

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КАТІОНІТУ КУ-2-8 ПРИ ВИЛУЧЕННІ ЙОНІВ МІДІ З ВОДИ В ПРИСУТНОСТІ ЙОНІВ ЖОРСТКОСТІ

В.П. Малін¹, В.М. Галімова², М.Д. Гомеля¹

- 1- Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ
- 2 - Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ
e-mail: veronica_m_p@ukr.net

Наведено результати досліджень з визначення ефективності катіоніту КУ-2-8 під час вилучення йонів міді з води в присутності йонів жорсткості за низьких концентрацій йонів міді. Показано, що в статичних умовах при концентрації міді від 1 до 30 мг/дм³ вилучення міді проходить неефективно як з дистильованої, так і з водопровідної води незалежно від форми йоніту. Даний показник знижується під час збільшення об'єму розчину при фіксованому об'ємі йоніту. Суттєвого підвищення ефективності вилучення йонів міді на даному катіоніті досягнуто в динамічних умовах при використанні йоніту в кислій та сольовій формі і наявності в розчині йонів жорсткості. Встановлено, що ефективність десорбції йонів міді розчинами хлоридної кислоти в статичних умовах була низькою. В динамічних умовах досягнуто практично повного вилучення йонів міді розчинами хлоридної кислоти.

Ключові слова: катіоніт, важкі метали, йонний обмін, регенерація йоніту, моніторинг, пробопідготовка

Вступ

Кінець ХХ та початок ХХІ століть ознаменувався не тільки визначними науково-технічними досягненнями, але і суттєвим погіршенням стану навколишнього природного середовища внаслідок значного його забруднення. Все більше занепокоєння з кожним роком викликає стан гідросфери. Особливо загострюється проблема захисту гідро-екосистем від забруднення в Україні, де, незважаючи на зниження обсягів промислового виробництва, інтенсивність забруднення природних вод зростає. Сьогодні в поверхневій воді України скидається більше 10 млрд. м³ стічних вод при загальній потужності очисних споруд біля 8 млрд. м³.

Гостро постають проблеми забруднення водних об'єктів важкими металами, включаючи і йони міді. Згідно матеріалів роботи [1] концентрація йонів міді в природних водоймах Миколаївської області коливається в межах 0,0089 – 0,0108 мг/дм³, що перевищує ГДК для водойм рибогосподарського призначення (0,005 мг/дм³). А при евтрофікації водойм вміст міді у водах Бузького лиману перевищує ГДК в 2 – 5 разів [2]. В окремих притоках Дніпра відмічені концентрації йонів міді від 2,69 до 5 мг/дм³ [3].

Не дивлячись на те, що сполуки, які утворюються при гідролізі йонів важких металів, є малорозчинними, що сприяє створенню хибного уявлення про малий вміст важких металів у природних водоймах, реальна ситуація є значно складнішою. Обумовлено це накопиченням малорозчинних сполук важких металів у донних відкладеннях, концентруванням їх у гідробіонтах [4]. Як наслідок – різке підвищення концентрації важких металів у воді під час евтрофікації водойм. Ці пульсації концентрацій важких металів у воді можливі до тих пір, поки вони присутні в донних відкладеннях.

Суттєве підвищення допустимих кількостей йонів важких металів спостерігається в скидах атомних електростанцій [5 - 6].

Проблема, значною мірою, ускладнюється відсутністю необхідного обладнання для контролю важких металів у воді. Сучасні високоточні прилади аналізу вмісту важких металів у доквіллі є дорогими. Дорогим є утримання та обслуговування таких приладів. У більшості

лабораторій, що займаються моніторингом якості води у природних водоймах, такі прилади відсутні і тому на сьогодні досить важко дати реальну оцінку стану природних водойм, особливо за характером їх забруднення такими високотоксичними речовинами, як сполуки важких металів.

У зв'язку з цим на перший план висуваються проблеми контролю якості довкілля, оцінки впливу на якість води об'єктів господарської діяльності, розробка простих, надійних методик контролю важких металів у воді, доступних для використання в існуючих лабораторіях системи моніторингу водних об'єктів в Україні.

Мета роботи

Метою роботи було визначення ефективності застосування катіоніту КУ-2-8 для концентрування катіонів важких металів на прикладі йонів міді в процесах пробопідготовки, визначення впливу йонів жорсткості на концентрування йонів міді на катіоніті за низьких концентрацій та встановлення ступеню десорбції йонів міді з катіоніту, що знаходиться переважно в кальцій-магнієвій формі.

