

Л.В. Сиса<sup>1</sup>, Л.П. Шевчук<sup>2</sup>, А.З. Концур<sup>1</sup>

## Покращення параметрів сорбції іонів нікелю бентонітом внаслідок опромінення його надвисокочастотними хвилями

<sup>1</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (ЛДУ БЖД), 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35;  
e-mail: [teacher\\_leon@ukr.net](mailto:teacher_leon@ukr.net)

<sup>2</sup>Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького; 79010, м. Львів, вул. Пекарська, 69;  
e-mail: [l\\_shevchuk@ukr.net](mailto:l_shevchuk@ukr.net)

Досліджено сорбційні характеристики за Нікелем природного глинистого матеріалу бентоніту, підготовленого спеціальним опроміненням його надвисокочастотними електромагнітними хвилями («мікрохвилями»). Перед початком сорбційної очистки модельних розчинів вивчено фазовий склад вказаного сорбенту рентгенівським методом порошку. На прикладі процесу сорбції іонів Нікелю з водних розчинів у статичних умовах показано, що зразок цього сорбенту, попередньо зволожений та опромінений «мікрохвилями», виявляє у 2,7 рази кращі сорбційні властивості, ніж необроблений (нативний) зразок. Розраховано сорбційні параметри підготовленого з використанням «мікрохвиль» та нативного зразків бентоніту за рівняннями моделі Ленгмюра. Гранична ємність за Нікелем опроміненого сорбенту становить 16,4 мг/г (0,28 ммоль/г), в той час як для нативного бентоніту значення аналогічного параметру складає 6,0 мг/г (0,10 ммоль/г). Причиною такого посилення сорбційних властивостей може бути зміна кристалічної структури та розподілу мікропор на поверхні сорбенту під дією «мікрохвиль» у водному середовищі. Висловлено припущення, що спільна дія двох факторів – опромінення «мікрохвилями» та гідротермальна деструкція - впливає на приповерхневу структуру глинистого матеріалу, розподіл макро- та мікропор, активізацію поглинаючої поверхні, а це, у свою чергу, призводить до зміни сорбційних параметрів. Вирішальними факторами у процесах попередньої підготовки сорбенту за допомогою «мікрохвиль» мають бути оптимальна потужність та час опромінення.

**Ключові слова:** очистка води, сорбент, бентоніт, Нікель, активація, мікрохвилі.

*Стаття постуила до редакції 18.09.2017; прийнята до друку 05.12.2017.*

### Вступ

Важкі метали, серед яких і Нікель, є важливою, але й небезпечною складовою природних вод. У річкових незабруднених і слабо забруднених водах концентрація Нікелю коливається зазвичай від 0,8 до 10 мкг/дм<sup>3</sup>; в забруднених вона становить кілька десятків мікрограмів в 1 дм<sup>3</sup>. Середня концентрація нікелю в морській воді – 2 мкг/дм<sup>3</sup>, у звичайних підземних водах – порядку 10<sup>3</sup> мкг/дм<sup>3</sup>. У підземних водах, що омивають нікельовмісні гірські породи, концентрація нікелю іноді зростає до 20 мг/дм<sup>3</sup> [1].

Як мікроелемент, Нікель бере участь, в основному, в процесі кровотворення і входить до складу червоних клітин крові (еритроцитів). Крім цього, важлива його роль в окисно-відновних процесах організму. У тканинах і органах розподіляється наступним чином: м'язи, печінка, легені, нирки, підшлункова залоза, головний мозок,

щитовидна залоза. Це ті органи, в яких відбуваються основні процеси обміну.

З урахуванням цього, увага багатьох спеціалістів та дослідників у галузі водоочистки зосереджена зараз на пошуку та вдосконаленні найбільш ефективних методів очистки вод від надлишку іонів важких металів, в т.ч. Нікелю.

Сорбція є одним з типових методів очистки води від забруднювачів, зокрема, і згаданих металів. Головною проблемою такого методу є пошук дешевих, але високопродуктивних сорбентів для використання їх як у нативному вигляді, так і після регенерації. Значні затрати енергії та реактивів на попередню очистку, активацію та регенерацію синтетичних сорбентів сильно впливають на вартість водоочистки. У цьому плані перспективним є оптимізація способів використання глинистих природних матеріалів з високими сорбційними характеристиками [2].

