

РОЗДІЛ V. ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 504.5:628.33

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-154-162

Микола Гомеля, Вероніка Іванова, Інна Трус

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИЛУЧЕННЯ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З РОЗВЕДЕНИХ РОЗЧИНІВ ІОНООБМІННИМ МЕТОДОМ

Актуальність теми дослідження. Важливою екологічною проблемою є забруднення поверхневих вод іонами важких металів. Висока токсичність при низьких дозах і здатність до накопичення в живих організмах пояснює зростаючу потребу в корекції змісту металів у стоках згідно з всесвітніми нормами. Викликає інтерес метод іонного обміну.

Постановка проблеми. Актуальними стають проблеми забруднення природних вод, зростання об'ємів стічних вод і пошук ефективних методів їх очищення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджено процеси сорбції іонів міді із концентраціями 1–2 мг/дм³ на катіоніті КУ-2-8. Селективність катіоніту по іонах міді при низьких її концентраціях близька до селективності по іонах жорсткості.

При використанні модифікованих іонообмінних матеріалів сполуками марганцю та заліза було досягнуто підвищення ефективності вилучення іонів важких металів із води.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Не можливо дати оцінку ефективності вилучення з води іонним обміном іонів важких металів при концентраціях, нижчих 1 мг/дм³.

Постановка завдання. Вивчення процесів сорбції іонів міді та свинцю на катіонітах, а також використання фільтрів змішаної дії.

Виклад основного матеріалу. Ефективність очищення води знижувалася при зменшенні вихідної концентрації металу.

Запропоновано використання фільтрів змішаної дії. Встановлено, що при концентрації іонів міді 10⁻² мг/дм³ мідь не сорбувалася навіть при використанні фільтрів змішаної дії.

Встановлено, що іони свинцю практично повністю вилучаються на сильнокислотному катіоніті при концентраціях менше 0,1 мг/дм³. Регенерацію слід проводити 2М розчином соляної кислоти. Ефективність десорбції іонів свинцю досягає 100 %. Ступінь десорбції іонів міді в окремих випадках досягає приблизно 90 %.

Висновки. Задовільні результати по концентруванню сильно розведених розчинів іонів міді можна отримати при концентрації іонів міді до 1 мг/дм³.

При використанні фільтрів змішаної дії мідь можна вилучити з розчинів концентрацією до 0,1 мг/дм³.

Встановлено, що іони свинцю ефективно вилучаються із надрозведених водних розчинів при концентраціях менше 1 мг/дм³.

Ключові слова: важкі метали; іонний обмін; сорбція; регенерація іоніту; фільтр змішаної дії.

Рис.: 5. Бібл.: 13.

Вступ. За сучасних глобальних масштабів втручання людини у біогеохімічні цикли важких металів відбувається розширення меж забруднення токсикантами, накопичення їх у природних водних об'єктах до небезпечних концентрацій і, як наслідок, збільшення ризику отруєння людини.

Водні ресурси України є обмеженими і дуже нерівномірно розподіленими за територією. Запаси водних ресурсів в Україні на одного мешканця становлять 1,7 тис. м³ на рік, що ставить її поряд із найменш забезпеченими водою країнами Європи. До того ж різко погіршується якість води деяких джерел водопостачання в результаті їх забруднення стічними водами.

Необхідність здійснення екологічного контролю вмісту важких металів у воді питній, декларується документами Всесвітньої організації охорони здоров'я, вітчизняними нормативами, згідно з якими постало завдання контролювати такі небезпечні токсиканти, як Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, As, Ni, Co та інші на межі 5·10⁻⁴ мг/дм³ [1].

Тому надійний контроль вмісту важких металів у воді є актуальною проблемою, так само як і визначення ефективності відомих методів очищення води при низьких концентраціях іонів важких металів.

Постановка проблеми. Важливою екологічною проблемою є забруднення поверхневих вод іонами важких металів, токсичний вплив яких на живі організми призводить до порушення протікання ферментативних реакцій. Стічні води електрохімічних

© Гомеля М. Д., Іванова В. П., Трус І. М., 2017

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

виробництв, наявних практично на кожному підприємстві машино- і приладобудування, – основне джерело надходження важких металів у водойми.

Значною мірою на надходження важких металів у водойми, разом з іншими промисловими підприємствами, впливають атомні електростанції [2; 3]. Ці промислові об'єкти характеризуються високим рівнем теплового забруднення та великими об'ємами стічних вод, що скидаються у водойми. Так, Запорізька атомна електростанція скидає щосекунди 10 м³ води в Дніпро, що сягає приблизно 800 000 м³/добу. При цьому вміст іонів міді у таких стоках досягає 20...100 мкг/дм³.

