

А.З. Концур¹, Л.В. Сиса¹, Л.П. Шевчук²

Використання мікрохвиль для активації бентоніту у процесах сорбції іонів нікелю з концентрованих водних розчинів

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (ЛДУ БЖД), 79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35; e-mail: teacher_leon@ukr.net

²Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького, 79010, м. Львів, вул. Пекарська, 69; e-mail: L_shevchuk@ukr.net

Вивчено фізико-хімічні параметри процесу сорбційного очищення води від сполук Нікелю глинистим сорбентом у статичних умовах. Проаналізовано ізотерму абсорбції іонів цього металу з концентрованих водних розчинів на зразках бентоніту з використанням надвисокочастотного опромінення (мікрохвиль). Найбільш коректно вона описується лінійним рівнянням Ленгмюра. Показано, що опромінення цього сорбенту мікрохвилями у процесі сорбування іонів Нікелю майже у 2 рази збільшує значення граничної сорбційної ємності за цим металом (у порівнянні з методом «стимуляції» - попередньої промивки бентоніту чистою водою під дією мікрохвиль). Результати вивчення відпрацьованого бентоніту методами скануючої електронної мікроскопії, енергодисперсійного та рентгенофазового аналізу вказують на те, що згаданий метал під дією мікрохвиль осаджується на поверхні бентоніту не тільки у вигляді адсорбованого моношару іонів, але й у формі окремої кристалічної фази – силікату Нікелю. Спостерігаються зміни кислотності середовища в процесі сорбційної очистки під дією мікрохвиль: від $\text{pH} \approx 5,7 \dots 6,5$ (перед опроміненням) до $\text{pH} \approx 6,7 \dots 7,1$ (після опромінення). Підтверджено припущення про те, що під дією мікрохвиль у водному середовищі відбувається часткове руйнування силікатного каркасу глинистих сорбентів з вивільненням силікат-іонів SiO_3^{2-} . Ці іони зазнають гідролізу, внаслідок чого pH розчину зростає. Також, не виключений прямий розрив зв'язків $\text{Si}-\text{O}$ в приповерхневих угрупованнях $\equiv\text{Si}-\text{OH}$, що призводить до збільшення кількості «вільних» гідроксильних груп.

Ключові слова: стічні води, нікель, очистка, сорбент, бентоніт, активація, мікрохвиля.

Стаття поступила до редакції 18.05.2018; прийнята до друку 15.06.2018.

Вступ

Проблема очистки стічних та природних вод була і залишається актуальною. У цьому плані сорбція є одним з головних методів очистки води від забруднювачів. Важливою проблемою такого методу вважається пошук дешевих, але високопродуктивних сорбентів.

Значні затрати енергії та реактивів на попередню очистку, активацію та регенерацію синтетичних сорбентів підвищують вартість водоочистки. З огляду на це використання глинистих природних матеріалів з високими сорбційними характеристиками є перспективним науково-практичним напрямком [1].

Серед інших природних сорбентів бентонітові глини використовуються у процесах сорбційної очистки досить давно – як у промислових, так і в побутових цілях [2].

Загальними фізико-хімічними характеристиками бентонітових глин є велика питома поверхня та висока дисперсність, наслідком яких є хороші показники адсорбції. Загальна формула цих мінералів може бути представлена як $[\text{x}(\text{Al}_2\text{O}_3) * \text{y}(\text{SiO}_2)] * \text{z}(\text{OH}) * \text{m}(\text{H}_2\text{O}) * \text{n}(\text{MeO}_k)$, де MeO_k – оксиди металів (заліза, лужних і лужноземельних металів та ін.) За хімічною природою та фазовим складом бентоніти є композиціями алюмосилікатних мінералів: монтморилоніту, хлориту, гідрослюди тощо.

З метою підсилення цінних властивостей бентоніти піддають активації або модифікації, для чого використовують різноманітні фізичні та хімічні процедури. Як правило, це прожарювання, хімічна активація содою, кислотами, органічними реагентами тощо [3].