Методи та об'єкти дослідження

В роботі використовували сильнокислотний катіоніт КУ-2-8 в кислій та сольовій формах. В Na^+ -форму катіоніт переводили обробкою 1 %-вим розчином луку. Регенерацію катіоніту проводили розчинами хлоридної кислоти. Як модельні використовували розчини сульфату міді в дистильованій та водопровідній воді м. Києва. Концентрація міді в модельних розчинах від 1 до 200 мг/дм³.

Характеристики водопровідної води:

$J = 4,8 - 5,2$ мг-екв/дм³, $C_{\text{Ca}^{2+}} = 3,6 - 4,0$ мг-екв/дм³, $C_{\text{Mg}^{2+}} = 0,8 - 1,2$ мг-екв/дм³;
 $L = 4,70 - 5,2$ мг-екв/дм³, $C_{\text{Cl}^-} = 37 - 50$ мг/дм³; $C_{\text{SO}_4^{2-}} = 47 - 65$ мг/дм³; рН 7,10

Сорбцію проводили в статичних та динамічних умовах. При проведенні сорбції в статичних умовах об'єм йоніту 10 см³, об'єм розчину від 0,5 до 2,0 дм³, час сорбції та десорбції 2- 5 діб. В динамічних умовах сорбцію проводили, фільтруючи розчин через шар йоніту об'ємом 10 – 20 см³ в колонці діаметром 2 см³ з витратою 10 – 15 см³/хв. Регенераційний розчин фільтрували з витратою 1 – 2 см³/хв. В очищеній воді контролювали вміст йонів жорсткості, міді, лужність, рівень рН.

Аналіз отриманих результатів

Одним із найпростіших методів концентрування йонів важких металів у воді є метод дистиляції. Проте, коли йдеться про дуже низькі концентрації йонів металів, коли необхідно випаровувати великі кількості води, даний метод є громіздким і непрактичним. Тривалість пробопідготовки є надто великою. Тому викликає інтерес метод йонного обміну, який широко використовується для вилучення йонів з води, включаючи і йони важких металів [7 - 8]. Проте застосування даного методу ускладнюється тим, що в природних та стічних водах часто присутні конкуруючі йони. Насамперед це стосується йонів жорсткості, які призводять до значного зниження ємності катіонітів за йонами важких металів при їх йонообмінному вилученні із води [9].

Як відомо, під час сорбції катіонів із розведених розчинів на сильнокислотних катіонітах [10] ряд селективності за двохвалентними йонами має вигляд:

$\text{Hg}^{2+} < \text{Cd}^{2+} < \text{Mn}^{2+} < \text{Mg}^{2+} < \text{Zn}^{2+} < \text{Cu}^{2+} < \text{Ni}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Sr}^{2+} < \text{Pb}^{2+} < \text{Ba}^{2+}$

Із наведених даних видно, що йони жорсткості мають селективність близьку або вищу в порівнянні з йонами важких металів. Принаймні селективність йонів кальцію вища за селективність йонів міді. Це негативно впливає на сорбційну ємність катіоніту і дещо підвищує ефективність його регенерації. Як видно з рис. 1, за відносно невисоких концентрацій йонів міді в дистильованій воді обмінна ємність катіоніту за даними йонами зростає з 7 до 300 мг-екв/дм³, при підвищенні концентрації у вихідному розчині з 5 до 200 мг/дм³. При цьому ступінь

вилучення іонів міді уже при концентрації 10 мг/дм³ досягає 90,0 % і далі зростає до 99,6%. Дані показники значно зменшились під час зниження вихідної концентрації міді до 1 – 15 мг/дм³ (табл.1). Час досягнення динамічної рівноваги в усіх випадках був не менше 3-х діб.

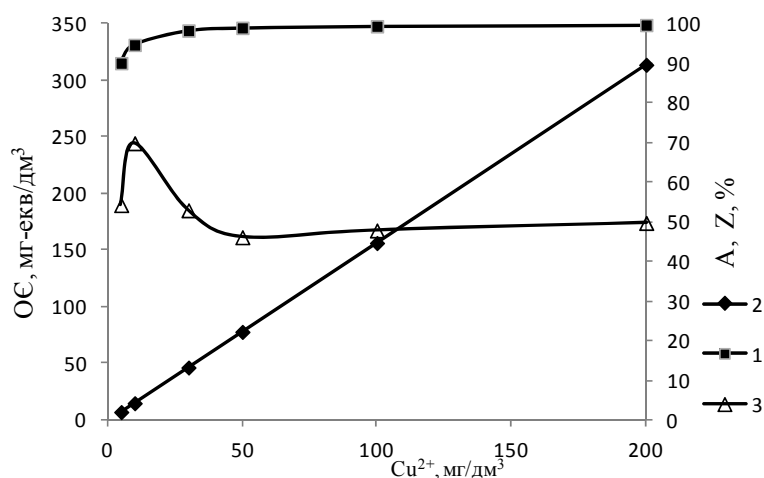


Рис. 1. Залежність ступеня очищення води від міді (A, %) (1), обмінної ємності катіоніту КУ-2-8 в Na⁺ формі за даними йонами (V_i = 10 см³) (2), (V_p = 500 см³), ступеню десорбції іонів міді 5%-ю хлоридною кислотою (V_{HCl} = 50 см³) (3) від початкової їх концентрації у воді під час сорбції в статичних умовах.