Мідь входить до найбільш небезпечних забруднювачів навколишнього середовища [4]. Найбільший токсичний ефект вона надає на водні організми та екосистеми, що означає низьке значення гранично-допустимої концентрації цієї речовини у воді [5]. При збільшенні концентрації міді до 0,01 мг/дм³ гальмуються процеси самоочищення водойм. При концентрації 0,4...0,5 мг/дм³ мідь згубно діє на мікрофлору, затримує розмноження організмів, амоніфікацію і нітрифікацію стічних вод. При концентрації міді 1,0 мг/дм³ помітно гальмуються процеси аеробного очищення стічних вод активним мулом (одна із стадій очищення вод системи міськводоканалів), зменшується кількість окисленого азоту у стічних водах, затримується утворення активного мулу [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні невідомі ефективні методи очищення води від іонів важких металів при таких низьких концентраціях у присутності іонів жорсткості.

Як показано авторами роботи [7], селективність катіоніту КУ-2-8 по іонах міді при низьких її концентраціях близька до селективності по іонах жорсткості. Тому при сорбції міді із стічних або природних вод із жорсткістю 4...18 мг-екв/дм³ при концентрації міді 1...2 мг/дм³ ємність іоніту по міді приблизно в стільки разів менша, як її концентрація щодо концентрації іонів жорсткості. Тобто без повного пом'якшення води неможливе глибоке очищення води від іонів міді іонообмінним методом. Це справедливо і щодо слабокислотних катіонітів [8]. Тому пропонують [9] організувати замкнуті цикли в гальванічних виробництвах без скиду стічних вод.

Разом з тим при використанні модифікованих іонообмінних матеріалів сполуками марганцю та заліза [10] було досягнуто підвищення ефективності вилучення іонів важких металів із води. Крім того, коли ємність іоніту не вичерпано при сорбції інших домінуючих іонів (наприклад, іонів жорсткості), іоніти досить ефективно сорбують іони важких металів навіть при невисоких концентраціях. Це стосується як сильно-, так і слабокислотних катіонітів. А слабокислотні катіоніти мають високу ємність по двозарядних катіонах навіть при високих концентраціях конкуруючих однозарядних іонів [11]. Тому іонообмінні методи широко використовуються як у процесах глибокого пом'якшення, так і у процесах практично повної деіонізації води. Перспективні дані методи і при концентруванні іонів та солей в аналітичних методах, при добуванні рідкісних металів.

Невирішеною частиною загальної проблеми є неможливість дати оцінку ефективності вилучення з води іонним обміном іонів важких металів при концентраціях, нижчих 1 мг/дм³ (на рівні та нижче рівня їх ГДК у природних водах). А це дуже важливо, враховуючи концентрування важких металів у трофічних ланцюгах у природних водоймах та різне підвищення їх концентрації при евтрофікації водойм [12]. Враховуючи цю ситуацію, досить перспективним є визначення межі ефективності іонообмінного очищення від іонів важких металів як одного із найефективніших методів деіонізації води.

Мета дослідження. Метою роботи є визначення ефективності іонообмінних смол при сорбції катіонів важких металів з сильно розведених розчинів. Для цього вирішувались такі завдання:

– вивчення процесів сорбції іонів міді ($1 \cdot 10^{-1}$ – $1 \cdot 10^{-6}$ мг/дм³) на сильно- та слабокислотних катіонітах із дистильованої та водопровідної води, оцінка ефективності фільтрів змішаної дії при вилученні іонів міді з води;

– дослідження процесів катіонообмінного вилучення іонів свинцю ($0,01\text{--}100\text{ мкг/дм}^3$) із водопровідної та дистильованої води на слабо- та сильнокислотних катіонітах, визначення ефективності десорбції іонів свинцю з катіонітів при використанні розчинів соляної кислоти;

– оцінка перспективності іонообмінних методів у процесах концентрування іонів важких металів із сильно розведених розчинів

Матеріали та методи дослідження. Як іонообмінні матеріали використовувалися слабокислотний катіоніт DOWEX MAC-3, сильнокислотний катіоніт КУ-2-8, високоосновний аніоніт АВ-17-8. Катіоніти використовувалися в H^+ - та Na^+ -формах, аніоніт – в OH^- -формі. Як модельні розчини використовувалися розчини сульфату міді та нітрату свинцю з концентраціями по іонах важких металів від $1 \cdot 10^{-2}\text{--}1 \cdot 10^{-3}\text{ мкг/дм}^3$ у дистильованій та водопровідній воді.

Характеристики водопровідної води: $\text{Ж} = 4,8\text{--}5,2\text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{C}_{\text{Ca}^{2+}} = 3,6\text{--}4,0\text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{L} = 4,7\text{--}5,2\text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{C}_{\text{Cl}^-} = 37\text{--}50\text{ мг/дм}^3$, $\text{C}_{\text{SO}_4^{2-}} = 47\text{--}65\text{ мг/дм}^3$, $\text{pH} = 7,10\text{--}7,57$.

Концентрації іонів міді та свинцю визначали методом інверсійної хронопотенціометрії за методикою, описаною в роботі [13]. Цей метод аналізу забезпечував точність визначення міді та свинцю на рівні 10^{-6} мг/дм^3 (10^{-3} мкг/дм^3).

