

УДК 504.5:628.33

В.П. МАЛІН, аспірант

М.Д. ГОМЕЛЯ, доктор технічних наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

В.М. ГАЛІМОВА, кандидат хімічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КАТІОНІТУ КУ-2-8 ПРИ ВИЛУЧЕННІ ІОНІВ МІДІ З ВОДИ В ПРИСУТНОСТІ ІОНІВ ЖОРСТКОСТІ

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. Підвищення ефективності вилучення іонів міді досягнуто в динамічних умовах. Десорбція іонів міді розчинами соляної кислоти в статичних умовах була низькою. В динамічних умовах досягнуто практично повної десорбції іонів міді розчинами соляної кислоти.

Ключові слова: катіоніт, важкі метали, іонний обмін, регенерація іоніту, моніторинг, пробопідготовка

Показано, что в статических условиях при концентрации меди от 1 до 30 мг/дм³ извлечение меди проходит неэффективно из дистиллированной так и из водопроводной воды. Повышение эффективности извлечения ионов меди достигнуто в динамических условиях. Десорбция 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, пробопідготовка

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. Efficiency removal of copper ions achieved in dynamic conditions. Desorption of copper ions by 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

Постановка проблеми. Кінець ХХ та початок ХХІ століття 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 на 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 іони міді. Згідно роботи [1,446] концентрація іонів 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 [2,56]. В окремих притоках Дніпра відмічені концентрації іонів міді від 2,69 до 5 мг/дм³ [3,267].

Не дивлячись на те, що сполуки, які утворюються при гідролізі іонів 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 [4,269]. Як наслідок – різке підвищення концентрації важких металів у воді при евтрофікації водойм. Ці пульсації концентрацій важких металів у воді можливі до тих пір, поки вони присутні в донних відкладеннях.

Суттєве підвищення допустимих скидів по іонах важких металів спостерігається в скидах атомних електростанцій [5,73; 6,78].

Проблема в значній мірі ускладнюється відсутністю необхідного обладнання для контролю важких металів у воді. Сучасні високоточні прилади аналізу вмісту важких металів у довікллі 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 по характеру їх забруднення такими високотоксичними речовинами, як сполуки важких металів.

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

Мета роботи. Метою роботи було визначення ефективності застосування катіоніту КУ-2-8 для концентрування катіонів важких металів на прикладі іонів міді в процесах пробопідготовки, визначення впливу іонів жорсткості на концентрування іонів міді на катіоніті за низьких концентрацій та встановлення ступеню десорбції іонів 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 при обробці 1%-ним розчином луку. Регенерацію катіоніту проводили розчинами соляної 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:

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

Сорбцію проводили в статичних та динамічних умовах. При проведенні сорбції в статичних умовах об'єм іоніту 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 іоніту об'ємом 10...20 см³ в колонці діаметром 2 см при витраті 10...15 см³/хв. Регенераційний розчин фільтрували при витраті 1...2 см³/хв. В очищеній воді контролювали вміст іонів жорсткості, міді, лужність, рівень рН.

Аналіз отриманих результатів. Одним із найпростіших методів концентрування іонів важких металів у воді є метод дистиляції. Проте, коли йдеться про дуже низькі концентрації іонів металів, коли необхідно випаровувати великі кількості води, даний метод є громіздким і не практичним. Тривалість пробопідготовки є надто великою. Тому викликає інтерес метод іонного обміну, який широко використовується для вилучення іонів з води, включаючи і іони важких металів [7,236; 8,231]. Проте застосування даного методу ускладнюється тим, що в природних та стічних водах часто присутні конкуруючі іони. Насамперед це стосується іонів жорсткості, які призводять до значного зниження ємності катіонітів по іонах важких металів при їх іонообмінному вилученні із води [9,54].

Як відомо, при сорбції катіонів із розведених розчинів на сильнокислотних катіонітах [10,560] ряд селективності по двохвалентних іонах має вид:

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

Із приведених даних видно, що іони жорсткості мають селективність близьку або вищу в порівнянні з іонами важких металів. Принаймні селективність іонів кальцію вища за селективність іонів міді. Це негативно впливає на сорбційну ємність катіоніту і дещо підвищує ефективність його регенерації.