Таблиця 1. Ефективність сорбції іонів міді на катіоніті КУ-2-8 в Na⁺ формі з дистильованої води (I) та водопровідної (II) води (Ж = 5,1 мг-екв/дм³, рН 7,85) (V_i = 10 см³, V_p = 500 см³), їх десорбції 5%-ю хлоридною кислотою (V_{HCl} = 50 см³) в залежності від початкової концентрації іонів міді

№ пп	C _{Cu²⁺} , мг/дм ³				Ступінь вилучення міді, A, %		ОЄ по Cu ²⁺ , мг/дм ³		Ступінь десорбції, Z, %		
	Вихідна	Після сорбції		Після десорбції							
		I	II	I	II	I	II	I	II		
1	1	0,45	0,37	5,70	4,40	55,0	63,0	27,5	31,5	100,0	68,8
2	2	0,50	0,44	10,00	8,70	75,0	78,0	50,0	78,0	100,0	55,8
3	3	0,69	0,72	21,20	16,80	77,0	76,0	115,5	114,0	91,8	73,7
4	5	1,12	0,90	32,75	29,75	77,6	82,0	194,0	205	58,7	72,2
5	7	1,15	1,05	35,25	30,50	83,6	85,0	292,5	290	60,2	52,8
6	10	2,5	1,25	52,00	34,50	75,0	87,5	375,0	430	69,3	40,2
7	15	4,95	1,80	64,00	59,00	67,0	88,0	502,5	660	63,7	44,7

Як видно з таблиці, ємність катіоніту в Na⁺ формі за йонами Cu²⁺ в даному випадку зростала з ~1 мг-екв/дм³ до ~20 мг-екв/дм³ під час підвищення початкової концентрації іонів Cu²⁺ з 1 до 15 мг/дм³, а ступінь їх вилучення з води змінювався в межах 55 – 88%. Залишкова концентрація іонів міді в дистильованій воді складала 0,45 – 4,95 мг/дм³, в водопровідній воді 0,37 – 1,8 мг/дм³. Дещо краще вилучення іонів міді з водопровідної води, ймовірно, обумовлене частковим їх гідролізом у водопровідній воді за рахунок більш високої лужності даної води, в порівнянні з дистильованою, та за рахунок вищих значень рН у водопровідній воді. Конкуруючого впливу іонів жорсткості у даному випадку не було відмічено, так як гранична ємність катіоніту (~20,0 мг-екв) значно перевищувала сумарну кількість катіонів в 0,5 дм³ розчину (~2,6 мг-екв). За даних умов йони жорсткості практично не впливали на ефективність десорбції іонів міді в статичних умовах 5%-вою хлоридною кислотою. Ступінь десорбції змінювався в межах 40 – 100% (табл.1, рис.1).

Під час збільшення об'єму розчину, при концентрації йонів міді в водопровідній воді 1 та 2 мг/дм³ (рис. 2), з 0,5 дм³ до 2,0 дм³ при об'ємі йоніту 10 см³ було відмічено підвищення обмінної ємності йоніту та зниження ступеню очищення води від міді. Підвищення ємності катіоніту при $C_{Cu^{2+}} = 2$ мг/дм³ було більш помітним в порівнянні з розчином з концентрацією 1 мг/дм³. Тоді як ступінь вилучення міді був вищим для розчину з концентрацією 1 мг/дм³ і знижувався із збільшенням об'єму розчину з 99,9 % до 62,0 %, тоді як при концентрації міді 2 мг/дм³ цей показник змінювався в межах 77 – 67 %. Десорбція йонів міді проходила більш ефективно при більшій її вихідній концентрації.

