

УДК 543.05=66.081312+546.633

СОРБЦІЯ Sc(III) НА ЗАКАРПАТСЬКОМУ КЛИНОПТИЛОЛІТІ

В. Василечко^{1,2}, Х. Корпало¹, Г. Гришук¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна

²Львівська комерційна академія,
вул. Самчука, 9, 79011 Львів, Україна

Вивчено сорбційні властивості закарпатського клиноптилоліту стосовно іонів Sc(III) у динамічних умовах. За оптимальних умов сорбційна ємність клиноптилоліту стосовно іонів Sc(III) становить 6 570 мкг/г. Найліпшим десорбентом є 7 М нітратна кислота, яка забезпечує 100 % вилучення Sc(III). Запропоновано метод концентрування слідових кількостей Sc(III) з водних розчинів із подальшим аналізом концентрату за допомогою фотометричного методу.

Ключові слова: сорбція, клиноптилоліт, концентрування, природні води, Sc(III).

Скандій є типовим розсіяним елементом і здебільшого нагромаджується у вигляді ізоморфних домішок у рудах та різних мінералах. Незважаючи на розсіяність та низький вміст елемента в природних об'єктах, Скандій широко застосовують у техніці та промисловості і вважають металом XXI століття. За властивостями Скандій схожий на РЗЕ і такі метали, як Fe(III), Mg, Mn(II), Zr, Al. Ця особливість ускладнює виявлення та кількісне визначення Скандію. Тому в більшості випадків методи визначення Скандію потребують попередньої підготовки проби, яка, зокрема, охоплює концентрування, розділення та вилучення. Одним зі способів вирішення цієї проблеми є пошук ефективних селективних сорбентів.

Серед відомих сорбентів, які використовують в аналітичній хімії Скандію є алюміній оксид [1], різні види синтетичних сорбентів [2–6], а також найпоширеніший природний цеоліт (клиноптилоліт) [7]. Сорбційні властивості закарпатського клиноптилоліту стосовно великих концентрацій Sc(III) у статичних умовах описано в праці [7]. Проте дослідження сорбційних властивостей природних цеолітів щодо використання їх у підготовці проб під час аналізу вод на вміст Sc(III) не проводили.

Наша мета – вивчити вплив різних чинників (рН розчину, попередньої термічної обробки сорбенту, розміру зерен та впливу сторонніх іонів) на сорбцію іонів Sc(III) на закарпатському клиноптилоліті й дослідити можливість використання цього природного алюмосилікату як сорбенту в методі твердофазової екстракції.

Клиноптилоліт з родовища с. Сокирниця Закарпатської обл. містить 85–90 % (масової частки) основного компонента. Його питома поверхня, визначена за водою, становить 59 м²/г [8]. Закарпатський клиноптилоліт в оксидному варіанті (масова частка) має такий склад: SiO₂ – 67,29; Al₂O₃ – 12,32; TiO₂ – 0,26; Fe₂O₃ – 1,26; FeO – 0,25; MgO – 0,99; CaO – 3,01; Na₂O – 0,66; K₂O – 2,76; H₂O – 10,90 [9].

Використовували реактиви марок о.с.ч., х.ч. та ч.д.а. Усі розчини готували на бідистилаті. Стандартний розчин солі Sc (III) з $C_{Sc(III)} = 1,0$ мг/мл готували розчиненням наважки металевого скандію (чистота 99,9 %) в HNO_3 (1:1). Робочий розчин Sc(III) з $C_{Sc(III)} = 1,0$ мкг/мл готували розведенням стандартного.

Умови сорбції кліноптилоліту стосовно йонів Sc(III) вивчали динамічним методом у режимі твердофазової екстракції. За допомогою перистальтичної помпи розчин Sc(III) пропускали зі швидкістю 5 мл/хв через патрон, наповнений сорбентом. Метод дослідження у динамічних умовах детально описано у [10]. Момент "проскакування" Sc(III) фіксували фотометрично за допомогою удосконаленої нами кольорової реакції із ксиленоловим оранжевим. Це високочутлива методика визначення Sc(III), за якої не заважають 2000-разові кількості йонів Ca^{2+} і 3000-разові кількості йонів Mg^{2+} , а вплив Fe(III) усувають аскорбіновою кислотою.

