

Жданюк Н.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лещенко П.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ, ТЕРМІЧНИХ ТА СОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОНТМОРИЛОНІТУ З НАНЕСЕНИМ ШАРОМ НАНОРОЗМІРНОГО НУЛЬ-ВАЛЕНТНОГО ЗАЛІЗА

У роботі досліджена структура залізовмісного сорбенту на основі монтморилоніту за допомогою рентгенофазового аналізу (РФА). Результати РФА залізовмісного композиту підтвердили успішне закріплення нанорозмірного нуль-валентного заліза поверхні монтморилоніту. Для вивчення морфології поверхні монтморилоніту, нанорозмірного нуль-валентного заліза і залізовмісного композиту використано скануючу електронну мікроскопію. В результаті досліджень підтверджено, що частинки монтморилоніту мають форму масивних пластин. Для зразка Fe^0 спостерігається утворення сферичних частинок, які з'єднуються одна з одною у ланцюги. Для залізовмісного композиту на основі монтморилоніту спостерігаємо морфологію схожу із монтморилонітом, але слід відмітити доволі рівномірне розміщення часточок нанорозмірного нуль-валентного заліза на поверхні монтморилоніту. Термічний аналіз залізовмісного композиту підтвердив, що жодних перетворень у зразку до $170\text{ }^\circ\text{C}$ крім виділення фізично зв'язаної води не відбувається. Це дозволило визначити температурні інтервали сушіння матеріалу. При температурі вище $950\text{ }^\circ\text{C}$ відбувається структурне перетворення монтморилоніту, що приводить до виникнення нових фаз: кварцу, кордієриту, естатиту, периклазу, шпінелі. Отримані дані дозволяють стверджувати, що утилізацію відпрацьованих сорбентів можна проводити за керамічною технологією. Крім того, дані результати термічного аналізу підтверджують, що окиснення нанорозмірного нуль-валентного заліза відбувається за $320\text{ }^\circ\text{C}$, а окиснення заліза у зразку залізовмісного композиту починається за $280\text{ }^\circ\text{C}$, що опосередковано свідчить про зменшення розміру його часточок. Таким чином, можна стверджувати, що розміри частинок Fe^0 утворені на поверхні монтморилоніту значно меншого розміру ніж частинки Fe^0 отримані із чистих розчинів. Ці дані підтверджують результати РФА. Сорбційні дослідження підтвердили, що синтезований залізовмісний сорбент здатні вилучати іони $Cr(VI)$ та $Co(II)$ з водних середовищ, при початковій концентрації іонів 1 мг/дм^3 , до значень нижчих за гранично допустимі концентрації.

Ключові слова: рентгенофазовий аналіз, термічний аналіз, адсорбція, скануюча електронна мікроскопія, хром (VI), кобальт (II).

Постановка проблеми. Одним із важливих екологічних завдань є попередження скиду промислових стічних вод приладобудівних та гальванічних виробництв, що містять іони важких металів в концентраціях вищих, за гранично допустимі. Такі важкі метали як хром та кобальт відносяться до II класу небезпеки, негативно впливають на живі організми, оскільки проявляють високі токсичні властивості. Тому такі виробництва потребують розробки ефективних технологій для вилучення іонів важких металів із водних середовищ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найбільш перспективним методом очищення вод-

них середовищ, забруднених іонами важких металів та радіонуклідів є застосування сорбційних технологій [1]. Досвід використання в якості сорбентів глинистих мінералів показав, що їх висока дисперсність та наявність на їх поверхні великої кількості сорбційних центрів забезпечує високі адсорбційні властивості та здатність до катіонного обміну [2]. При цьому найвищі сорбційні властивості мають мінерали монтморилонітової групи, великі поклади яких розвідані та розробляються в Україні. Однак, сорбенти на основі глини практично не здатні до видалення забруднювачів, що присутні у водах у вигляді аніонів, які в ряді

випадків є найбільш небезпечними (комплекси урану, хрому, тощо) [2].

Нанесення шару Fe^0 на поверхню шаруватих та шарувато-стрічкових силікатів дозволяє отримати сорбенти з унікальними властивостями [3]. Ефективність залізовмісних композитів в процесах очищення водних середовищ від різноманітних забруднень відбувається за рахунок сорбційного та відновлювального механізмів [4; 5]. Таким чином, забруднюючі речовини перетворюються на менш шкідливі, за рахунок відновлення і утворюються нерозчинні або менш шкідливі сполуки. Наприклад, іони Cr (VI) відновлюються до Cr (III).