Бентонітові глини використовуються у процесах

сорбційної очистки досить давно – як у промислових, так і в побутових цілях [3]. Питання щодо використання цих гірських порід в якості сорбентів для очистки природних та стічних вод є актуальним і набуває все більшого значення, оскільки поширеність цих матеріалів, простота у видобуванні та відповідна їх дешевизна робить процес водоочистки менш затратним [4].

Перспективним напрямком підвищення ефективності процесу сорбційної очистки води та наступної регенерації сорбентів є використання для цієї мети надвисокочастотного електромагнітного випромінювання (НВЧ ЕМВ або «мікрохвиль»). На даний час такі дослідження проведено на прикладі окремих синтетичних сорбентів, у той час як природні глинисті матеріали у цьому плані вивчені дуже мало.

Метою нашої роботи було визначення параметрів сорбції іонів Нікелю з водних систем на зразках природного сорбенту бентоніту у нативному (необробленому) стані та після попередньої обробки його з використанням НВЧ ЕМВ.

## I. Стан вивченості проблеми

За хімічною природою та фазовим складом бентоніти є композиціями алюмосилікатних мінералів. Загальна формула цих мінералів може бути представлена як:



де  $MeO_k$  – оксиди металів (заліза, лужних і лужноземельних металів та ін.)

Основною складовою частиною бентонітів, як правило, є алюмосилікатні матеріали типу монтморилоніту, хлориту, гідроліти тощо. У кристалохімічному плані усі вони мають негативно заряджений тривимірний алюмосилікатний каркас зі

строго регулярною структурою. У проміжках цього каркасу знаходяться гідратовані позитивні іони лужних і лужноземельних металів, які компенсують заряд каркасу, і молекули води. У адсорбційні порожнини цих матеріалів сорбується лише молекули речовин, критичний розмір яких менше ефективного розміру вхідного вікна [5].

Загальними фізико-хімічними характеристиками бентонітових глин є велика питома поверхня та висока дисперсність, наслідком яких є хороші показники адсорбції, а також помітна здатність до набухання (бентонітове число), термостабільність тощо.

З метою підсилення цінних властивостей (у першу чергу сорбційних) бентоніти піддають активації або модифікації, для чого використовують різноманітні фізичні та хімічні процедури. Вплив цих процедур на процес сорбції іонів нікелю бентонітом вивчався багатьма авторами [6-10 та ін.]. Як правило, порівняльному вивченню піддавали зразки бентоніту без попередньої обробки (нативні) та після хімічної активації (содою, кислотами, органічними реагентами тощо).

У табл. 1 зведено невелику частину результатів вивчення сорбційних властивостей бентоніту по відношенню до іонів Нікелю, отриманих різними авторами протягом останніх десятиліть. За їх даними, максимальна сорбційна ємність цього сорбенту за Нікелем складає: у нативному стані – від 6 до 30 мг/г; після активації розчином соди – більше 300 мг/г.

Слід відзначити значний розкид числових значень граничної сорбційної ємності для зразків бентоніту з різних родовищ. У згаданих вище статтях автори не завжди наводять гранулометричний склад зразків, хоча основною причиною такого розкиду результатів може бути саме відмінність у розмірах зерен сорбенту.

Питання регенерації популярних класичних

Таблиця 1

Порівняння параметрів сорбції бентонітом іонів нікелю з водних розчинів

Зразок	Підготовка	Масове співвідн. «сорбент: розчин»	Гранична сорбційна ємність		Джерело
			ммоль/г	мг/г	
Бентоніт Зирянського р-ща (Курганська обл., Росія)	нативний, просушений при 105 °С	1 : 100	0,12 1,20	6,9 (рН~7) 70,7 (рН~10)	[6]
	содова активація		5,47	321	
Бентоніт Таганського р-ща (Казахстан)	содова активація	невід.	0,60	35	[7]
Бентоніт Хакаського р-ща (Алтай)	содова активація	невід.	1,11	65	[8]
Бентоніт «комерційний» (Росія)	нативний	1 : 400	0,10	6,0	[9]
	активованій ультразвуком	1 : 40	0,33	19,2	
Фаза монтморилоніту, виділена з бентоніту Дашуківського р-ща (Черкаська обл.)	нативний	1 : 1000	0,44 – 0,56	26 - 33	[10]
	содова активація		2,37 – 3,05	139 - 179	

сорбентів після очистки ними природних та стічних вод вивчалось досить широко [11 та ін.], але щодо природних сорбентів у цьому плані в науковій літературі приділяється значно менше уваги. Більше того, вплив НВЧ ЕМВ на сорбційні властивості та можливість регенерації саме глинистих матеріалів практично не вивчався. Автори даної роботи розпочали такі дослідження у своїх попередніх публікаціях – вивчення процесів сорбції біогенних іонів на природному та стимульованому НВЧ ЕМВ бентоніті [12, 13].