Методика визначення. До аліквотної частини розчину Sc(III) (0,1–1,0 мкг/мл) додають 2 мл свіжовиготовленого 1 % розчину аскорбінової кислоти. Через 2 хв до розчину додають 2 мл 0,05 % водного розчину ксиленолового оранжевого. Розчини доводять у мірній колбі ($V = 25$ мл) до мітки ацетатним буферним розчином з pH 5,0, перемішують і вимірюють оптичну густину забарвленого розчину за допомогою фотометра КФК-2 МП при $\lambda = 540$ нм, $l = 20$ мм. Як розчин порівняння використовують розчин, що містить усі компоненти, окрім Sc(III) (розчин холостого досліджу).

Десорбцію проводили в динамічних умовах: через сорбційний патрон з сорбентом, який містив сорбовані йони Sc(III), пропускали розчин десорбенту об'ємом 15 мл зі швидкістю 1 мл/хв, патрон промивали водою. Одержаний елюат і промивну воду переносили в мірну колбу ($V = 50$ мл) і бідистильованою водою доводили об'єм розчину до мітки. Вміст десорбованого Sc(III) визначали фотометрично за допомогою реакції утворення забарвленого комплексу Sc(III) з ксиленоловим оранжевим. Процеси сорбції і десорбції вивчали за температури 20 ± 1 °С.

Досліджено залежність сорбції Sc(III) зі слабколужних розчинів від діаметра зерен кліноптилоліту. З'ясовано, що сорбційна ємність кліноптилоліту стосовно Sc(III) збільшується зі зменшенням розміру гранул сорбенту (рис. 1). Як оптимальні вибрали гранули кліноптилоліту з діаметром 0,200–0,315 мм.

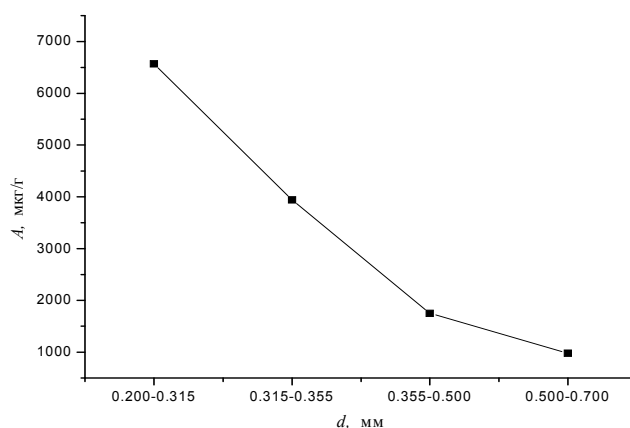


Рис. 1. Залежність сорбційної ємності кліноптилоліту стосовно Sc(III) від розміру його зерен ($C_{Sc(III)} = 1,0$ мкг/мл; pH 8,0)

Вивчено сорбцію іонів Sc(III) на клиноптилоліті в розчинах різної кислотності (рис. 2). Потрібне значення pH розчинів солі Sc(III) створювали, додаючи розведені розчини NaOH або HNO₃.

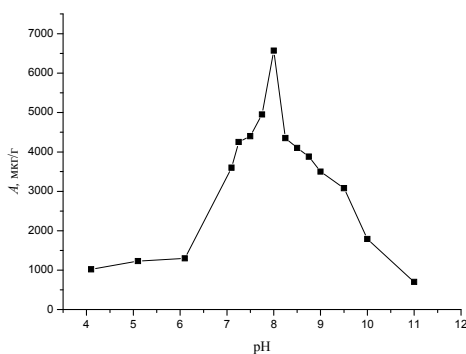


Рис. 2. Залежність сорбційної ємності природного клиноптилоліту від pH розчину солі Sc(III) ($C_{Sc(III)} = 1,0$ мкг/мл; діаметр зерен клиноптилоліту 0,200–0,315 мм)

Одержані результати засвідчують, що на клиноптилоліті сорбування йонів Sc(III) найефективніше відбувається зі слабколужних розчинів. В інтервалі pH 4,0–6,0 поступово зростає сорбційна ємність цеоліту. З подальшим підвищенням pH сорбційні властивості різко зростають і максимально виявляються при pH 8,0. За більших значень pH розчину відбувається зниження сорбції йонів Sc(III) і при pH 11,1 сорбційна ємність клиноптилоліту досягає мінімального значення.