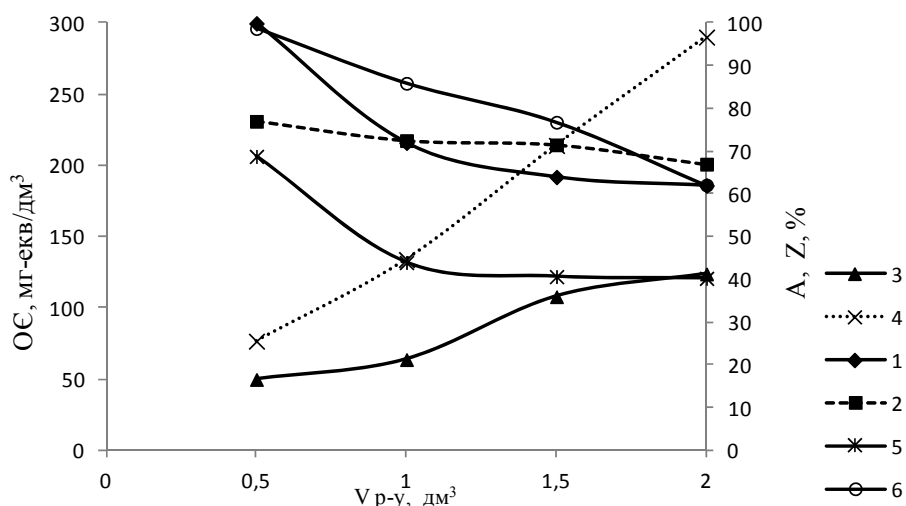


Рис. 2. Залежність ступеня очищення води від міді (A, %) (1;2), обмінної ємності катіоніту КУ-2-8 в Na⁺-формі ($V_i = 10$ см³) за йонами міді (3;4) при сорбції та ступеню їх десорбції 5%-вим розчином хлоридної кислоти ($V_{HCl} = 50$ см³) (5;6) від об'єму вихідного розчину міді в водопровідній воді при концентрації міді 1 (1; 3; 5) та 2 (3; 4; 6) мг/дм³.

В цілому, в статичних умовах сорбція і десорбція йонів міді на катіоніті КУ-2-8 за низьких її концентрацій в вихідних розчинах проходила неефективно. В таких умовах використання катіоніту в процесах прободіготовки при контролі концентрацій йонів міді недоцільне через низьку ефективність сорбції та десорбції йонів міді незалежно від концентрації йонів жорсткості.

Більш цікаві результати отримано при проведенні процесу в динамічних умовах.

При фільтруванні розчинів сульфату міді у водопровідній воді ($C_{Cu^{2+}} = 1; 30$ мг/дм³) через катіоніт в кислій формі (рис. 3) ($V_i = 10$ см³) спостерігалось як значне пом'якшення води, так і її очищення від йонів міді. При цьому мідь вилучалась повністю за початкової концентрації йонів міді 30 мг/дм³ в перших 3 дм³ води, за концентрації 1 мг/дм³ - в перших 4 дм³ води. При цьому жорсткість води знижувалась до 0,08 – 0,28 мг-екв/дм³. Ступінь очищення від йонів міді в 6 дм³ води сягав 99,6 – 100,0 % незалежно від початкової концентрації йонів міді (рис. 4).

При цьому ступінь пом'якшення води сягав 95,0 – 98,3 %. Цікаво відмітити, що навіть після досягнення практично повної ємності йоніту за йонами жорсткості, концентрація йонів міді на виході не перевищувала 7,94 мг/дм³ для розчину з початковою їх концентрацією 30 мг/дм³, і 0,63 мг/дм³ - для розчину з початковою концентрацією 1 мг/дм³. Це обумовлено витісненням з йоніту йонів магнію, за якими селективність йоніту нижча, ніж за йонами міді.

Під час використання катіоніту в Na⁺ формі при концентрації йонів міді 2 мг/дм³ проросок йонів міді виявлено лише після фільтрування 7 дм³ води (рис. 5).