В останні десятиліття перспективним напрямком підвищення ефективності процесу сорбційної очистки води є використання надвисокочастотного

електромагнітного випромінювання (НВЧ ЕМВ, або «мікрохвиль») [4, 5]. Проте, вплив НВЧ ЕМВ на сорбційні властивості саме глинистих матеріалів вивчався дуже мало.

Серед важких металів, забруднювачів стічних вод, Нікель займає особливе місце. Він бере участь в процесі кровотворення і входить до складу червоних клітин крові (еритроцитів). Крім цього, важлива його роль в окисно-відновних процесах організму.

У той же час, Нікель є небезпечною складовою природних вод. У річкових незабруднених і слабо забруднених водах концентрація Нікелю коливається зазвичай від 0,8 до 10 мкг/дм³; в забруднених вона становить кілька десятків мікрограмів в 1 дм³.

Багато науково-технічних розробок спеціалістів та дослідників у галузі водоочистки зосереджені зараз на пошуку та вдосконаленні найбільш ефективних методів очистки вод від надлишку іонів важких металів, в т.ч. Нікелю.

Представлена робота є продовженням серії попередніх досліджень авторів, де вивчалась зміна сорбційних параметрів бентоніту під впливом НВЧ ЕМВ [6-8]. Серед інших забруднювачів води, об'єктом дослідження виступали і сполуки Нікелю. Зокрема, у попередній серії робіт автори досліджували вплив мікрохвиль на сорбцію іонів Нікелю бентонітом з розбавлених водних розчинів [9].

Метою даної роботи було продовження вивчення параметрів сорбції іонів Нікелю з водних систем на бентоніті з використанням НВЧ ЕМВ, але тепер з більш концентрованих розчинів та за зміненою методикою.

I. Методика виконання досліджень

У теперішній серії дослідів використано модельні розчини солей Нікелю, близьких за величиною до складу реальних стічних вод промислових підприємств металургійного напрямку. Крім того, змінено процедуру обробки сорбенту мікрохвилями, а сам сорбент досліджувався методами рентгенофазового аналізу (РФА), скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) та енергодисперсійного аналізу (ЕДА) до та після контакту з розчинами.

Для виготовлення модельного розчину солі Ni²⁺ («моделі») було використано Нікель (II) хлорид шестиводний, висушений при 90 °С протягом 2 год. З цього модельного розчину покроковим розбавленням його у 1,3 рази отримано серію робочих розчинів в інтервалі концентрацій іонів Ni²⁺ від 720 до 140 мкг/дм³. Такий розкид концентрацій підібрано для того, щоб його нижні значення частково перекривались з вищими значеннями концентрацій робочих розчинів у попередній серії досліджень [9]. Це дозволило співставити отримані зараз результати із передньою серією і вивести певні закономірності.

Основні сорбційні параметри бентоніту (максимальну сорбційну ємність та константу сорбційної рівноваги), як і в попередній серії, вивчали у статичних умовах. Дослідженню піддавали

як нативний зразок (без опромінення НВЧ ЕМВ), так і активований за новою, модифікованою методикою: робочий розчин опромінювали мікрохвилями безпосередньо під час процесу сорбції.

Зокрема, зразки серії «Нат» вивчались наступним чином: наважки нативного («комерційного») бентоніту масою 1,0 г поміщали у скляні колби місткістю 250 мл та заливали 100 мл робочих розчинів Нікель (II) хлориду. Після кількох перемішувань (з інтервалом бл. 1 год.) та відстоювання отриманих суспензій (бл. 12 год.) очищені робочі розчини обережно зливали, а їх залишки знімали з сорбента за допомогою вакуумної помпи. Розчини фільтрували та додавали до них невеликі кількості нітратної кислоти до отримання рН ~ 2 для стабілізації іонів Ni²⁺. Приготування та сорбційне очищення робочих сумішей проводили при кімнатній температурі, а відпрацьований бентоніт після зливання розчинів поміщали разом з колбою у сушильну шафу при 90 °С.