Як видно з рис. 1, за відносно невисоких концентрацій іонів міді в дистильованій воді обмінна ємність катіоніту по даних іонах 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 зменшилися при зниженні вихідної концентрації міді до 1...15 мг/дм³ (табл.1). Час досягнення динамічної рівноваги в усіх випадках був не меншим 3-х діб.

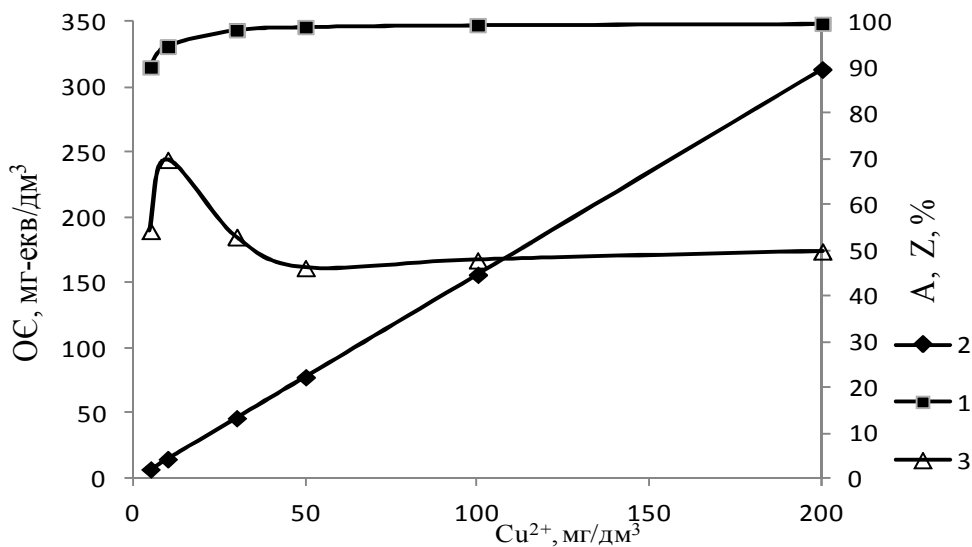


Рис. 1. Залежність ступеню очищення води від міді (A, %) (1), обмінної ємності катіоніту КУ-2-8 в Na⁺ формі по даних іонах (V_i = 10 см³) (2), (V_p = 500 см³), ступеню десорбції іонів міді 5%-ю соляною кислотою (V_{HCl} = 50 см³) (3) від початкової їх концентрації у воді під час сорбції в статичних умовах

Як видно з таблиці, ємність катіоніту в Na⁺ формі по іонах Cu²⁺ в даному випадку зростала з ~1 мг-екв/дм³ до ~20 мг-екв/дм³ при підвищенні 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.

Таблиця 1

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

№ пп	Вихідна	$C_{\text{Cu}^{2+}}$, мг/дм ³				Ступінь вилучення міді, А, %		ОЄ по Cu^{2+} , мг/дм ³		Ступінь десорбції, Z, %	
		Після сорбції		Після десорбції		I	II	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

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 іони жорсткості практично не впливали на ефективність десорбції іонів міді в статичних умовах 5%-ною соляною кислотою. Ступінь десорбції змінювався в межах 40...100% (табл.1, рис.1).

При збільшенні об'єму розчину, при концентрації іонів міді в водопровідній воді 1 та 2 мг/дм³ (рис. 2), з 0,5 дм³ до 2,0 дм³ при об'ємі іоніту 10 см³ було відмічено підвищення обмінної ємності іоніту та зниження ступеню очищення води від міді. Підвищення ємності катіоніту при $C_{\text{Cu}^{2+}} = 2$ 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 іонів міді проходила більш ефективно при більшій її вихідній концентрації.

В цілому, в статичних умовах сорбція і десорбція іонів міді на катіоніті КУ-2-8 за низьких її концентрацій в вихідних розчинах проходила неефективно. В таких умовах використання катіоніту в процесах пробопідготовки при контролі концентрацій іонів міді недоцільне через низьку ефективність сорбції та десорбції іонів міді незалежно від концентрації іонів жорсткості. Більш цікаві результати отримано при проведенні процесу в динамічних умовах. При фільтруванні розчинів сульфату міді у водопровідній воді ($C_{\text{Cu}^{2+}} = 1; 30$ мг/дм³) через катіоніт в кислій формі (рис. 3) ($V_i = 10$ см³) спостерігалось як значне пом'якшення води так і її очищення від іонів міді.

