СЫНАПТЫ ЖОЮ ҮШІН НАНОКОМПОЗИТТІК ЦЕОЛИТТЕРДІ СІПАТТАМАСЫ

А. Сатаева^{1,2)}, Ж. Тауанов^{1,3)}, Ұ. Жантیکеев^{1,3)}, А. Бәйменов^{1,3)}, С. Азат^{1,3,4)}, И. Аллан³⁾

¹⁾ «Жалын» ЖШС, Алматы, Қазақстан

²⁾ Назарбаев Университеті, National laboratory Astana, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

³⁾ Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,

Химия және химиялық технология факультеті, Алматы, Қазақстан

⁴⁾ Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

Мақалада Фьюжн әдісімен көмір күлінен (КК) алынған жаңа композициялық материалдарды әзірлеу нәтижелері берілген.

Композиттік материалдар күміс нанобөлшектерімен легирленген және XRD, SEM-EDS, XRF сияқты кеңейтілген сипаттама әдістерімен сипатталады. КК негізінде синтетикалық цеолиттерді алу барысында цеолиттерді сулы ортадан тазартқанда сынаппен тез байланыстыру және физика-химиялық қасиеттерін жақсарту үшін құрылымдық модификация жүргізілді. Синтезделген нанокөмірлер рН әртүрлі сулы ерітінділерден Hg жою үшін пайдаланылды. Синтетикалық цеолиттер үшін адсорбциялық қабілетінің тепе-теңдігі шамамен 2 аптадан кейін пайда болады, ал бастапқы КК үшін бір ай ішінде жетеді. Алдын ала нәтижелер ерітіндіден сынаптың айтарлықтай жоғары жойылуын 80-ден 90% -ға көрсетеді.

Түйін сөздер: адсорбция; сынап, цеолиттер, синтезделген нанокөмірлер, ұшына күл.

CHARACTERIZATION OF NANOCOMPOSITE ZEOLITES FOR MERCURY REMOVAL FROM WATER PRODUCED BY THE FUSION METHOD

A. Satayeva^{1,2)}, Zh. Tauanov^{1,3)}, U. Zhantikeev^{1,3)}, A. Baimenov^{1,3)}, S. Azat^{1,3,4)}, I. Alan³⁾

¹⁾ Zhalyn LLP, Almaty, Kazakhstan

²⁾ Nazarbayev University, National Laboratory Astana, Nur-Sultan, Kazakhstan

³⁾ Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, Almaty, Kazakhstan

⁴⁾ Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev, Almaty, Kazakhstan

The article presents the results of the development of new composite materials obtained from coal fly ash (CFA) by the Fusion method.

The composite materials are doped with silver nanoparticles and characterized using advanced characterization methods, namely XRD, SEM-EDS, XRF. In the course of obtaining synthetic zeolites based on CFA, structural modification was carried out to quickly bind zeolites with mercury when it was removed from the aqueous medium and improve the physicochemical properties. The synthesized nanocomposites were used to remove Hg from aqueous solutions with different pH. It was found that the equilibrium of the adsorption capacity for synthetic zeolites occurs after about 2 weeks, while for the original CFA it is reached within a month. Preliminary results show a significantly high removal of mercury from the solution – from 80 to 90% of mercury ions.

Keywords: adsorption; mercury, zeolites, synthesized nanocomposites, fly ash.