У серії зразків «DIR» («пряме опромінення», *Direct Irradiation*) нативний сорбент не промивали водою, як у попередній роботі [9], а одразу заливали робочим розчином Нікель (II) хлориду. Колбу струшували і разом з суспензією поміщали у мікрохвильову установку. У ній відбувалось «пряме опромінення» робочої суспензії протягом 300 с (з перервами на перемішування). Після охолодження, як і в серії «Нат», робочі розчини обережно зливали, залишки знімали з сорбента за допомогою вакуумної помпи, фільтрували та додавали кислоту. Відпрацьований бентоніт поміщали разом з колбою у сушильну шафу при 90 °С.

Приготування та сорбційну очистку робочих розчинів серії «Нат» проводили при кімнатній температурі. У той же час, сорбційне очищення розчинів серії «DIR» відбувалось при більш високих температурах внаслідок нагрівання розчину мікрохвилями.

Детальне вивчення залежності сорбційних параметрів бентоніту від температури робочого розчину в умовах серії «DIR» здійснити складно, оскільки нагрів робочої суспензії мікрохвилями відбувається дуже швидко і нерівномірно. Зокрема, після 300 с опромінення одні суспензії нагрівались до кипіння, а інші – до гарячого, але не киплячого стану.

Те ж саме стосується і вивчення залежності сорбційних параметрів бентоніту від кислотності середовища. Як вже згадувалось вище, робочі розчини отримували із модельних шляхом кратних розбавлень дистильованою водою. При цьому кислотність розчинів помітно змінювалась: від рН = 5,7 (концентрована «модель») до рН = 6,5 (розбавлений робочий розчин).

Детальному вивченню цих питань – залежностей сорбційних параметрів бентоніту «прямого опромінення» від потужності мікрохвиль, часу опромінення, частоти і способів перемішування суспензії, температури та кислотності середовища тощо – автори планують присвятити окрему серію досліджень.

Як і в попередніх роботах [6, 9], в якості джерела НВЧ ЕМВ застосовували генератор авторського

виготовлення, виконаний на магнетроні моделі М-10; діапазон випромінювання - 2,45 ГГц; вихідна потужність - 790 Вт.

Рівноважні концентрації іонів Ni^{2+} у модельних та робочих розчинах визначались атомно-абсорбційним методом на спектрометрі С-115.М-1 [10]. Для здійснення внутрішньо-лабораторного контролю окремі проби робочих розчинів вивчали на вміст іонів Нікелю за допомогою електрофотокolorиметра КФК-2 (реакція з диметилглюксимом, [11]).

Усі етапи підготовки сорбенту, виготовлення модельних і робочих розчинів, а також сам процес їх сорбційної очистки, проводились у НДЛ екобезпеки ЛДУ БЖД. Тут же здійснювались і фотометричні роботи. Атомно-абсорбційні дослідження розчинів до та після сорбції виконувались у лабораторії промислової токсикології Львівського медичного університету імені Данила Галицького.

Для побудови ізотерм адсорбції, їх графічної та аналітичної обробки, розрахунків сорбційних параметрів тощо використано класичні методики Ленгмюра (формули 1 і 2), Фрейндліха, Дубініна-Радушкевича та ін. [12]. Моделі, які найбільш точно описують кожну ізотерму, обрано за числовими значеннями критеріїв статистичної оцінки.

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

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

де q_e – рівноважна сорбційна ємність, ммоль/г; q_∞ – гранична сорбційна ємність (моношару), ммоль/г; C_0 та C_e - концентрації іонів Нікелю до та після сорбції, ммоль/дм³; m – маса бентоніту, г; V – об'єм розчину, дм³; K – константа сорбційної рівноваги.