Використання монтморилоніту у якості підложки для Fe^0 дозволяє суттєво знизити здатність нанорозмірного нуль-валентного заліза до агрегації [6]. Не зважаючи на це, існують суттєві обмеження щодо широкого застосування залізовмісних композитів у водоочищенні. Так, нанодисперсне Fe^0 має схильність до окиснення. Дані процеси починають відбуватися на етапі синтезу Fe^0 -МТ, що зменшує активність і ефективність сорбенту і подальше використання його в технологічних процесах [6]. Це визначає актуальність дослідження та дозволить проводити спрямований синтез ефективних залізовмісних сорбентів на основі природних силікатів із заданими властивостями і структурою.

Формулювання цілей статті

Мета дослідження – дослідження властивостей залізовмісного сорбенту на основі монтморилоніту з метою встановлення умов направленої синтезу сорбентів.

Для виконання поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

дослідити структуру залізовмісного композиту, вивчити його термічні та сорбційні властивості по відношенню до аніонів важких металів на прикладі хрому (VI) та катіонів на прикладі кобальту (II).

Виклад основного матеріалу. Вихідним матеріалом є природний шаруватий силікат – монтморилоніт Черкаського родовища (Україна) із загальною формулою $(Ca,Na)(Al,Mg,Fe)_2(OH)_2[(Si,Al)_4O_{10}] \cdot nH_2O$. Хімічний склад мінералу: SiO_2 – 51,9%, Al_2O_3 – 17,10%, Fe_2O_3 – 7,92%, MgO – 1,18%, Na_2O , K_2O і CaO до 2% і H_2O – 8,78%. Монтморилоніт характеризується найвищою серед глинистих мінералів ємністю катіонного обміну (КОЄ) 1,0 ммоль/г [7].

Для вивчення будови вихідного матеріалу та синтезованих зразків використовували рентгенофазовий аналіз (РФА), скануючу електронну мікроскопію, термічний аналіз. Для дослідження

сорбційних властивостей матеріалів використовували спектрофотометричний метод.

Природний монтморилоніт попередньо перетворювали у Na-форму по методиці, описаній у роботі (зразок – МТ) [8]. Синтез нанорозмірного нуль-валентного заліза (зразок – Fe^0) проводили сульфатним методом, відновленням солі $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (Merck) боргідридом натрію $NaBH_4$ (Merck). Аналогічним методом отримували залізовмісний композит з водних дисперсій монтморилоніту (зразок – Fe^0 -МТ) [9]. Масове співвідношення між складовими композиційного сорбенту становило 0,1 Fe^0 на 1 монтморилоніту. Сушіння композитів проводили під вакуумом при температурі 80 °С. Для встановлення впливу умов сушіння на ефективність сорбенту, додатково були отримані залізовмісні зразки отримані при висушенні при 60, 80 та 100 °С під вакуумом.

Рентгенівський аналіз було проведено за допомогою дифрактометру ДРОН-3М (Російська Федерація), з системою комп'ютерного сканування та запису дифракційної картини. Також було використане фільтроване $Cu-K_{\alpha}$ випромінювання. Розмір частинок був визначений за формулою Шеррера для розрахунку розміру частинок рентгенівських променів:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta},$$

де D – розмір кристалів, k – коефіцієнт форми частинок (для сферичних частинок дорівнює 0,9); λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$; θ – кут дифракції Брегга та β – повна ширина при половині максимальної інтенсивності піка.

Мікроскопічні дослідження виконано на скануючому електронному мікроскопі РЕМ-106И (Україна). Даний мікроскоп отримує зображення поверхні об'єкту з високою просторовою роздільною здатністю та глибиною різкості у відбитих та вторинних електронах. Для досліджень використовували зразки у порошкоподібному стані, фракцією $\alpha < 0,1 \text{ мм}$.

Термогравіметричні дослідження сорбентів проводили на приладі Derivatograph Q-1500 (Угорщина) системи «Паулік-Паулік-Ердей». Зразки аналізували в динамічному режимі. Швидкість нагрівання складала 10 °С/хв. Нагрівання зразка проводили до 1000°С в атмосфері повітря. Маса зразків становила 1500 мг. В якості еталонної речовини використано Al_2O_3 . В експериментах використовувався платиновий тигель. Чутливість за шкалою зміни маси (ТГ) складала 50 мг, за шкалою диференційного нагрівання (ДТА) – 250 мкВ.