## II. Методика виконання досліджень

Існує ряд методик очистки природного бентоніту, які вимагають значних затрат часу та додаткового обладнання. Оскільки важливим завданням наших досліджень є мінімізація затрат на процес сорбційної очистки вод, то у даній роботі ми використовували неочищений зразок сорбенту. Зокрема, досліджувався бентоніт тонкого помолу, придбаний у загальній торговельній мережі (т. зв. «комерційний»).

Для уточнення фазового складу робочого зразка вказаного сорбенту було проведено вивчення його за допомогою рентгенофазового аналізу. Зйомка дифрактограми зразка нативного бентоніту (без спеціальної обробки) виконувалась методом порошку на дифрактометрі ДРОН-3 з використанням мідного відфільтрованого випромінювання. Якісний фазовий склад зразка визначався шляхом індексації піків  $hkl$  відповідних мінералів за їх табличними значеннями  $d/n$ ; кількісний фазовий склад – за інтегральними інтенсивностями (площами) відповідних піків дифрактограми [14].

Сорбційні властивості бентоніту вивчали у статичних умовах. Досліджували як нативний («комерційний») зразок, так і попередньо підготовлений комбінованим способом: промивкою його дистильованою водою одночасно з дією НВЧ ЕМВ.

Відомо, що дія «мікрохвиль» на водні системи призводить до їх нагріву. Тобто, такий спосіб попередньої обробки сорбентів поєднує у собі їх гідротермальну очистку з високочастотним опроміненням. Цей процес можна вважати і очисткою від природних забруднень, і активацією, і модифікацією, тому раніше нами було запропоновано вживати термін «стимуляція» [12].

Зокрема, для «стимуляції» нативного бентоніту його наважки масою 1,0 г поміщали у скляні колби місткістю 250 мл, заливали 30 мл дистильованої води та піддавали дії НВЧ ЕМВ середньої потужності протягом 180 сек. Після відстоювання отриманої суспензії залишки промивної води обережно знімали з сорбента за допомогою вакуумної помпи. У цих же колбах проводили абсорбційну очистку робочих розчинів.

В якості джерела НВЧ ЕМВ використовувався розроблений та виготовлений авторами генератор на магнетроні моделі М-10. Використано стандартну схему включення приладу: без імпульсного модулювання; діапазон випромінювання 2,45 ГГц;

вихідна потужність 790 Вт. Для кращого розподілення та концентрування випромінювання використовувалась рупорна антена.

Моделльні розчини сульфату Нікелю («моделі») виготовляли із просушеної солі кваліфікації «ч» та дистильованої води. Робочі розчини отримували із модельних шляхом кратних розбавлень дистильованою водою. Вплив кислотності середовища робочих розчинів у процесі сорбції на величину сорбційних параметрів у даній роботі не досліджували (процес сорбції проводився у нейтральному середовищі,  $pH \sim 6$ ). Дослідження виконувались при кімнатній температурі (22 - 24°C).

У колби з нативним або НВЧ-підготовленим бентонітом заливали по 200 мл робочого розчину та виконували процес сорбційної очистки: 3-разове перемішування та відстоювання. Загальна тривалість контакту бентоніту та розчину становила близько 24 годин. Після відстоювання сорбат обережно зливали з осаду без фільтрування, і лише тоді, для стабілізації іонів  $Ni^{2+}$ , у розчини додавали невеликі кількості нітратної кислоти до отримання  $pH \sim 2$ .

Концентрації іонів  $Ni^{2+}$  у модельних та робочих розчинах визначались атомно-абсорбційним методом за відомими методиками на спектрометрі С-115.М-1. Окремі проби робочих розчинів (внутрішньо-лабораторний контроль) вивчались на вміст іонів нікелю за методикою фотометричного визначення цього іону реакцією з диметилглюксимом із використанням електрофотокolorиметра КФК-2 [15].