Дослідження мікроструктури зразків бентоніту були здійснені на базі растрового мікроскопу електронного мікроаналізатора РЕММА-102-02. Сканування поверхні зразків здійснювалось з допомогою електронного пучка діаметром кілька нанометрів і з енергією електронів 0,2 – 40 кВ. Діапазон зміни кратності збільшення становив 10 - 20000; роздільна здатність складала близько 5,0 нм.

Основними зображеннями, отриманими у результаті зйомки на електронному мікроскопі, були зображення у пружновідбитих (зворотньо-розсіяних; BSE) та вторинних (SE) електронах. Застосовано два різновиди BSE – топологічне (ТОРО) та композиційне (СОМРО). У ТОРО режимі спостерігали рельєф досліджуваної поверхні, у СОМРО - фазовий контраст, де кожна фаза зразка має яскравість свічення, пропорційну до її усередненого атомного номеру.

На цьому ж мікроскопі зразки бентоніту досліджували на елементний склад. Як відомо [13], за допомогою електронного пучка отримується спектр характеристичного випромінювання, лінії якого виявляють присутні хімічні елементи (якісний ЕДА). Порівняння інтенсивностей відповідних ліній для зразку і для еталону дозволяє проводити кількісний

ЕДА. Діапазон аналізованих елементів - від № 5 (бор) до № 92 (уран). Струми зонда при мікроаналізі склали 1- 2 нА, прискорююча напруга - 20кВ.

РФА зразків бентоніту, отриманих після сорбції Нікелю за обома варіантами, проводився методом порошку за значеннями кутів відбиття дифрактограми (2θ , град), міжплощинних відстаней (d , Å) та відносних інтенсивностей (I_{rel}) дифракційних піків (hkl), з використанням стандартних таблиць міжплощинних відстаней мінералів. За співвідношенням площ відповідних піків hkl до їх сумарної площі розраховано кількісний вміст основних фаз у зразку (% ат.) [14].

Зйомка дифрактограми проводилась на дифрактометрі ДРОН-3 (мідне відфільтроване випромінювання), у режимі $\theta/2\theta$ -сканування, зі швидкістю 1 град/хв.

II. Результати та обговорення

На рис. 1 наведено графік залежності адсорбції іонів Нікелю від їх рівноважної концентрації, отриманий у теперішній серії (темні маркери). Поруч (світлі маркери), зображено частину результатів попередньої серії робіт [9], де було використано більш розбавлені розчини та іншу процедуру активації сорбенту.

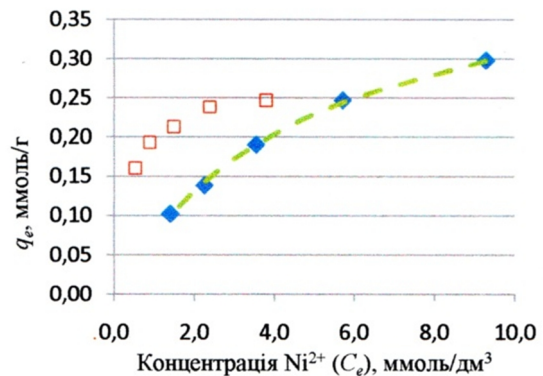


Рис. 1. Залежність адсорбції іонів Нікелю від їх рівноважної концентрації на «стимульованому» бентоніті [9] та після «прямого опромінення».

Порівнюючи ці два графіки, можна зауважити наступне. У минулій серії використано бентоніт, попередньо промитий чистою водою під дією НВЧ ЕМВ (т. зв. «стимульований»). У цьому випадку ізотерма адсорбції швидше виходить на насичення, однак значення максимальної сорбційної ємності такого сорбенту нижче, ніж у новій серії.

Для підтвердження цього факту було проведено розрахунки сорбційних параметрів бентоніту «прямого опромінення» за декількома відомими моделями [12]. Найбільш чітку залежність показала обробка отриманої зараз кривої адсорбції за класичним лінійним рівнянням Ленгмюра (формули 1 і 2; рис. 2).