Відомо [8,10–14], що адсорбційно-активними центрами закарпатських цеолітів стосовно йонів металів є переважно поверхневі OH-групи. Тому, на нашу думку, стиль процесу сорбції клиноптилоліту стосовно йонів Sc(III), який показаний на рис. 2, зумовлений як особливостями хімії поверхні клиноптилоліту, так і формами самого Sc(III) у водних розчинах за різних pH. За низьких значень pH дисоціація гідроксильних груп із відщепленням H⁺ на поверхні зерен мінералу, передусім відповідальних за сорбцію важких металів з розчинів, практично повністю пригнічена, що визначає низьке значення адсорбційної ємності клиноптилоліту стосовно йонів Sc(III) при pH < 6. З підвищенням pH дисоціація поверхневих груп зростає, одночасно збільшується сорбція. Також зі збільшенням pH змінюється форма існування Sc(III) у розчині. З урахуванням того, що Скандій у комплексних сполуках виявляє координаційне число 6, а також згідно з [15], за низьких концентрацій Sc(III) у розчинах з pH 8,0 (умови максимальної сорбції) перебуває практично лише у формі нейтрального аквагідроксикомплексу [Sc(OH)₃(H₂O)₃] (рис. 3). У випадку вищих значень pH суттєво зменшується частка [Sc(OH)₃(H₂O)₃] і стрімко зростає частка аніонного аквагідроксикомплексу [Sc(OH)₄(H₂O)₂]⁻. Зокрема, при pH 9,0 у розчині міститься 25 % [Sc(OH)₄(H₂O)₂]⁻ і 75 % [Sc(OH)₃(H₂O)₃]. При pH 11,0 існує лише ~ 5 % нейтрального аквагідроксикомплексу [Sc(OH)₃(H₂O)₃].

На підставі аналізу характеру зміни залежності сорбційної ємності клиноптилоліту від pH розчину Sc(III) (див. рис. 2) і розподілу форм існування Sc(III) у розчинах різної кислотності (див. рис. 3) можна зробити такі висновки:

- закарпатський клиноптилоліт найліпше сорбує нейтральні аквагідроксокомплекси $[\text{Sc}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3]$;
- цеоліт сорбує також катіонні аквагідроксокомплекси, але з меншою ефективністю;
- сорбування аніонних комплексів на цеоліті не відбувається.

Підтвердженням того, що клиноптилоліт головно сорбує нейтральні аквагідроксокомплекси $[\text{Sc}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3]$, є той факт, що ефективними елюентами $\text{Sc}(\text{III})$ є лише розчини мінеральних кислот, а розчин NaCl десорбує всього 20 % цього рідкісного елемента (табл. 1).

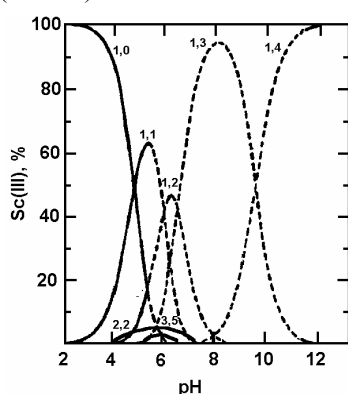


Рис. 3. Діаграма розподілу різних форм $\text{Sc}(\text{III})$ залежно від pH розчину:
 $1,0\text{-Sc}^{3+}$; $1,1\text{-ScOH}^+$; $1,2\text{-Sc}(\text{OH})_2^+$; $1,3\text{-Sc}(\text{OH})_3^0$; $1,4\text{-Sc}(\text{OH})_4^-$; $2,2\text{-Sc}_2(\text{OH})_2^{4+}$; $3,5\text{-Sc}_3(\text{OH})_5^{4+}$
 $(C_{\text{Sc}(\text{III})} = 10^{-5} \text{ M})$

Для подальших досліджень ми використовували розчин $\text{Sc}(\text{III})$ з pH 8,0.