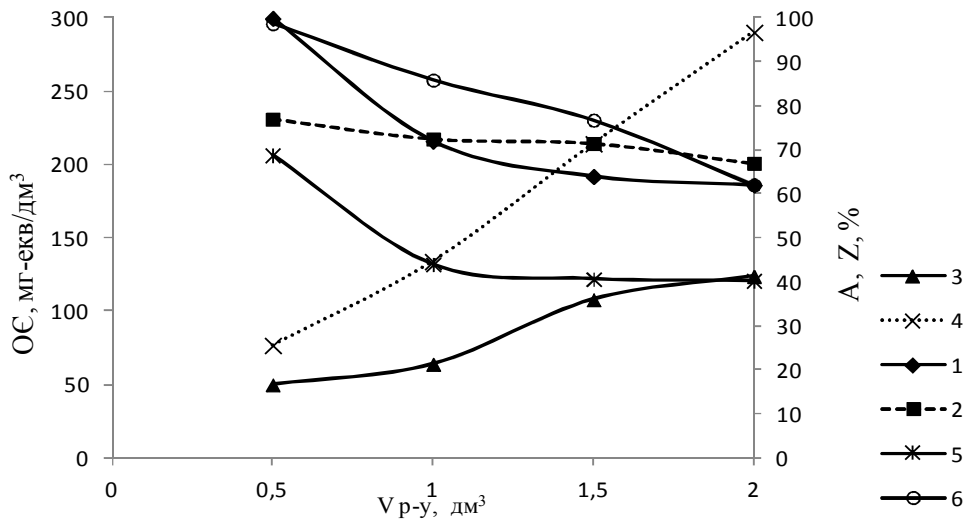


Рис. 2. Залежність ступеню очищення води від міді (A, %) (1;2), обмінної ємності катіоніту КУ-2-8 в Na^+ формі ($V_i = 10 \text{ см}^3$) по іонах міді (3;4) при сорбції та ступеню їх десорбції 5%-ним розчином соляної кислоти ($V_{\text{HCl}} = 50 \text{ см}^3$) від об'єму вихідного розчину міді в водопровідній воді при концентрації міді 1 (1; 3; 5) та 2 (3; 4; 6) мг/дм^3