Отримане з цих розрахунків значення граничної сорбційної ємності за Нікелем бентоніту «прямого опромінення» становить $q_e = 26,9$ мг/г (0,49 ммоль/г),

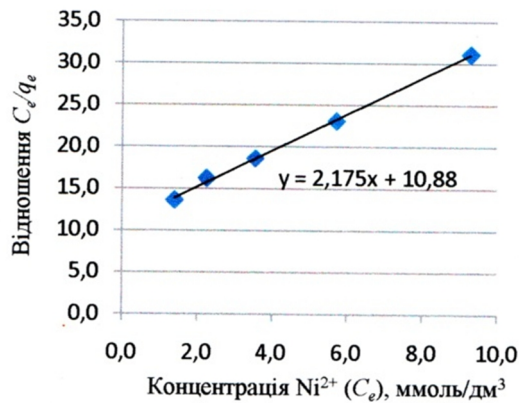
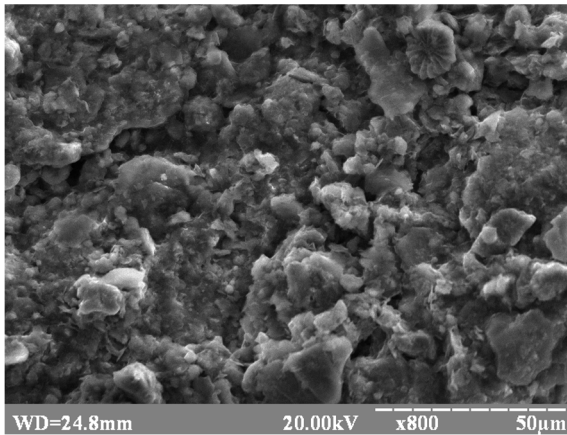
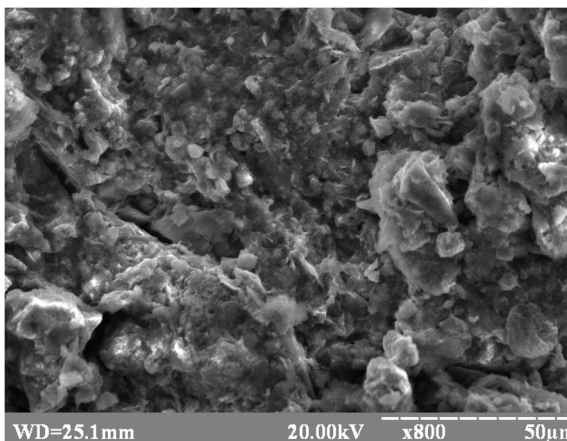


Рис. 2. Лінеаризація графіку адсорбції іонів Нікелю на бентоніті «прямого опромінення» за моделлю Ленгмюра.



а)



б)

Рис. 3. Мікрофотографії поверхні бентоніту: а – нативного; б – «прямого опромінення» у розчині солі Нікелю.

що є майже вдвічі більше, ніж у випадку «стимульованого» бентоніту [9].

Таку різницю можна було б пояснити збільшенням кількості та розмірів мікропор на поверхні бентоніту після опромінення його мікрохвилями у водному середовищі. Однак, такі ж

процедури було використано і в серії «стимульованого» бентоніту. Очевидно, ключову роль у зміні сорбційних параметрів цього матеріалу у випадку «прямого опромінення» відіграє саме присутність іонів металу в процесі дії мікрохвиль на алюмосилікатну поверхню.

Для вирішення цього питання було здійснено ряд додаткових досліджень нативного та відпрацьованого зразків бентоніту методами СЕМ, ЕДА та РФА.

Серед значної кількості отриманих авторами статті мікрофотографій бентоніту різного ступеня обробки, найбільший інтерес викликали зображення зразків бентоніту серії «прямого опромінення». На них видно окремі огранені мікрочастинки світлого кольору, яких не було на мікрофотографіях нативного бентоніту.