В сорбційних експериментах використовували розчин калій дихромат ($K_2Cr_2O_7$) та кобальт(II) хлориду гексагідрату ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) для визначення Cr(VI) та Co(II), відповідно. Сорбцію проводили в статичних умовах при безперервному струшуванні зразків протягом 1 год. (об'єм водної фази складав 50 мл, наважка мінералу 0,1 г, концентрації Cr(VI) та Co(II) в сорбційних експериментах становили 1 мг/дм^3) за стандартними методиками [10; 11]. Сорбційні експерименти проводили при $pH=7$. Рівноважну концентрацію металу спектрофотометричним методом (UNICO 2100UV, США) з використанням реагенту дифенілкарбазиду при довжині хвилі 540 нм для хрому та нітросо-*R* – солі ($NO(HO)C_{10}H_4(SO_3Na)_2$) при довжині хвилі 520 нм для визначення Co(II).

Результати дослідження та обговорення. На рис. 1 представлені дифрактограми неорієнто-

ваних зразків монтморилоніту, нанорозмірного нуль-валентного заліза та залізовмісного композиту на основі монтморилоніту. Для зразка МТ (крива 1, рис. 1) спостерігається серія базальних рефлексів 1,240; 0,315; 0,253 нм та лінії двомірної дифракції – 0,447; 0,256; 0,224 нм, що є характерним для смектитів [12, 13], а вузькі та інтенсивні лінії з міжплощинною відстанню 0,425; 0,334; 0,245 нм відповідають кварцу.

На дифрактограмі зразка Fe^0 (крива 2, рис. 1) спостерігаємо чіткі рефлекси при $44,9^\circ$ і $35,8^\circ$ (0,202 та 0,252 нм відповідно), що відповідають кристалічним фазам нуль валентного заліза (α -Fe) та оксиду заліза (FeO).

На дифрактограмах зразка Fe^0 -МТ (крива 3, рис. 1) також присутні рефлекси при $44,9^\circ$ і $35,8^\circ$, що підтверджує присутність нанорозмірного нуль-валентного заліза у залізовмісному композиті, а також при менших значеннях 2θ оксиду заліза та гетиту (FeOOH) [14].

Розмір частинок був визначений за формулою Шеррера по розширенню ліній наполовину максимальної інтенсивності було встановлено, що розмір наночастинок заліза у зразках Fe^0 та Fe^0 -МТ складає 98 та 54 нм, відповідно.

У роботі проведено електронні мікроскопічні дослідження вихідного монтморилоніту та синтезованих матеріалів. Електронний знімок (СЕМ) поверхні МТ представлений на рис. 2, а. На зображенні присутні агрегати частинок монтморилоніту, які мають форму масивних та вигнутих пластин. Для зразка Fe^0 характерне утворення гілкоподібних структур (рис. 2, б). Частинки заліза утворюють наносфери, які з'єднуються одна з одною у ланцюги. Ця лінійна орієнтація пов'язана з магнітними властивостями заліза. Для зразка Fe^0 -МТ (рис. 2, в) спостерігаємо морфологію схожу із зразком МТ та рівномірне розміщення часточок Fe^0 по поверхні монтморилоніту у вигляді окремих агрегатів.

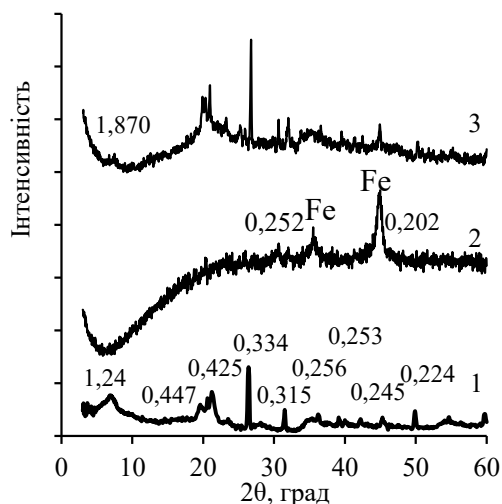


Рис. 1. Дифрактограми зразків:

1 – монтморилоніт; 2 – нанорозмірне нуль-валентне залізо; 3 – залізовмісний композит на основі монтморилоніту

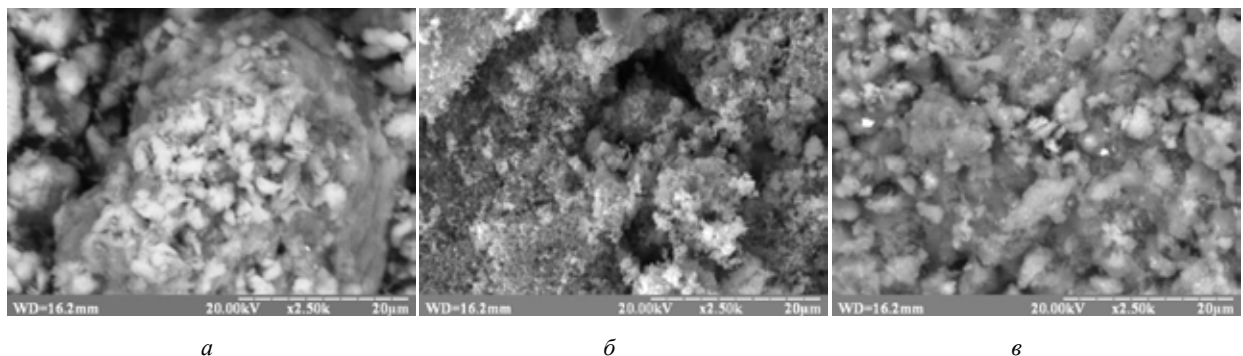


Рис. 2. Результати скануючої електронної мікроскопії:

а – монтморилоніт; б – нанорозмірне нуль-валентне залізо; в – залізовмісний композит на основі монтморилоніту

Термічний аналіз зразка МТ описаний у роботі [15]. Для зразка МТ на кривій ДТА присутні три ендотермічні ефекти Перший інтенсивний низькотемпературний ефект (50–240 °С) свідчить про виділення адсорбційної і міжпакетної води та дозволяє стверджувати, що характер гідратованих обмінних катіонів відповідає присутності Na^+ . Два наступних ендоефекти (450–590 °С та 800–920 °С) відповідають виділенню конституційної гідроксильної води. [16]. При температурі вище 950 °С відбувається зміна структури мінералу, що приводить до виникнення нових фаз: кварцу, кордієриту, енстатиту, периклазу, шпінелі. Всі процеси відбуваються з втратою маси зразка.

Результати термічного дослідження зразка Fe^0 представлені на рис. 3.а. Де представлені зміна маси (крива ТГ), диференційна зміна маси (крива ДТГ) та диференційна крива нагрівання (крива ДТА). Основною кристалічною фазою нанорозмірного заліза є $\alpha\text{-Fe}^0$. Його поверхня вкрита оксидами та гідроксидами феруму. Його товщина складає 3÷5 нм. Відповідно до результатів РФА в оксидному шарі Fe^0 присутній $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ – гематит [16].

У температурному інтервалі 80–120 °С спостерігаються два низькотемпературних ендоефекти з втратою маси, що відповідають видаленню адсорбційної води. Незначний екзоефект при температурі ~300°С пояснюється початком окиснення матеріалу та досягнення температури саморозігріву (320 °С), вище якої відбувається самозаймання порошку.