Сорбційні властивості закарпатського клиноптилоліту суттєво залежать від його попереднього термічного оброблення [8, 10–14]. Тому промиті дистильованою водою зразки клиноптилоліту термічно обробляли впродовж 2,5 год за різних температур і після охолодження в ексікаторі визначали їхню сорбційну ємність стосовно $\text{Sc}(\text{III})$ за динамічних умов. Одержані результати показано на рис. 4.

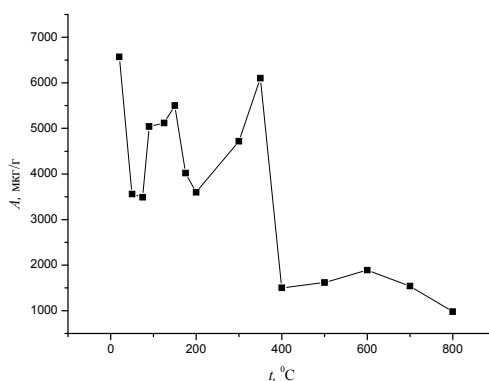


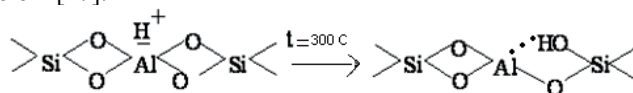
Рис. 4. Залежність сорбційної ємності A клиноптилоліту від температури попередньої обробки $(C_{\text{Sc}(\text{III})} = 1 \text{ мкг/мл}$; pH 8,0; діаметр зерен сорбенту – 0,200–0,31 мм)

Як бачимо з рис. 4, сорбційна ємність непрожареного природного клиноптилоліту є максимальною (6 570 мкг/г). Підвищення температури прожарювання клиноптилоліту до 75 °С призводить до зменшення його сорбційної ємності. У закарпатському клиноптилоліті за температури < 100 °С відбувається видалення поверхневої плівки рідкої води. Це зовнішньодифузійна область процесу термодесорбції. У цій області виділяється лише незначна частка вологи, зв'язаної з цеолітом, – у межах 1–2 % [13]. Імовірно, що саме ці процеси призводять до зменшення сорбційної ємності клиноптилоліту стосовно Sc(III) (див. рис. 4).

В інтервалі 100–150 °С простежено зростання ємності сорбенту до 5 400 мкг/г. Ця стадія (температура до 180 °С) робить визначальний внесок у процес термодесорбції. Вона пов'язана з виділенням капілярно зв'язаної води з мезопор і капілярів [13]. У цьому випадку швидкість процесу визначена швидкістю дифузії парів води з внутрішньої структури цеоліту – це область внутрішньої дифузії; маса води, яка видаляється на цій стадії, становить 73–75 % від загальної маси зв'язаної цеолітом води. Очевидно, у цьому температурному інтервалі поряд з видаленням капілярно зв'язаної води (води мезопористої структури) частково видаляється фізично адсорбована на адсорбційних центрах цеоліту лігандна вода. Такі процеси сприяють збільшенню сорбційної ємності клиноптилоліту, прожареного в цьому інтервалі температур.

Далі на графіку іде плавний спад з мінімумом при 200 °С. Це, імовірно, пов'язано з видаленням води, адсорбційно зв'язаної з активними центрами поверхні цеоліту (≥ 180 °С) [13]. Кінетика процесу в цьому випадку визначена природою активних центрів, енергією взаємодії адсорбованих молекул з поверхнею адсорбента. З огляду на це процес термодесорбції води в цьому разі може охоплювати декілька послідовних стадій видалення різних видів адсорбованої води: видалення лігандної води, видалення з поверхні ізольованих молекул води, видалення хімічно зв'язаних з поверхнею ОН-груп (дегідроксилювання поверхні). Як уже зазначено, поверхневі ОН-групи є адсорбційно активними центрами стосовно йонів важких металів. Зменшення сорбційної ємності в цьому температурному інтервалі, імовірно, зумовлене і тим, що під час дегідратації води відбувається зміщення обмінних катіонів, а це впливає на переріз каналів [16]. Можливо, таке блокування каналів приводить до послаблення адсорбційних властивостей природного клиноптилоліту стосовно аквагідроксокомплексів Скандію.