На рис. 3 подано мікрофотографії цих зразків бентоніту: а) - без активації (серія «Нат»); б) - після виконання активації шляхом «прямого опромінення» сорбенту у розчині солі Нікелю (серія «DIR»). Кратність збільшення зображення та масштабна лінійка вказані внизу мікрофотографій.

Під час зйомки у режимі СОРМО ці мікрочастинки виглядали більш «світлими» (присутність важких елементів – наприклад, Нікелю) на загальному «темному» фоні алюмосилікатної фази (легкі елементи).

На підставі цього факту нами було висловлено припущення, що сорбційне вилучення Нікелю з водних розчинів під дією мікрохвиль відбувається не тільки за класичними адсорбційними механізмами (осадження поверхневого моношару іонів), а й за рахунок утворення мікрочастинок окремої Ні-вмісної фази або індивідуальної хімічної сполуки Нікелю.

Отримані на тому ж мікроаналізаторі ЕДА-спектри показали, що основну частину матеріалу зразків серії «DIR» складають класичні алюмосилікати з помітним вмістом Mg, Ca, K та Fe («темний» фон; рис. 4), а «світлі» мікрочастинки – фаза із значним вмістом Нікелю. Результати кількісного елементного ЕДА (без врахування Оксигену) вказали на присутність у цій фазі більше 80 % мас. Нікелю.

Тобто, результати ЕДА підтвердили, що «світлі» мікрочастинки на поверхні бентоніту після осадження на ньому Нікелю під дією мікрохвиль – це індивідуальна хімічна сполука цього металу. Враховуючи помітні кількості цих кристаликів,

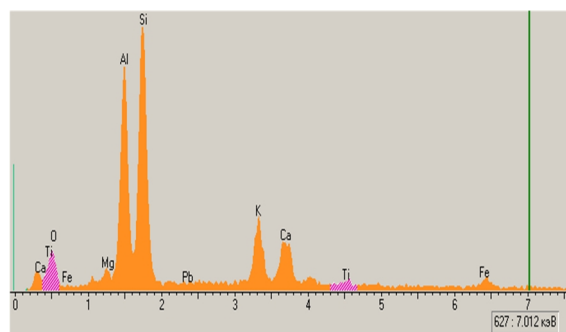


Рис. 4. Спектр якісного ЕДА «темної» частини мікрофотографії зразка бентоніту із серії «прямого опромінення».

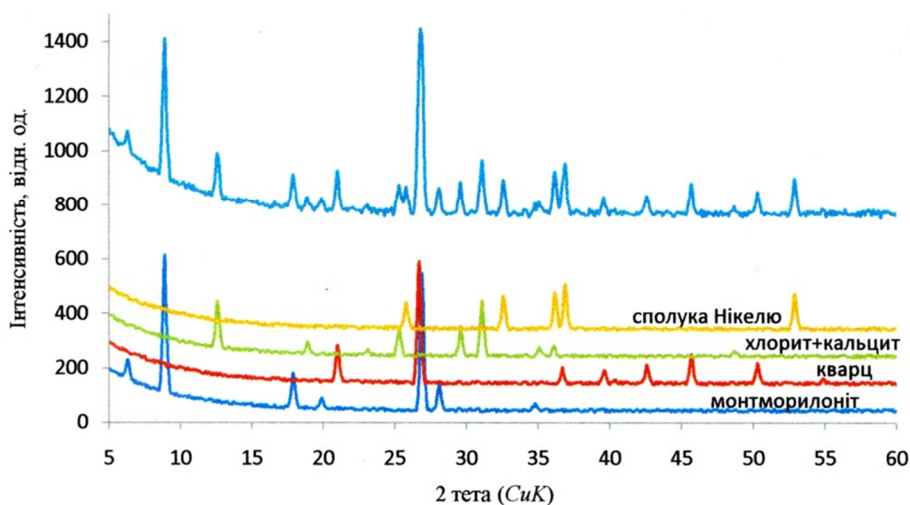


Рис. 5. Результати РФА дифрактограми зразка бентоніту серії «DIR» після взаємодії з розчином солі Нікелю.