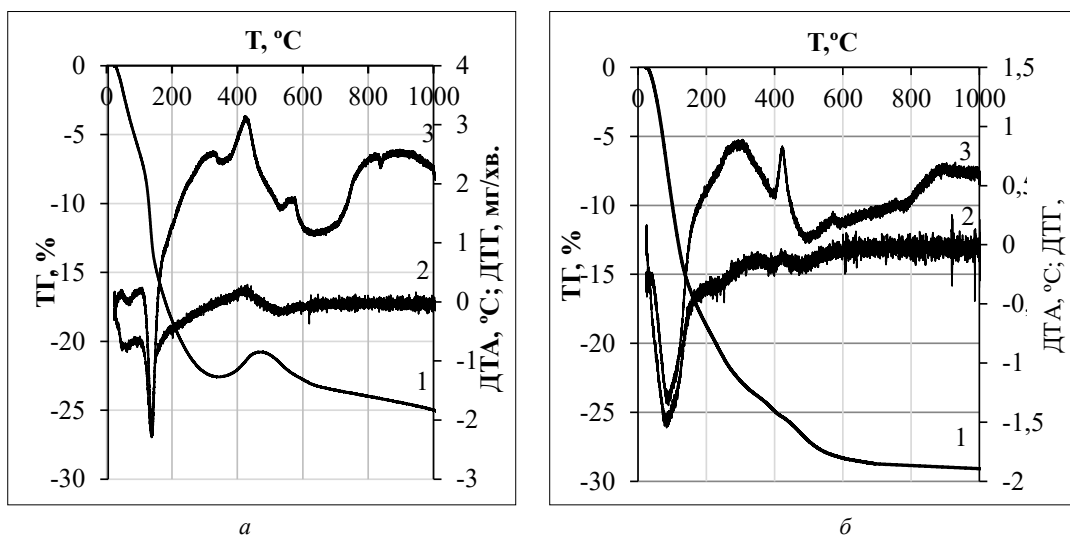
Екзоефекти в температурних інтервалах 350–520 °С та 520-600 °С відповідають процесам окиснення заліза. Спочатку відбувається окис-

нення найменших частинок з утворенням Fe_2O_3 . Наступне окиснення заліза супроводжується формуванням на його поверхні багатшарової окалини, яка складається з декількох оксидів феруму: Fe_xO (вюстит, $x=0,836\dots0,954$), Fe_3O_4 (магнетит), Fe_2O_3 (гематит, маггеміт) [17]. Співвідношення шарів, що формуються в атмосфері повітря у приблизно складає $\text{FeO}:\text{Fe}_3\text{O}_4:\text{Fe}_2\text{O}_3=100:10:1$ [17; 18]. В температурному інтервалі 350–600 °С спостерігається збільшення маси зразка, що пояснюється окисненням та може свідчити про значний вклад зовнішньої дифузії в макрокінетику реакції [17].

Для зразка $\text{Fe}^0\text{-МТ}$ (рис. 3.б) в інтервалі температур 50–170 °С спостерігається ендоефект, що відповідає втраті адсорбційної та міжпакетної води. В області температур 170–550 °С спостерігаються накладання ряду екзоефектів, що відповідають процесам окиснення заліза та ендоефектів, що відповідають втрати конституційної води.

Дані процеси відбуваються з втратою маси композиту. При температурі вище 600 °С втрати маси практично не відбувається. Дані результати термічного аналізу підтверджують, що окиснення заліза у зразку Fe^0 відбувається за 320 °С, а у зразку $\text{Fe}^0\text{-МТ}$ за 280 °С, що опосередковано свідчить про зменшення розмішу його часточок. Таким чином, можна стверджувати, що розміри частинок Fe^0 утворені на поверхні монтморилоніту значно меншого розміру ніж частинки Fe^0 отримані із чистих розчинів. Ці дані підтверджують результати РФА.

Вивчення залежності адсорбційних властивостей від умов сушіння синтезованих зразків представлено у таблиці 1. Результати досліджень



1 – крива ТГ; 2 – крива ДТГ; 3 – крива ДТА

Рис. 3. Результати термічного аналізу зразків Fe^0 (а) та залізовмісного композиту на основі монтморилоніту (б)

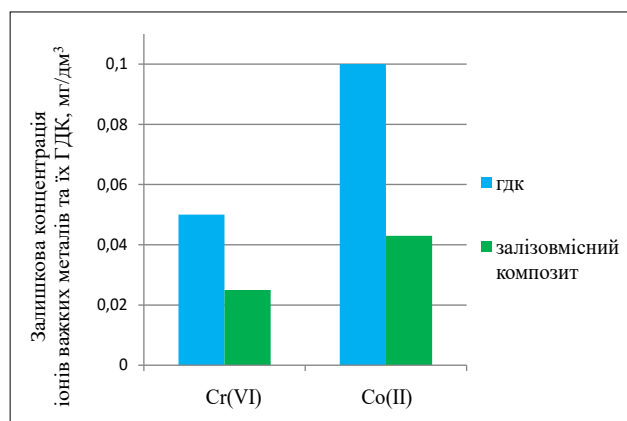


Рис. 4. Залишкові концентрації іонів Cr (VI) після очищення забруднених розчинів залізовмісним композитом при pH=7

підтверджують, що оптимальним режимом сушіння зразків під вакуумом є температура 80 °С. Такі умови забезпечують м'яке сушіння зразка без допуску повітря. Важливо, щоб спиртово-водний розчин у якому міститься дисперсна залізовмісна фаза якомога менший термін перебувала нижче температури кипіння суміші, що призведе до окиснення Fe⁰.