Підвищення сорбційної ємності зразків клиноптилоліту, прожарених в інтервалі температур 300–350 °С, пояснюють частковим перетворенням структури клиноптилоліту, під час якого збільшується кількість ОН-груп за схемою, запропонованою в [17]:



Подальше стрімке зменшення сорбційної ємності клиноптилоліту за температур до 450 °С, ми пов'язуємо з процесами аморфізації клиноптилоліту. У праці [12] з'ясовано, що саме в цьому температурному інтервалі швидкість аморфізації природної форми закарпатського клиноптилоліту є найбільшою. Незначне підвищення сорбційної ємності в інтервалі температур 600–700 °С,

можливо, пов'язане з утворенням у структурі цеоліту на місці тетраедричних вакансій, які з'явилися під час аморфізації мінералу, силосанових зв'язків схеми, наведеної в [18]:



Важливим етапом роботи був пошук ефективних десорбентів. Як десорбенти апробовано розчини HNO_3 , H_2SO_4 , HCl , NaCl . Результати десорбції (див. табл. 1) свідчать про те, що найліпшим десорбентом є 7 М HNO_3 , за допомогою якого можна десорбувати 100 % Скандію, сконцентрованого на клиноптилоліті.

Таблиця 1

Ефективність десорбції Sc(III) з клиноптилоліту	
Десорбент	Десорбція, %
HNO_3 , 7 М	100
HNO_3 , 2,8 М	80
HCl , 6 М	77-80
HCl , 2,4 М	60
$4\text{H}_2\text{SO}_4$, 1 М	84
NaCl , 1 М	20

Досліджено вплив поширених іонів природних і стічних вод на концентрування Скандію (III) клиноптилолітом з розчинів при рН 8,0 у динамічних умовах. Як бачимо з табл. 2, сорбція слідових кількостей Sc(III) на клиноптилоліті відбувається на фоні основних макрокомпонентів вод.

Таблиця 2

Вплив сторонніх іонів на максимальну сорбційну ємність клиноптилоліту стосовно іонів

Sc(III) ($C_{\text{Sc(III)}} = 1,0$ мкг/мл)

Іон	Допустиме співвідношення $C_{\text{іон}}/C_{\text{Sc(III)}}$
Na^+	40
K^+	40
NH_4^+	10
Mg^{2+}	10
Ca^{2+}	15

З узагальнення результатів досліджень бачимо, що максимальне значення сорбційної ємності непрожареного закарпатського клиноптилоліту в динамічних умовах стосовно Sc(III) становить 6 570 мкг/г (див. рис. 2, 4). Оптимальні умови сорбції Sc(III) на закарпатському клиноптилоліті такі: рН – 8,0; діаметр зерен цеоліту – 0,200–0,315 мм; швидкість пропускання розчину Sc(III) з концентрацією 1,0 мкг/мл через сорбент – 5 мл/хв.

Висока сорбційна ємність закарпатського клиноптилоліту, здатність сорбувати як низькі, так і високі концентрації Sc(III) дають підставу пропонувати цей сорбент для очищення вод від іонів Sc(III), вилучення цих іонів з технологічних розчинів, а також для концентрування іонів Sc(III) на стадії підготовки проб води до аналізу.

Запропоновано методику концентрування слідових кількостей Sc(III) у режимі твердофазової екстракції з подальшим його визначення фотометричним методом.