автори висловили припущення, що їх виявить рентгенофазовий аналіз, чутливість якого становить бл. 5 % ат.

По відношенню до дифрактограми нативного зразка бентоніту (серія «Нат»), наведеної у попередній публікації авторів [9], на дифрактограмі відпрацьованого бентоніту серії «DIR» дещо змінився розподіл піків. Зокрема, за зміною інтенсивностей відповідних рефлексів *hkl* можна стверджувати, що в опромінену сорбенті збільшився відносний вміст монтморилоніту (до 33 % ат.) та кварцу (до 30 % ат.), натомість зменшились інтенсивності таких фаз, як хлорит і кальцит. А головне - з'явилися невеликі, але помітні піки нової фази: при 25,8; 32,6; 36,3; 36,8 та 52,9 град (2θ).

Фазовий аналіз дифрактограми відпрацьованого бентоніту серії «DIR» після сорбційного очищення ним водного розчину солі Нікелю наведено на рис. 5.

Опрацювавши базу даних кристалічних структур ймовірних нових фаз, до складу яких можуть входити Нікель, Силіцій, Хлор, Оксиген та Гідроген (відповідно - хлорид, силікат, гідроксид Нікелю або їх гідратовані форми) та побудувавши відповідні теоретичні дифрактограми [14], автори визначили, що ці нові піки можуть належати сполуці $Ni_2[SiO_4]_2$.

Тобто, осадження Нікелю на бентоніті може відбуватись не тільки шляхом сорбційного осадження або іонного заміщення, але й у вигляді мікрокристалів індивідуальної сполуки - малорозчинного силікату Нікелю.

Ще один важливий момент стосується зміни кислотності середовища у робочих розчинах до та після опромінення. Значення рН суспензій серії «DIR» після закінчення сорбції помітно зросли по відношенню до вихідних величин: від рН $\approx 5,7...6,5$ (як вазувалось вище) до рН $\approx 6,7...7,1$.

Цей факт дозволяє підтвердити припущення багатьох авторів [4, 5, 15 та ін.] про те, що під дією мікрохвиль у водному середовищі відбувається

часткове руйнування силікатного каркасу глинистих сорбентів з вивільненням силікат-іонів SiO_3^{2-} . Ці іони піддаються гідролізу, внаслідок чого рН розчину зростає.

Крім того, не можна виключати прямий розрив зв'язків Si—O в приповерхневих угрупованнях $\equiv Si-OH$, що призводить до збільшення кількості «вільних» гідроксильних груп.

У таких умовах додаткова адсорбція Нікелю на бентоніті може відбуватись за рахунок стимульованої мікрохвилями кристалізації на поверхні сорбенту малорозчинних силікатів або гідроксисилікатів цього металу. Також не можна відкидати ймовірність того, що саме під дією НВЧ ЕМВ, у присутності полярних молекул води, виникають сприятливі умови для утворення центрів кристалізації солей достатньо активних металів на поверхні інертної алюмосилікатної фази.

Висновки

1. Проаналізовано ізотеру абсорбції іонів Нікелю з концентрованих водних розчинів на зразках бентоніту з використанням надвисокочастотного опромінення. Найбільш коректно вона описується лінійним рівнянням Ленгмюра.

2. Показано, що опромінення цього сорбенту НВЧ ЕМВ у процесі сорбування іонів Нікелю майже у 2 рази збільшує значення граничної сорбційної ємності за цим металом, у порівнянні з методом «стимуляції» - попередньої промивки бентоніту чистою водою під дією мікрохвиль.

3. Результати вивчення відпрацьованого бентоніту методами скануючої електронної мікроскопії, енергодисперсійного та рентгенофазового аналізу вказують на те, що згаданий метал під дією мікрохвиль осаджується на поверхні бентоніту не тільки у вигляді адсорбованого

моношару іонів, але й у формі окремої кристалічної фази – силікату Нікелю.