Підготовка сорбенту, виготовлення модельних і робочих розчинів, безпосередньо процес сорбції проводились у НДЛ екобезпеки ЛДУ БЖД; атомно-абсорбційні дослідження – у лабораторії промислової токсикології Львівського медичного університету ім. Данила Галицького.

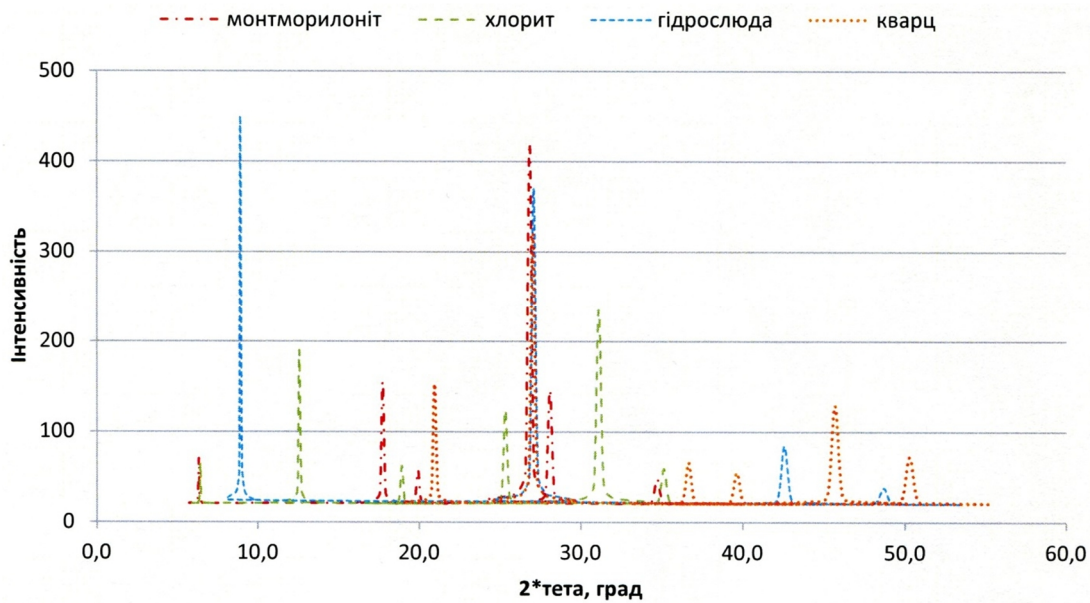
Опрацювання експериментальних результатів - побудову ізотерм адсорбції, їх графічну та аналітичну обробку, розрахунки сорбційних параметрів - здійснювали за класичними методиками: Ленгмюра, Фрейндліха, Дубініна-Радушкевича та ін. [16]. За числовими значеннями критеріїв статистичної оцінки вибрані ті моделі, які найкоректніше описують кожен ізотерму.

## III. Результати та обговорення

Фазовим аналізом дифрактограми нативного зразка бентоніту встановлено, що у його складі присутні 4 мінерали у приблизно рівних кількостях: гідролюда (бл. 27 % ат.); монтморилоніт (бл. 25 % ат.); кварц (бл. 22 % ат.) та хлорит (бл. 20 % ат.); серед домішок - кальцит, силвініт та інші мінерали.

Дифрактограма нативного зразка бентоніту ( $SiK_{\alpha}$  – випр.) після відповідної цифрової обробки наведена на рис. 1; результати її фазового кристалохімічного аналізу – у табл. 2.

В якості модельного було виготовлено водний розчин сульфату Нікелю з концентрацією 250 мг/дм<sup>3</sup> (за металом). Подальшим покроковим розбавленням його у 1,5 рази отримано серію робочих розчинів в

Рис. 1. Результати рентгенофазового аналізу дифрактограми нативного зразка бентоніту (CuK $\alpha$  – випр.).