Сорбцію проводили в динамічних умовах. Об'єм іоніту $10\text{--}20\text{ см}^3$. Колонка діаметром 2 см. Витрата розчину при сорбції $10\text{--}15\text{ см}^3/\text{хв}$, при регенерації $1\text{--}2\text{ см}^3/\text{хв}$. Регенерацію проводили розчином 2М соляної кислоти.

Результати досліджень по видаленню іонів міді (II) та свинцю (II) іонообмінним методом. Сильно- та слабокислотні катіоніти сорбують іони важких металів в присутності іонів жорсткості. Але ємність катіонітів за іонами важких металів знижується з підвищенням концентрації конкуруючих іонів – кальцію і магнію. Проте і при незначних концентраціях іонів міді вони сорбуються у присутності іонів жорсткості у пропорційній кількості з останніми [8; 9]. При цьому, за невеликих об'ємів профільтрованих через іоніти розчинів, коли ємність іоніту по сумарній кількості катіонів вичерпана частково, вони можуть сорбуватись з розчинів практично до вичерпання ємності іоніту. Однак, як показали проведені дослідження (рис. 1), на першому етапі сорбції ($V_{\text{фільтрату}} = 0,6\text{--}1,8\text{ дм}^3$) на слабокислотному катіоніті DOWEX MAC-3 в H^+ -формі ($V_i = 20\text{ см}^3$) відбувається зниження концентрації іонів міді з $0,1\text{--}0,2\text{ мг/дм}^3$ до $(1,6\text{--}9,4) \cdot 10^{-3}\text{ мг/дм}^3$ при одночасному зменшенні жорсткості розчину з $4,8\text{ мг-екв/дм}^3$ до $0,40\text{--}0,46\text{ мг-екв/дм}^3$ (рис. 1).

На сильнокислотному катіоніті КУ-2-8 за тих же умов концентрація міді знизилась до $(2,8\text{--}22,0) \cdot 10^{-3}\text{ мг/дм}^3$, а жорсткість знизилась до $0,08\text{--}0,10\text{ мг-екв/дм}^3$. Обумовлено це селективністю іоніту по даних іонах, вихідною концентрацією іонів, зниженням рН середовища до $3,00\text{--}3,14$ та конкуруючою сорбцією іонів жорсткості.

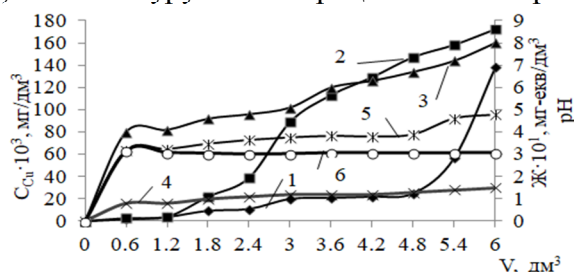


Рис. 1. Залежність концентрації іонів міді (1; 2), жорсткості (3; 4) та рН (5; 6) розчину сульфату міді у водопровідній воді ($[\text{Cu}^{2+}]$, мг/дм^3 : $0,138$ (1; 3; 5); $0,172$ (2; 4; 6), $\text{Ж} = 4,8\text{ мг-екв/дм}^3$) від об'єму пропущеного розчину через катіоніти DOWEX MAC-3 (1; 3; 5) та КУ-2-8 (2; 4; 6) в H^+ -формі ($V_i = 20\text{ см}^3$) ($\text{ОДЄ}_1 = 32\text{ мг/дм}^3$; $\text{ОДЄ}_2 = 25,3\text{ мг/дм}^3$; $\text{ОДЄ}_3 = 1269,6\text{ мг-екв/дм}^3$; $\text{ОДЄ}_4 = 1405,5\text{ мг-екв/дм}^3$)

Цими експериментами доведено, що проскок по іонах міді на катіоніті DOWEX MAC-3, рівний початковій концентрації даних іонів в розчині, наступив при фільтруванні всього 6,0 дм³ води при заповненні катіонами всього 31,5 % ємності іоніту. На КУ-2-8 іони міді проходили через катіоніт без сорбції при пропусканні також 6,0 літрів розчину при заповненні катіонами приблизно 58 % ємності катіоніту. Очевидно, що ефективність вилучення катіонів міді в такому випадку залежить як від кінетичних, так і термодинамічних факторів. Так, при вихідній концентрації міді 0,331...1,569 мкг/дм³ при сорбції на катіоніті DOWEX MAC-3 в H⁺- та Na⁺-формі з водопровідної та дистильованої води обмінна динамічна ємність по міді була всього 2,5·10⁻⁶...2,14·10⁻³ мг/дм³ при заповненні ємності іоніту до 15 % (рис. 2).