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

- [1] Б.Е. Рябчиков, Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования (ДеЛи Принт, Москва, 2004).
- [2] О.И. Бухтояров, Л.В. Мосталыгина, Д.Н. Камаев, А.В. Костин, Сорбционные и хроматографические процессы 11(4), 518 (2011).
- [3] В. Загордонський, В. Василечко, П. Стащук, Г. Грищук, Вісн. Львів. ун-ту. Сер. хім. 44, 247 (2004).
- [4] E.L. Foletto, D.S. Paz, A. Gundel, Applied Clay Science. 83-84, 63 (2013).
- [5] S. Baldassari, S. Komarneni, E. Mariani, C. Villa, Applied Clay Science 31, 134 (2006).
- [6] А.З. Концур, О.Р. Карп'як, Л.В. Сиса, Науковий вісник НЛТУ 26(8), 292 (2016).
- [7] М.А. Петрова, М.О. Постнікова, К.В. Степова, Восточно-Европейский журнал передовых технологий 36 (2014).
- [8] Л. В. Сиса, Ю. І. Рудик, А. З. Концур, Екологічна безпека 2 (24), 45 (2017).
- [9] Л.В. Сиса, Л.П. Шевчук, А.З. Концур, Фізика і хімія твердого тіла 18(4), 431 (2017).
- [10] М.Э. Брицке, Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ (Химия, Москва, 1982).
- [11] М.М. Дмитриев, Н.И. Казнина, И.А. Пинигина, Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде (Химия, Москва, 1989).
- [12] К. Оура, В. Г. Лифшиц, А. А. Саранин и др., под ред. В. И. Сергиенко, Введение в физику поверхности (Наука, Москва, 2006).
- [13] J. Goldstein et all., Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis: Third Edition (Springer, USA, 2003).
- [14] V.K. Pecharsky, P.Yu. Zavalij, Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials (Springer, USA, 2005).
- [15] B. Subramanyam, A. Das, Journal of Environmental Health Science and Engineering 12, 92 (2014).

A. Kontsur, L. Sysa, L. Shevchuk

Use of Microwaves to Activate Bentonite in the Processes of Sorption of Nickel Ions from Concentrated Aqueous Solutions

¹Lviv State University of Life Safety (Lviv, Ukraine),

²Danylo Galytsky Lviv National Medical University (Lviv, Ukraine)

The physicochemical parameters of the process of sorption water purification from compounds of Nickel with clay sorbent in static conditions are studied. The absorption isotherm of ions of this metal from concentrated aqueous solutions on samples of bentonite using ultrahigh-frequency irradiation (microwave) is analyzed. Most correctly, it is described by the linear equation of Langmuir. It is shown that irradiation of this sorbent by microwaves in the process of nickel ion sorting almost 2 times increases the value of the marginal sorption capacity for this metal (in comparison with the method of "stimulation" - preliminary washing of bentonite with pure water under the action of microwaves). The results of the study of spent bentonite by scanning electron microscopy, energy dispersion and X-ray diffraction analysis indicate that the metal under action of the microwave is deposited on the surface of the bentonite not only in the form of an adsorbed monolayer of ions, but also in the form of a separate crystalline phase, nickel silicate. Changes in the acidity of the medium during sorption purification under the action of microwave are observed: from pH \approx 5.7 ... 6.5 (before exposure) to pH \approx 6.7 ... 7.1 (after irradiation). Confirmed assumption about that under the action of microwaves in the aqueous medium there is a partial destruction of the silicate framework of clay sorbents with the release of silicon ions SiO₃²⁻. These ions undergo hydrolysis, as a result of which the pH of the solution increases. Also, the direct discontinuity of the Si-O bonds in the near-surface groups \equiv Si-OH is not excluded, which leads to an increase in the number of "free" hydroxyl groups.

Keywords: aqueous solutions, nickel, purification, sorbent, bentonite, activation, microwave.