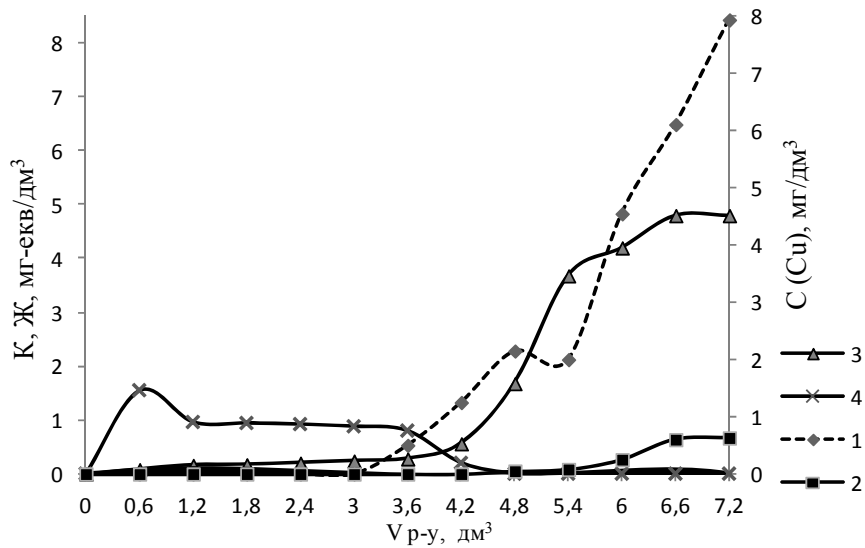


Рис. 3. Залежність залишкової концентрації іонів міді (1; 2), жорсткості (3), кислотності (4) від пропущеного об'єму розчину сульфату міді ($C_{Cu^{2+}} = 30 \text{ мг/дм}^3$ (1; 3; 4); $C_{Cu^{2+}} = 1 \text{ мг/дм}^3$ (2)) в водопровідній воді ($Ж = 4,8 \text{ мг-екв/дм}^3$, $pH = 7,72$) через катіоніт КУ-2-8 ($V_i = 10 \text{ см}^3$) в кислій формі ($ОДЄ_1 = 520,9 \text{ мг-екв/дм}^3$, $ОДЄ_2 = 16,3 \text{ мг-екв/дм}^3$, $ПОДЄ_3 = 2196,0 \text{ мг-екв/дм}^3$).

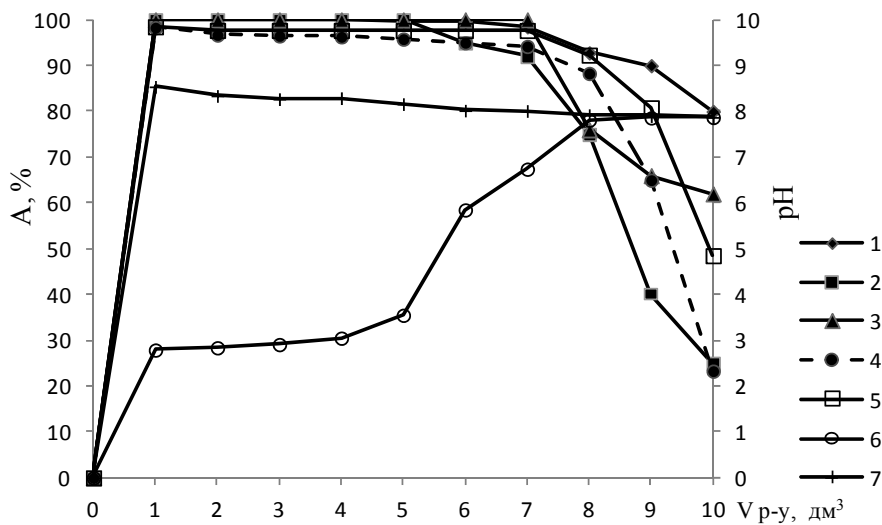


Рис. 4. Залежність ступеню вилучення іонів міді (1; 2; 3), іонів жорсткості (4; 5), та реакції середовища (6; 7) від об'єму пропущеної водопровідної води ($Ж = 5,2 \text{ мг-екв/дм}^3$, $pH = 7,86$) з концентрацією іонів міді 30 (1; 4; 6), 2 (3; 5; 7) та 1 (2) мг/дм^3 через катіоніт КУ-2-8 ($V_i = 20 \text{ см}^3$) в H^+ (1; 2; 4; 6) та Na^+ (2; 7) формі.

При подальшому фільтруванні води ступінь вилучення іонів міді знижується до 75,0 та до 62,0 % (рис. 4). В цілому, ступінь вилучення міді в останніх пробах вищій при її вихідній концентрації 30 мг/дм^3 , в порівнянні із концентраціями 2 та 1 мг/дм^3 , і знижується із зниженням концентрації. Це обумовлено тим, що, в цілому, ємність йоніту за йонами міді зростає із підвищенням їх вмісту у вихідному розчині. В усіх випадках ефективність вилучення іонів міді знижується по мірі переходу йоніту з кислої або Na^+ -форми в Ca^{2+} , Mg^{2+} -форму. Ємність йоніту за йонами міді при вихідній концентрації 30 мг/дм^3 в водопровідній воді складає 520 мг-екв/дм^3 , при концентрації 2 мг/дм^3 – $28,3 \text{ мг-екв/дм}^3$, при 1 мг/дм^3 – $16,3 \text{ мг-екв/дм}^3$. Ємність за йонами

жорсткості в даному випадку для йоніту в кислій формі складала 2196 мг-екв/дм³, для йоніту в Na⁺-формі – 2224 мг-екв/дм³. Тобто перехід від кислої до сольової форми йоніту мало впливає на його ємність як за йонами міді, так за йонами жорсткості.