Таблиця 2

Результати фазового кристалохімічного аналізу нативного зразка бентоніту

2 $\theta$ , град	d <sub>hkl</sub> , Å	Інтенсивність, відн. од.	Фаза (мінерал)
6,33	13,82	50	монтморилоніт
6,42	14,00	45	хлорит
8,93	10,00	430	гідрослюда
12,58	7,08	170	хлорит
17,75	4,99	135	монтморилоніт
18,92	4,69	42	хлорит
19,92	4,45	37	монтморилоніт
20,95	4,24	133	кварц
23,18	3,86	15	кальцит
25,32	3,53	104	хлорит
26,82	3,35	400	монтморилоніт
27,02	3,28	300	кварц
27,08	3,32	350	гідрослюда
28,07	3,18	126	монтморилоніт
29,56	3,03	114	кальцит
31,10	2,88	215	хлорит
34,68	2,58	28	монтморилоніт
35,10	2,56	39	хлорит
36,18	2,48	42	кальцит
36,62	2,45	46	кварц
39,58	2,28	23	кальцит
39,62	2,26	35	кварц
42,58	2,13	64	гідрослюда
45,68	1,98	109	кварц
48,68	1,87	18	гідрослюда

інтервалі концентрацій іонів Ni<sup>2+</sup> від 250 до 6,6 мг/дм<sup>3</sup>.

Аналіз ізотерм адсорбції іонів нікелю з модельних розчинів на зразках бентоніту, який не проходив попередньої обробки (нативному), та опромінену НВЧ ЕМВ протягом 180 с у малій кількості води (тобто, «стимульованому»), показав наступне.

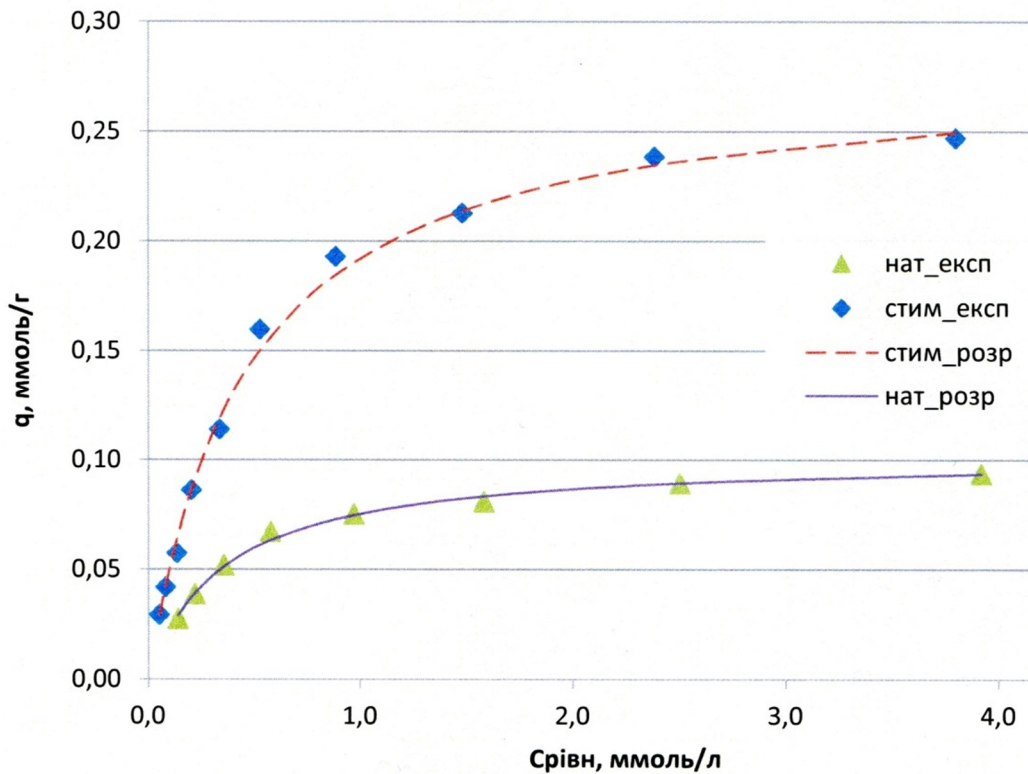
Найбільш чітку залежність в обох випадках

показала обробка ізотерми за класичним лінійним рівнянням Ленгмюра (формули 1 і 2; рис. 2):

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} V, \quad (1)$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_\infty K} + \frac{1}{q_\infty} C_e, \quad (2),$$

де  $q_e$  – рівноважна сорбційна ємність, ммоль/г;  $q_\infty$  –



**Рис. 2.** Ізотерми адсорбції іонів Нікелю на зразках бентоніту нативного (нижній графік) та опроміненого НВЧ ЕМВ («стимульованого»; верхній графік).