Методика визначення. Підготовку сорбенту виконують так: зразок природного закарпатського клиноптилоліту подрібнюють на кульовому млині, відбирають фракцію цеоліту з діаметром гранул 0,200–0,315 мм, промивають дистильованою водою і висушують при 20 °С. До 0,5–2,0 л досліджуваної води, у якій концентрація Скандію не повинна перевищувати 2 мкг/мл, додають розчин NaOH або HNO₃ до рН 8,0. Далі цей розчин за допомогою перистальтичної помпи пропускають через концентрувальний патрон, наповнений сорбентом масою 0,6 г, зі швидкістю 3 мл/хв. Після цього через патрон пропускають 50 мл бідистильованої води з тією ж швидкістю. Десорбцію Sc(III) проводили так: 15 мл розчину 7 М HNO₃ пропускали через патрон зі швидкістю 1 мл/хв, після чого промивали 35 мл дистильованої води, елюат збирали у мірну колбу на 50 мл. Вміст Sc(III) в розчині визначали спектрофотометричним методом за допомогою ксиленолового оранжевого.

Запропоновану методику концентрування Sc(III) апробовано під час аналізу водопровідної води хімічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка з додатковим уведенням іонів Sc(III). Результати аналізу наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Результати визначення Скандію у водопровідній воді (вул. Кирила і Мефодія, 6, м. Львів), відібраної 10 травня 2013 р., а також у воді з додатковим уведенням Sc(III) (n = 3, p = 0,95)

Уведено Sc(III), мкг/мл	Знайдено Sc(III)			\bar{X}	S	$\frac{t_a S}{\sqrt{n}}$	$\bar{X} \pm \frac{t_a S}{\sqrt{n}}$
	x_1	x_2	x_3				
0	0	0	0	0			
1	0,97	1,01	1,00	0,99	0,02	0,05	0,99±0,05

Результати аналізу засвідчують ефективність запропонованої методики концентрування Sc(III) на стадії пробопідготовки під час аналізу водопровідної води.

1. *Кочерова Е.В.* Сорбция ионов скандия, иттрия и лантана оксидами кремния и алюминия // Журн. аналит. химии. 2006. № 5. С. 1154–1159.
2. *Адеева Л.Н., Борбат В.Ф., Лукиша Т.В.* Изучение сорбции скандия из солянокислых растворов хелатной смолой purolite s-957 // Химия и хим. технология. 2010. Т. 53. № 9. С. 99–101.
3. *Кудрявский Ю.П., Белкин А.В., Казанцев Е.И.* и др. Исследование ионнообменного отделения скандия от тория // Журн. прикл. химии. 1986. Т. 59. № 4. С. 898–900.
4. *Кочерова Е.В., Поротникова Т.П., Деревянкин В.А., Дариенко Е.П.* Ионные формы скандия, алюминия и железа на фосфорнокислой смоле при сорбции в сернокислой среде // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 1984. № 1. С. 119–120.
5. *Кашакашвили Л.И.* Исследование сорбционного поведения скандия, иттрия и лантана на карбонатных формах анионитов: автореф. ... канд. хим. наук. М., 1996.