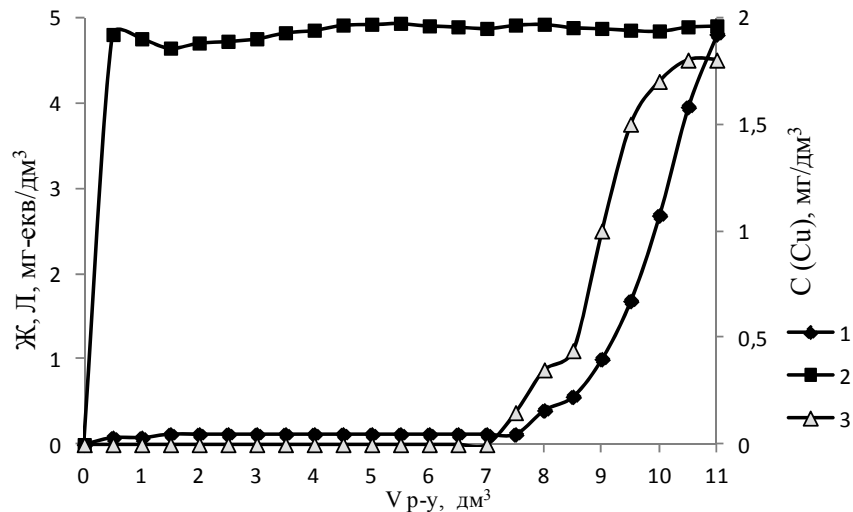


Рис. 5. Залежність залишкової жорсткості (1), лужності (2) водопровідної води ($J = 5,2$ мг-екв/дм³, $L = 4,9$ мг-екв/дм³, $pH = 7,86$), концентрації йонів міді (3) ($C_{Cu^{2+}} = 2$ мг/дм³) від пропущеного об'єму через катіоніт КУ-2-8 ($V_i = 20$ см³) в Na⁺ формі (ПОДС₁ = 2224 мг-екв/дм³, ОС₃ = 28,3 мг-екв/дм³).

Цікаво відмітити, що при співвідношенні концентрацій йонів жорсткості до концентрацій йонів міді в г-екв/дм³ 5,1; 82,6; 152,5 при зниженні вмісту міді у водопровідній воді від 30 до 1 мг/дм³, співвідношення ємностей йоніту за йонами жорсткості та міді складає відповідно 4,29; 78,6 та 134,7. Це свідчить про незначну перевагу в міді за селективністю у порівнянні з йонами жорсткості, що обумовлено значним вмістом у воді йонів магнію 0,8 – 1,2 мг-екв/дм³. Проте у вибраному діапазоні концентрацій йонів міді та йонів жорсткості їх співвідношення в сорбенті в порівнянні з розчином досить близьке. Збільшення відносного вмісту міді в сорбенті, в порівнянні з розчином, сягає 5 – 20 %.

Під час проведення сорбції на катіоніті в кислій формі pH розчину, по мірі його переходу з H⁺ в Ca²⁺, Mg²⁺, Cu²⁺ - форму, зростає з 2,79 до 7,87. При використанні йоніту в Na⁺ формі pH в перших пробах піднімається до 8,54 і поступово знижується до 7,87.

Таким чином, в динамічних умовах на катіоніті в Na⁺ формі можна повністю вилучити мідь з водопровідної води при співвідношенні об'єму води до об'єму йоніту 700. Проте важливим у даному випадку є і ефективність десорбції йонів міді з йоніту.

Так як при контролі концентрації йонів важких металів в присутності йонів жорсткості доцільно використовувати метод полярографії, де проби готують в розчинах хлоридної кислоти, то для десорбції міді з йоніту були використані розчини HCl з концентрацією 1,9 та 3,6 г-екв/дм³. Результати наведено на рис. 6. При застосуванні даних розчинів кислоти досягнуто повної десорбції йонів міді та йонів жорсткості. Повної десорбції йонів міді при кислотності розчину 1,9 н досягнуто при пропусканні 160 см³ розчину через 20 см³ йоніту. Питома витрата розчину 8 см³/см³. В разі 3,6 н розчину кислоти повної десорбції міді досягнуто при питомій витраті розчину 5 см³/см³ (об'єм розчину – 100 см³). Концентрація міді після змішування всіх проб досягла 103,77 мг/дм³. Якщо врахувати, що в розчині, з якого виділяли мідь, її концентрація була 1 мг/дм³, то можна сказати, що в даному випадку досягнуто підвищення її концентрації більше як у 100 разів.