гранична сорбційна ємність (моношару), ммоль/г;  $C_0$  та  $C_e$  - концентрації іонів міді до та після сорбції, ммоль/л;  $m$  – маса бентоніту, г;  $V$  – об’єм розчину, л;  $K$  – константа сорбційної рівноваги.

Загальний хід ізотерм адсорбції в обох випадках є подібним, але значення сорбційних параметрів помітно відрізняються. Зокрема, розраховані за рівняннями (1) і (2) константи ліній тренду вказують, що загальна гранична ємність за нікелем у «стимульованого» сорбенту у 2,7 раза вища, ніж у необробленого зразка (табл. 3). У свою чергу, константа сорбційної рівноваги опроміненого зразка є на 22 % меншою, ніж у нативного. Це говорить про те, що сорбційна рівновага між розчином та «стимульованим» сорбентом настає у 1,3 раза швидше, ніж у випадку нативного зразка.

Як відомо, механізм сорбції забруднень на глинистих матеріалах досить складний і включає цілий ряд фізико-хімічних процесів, в т. ч. ван-дер-ваальсову взаємодію молекул сорбату з розвинуеною

поверхнею мікрочисталів силікатів та кулонівську взаємодію поляризованих молекул (іонів) сорбату з позитивно зарядженими ділянками поверхні сорбенту, що містять іони  $H^+$ ,  $Al^{3+}$  та інші [5]. Окрім молекулярної та кулонівської складових, значний внесок у сорбційний процес на бентонітовій глині вносить іонообмінний механізм [17].

Глинисті мінерали, які володіють схожими елементами структури (шарами тетраедрів та октаедрів), різняться між собою способами сполучення їх у пакети. Крім того, вони відрізняються природою та енергією зв’язку між цими пакетами, характером заселення тетраедричних та октаедричних сіток і цілим набором інших, більш тонких структурних особливостей. У сукупності, всі ці фактори створюють величезну різноманітність фізико-хімічних властивостей окремих представників алюмосилікатів, оскільки властивості будь-якого дисперсного матеріалу багато в чому визначаються саме будовою його складових частин.

На даний час можна виділити дві основні причини, які зумовлюють ємність катіонного обміну глинистих матеріалів:

1) заміщення чотирихвалентного кремнію трьохвалентним алюмінієм в тетраедричних сітках і трьохвалентного алюмінію іонами нижчої валентності в октаедричних сітках, що спричинює появу негативного некомпенсованого заряду структурної комірки;

2) розрив хімічних зв’язків у тетраедричних і октаедричних сітках кристалів глинистих мінералів, що призводить до появи на їх бокових гранях гідроксильних груп, атоми водню в яких здатні вступати в реакції обміну.

**Таблиця 3**  
Параметри процесу сорбції іонів Нікелю на бентоніті

Зразок	Гранична сорбційна ємність		Константа сорбційної рівноваги
	ммоль/г	мг/г	
Нативний	0,102	5,98	2,82
Стимульований	0,279	16,40	2,20
Кратність зміни	2,74		1,28



Щодо першого випадку, то найчастіше новостворений негативний заряд кристалічної ґратки урівноважується внутрішньоструктурними змінами: наприклад, протилежним за знаком зарядом, який виникає за рахунок заміни частини структурних атомів кисню гідроксильними іонами. Цей же ефект створюють «власні» (внутрішньоструктурні) катіони металів, що можуть займати частину вакантних октаедричних позицій.

Крім того, надлишковий негативний заряд ґратки може бути компенсований позаструктурними обмінними катіонами. Вони найчастіше розташовуються на базальних площинах часток глинистого матеріалу. Енергія взаємодії таких іонів з поверхнею залежить не тільки від їх валентності і розміру, але й від місця локалізації заряду ґратки.

Зокрема, заряди, зумовлені гетеровалентним ізоморфізмом в октаедричній сітці, перебувають далі від поверхні пакетів, ніж заряди, які виникають за рахунок нестехіометричної заміни в тетраедричних сітках. Відповідно, катіони, які нейтралізують негативний заряд октаедричної сітки, будуть зв'язані з поверхнею слабшими силами у порівнянні з катіонами, які нейтралізують заряд тетраедричної сітки.

Якщо густина заряду тетраедричних сіток мінералів типу 2:1 висока (1,5 одиниці на елементарну комірку і вище), а в якості його компенсатора виступають великі однозарядні катіони, то вони, за винятком катіонів на базальних гранях кристалу, виявляються, фактично, необмінними (наприклад, міжпакетні іони  $K^+$  у слюдах).