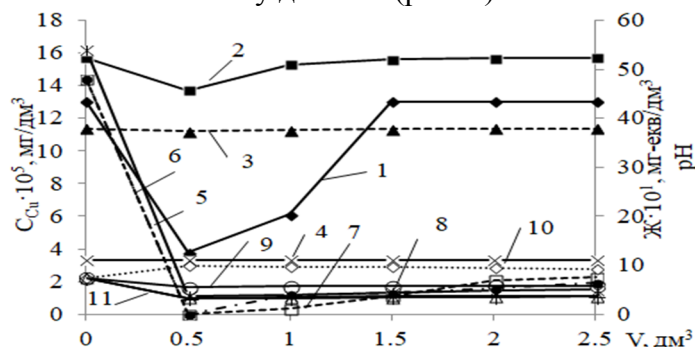


Рис. 2. Залежність вихідних значень концентрації іонів міді (1; 2; 3; 4), жорсткості (5; 6; 7) та рН (8; 9; 10; 11) розчинів сульфату міді у водопровідній (1; 2; 4; 5; 6; 7; 8; 10; 11) та дистильованій (2; 9) воді від пропущених об'ємів розчинів через катіоніт DOWEX MAC-3 ($V_i = 20 \text{ см}^3$) в H⁺- (1; 2; 4; 5; 7; 8; 9; 11) та Na⁺-формі (3; 10) ($ОДЄ_1 = 2,14 \cdot 10^{-3} \text{ мг/дм}^3$; $ОДЄ_2 = 6,15 \cdot 10^{-4} \text{ мг/дм}^3$; $ОДЄ_3 = 8,25 \cdot 10^{-5} \text{ мг/дм}^3$; $ОДЄ_4 = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ мг/дм}^3$; $ОДЄ_5 = 619,5 \text{ мг-екв/дм}^3$; $ОДЄ_6 = 550 \text{ мг-екв/дм}^3$; $ОДЄ_7 = 551 \text{ мг-екв/дм}^3$)

Найнижчі значення ємності іоніту були при вихідній концентрації 0,3 мкг/дм³, а також при сорбції на катіоніті в Na⁺-формі. Очевидно, що за концентрації іонів міді у воді приблизно 0,3 мкг/дм³ сорбція практично не проходить, так як даний вміст відповідає рівноважній концентрації міді в розчині для іонітів з карбоксильними групами.

Не сорбується мідь також і на катіоніті в Na⁺-формі через відносно вищу селективність катіоніту по іонам Na⁺ в порівнянні з іонами H⁺ та низьку концентрацію іонів Cu²⁺ у воді. Дифузійний фактор тут мало впливає на процес обміну, тому що в статичних умовах при часі контакту розчину з іонітом отримано подібні результати [9].

Практично не відбувалась сорбція іонів міді на катіоніті в кислій формі із дистильованої води при концентрації 1,569 мкг/дм³ через зниження ємності катіоніту в кислому середовищі. Хоча в даному випадку через низьку сорбцію іонів міді підкислення розчину майже не спостерігалось (рис. 2, крива 9). рН сягало 5,52–5,83. Підкислення розчинів міді у водопровідній воді відбувалось за рахунок сорбції іонів жорсткості із води (рис. 2, крива 8, 11).

Слід відмітити, що використані концентрації іонів міді (3,31–13,02)·10⁻⁵ мг/дм³, або (1,04–4, 10)·10⁻⁹ г-екв/дм³ на 2 порядки нижчі, ніж концентрація протонів у дистильованій воді. Тому концентраційний фактор в даному випадку сприяє скоріше десорбції іонів міді, як їх сорбції. Ще нижчою є сорбційна ємність катіоніту КУ-2-8 по іонах міді в порівнянні з DOWEX MAC-3 при сорбції із сильно розведених розчинів. Так, при концентрації (1,302–1,569)·10⁻³ мг/дм³ іони міді практично не сорбуються на катіоніті в H⁺- та Na⁺- формі як з дистильованої, так і з водопровідної води. При цьому при сорбції іонів міді з дистильованої води на катіоніті в H⁺-формі зниження рН з 7,36 до 5,25–5,74 відбувається за рахунок сорбції залишків іонів жорсткості в дистильованій воді.

При десорбції іонів міді з катіонітів КУ-2-8 та DOWEX MAC-3 використовувався розчин 2М соляної кислоти. В даному випадку концентрація кислоти вибиралася виходячи з того, що саме розчини HCl такої концентрації використовується при проведенні аналізу на приладі М – ХА1000–5.

В цілому, не дивлячись на мізерні кількості сорбованої міді, її десорбція проходить досить ефективно. При питомій витраті регенераційного розчину $3,5 \text{ см}^3/\text{см}^3$ ступінь десорбції міді з катіоніту DOWEX MAC-3 досягає 92,37 %, з катіоніту КУ-2-8 – 91,68 %.

Таким чином, лімітуючим фактором для застосування іонного обміну при концентруванні іонів міді з розведених розчинів є низька ефективність сорбції.