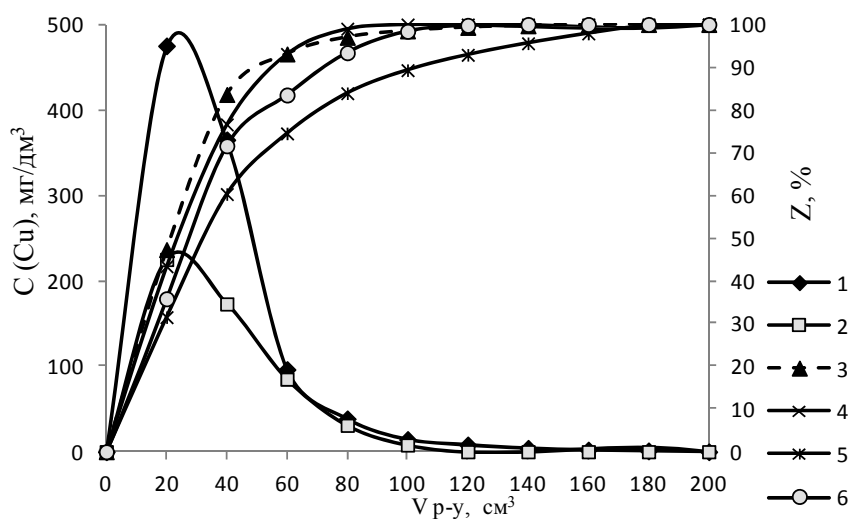


Рис. 6. Залежність вихідної концентрації йонів міді (1; 2), ступеню десорбції йонів міді (3; 4) та йонів жорсткості (5; 6) від витрати розчину хлоридної кислоти з кислотністю 1,9 (1; 3; 5) та 3,6 (2; 4; 5) г-екв/дм³ при регенерації катіоніту КУ-2-8 в Ca²⁺, Mg²⁺, Cu²⁺ формі (V_i = 20 см³) (маса сорбованої міді 20,10 мг (1; 3; 5) та 10,38 мг (2; 4; 6)).

Таким чином, метод йонного обміну може бути перспективним для концентрування йонів міді в процесах пробопідготовки під час контролю йонів міді в природних та стічних водах, що містять йони жорсткості.

Висновки

1. Вивчено процеси вилучення йонів міді з води на катіоніті КУ-2-8 в кислій та сольовій формах в статичних та динамічних умовах. Визначено вплив йонів жорсткості на сорбційну ємність йоніту за міддю. Показано, що в статичних умовах ємність йоніту за міддю різко знижується при зниженні її концентрації у воді так само, як і ступінь очищення води від йонів міді.

2. Показано, що при збільшенні співвідношення об'ємів вода : йоніт в статичних умовах за концентрації міді в водопровідній воді 1 та 2 мг/дм³, ємність йоніту зростає із збільшенням об'єму розчину при зниженні ступеню вилучення міді з 99,9 % до 62 %. Ступінь десорбції йонів міді з йоніту в Ca²⁺, Mg²⁺, Cu²⁺-формі при обробці 5%-вою хлоридною кислотою в статичних умовах сягає 40 – 98,7 %.

3. Ефективність вилучення йонів міді з водопровідної води при початкових концентраціях міді 1 – 30 мг/дм³ досягнуто в динамічних умовах при використанні катіоніту в кислій та сольовій формах. Повної десорбції йонів міді 1,9 та 3,6 н розчинами хлоридної кислоти досягнуто при питомій витраті розчину 5 – 8 см³/см³. В окремих випадках концентрація міді в регенераційному розчині в 100 разів вища в порівнянні з вихідним розчином, що дає можливість застосовувати метод йонного обміну в пробопідготовці при аналізі міді в воді за низьких її концентрацій.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КАТИОНИТА КУ-2-8 ПРИ ИЗВЛЕЧЕНИИ ИОНОВ МЕДИ ИЗ ВОДЫ В ПРИСУТСТВИИ ИОНОВ ЖЕСТКОСТИ

В.П. Малин¹, В.М. Галимова², Н.Д. Гомеля¹

1- Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев

2 - Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев
e-mail: veronica_m_p@ukr.net

Приведены результаты исследований по определению эффективности катионита КУ-2-8 при извлечении ионов меди из воды в присутствии ионов жесткости при низких концентрациях ионов меди. Показано, что в статических условиях при концентрации меди от 1 до 30 мг / дм³ извлечение меди проходит неэффективно как из дистиллированной, так и из водопроводной воды независимо от формы ионита. Данный показатель снижается при увеличении объема раствора при фиксированном объеме ионита. Существенного повышения эффективности извлечения ионов меди на данном катионите достигнуто в динамических условиях при использовании ионита в кислой и солевой форме при наличии в растворе ионов жесткости. Установлено, что эффективность десорбции ионов меди растворами соляной кислоты в статических условиях была низкой. В динамических условиях достигнуто практически полной десорбции ионов меди растворами соляной кислоты.