У другому випадку, головну роль відіграють властивості самих гідроксильних груп. Якщо вони зв'язані з катіонами  $Al^{3+}$  або  $Mg^{2+}$  октаедричного шару, то їх можна, у першому наближенні, прирівняти до груп  $OH^-$  на поверхні гідратованих оксидів алюмінію або магнію.

Таким чином, поряд з ізоморфним заміщенням у кристалічній ґратці джерелом катіонообмінної здатності глинистих мінералів виступають також гідроксильні групи, розташовані на бокових гранях та ребрах їх кристалів і зв'язані з атомами кремнію. Поява негативного заряду в  $Si-O$  – сітках цих матеріалів внаслідок ізоморфного заміщення  $Al^{3+} \rightarrow Si^{4+}$  в частині тетраєдрів посилює кислотні властивості угруповань  $\equiv Si-OH$ , і тому обмін їх протонів на інші катіони стає значно полегшеним відносно кремнезему.

Іншими словами, під час розгляду питання про причини катіонообмінної здатності глинистих мінералів, цілком природно говорити не про вибір між двома описаними вище механізмами іонного обміну, а про ту роль, яку вони відіграють у визначенні ємності цього обміну для того чи іншого представника групи філосилікатів.

Наприклад, у випадках монтморилоніту і вермикуліту ізоморфні заміщення створюють 80 % від всієї ємності катіонного обміну, а 20 % ємності є наслідком «порушення зв'язків» [5]. Підтвердженням такого припущення може служити той факт, що після термічної обробки при 250 - 300°C Li-форм окремих

зразків монтморилоніту, які в нативному стані практично не містять ізоморфних заміщень у тетраедричних шарах, спостерігалось падіння їх обмінної ємності на 82 – 85 % [10].

Очевидно, в процесі опромінення поверхні алюмосилікатних кристалів «мікрохвилями» у безпосередньому контакті з молекулами води змінюється механізм сорбції (у порівнянні з нативним бентонітом). Зокрема, існує ймовірність, що крім іонообмінного механізму (заміна іонів  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  або лужних металів на  $Ni^{2+}$ ) вступає в дію ще й фізична сорбція іонів Нікелю у новостворених мікропорах.

Автори даної статті вважають, що спільна дія двох факторів (НВЧ-опромінення та гідротермальної деструкції поверхні сорбенту) помітно впливає на кристалічну структуру глинистого матеріалу, на розподіл макро- та мікропор, активізацію поглинаючої поверхні тощо, а це, у свою чергу, призводить до зміни сорбційних параметрів.

Підтвердити або відкинути це припущення можна було б за результатами прецизійного рентгеноструктурного аналізу зразків бентоніту, опроміненого НВЧ ЕМВ з одночасною промивкою водою, однак такі роботи є досить специфічними і вартують окремого дослідження.

У будь-якому випадку можна стверджувати, що у порівнянні з необробленим зразком, НВЧ-опромінений бентоніт має кращі сорбційні характеристики за іонами Нікелю, тому може бути перспективним сорбентом для очистки природних та стічних вод саме від цих поллютантів.

Вирішальними факторами у процесах попередньої підготовки сорбенту за допомогою НВЧ ЕМВ, очевидно, мають бути оптимальна потужність та доза опромінення. Сам процес виготовлення та налаштування установки для НВЧ-опромінення є нескладним, затрати електроенергії під час її роботи відносно невеликі, тому економічна вигода від застосування такого методу може бути відчутна.

## Висновки

1. Вивчено ізоТЕРМИ абсорбції іонів Нікелю з водних розчинів на зразках природного (необробленого) та підготовленого з використанням надвисокочастотного опромінення бентоніту.
2. Показано, що опромінення цього сорбенту НВЧ ЕМВ одночасно з промивкою його чистою водою збільшує значення граничної сорбційної ємності за Нікелем у 2,7 раза.
3. Причиною такого покращення сорбційних властивостей може бути зміна кристалічної структури глинистого матеріалу, розподілу макро- та мікропор, активізація поглинаючої поверхні.

**Сиса Л.В.** – кандидат хімічних наук, доцент, науковий співробітник НДЛ;  
**Шевчук Л.П.** – науковий співробітник лабораторії промислової токсикології;  
**Концур А.З.** – слухач ад'юнктури (аспірантури).