Виходячи із відомої інформації про високу ефективність фільтрів змішаної дії при глибокій деіонізації, було вивчено процеси вилучення іонів міді з води при використанні суміші катіоніту КУ-2-8 в кислій формі та аніоніту АВ-17-8 в основній формі (рис. 3).

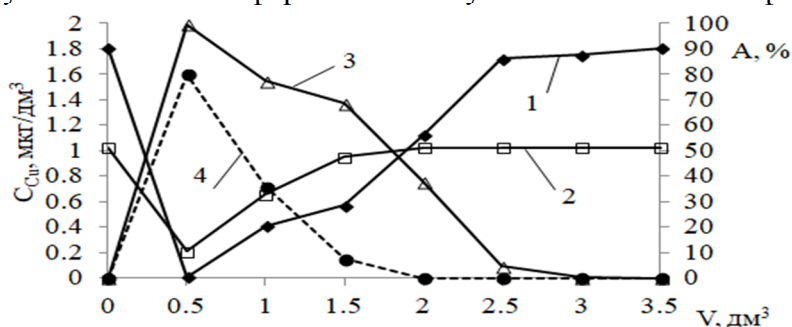


Рис. 3. Залежність концентрації (1; 2) та ступеню вилучення (3; 4) іонів міді із води від пропущеного об'єму розчинів з концентрацією 1,800 мкг/дм³ (1; 3) та 1,025 мкг/дм³ (2; 4) через фільтри змішаної дії із об'ємом катіоніту КУ-2-8 в H⁺-формі та аніоніту АВ-17-8 в OH⁻ формі, см³: 30:40 (1; 3); 20:30 (2; 4)

При концентрації іонів міді на рівні приблизно 1...2 мкг/дм³ лише в перших пробах відмічається суттєве зниження вмісту іонів міді у воді (рис.4). Тільки в одній пробі концентрація іонів міді знижується до 0,007 мкг/дм³ ($7,0 \cdot 10^{-6}$ мкг/дм³). При цьому ефективність вилучення іонів міді в значній мірі залежить від об'єму фільтруючого завантаження. Кращі результати отримано при об'ємі завантаження 70 см³, в порівнянні із завантаженням об'ємом 50 см³. Так, при концентрації іонів свинцю 214,5 мкг/дм³ при відборі 5,0 дм³ фільтрату ($V_i = 20 \text{ см}^3$) проскок іонів свинцю спостерігається на рівні 6...12 мкг/дм³ і знаходиться в межах похибки аналізу [13].

При вихідній концентрації іонів свинцю 0,026 мкг/дм³ ($2,6 \cdot 10^{-5}$ мкг/дм³) проскок свинцю сягає 1,1...1,8 мкг/дм³ і також знаходиться в межах похибки аналізу. Ще кращі результати отримані при використанні катіоніту КУ-2-8 в Na⁺-формі (рис. 4).

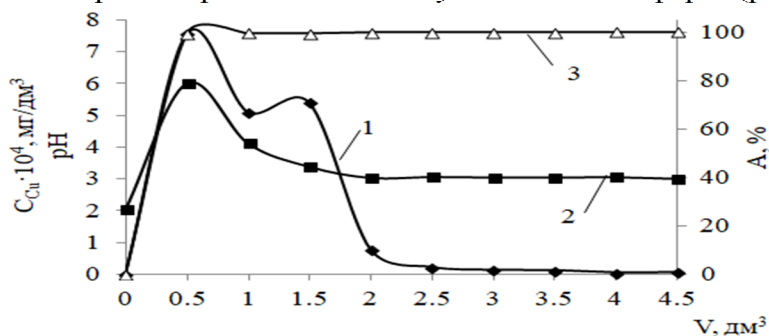


Рис. 4. Залежність концентрації іонів свинцю (1), рН середовища (2) та ступеню вилучення іонів свинцю (3) від пропущеного об'єму розчину нітрату свинцю ($[Pb^{2+}] = 0,111 \text{ мг/дм}^3$) в дистильованій воді через катіоніт КУ-2-8 в Na⁺-формі ($V_i = 10 \text{ см}^3$) (ОДС = 50 мг/дм³)

У цьому випадку при вихідній концентрації 111 мкг/дм^3 вміст іонів свинцю в першій пробі фільтрату сягає $0,756 \text{ мкг/дм}^3$ (ступінь вилучення $99,30 \%$) і далі знижується до $(5 \dots 6) \cdot 10^{-3} \text{ мкг/дм}^3$ при збільшенні об'єму фільтрату до $4,0 \dots 4,5 \text{ дм}^3$ при об'ємі іоніту всього 10 см^3 . Ступінь вилучення при цьому зростає до $99,99 \%$.

При вивченні десорбції іонів свинцю із слабокислотного катіоніту виявлено цікаву особливість (рис. 5).