Ключевые слова: катионит, тяжелые металлы, ионный обмен, регенерация ионита, мониторинг, пробоподготовка

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF KU-2-8 AT EXTRACTION COPPER IONS FROM WATER IN THE PRESENCE OF HARDNESS IONS

V.P. Malin¹, V.M. Galimova², N.D. Gomelya¹

1 – National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnical Institute”, Kiev

2 - National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine, Kiev
e-mail: veronica_m_p@ukr.net

The results of studies to determine the effectiveness of KU-2-8 cation extracting copper ions from water hardness ions in the presence of low concentrations of copper ions. It is shown that at concentration of copper from 1 to 30 mg/dm³ extraction of copper takes place in static conditions inefficiently both from distilled and from tap water irrespective of an ionite form. This indicator decreases at increase in volume of solution at the fixed ionite volume. Significant efficiency removal of copper ions in this cation achieved in dynamic conditions using resin in acid and salt form in the presence of ions in solution stiffness. It was established that the efficiency of desorption of copper ions hydrochloric acid solutions in static conditions was low. In dynamic conditions reached almost complete desorption of copper ions by solutions of hydrochloric acid.

Keywords: cation exchanger, heavy metals, ion exchange, ionite regeneration, monitoring, sample preparation

Список літератури

1. Трохименко Г.Г. Дослідження накопичення важких металів у донних відкладеннях Бузького лиману за допомогою атомно-абсорбційної спектрофотометрії. /Трохименко Г.Г., Циганюк Н.В. //Збірник матеріалів II Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 20-річчю незалежності України «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», Миколаїв, 2011. – С. 446–448.

2. Шумілова О.О. Дослідження впливу евтрофікації на вторинне забруднення Бузького лиману важкими металами /Шумілова О.О., Трохименко Г.Г. //Вісник НУК: електронне видання. — № 1, Миколаїв, Видавництво НУК, 2012. — С. 56–62.
3. Трохименко Г.Г. Визначення пріоритетних металів-забрудників у поверхневих водах р. Інгулець. Трохименко Г.Г., Циганюк Н.В. //Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екології та енергозбереження». – Видавництво НУК, Миколаїв, 2013. — С. 267–274.
4. Циганюк Н.В. Встановлення вмісту важких металів у донних відкладеннях Бузького лиману за допомогою атомно-абсорбційної спектрофотометрії. //Циганюк Н.В., Трохименко Г.Г. //Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні». — Миколаїв, 2012. — С. 269–271.
5. Мороз Н.А. Содержание тяжелых металлов и минерализация поверхностных вод региона расположения Запорожской АЭС [Текст] / Н.А. Мороз, И.А. Черкашин // Сб. научн. Тр. СИЯЭиП. — 2004. — №10. — С. 73–78.
6. Мороз Н.А. Гидрохимический мониторинг поверхностных вод региона расположения Запорожской АЭС [Текст] / Н.А. Мороз, В.А. Седнев, И.А. Черкашин // Пром. Теплотехника. — 2005. — Т. 27, № 2. — С. 78–87.
7. Мешкова-Клименко Н.А. Интенсифікація технологічних процесів комплексного очищення стічних вод промислово-урбаністичних центрів / Мешкова-Клименко Н.А., Енсян С.М., Гомеля М.Д., Нездоймінов В.І., Чернишев В.М., Кашковський В.І., Кавінська А.О, Смолін С.К., Євдокименко В.О. — К.: ТОВ «ТО Ексклюзив», 2013. — С. 236
8. Грейвер М.Б. Очистка сульфатного кобальтового электролита от меди и никеля методом ионного обмена / Грейвер М.Б., Кожухов С.Б., Юрьев А.И., Большаков Л.А. // Тезисы докладов 13 Российской конференции по экстракции «Экстракция в гидрометаллургии, радиохимии, технологии неорганических и органических веществ». — М. — 2004. — С. 231–232.
9. Макаренко І.М. Оцінка впливу іонів твердості на ефективність очищення води від іонів міді / І.М. Макаренко, Ю.В. Носачова, О.І. Іваненко // Вісник НТУУ «КНУ». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». — 2014. № 1 (12). — С. 54–59.
10. Пиккеринг У.Ф. Современная аналитическая химия . М. «Химия». — 1977. — 560 с.