Результати перевірки ефективності сорбенту на модельних водах з концентрацією іонів Cr(VI) та Co(II) – 1 мг/дм³ представлено на рис. 4.

Дослідження підтверджують, що очищення водних середовищ синтезованими композитами Fe⁰-МТ від іонів Cr(VI) та Co(II) досягли рівня гранично-допустимих концентрацій (ГДК), що складають 0,05 та 0,1 мг/дм³, відповідно [19].

Таблиця 1

Сорбційні характеристики матеріалів при C₀=50 мг/дм³ в залежності від умов сушіння

Сорбент	Ступінь очищення, %					
	Cr(VI)			Co(II)		
	60 °С	80 °С	100 °С	60 °С	80 °С	100 °С
МТ	31,81	31,77	31,79	51,0	51,3	51,3
Fe ⁰	62	68	68	88,7	90	90,4
Fe ⁰ -МТ	46,5	50,6	51,3	88,6	94,8	95,2

Висновки

Дослідження структури залізовмісного композиту на основі монтморилоніту підтвердило наявність у його складі Fe⁰. Термічний аналіз властивостей залізовмісних композитів, даних рентенофазового аналізу та результати скануючої електронної мікроскопії допомогли проводити направлений синтез сорбентів з визначеними властивостями. А також встановити оптимальні умови сушіння зразків.

Термічні дослідження залізовмісного сорбенту підтвердили, що при нагріванні його до 170 °С відбувається лише виділення фізично зв'язаної води. Дані результати можуть бути використанні для розробки промислових та

напівпромислових визначення оптимальних режимів сушіння отриманих сорбентів. Екзотермічний пік на кривій ДТА при температурі 950 °С відповідає кристалізації нових фаз та утворення керамічного черепка. Дані результати підтверджують можливість утилізацію відпрацьованих залізовмісних сорбентів на основі монтморилоніту.

Синтезовані залізовмісні композити здатні вилучати із забруднених водних середовищ до 95,7% іонів Cr (VI) та 97,5% Co(II) при початковій концентрації забрудників 50 мг/дм³. Дослідження проведені на модельних водах концентрацією іонів Cr (VI) та Co(II) рівній 1 мг/дм³ підтверджують очищення водного середовища до рівнів ГДК.

Список літератури:

1. Алыков Н.М., Павлова А.В., Нгуэн К.З. Сорбционное удаление из воды ионов тяжелых металлов. *Безопасность жизнедеятельности*. 2010. № 4. С. 17–20.
2. Вилучення сполук U(VI) з вод із використанням органоглини А.О. Голембіовський, І.А. Ковальчук, Б.Ю. Корнілович, Н.В. Жданюк // Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2011. № 6. С. 154–158.
3. Ezzatahmedi N. Clay-supported nanoscale zero-valent iron composite materials for the remediation of contaminated aqueous solutions: A review / N. Ezzatahmedi, G. Ayoko, G. Millar, R. Speight, C. Yan, J. Li, S. Li, J. Zhu, Y. Xi / *Chem. Eng. J.* 2017. Vol. 312. P. 336–350. doi: 10.1016/j.cej.2016.11.154
4. Fu F., Dionysiou D., Liu H. The use of zero-valent iron for groundwater remediation and wastewater treatment: a review. *J. Hazard. Mater.* 2014. Vol. 267. P. 194–205.
5. Shahwan T., Uzum C., Eroğlu A.E., I. Lieberwirth. Synthesis and characterization of bentonite/iron nanoparticles and their application as adsorbent of cobalt ions. *Appl. Clay Sci.* 2010. № 47. P. 257–262.