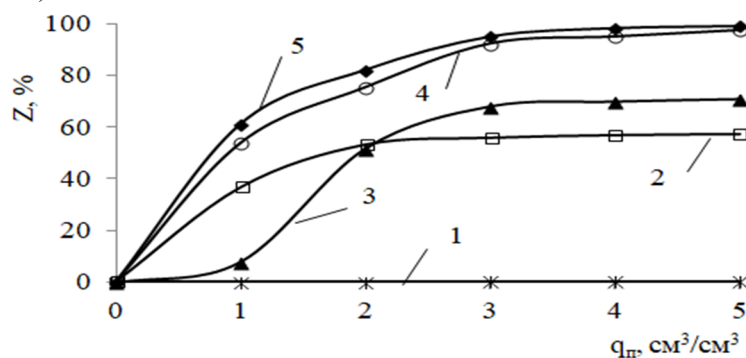


Рис. 5. Залежність ступеню десорбції іонів свинцю з катіонітів КУ-2-8 (1) та DOWEX MAC-3 (2; 3; 4; 5) від питомої витрати 2М розчину HCl ($\text{см}^3/\text{см}^3$) при масі сорбованих іонів (мг) на 20 см^3 іоніту: 1,00 (1); 1,072 (2); 0,994 (3); 0,0013 (4); 0,000124 (5)

Незважаючи на дуже незначні кількості сорбованого свинцю на катіоніті $0,0062 \dots 53,600 \text{ мг/дм}^3$, при використанні розчинів 2М HCl ефективність десорбції зростає із зменшенням маси сорбованого свинцю. Якщо при зниженні маси сорбованого свинцю з $53,6$ до $4,97 \text{ мг/дм}^3$ ступінь десорбції при питомій витраті розчину кислоти $5 \text{ см}^3/\text{см}^3$ зростає з 57 до 71% , то при масі сорбованого свинцю $0,065 \text{ мг/дм}^3$ ступінь десорбції зростає до 97% за тих же умов, а при масі сорбованого свинцю $0,0062 \text{ мг/дм}^3$ – до 99% .

Із сильнокислотного катіоніту при використанні 2М розчину HCl десорбція іонів свинцю при масі сорбованих іонів 50 мг/дм^3 практично не відбувалася. Це говорить про досить високу селективність катіоніту із сульфонатними групами по іонах свинцю.

Висновки.

1. Таким чином, розглянуто та досліджено процеси сорбції та десорбції іонів міді на сильно- та слабокислотних катіонітах із сильно розведених розчинів. На сильнокислотних катіонітах мідь практично не сорбується з розчинів з концентрацією іонів міді $\leq 1 \text{ мкг/дм}^3$, на слабокислотних катіонітах з розчинів з концентрацією $\leq 0,1 \text{ мкг/дм}^3$. Мінімальна концентрація іонів міді після фільтрів змішаної дії сягає 10^{-2} мкг/дм^3 .

2. Встановлено, що іони свинцю ефективно вилучаються із надрозведених водних розчинів при концентраціях менше 1 мкг/дм^3 . Краще відбувається сорбція іонів свинцю на сильнокислотних катіонітах. При використанні розчинів 2М HCl ступінь їх десорбції із слабокислотного катіоніту зростає із зменшенням маси сорбованого свинцю.

3. Показано, що слабокислотні катіоніти забезпечують ефективне концентрування іонів свинцю із надрозведених розчинів. Застосування катіонітів для концентрування іонів міді доцільно при її мінімальних концентраціях $1,01 \dots 1,00 \text{ мкг/дм}^3$.

Виходячи із даних результатів, можна сказати, що слабокислотні катіоніти будуть ефективні при концентруванні свинцю з надрозведених розчинів з використанням стадій сорбції та десорбції. Сильнокислотні катіоніти краще використовувати при вилученні іонів свинцю із води.