6. *Дуйсебаев Б.О., Макушева А.С.* О возможности извлечения благородных и редких металлов из урановых руд. М.: Наука, 1998.
7. *Крымова В.В., Аджигафарова Н.С., Федоренко А.М.* Сорбция Скандия (III) цеолитами // Уч. зап. Таврич. ун-та им. В. И. Вернадского. 2007. Т. 20. № 2. С. 121–125.
8. *Vasylechko V.O., Gryshchouk G.V., Lebedynets L.O.* et al. Adsorption of Copper on Transcarpathian Clinoptilolite // *Adsorp. Sci. Technol.* 1999. Vol. 17. N 2. P. 125–134.
9. *Тарасевич Ю.И., Поляков В.Е., Пенчов В.Ж.* и др. Ионообменные свойства и особенности строения клиноптилолитов различных месторождений // *Химия и технология воды.* 1991. Т. 13. № 2. С. 132–140.
10. *Vasylechko V.O., Gryshchouk G.V., Kuz'ma Yu.B.* et al. Adsorption of cadmium on acid-modified transcarpathian clinoptilolite // *Micropor. Mesopor. Mater.* 2003. Vol. 60. P. 183–196.
11. *Василечко В., Грищук Г., Белікова А., Кузьма Ю.* Адсорбція Cr(III) на закарпатському клиноптилоліті // *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. хім.* 2005. Вип. 46. С. 148–156.
12. *Vasylechko V.O., Gryshchouk G.V., Lebedynets L.O.* et al. Adsorption of cadmium on asid-modified on Transcarpathian Clinoptilolite // *Micropor. Mezopor. Mat.* 2003. Vol. 14. N 5. P. 183–196.
13. *Закордонський В., Василечко В., Стащук П., Грищук Г.* Термодесорбція води й адсорбційні властивості закарпатських цеолітів // *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. хім.* 2004. Вип. 44. С. 247–256.
14. *Vasylechko V.O., Gryshchouk G.V., Zakordonskiy V.P.* et. al. Sorption of terbium on Transcarpathian clinoptilolite // *Micropor. Mesopor. Mat.* 2013. Vol. 167. P. 155–161.
15. *Baes C.F., Mesmer R.E.* The Hydrolysis of Cations. John Wiley & Sons: New York; London; Sidney; Toronto, 1976.
16. *Цицивили Г.В., Андроникашвили Т.Г., Киров Г.И., Филизова Л.Д.* Природные цеолиты. М.: Химия, 1985.
17. *Tomazović B., Čeranić T., Sijarić G.* The properties of the NH₄-clinoptilolite. Part 1 // *Zeolites.* 1996. Vol. 16. P. 301–308.
18. *Tomazović B., Čeranić T., Sijarić G.* The properties of the NH₄-clinoptilolite. Part 2 // *Zeolites.* 1996. Vol. 16. P. 309–312.

SORPTION OF Sc (III) ON TRANSCARPATIAN CLINOPTILOLITE

V. Vasylechko^{1,2}, Ch. Korpalo¹, G. Gryshchouk¹

¹*Ivan Franko National University of Lviv,
Kyryla & Mefodiya Str., 6, 79005 Lviv, Ukraine*

²*Lviv Academy of Commerce,
Samchouk Str., 9, 79011 Lviv, Ukraine*

In the present work the optimal conditions of Sc(III) microquantities concentration on natural Transcarpathian clinoptilolite has been investigated. The Sc(III) adsorption on natural clinoptilolite depending on diameter of zeolite grains, acidity of aqueous solution and heating treatment has been studied.

The conditions of Sc(III) ions desorption realization by means of different desorbents in dynamic conditions have been investigated.

The influence of some ions (NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) on the Sc(III) ions microquantities sorption process on natural Transcarpathian clinoptilolite in dynamic conditions has been studied.

The sorption capacity of the clinoptilolite towards Sc(III) is 6570 $\mu\text{g/g}$ at the optimum conditions. The best desorbent of Sc(III) is 7 M HNO_3 which provides 100 % elimination of Sc(III).

The method of Sc(III) ions microquantities concentration on the natural Transcarpathian clinoptilolite with the following spectrophotometric determination has been suggested. The method has been approved during tap water analysis.

Key words: sorption, clinoptilolite, preconcentration, natural waters, scandium.

СОРБЦИЯ Sc(III) НА ЗАКАРПАТСКОМ КЛИНОПТИЛОЛИТЕ

В. Василечко^{1,2}, К. Корпало¹, Г. Грищук¹

¹Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
ул. Кирилла и Мефодия, 6, 79005 Львов, Украина

²Львовская коммерческая академия,
ул. Самчука, 9, 79011 Львов, Украина

Изучено сорбционные свойства закарпатского клиноптилолита по отношению к ионам Sc(III) в динамических условиях. В оптимальных условиях сорбционная емкость клиноптилолита по отношению к Sc(III) равна 6 570 мкг/г. Лучшим десорбентом Sc(III) является раствор 7 М HNO_3 , обеспечивающий 100 % извлечение Sc(III). Предложено метод концентрирования следовых количеств Sc(III) из водных растворов с последующим фотометрическим анализом концентрата.

Ключевые слова: сорбция, клиноптилолит, концентрирование, природные воды, скандий (III).

Стаття надійшла до редколегії 30.10.2013

Прийнята до друку 19.12.2013