- [1] І.І. Ваганов, І.В. Маєвська, М.М. Попович, Інженерна геологія та охорона навколишнього середовища (Універсум, Вінниця, 2009).
- [2] А.К. Запольський, Водопостачання, водовідведення та якість води (Вища школа, Київ, 2005).
- [3] М.А. Петрова, М.О. Постнікова, К.В. Степова, Восточно-Европейский журнал передовых технологий 36 (2014).
- [4] У.Г. Дистанов, А.С. Михайлов, Т.П. Конохова и др., Природные сорбенты СССР (Недра, Москва, 1990).
- [5] Ю.И. Тарасевич, Строение и химия поверхности слоистых силикатов (Наукова думка, Київ, 1988).
- [6] А.В. Костин, О.В. Мостальгина, О.В. Филистеев, О. И. Бухтояров, Вестник Южно-Уральского государственного университета, Серия «Химия» 1(12), 37 (2009).
- [7] В.А. Сомин, А.А. Фогель, Л.Ф. Комарова, Известия ВУЗов, Химия и химическая технология 53(12), 116(2010).
- [8] В.А. Сомин, А.А. Фогель, Л.Ф. Комарова, Ползуновский вестник 3(1), 220(2012).
- [9] А.А. Чипрякова, А.А. Нигматуллина, А.А. Мясников, Успехи в химии и химической технологии XXV, 1(117), 102(2011).
- [10] А.В. Свиридов, В.В. Юрченко, В.В. Свиридов, Е.В. Ганебных, Сорбционные и хроматографические процессы 16(1), 78(2016).
- [11] В.Д. Лукин, И.С. Анципович, Регенерация адсорбентов (Химия, Ленинград, 1983).
- [12] А.З. Концур, Л.В. Сиса, Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності 13, 87(2016).
- [13] А.З. Концур, О.Р. Карп'як, Л.В. Сиса, Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України 26.8, 292(2016).
- [14] V.K. Pecharsky, P.Yu. Zavalij, Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials (Springer, USA, 2005).
- [15] М.М. Дмитриев, Н.И. Казнина, И.А. Пинигина, Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде (Химия, Москва, 1989).
- [16] К. Оура, В. Г. Лифшиц, А. А. Саранин и др., под ред. В. И. Сергиенко, Введение в физику поверхности (Наука, Москва, 2006).
- [17] В.В. Горюшкин, Вестник Воронежского университета. Геология 1, 166 (2005).

L. Sysa, L. Shevchuk, A. Kontsur

## Improvement of Sorption Parameters of Nickel Ions on Bentonite in the Result of its Irradiation by Microwaves

<sup>1</sup>Lviv State University of Life Safety, 79007, Lviv, st. Kleparovskaya, 35; e-mail: [teacher\\_leon@ukr.net](mailto:teacher_leon@ukr.net)

<sup>2</sup>Danylo Galatsky Lviv National Medical University, 79010, Lviv, st. Pekarskaya, 69, e-mail: [l\\_shevchuk@ukr.net](mailto:l_shevchuk@ukr.net)

The adsorption isotherms of nickel ions from aqueous solutions on bentonite, a natural argillaceous material, previously prepared using ultrahigh-frequency electromagnetic waves ("microwaves") were researched in the article. The phase composition of the sorbent was studied by applying the X-ray powder method. Bentonite sample being pre-wetted and irradiated by microwaves shows 2.7 times better sorption properties than untreated (native) sample, which was shown on the example of adsorption process of nickel ions from model solutions in static conditions. The sorption parameters prepared by using the "microwaved" and the native samples of bentonite were calculated according to the Langmuir adsorption equations. The barrier density of nickel in the irradiated sorbent is 16.4 mg/g (0.28 mmol/g), whereas for native bentonite the value of the analogous parameter is 6.0 mg/g (0.10 mmol/g). The reason for such an increase in sorption properties may be the change in the crystalline structure and distribution of micropores on the surface of the sorbent under the action of "microwaves" in the aqueous medium. It is suggested that the joint action of two factors – microwave irradiation and hydrothermal destruction – affects the near-surface structure of the clay material, distribution of the macro- and micropores, activation of the absorbing surface, which, in turn, leads to a change in the sorption parameters. The determinants in the pre-preparation of sorbent by "microwaves" are ultimate power and time of irradiation.

**Keywords:** water purification, sorbent, bentonite, nickel, activation, microwaves.