Список використаних джерел

1. *Екологічна безпека водних екосистем і моніторинг якості води* : навч. посіб. / М. Д. Гомеля, Т. О. Шаблій, В. А. Копілевич та ін. ; під заг. ред. М. Д. Гомеля. – К. : Видавничий центр НУБіП України, 2013. – С. 143.
2. Трохименко Г. Г. Визначення ступеню кумуляції важких металів у гідробіонтах Бузького лиману / Г. Г. Трохименко, Н. В. Циганюк // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – 2015. – № 4. – С. 98–105.
3. *Progress in Chemical-Looping Combustion and Reforming technologies* / J. Adanez, A. Abad, F. G. Labiano, P. Gayan, L. F. Diego // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2012. – Vol. 38. – №. 2. – Pp. 215–282.
4. Ивантер Э. В. Экологическая токсикология природных популяций / Э. В. Ивантер, Н. В. Медведев. – М. : Наука, 2007. – 229 с.
5. Исидоров В. А. Введение в химическую экотоксикологию / В. А. Исидоров. – СПб. : Химиздат, 1999. – 144 с.
6. *Вредные химические вещества в промышленности* : справочник : в 3 т. Т. 3 / под ред. Н. В. Лазарева и Э.Н. Левиной. – Л. : Химия, 1976. – 608 с.
7. Ahmad, A. Removal of Cu (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions by adsorption on sawdust of Meranti wood / A. Ahmad, M. Rafatullah, O. Sulaiman, M. H. Ibrahim, Y. Y. Chii, V. M. Siddique // *Desalination*. – 2009. – № 250. – Pp. 300–310.
8. Малін В. П. Ефективність застосування катіоніту КУ–2–8 при вилученні іонів міді з води в присутності іонів жорсткості / В. П. Малін, М. Д. Гомеля, В. М. Галімова // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки : науково-технічний збірник. – 2016. – Вип. 26. – С. 45–54.
9. Гомеля М. Д. Вилучення іонів міді з води із застосуванням слабокислотного катіоніту DOWEX MAC–3 / М. Д. Гомеля, В. П. Малін, О. В. Глушко // Вісник НТУУ «КПІ», серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2016. – № 1 (15). – С. 60–65.
10. Fu F. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review / F. Fu, Q. Wang // *Journal of Environmental Management*. – 2011. – № 92. – Pp. 407–418.
11. Barakat M. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater / M. A. Barakat // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2011. – № 4. – Pp. 361–377.
12. Шуилова А. А. Исследование влияния эвтрофикации на повторное загрязнение Бугского лимана тяжелыми металлами / А. А. Шуилова, А. Г. Трохименко // Вісник Національного університету кораблебудування. – 2012. – № 1 – С. 56–62.
13. *Определение тяжелых металлов в водных экосистемах методом инверсионной хронопотенциометрии* / И. В. Суровцев, В. М. Галімова, В. М. Манк, В. А. Копілевич // *Химия и технология воды*. – 2009. – Т. 31, № 6. – С. 677–687.

References

1. Homelia, M.D. (ed.), Shablii, T.O., Kopilevych, V.A., Halimova, V.M., Lavryk, R.V., Surovtsev, I.V. (2013). *Ekologichna bezpeka vodnykh ekosystem i monitorynh yakosti vody* [Environmental safety of water ecosystems and monitoring of water quality]. Kyiv: Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukraine, pp. 143–144 (in Ukrainian).
2. Trokhymenko, H.H., Tsyhaniuk, N.V. (2015). *Vyznachennia stupeniu kumulatsii vazhkykh metaliv u hidrobiontakh Buzkohoho lymanu* [Determination of the degree of cumulation of heavy metals in hydrobionts of the Bug estuary]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho universytetu korablebuduvannia – Collection of scientific works of the National University of Shipbuilding*, no. 4, pp. 98–105 (in Ukrainian).
3. Adanez, J., Abad, A., Labiano, F. G., Gayan, P., Diego, L. F. (2012). *Progress in Chemical-Looping Combustion and Reforming technologies*. *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 38 (2), pp. 215–282.
4. Ivanter, E.V. (2007). *Ekologicheskaya toksikologiya prirodnnykh populyatsiy* [Ecological Toxicology of Natural Populations]. Moscow: Nauka (in Russian).
5. Isidorov, V.A. (1999). *Vvedenie v khimicheskuyu ekotoksikologiyu* [Introduction to chemical ecotoxicology]. St. Petersburg: Khimizdat (in Russian).
6. Lazarev, N. V., Levina, E.N. (eds.) (1976). *Vrednye khimicheskie veshchestva v promyshlennosti* [Harmful chemicals in industry]. Vols. 1-3. Vol 3. Lningrad: Khimiia (in Russian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Ahmad, A., Rafatullah, M., Sulaiman, O., Ibrahim, M. H., Chii, Y.Y., Siddique, B. M. (2009). Removal of Cu (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions by adsorption on sawdust of Meranti wood. *Desalination*, no. 250, pp. 300–310.
8. Malin, V.P., Homelia, M.D., Halimova, V.M. (2016). Efektyvnist zastosuvannya kationitu KU-2-8 pry vyluchenni ioniv midi z vody v prysutnosti ioniv zhorstkosti [Efficiency of application of cation exchanger KY-2-8 at removal of copper ions from water in the presence of rigidity ions]. *Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliki – Problems of water supply, drainage and hydraulics*, no. 26, pp. 45–54 (in Ukrainian).
9. Homelia, M.D., Malin, V.P., Hlushko, O.V. (2016). Vyluchennia ioniv midi z vody iz zastosuvanniam slabokyslotnoho kationitu DOWEX MAC-3 [Removal of copper ions from water using weakly acidic cation exchanger DOWEX MAC-3]. *Visnyk NTUU «KPI», serii «Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia» – Bulletin of NTUU "KPI", series "Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation"*, vol. 1 (15), pp. 60–65 (in Ukrainian).
10. Fu, F., Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, no. 92, pp. 407–418.
11. Barakat, M. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, no. 4, pp. 361–377.
12. Shumylova, A.A., Trokhymenko, A.H. (2012). Yssledovanye vliyaniya evtrofykatsyy na povtornoie zahriaznenye Buhskoho lymana tiazhelymy metallamy [Investigation of the effect of eutrophication on re-contamination of the Bug estuary with heavy metals]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu korablebuduvannia – Collection of scientific works of the National University of Shipbuilding*, no. 1, pp. 56–62 (in Russian).
13. Surovtsev, I.V., Galimova, V.M., Mank, V.M., Kopilevich, V.A. (2009). Opreделение tyazhelykh metallov v vodnykh ekosistemakh metodom inversionnoy hronopotentsiometrii [Determination of heavy metals in aquatic ecosystems by inversion chronopotentiometry], *Khimiia i tekhnologiia vody – Water chemistry and technology*, vol. 31 (6), pp. 677–687 (in Russian).