6. Zhang X., Lin S., Lu X.-Q., Yool-Jin Park, Patrick J. Shea. Removal of Pb(II) from water using synthesized kaolin supported nanoscale zero-valent iron. *Chem. Eng. J.* 2010. № 163. P. 243–248.
7. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. Киев: Наукова думка, 1975. 351 с.
8. Zhdanyuk N. Research of chromium (VI) ion adsorption by montmorillonite modified by cationic surfactants. *Технологічний аудит та резерви виробництва.* 2016. № 5. С. 11–15. doi:10.15587/2312-8372.2016.81015.
9. Prus V., Zhdanyuk N. Investigation of removal of hexavalent chromium and divalent cobalt from aqueous solutions by organo-montmorillonite supported iron nanoparticles. *EUREKA: Physics and Engineering.* 2016. № 5. С. 81–88.
10. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод : монография. Москва : Химия, 1989. 448 с.
11. Марченко З. Фотометрическое определение элементов : монография. Москва : Мир, 1971. 547 с.
12. Brindley G.W., Brown G. Crystal structure of clay minerals and their X-ray identification : monograph. London : Miner. Soc., 1980. 518 p.
13. Рентгенография основных типов породообразующих минералов (слоистые и каркасные силикаты) / под ред. В.А. Франк-Каменского. Ленинград : Недра, 1983. 359 с.
14. Уэллс А. Структурная неорганическая химия: монография. Москва: Мир, 1988. Т. 3. 564 с.
15. Zhdanyuk N., Chudinovich O. Research of structure and sorption properties of montmorillonite modified with hexadecylmethelammonium bromide. *Technology audit and production reserves.* 6/3(50). 2019. P. 19–23.
16. Коршунов А.В. Влияние дисперсности порошков железа на закономерности их окисления при нагревании в воздухе. *Журнал Известия Томского политехнического университета.* 2011. Т. 318, № 3. С. 5–11.
17. Кубашевский О., Гопкинс Б. Окисление металлов и сплавов / перевод с англ. В. А. Алексева. 2-е изд. Москва : Металлургия, 1965. 428 с.
18. Губин С.П., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б., Юрков Г.Ю. Магнитные нано-частицы: методы получения, строение и свойства. *Успехи химии.* 2005. № 74(6). С. 539–574.
19. САНПин 4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. М. : Изд. Минздрава СССР, 1988. 67 с.

Zhdanyuk N.V., Leshchenko P.V. STUDY OF THE STRUCTURE, THERMAL AND SORPTION PROPERTIES OF MONTMORILLONITE WITH A DEPOSITED LAYER OF NANO-SIZED ZERO-VALENT IRON

The structure of an iron-containing sorbent based on montmorillonite was investigated in the work using X-ray phase analysis (XRD). The results of XRD of the iron-containing composite confirmed the successful fixation of nanoscale zero-valent iron on the surface of montmorillonite. Scanning electron microscopy was used to study the surface morphology of montmorillonite, nanoscale zero-valent iron, and an iron-containing composite. As a result of research, it was confirmed that the particles of montmorillonite have the form of massive plates. For the Fe⁰ sample, the formation of spherical particles is observed, which are connected to each other in chains. For the iron-containing composite based on montmorillonite, we observe a morphology similar to that of montmorillonite, but it should be noted that the particles of nano-sized zero-valent iron are fairly evenly distributed on the surface of montmorillonite. The thermal analysis of the iron-containing composite confirmed that no transformations occur in the sample up to 170 °C except for the release of physically bound water. This made it possible to determine the temperature intervals for drying the material. At a temperature above 950 °C, a structural transformation of montmorillonite occurs, which leads to the emergence of new phases: quartz, cordierite, enstatite, periclase, spinel. The obtained data allow us to state that the disposal of spent sorbents can be carried out using ceramic technology. In addition, these results of thermal analysis confirm that the oxidation of nano-sized zero-valent iron occurs at 320 °C, and the oxidation of iron in the iron-containing composite sample begins at 280 °C, which indirectly indicates a decrease in the size of its particles. Thus, it can be stated that the size of Fe⁰ particles formed on the surface of montmorillonite is much smaller than Fe⁰ particles obtained from pure solutions. These data confirm the results of XRD. Sorption studies confirmed that the synthesized iron-containing sorbent is capable of removing Cr(VI) and Co(II) ions from aqueous media, at an initial ion concentration of 1 mg/dm³, to values lower than the maximum permissible concentrations.

Key words: X-ray phase analysis, thermal analysis, adsorption, scanning electron microscopy, chromium (VI), cobalt (II).