UDC 504.5:628.33

Nikolai Gomelya, Veronika Ivanova, Inna Trus

EFFICIENCY OF EXTRACTION HEAVY METAL IONS FROM DILUTED SOLUTIONS BY ION-EXCHANGE METHODS

Urgency of the research. An important environmental problem is the pollution of surface water by heavy metal ions. High toxicity at low doses and the ability to accumulate in living organisms explains the growing need for correction of the content of metals in wastewater in accordance with worldwide standards. The method of ion exchange is of interest.

Target setting. Problems of contamination of natural waters, increase of volumes of sewage and search of effective methods of their clearing become actual.

Actual scientific researches and issues analysis. The copper ion sorption processes with concentrations 1-2 mg/dm³ on cation exchange KU-2-8 have been investigated. The selectivity of cation exchange on copper ions at low concentrations is close to the selectivity of ions of rigidity.

With the use of modified ion-exchange materials with manganese and iron compounds, an increase in the efficiency of extraction of heavy metal ions from water was achieved.

Uninvestigated parts of general matters defining is the impossibility of assessing the efficiency of extraction from the water by ion exchange of heavy metal ions at concentrations below 1 mg/dm³.

The research objective was to study sorption processes of copper ions and lead on cation exchangers, as well as use of mixed-action filters.

The statement of basic materials. The effectiveness of water purification decreased with a decrease in the initial concentration of metal.

The use of mixed-action filters is proposed. It was established that at copper ion concentration of 10⁻² µg/dm³ the copper was not absorbed even with the use of mixed-action filters.

It is established that lead ions are practically completely removed on strongly acidic cationite at concentrations less than 0.1 µg/dm³. Regeneration should be done with a 2M solution of hydrochloric acid. The efficiency of desorption of lead ions reaches 100%. The degree of desorption of copper ions in some cases reaches approximately 90%.

Conclusions. Satisfactory results on the concentration of strongly diluted solutions of copper ions can be obtained at a concentration of copper ions up to 1 µg/dm³.

When using mixed-action filters copper can be removed from solutions at a concentration of 0.1 µg/dm³.

It has been established that lead ions are effectively removed from diluted aqueous solutions at concentrations less than 1 µg/dm³.

Key words: heavy metals; ion exchange; sorption; ion exchange regeneration; mixed action filter.

Fig.: 5. Bibl.: 13.

УДК 504.5:628.33

Николай Гомеля, Вероника Иванова, Инна Трус

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
ИЗ РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРОВ ИОНООБМЕННЫМ МЕТОДОМ**

Исследованы процессы ионообменного извлечения ионов тяжелых металлов на слабо- и сильнокислотных катионитах. При концентрациях ионов меди ниже $0,1 \text{ мкг/дм}^3$ их сорбция не происходит на слабокислотных катионитах и при концентрациях на уровне 1 мкг/дм^3 на сильнокислотном катионите КУ-2-8. При концентрации меди 10^{-2} мкг/дм^3 медь не сорбируется при использовании фильтров смешанного действия. Достигается практически полное извлечение свинца на сильно- и слабокислотных катионитах независимо от концентраций исходных растворов. При удалении ионов свинца степень извлечения увеличивается. При использовании 2М раствора соляной кислоты эффективность десорбции ионов свинца достигает 100 %. Степень десорбции ионов меди достигает примерно 90 %.

Ключевые слова: тяжелые металлы; ионный обмен; сорбция; регенерация ионита; фильтр смешанного действия.

Рис.: 5. Библ.: 13.

Гомеля Микола Дмитрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Гомеля Николай Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Gomelya Nikolai – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: m.gomelya@kpi.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1165-7545>

SCOPUS Author ID: 6507653734

Иванова Вероника Петрівна – інженер хімік-технолог, кафедра екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Иванова Вероника Петровна – инженер химик-технолог, кафедра экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Ivanova Veronika – Engineer chemist-technologist, Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: veronika m p@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4551-9389>

Трус Інна Миколаївна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Трус Инна Николаевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (пр. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Trus Inna – PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: inna.trus.m@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>