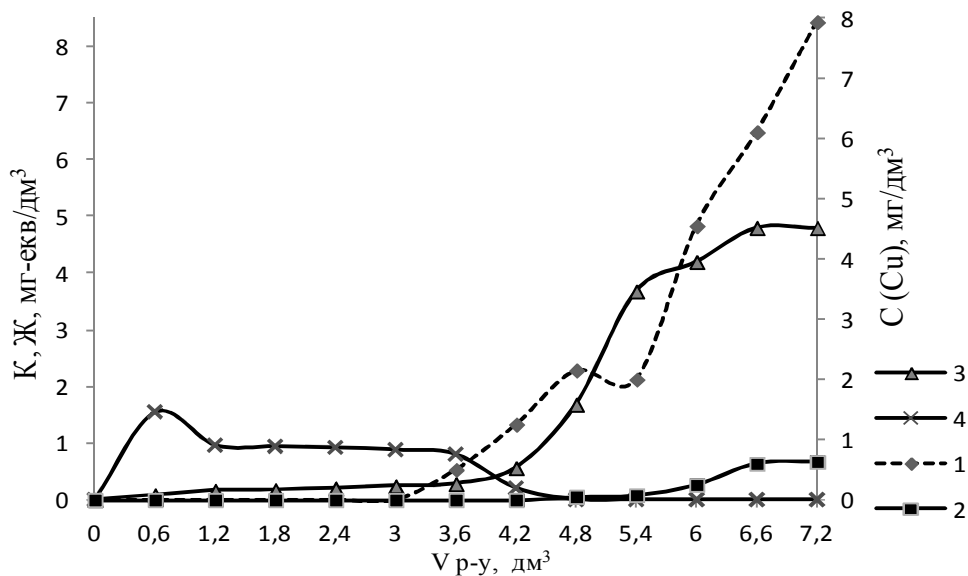


Рис. 3. Залежність залишкової концентрації іонів міді (1; 2), жорсткості (3), кислотності (4) від пропущеного об'єму розчину сульфату міді ($C_{\text{Cu}^{2+}} = 30 \text{ мг/дм}^3$ (1; 3; 4); $C_{\text{Cu}^{2+}} = 1 \text{ мг/дм}^3$ (2)) в водопровідній воді ($\text{Ж} = 4,8 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{pH} = 7,72$) через катіоніт КУ-2-8 ($V_i = 10 \text{ см}^3$) в кислій формі ($\text{ОДЄ}_1 = 520,9 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{ОДЄ}_2 = 16,3 \text{ мг-екв/дм}^3$, $\text{ПОДЄ}_3 = 2196,0 \text{ мг-екв/дм}^3$)

При цьому мідь вилучалась повністю за початкової концентрації іонів 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 іонів міді в 6 дм³ води сягав 99,6...100,0 % незалежно від початкової концентрації іонів міді (рис. 4).

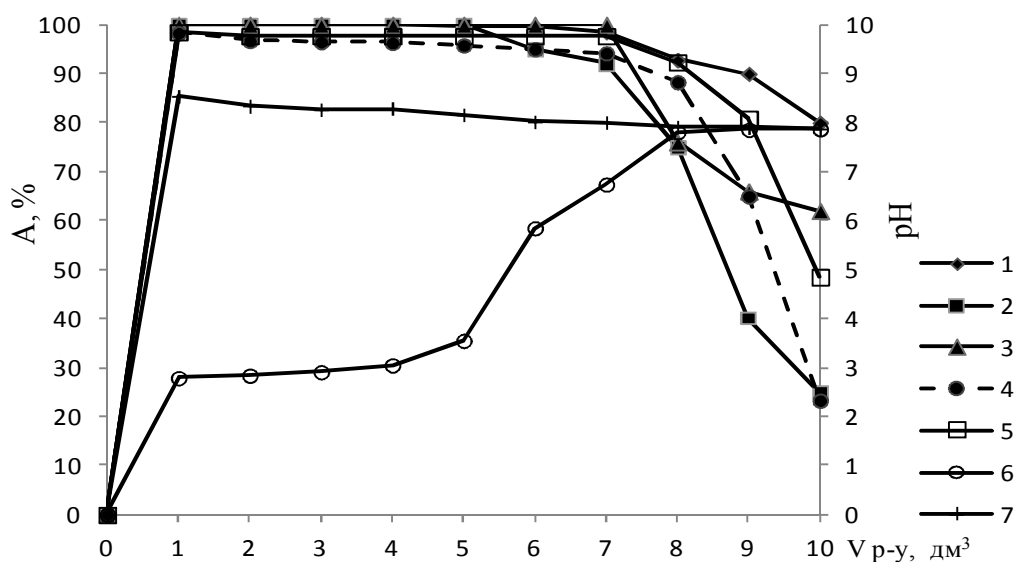


Рис. 4. Залежність ступеню вилучення іонів міді (1; 2; 3), іонів жорсткості (4; 5), та реакції середовища (6; 7) від об'єму пропущеної водопровідної води (Ж = 5,2 мг-екв/дм³, рН = 7,86) з концентрацією іонів міді 30 (1; 4; 6), 2 (3; 5; 7) та 1 (2) мг/дм³ через катіоніт КУ-2-8 ($V_i = 20 \text{ см}^3$) в H^+ (1; 2; 4; 6) та Na^+ (2; 7) формі

При цьому ступінь пом'якшення води сягав 95,0...98,3%. Цікаво відмітити, що навіть після досягнення практично повної ємності іоніту по іонах жорсткості, концентрація іонів 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 іоніту іонів магнію, по яких селективність іоніту нижча, як по іонах міді.

При використанні катіоніту в Na^+ формі при концентрації іонів міді 2 мг/дм³ проскок іонів міді виявлено лише після фільтрування 7 дм³ води (рис. 5).

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 вищий при її вихідній концентрації 30 мг/дм³, в порівнянні із концентраціями 2 та 1 мг/дм³, і знижується із зниженням концентрації. Це обумовлено тим, що в цілому ємність іоніту по іонах міді зростає із підвищенням їх вмісту у вихідному розчині. В усіх випадках ефективність вилучення іонів міді знижується по мірі переходу іоніту з кислої або Na^+ форми в Ca^{2+} , Mg^{2+} форму.

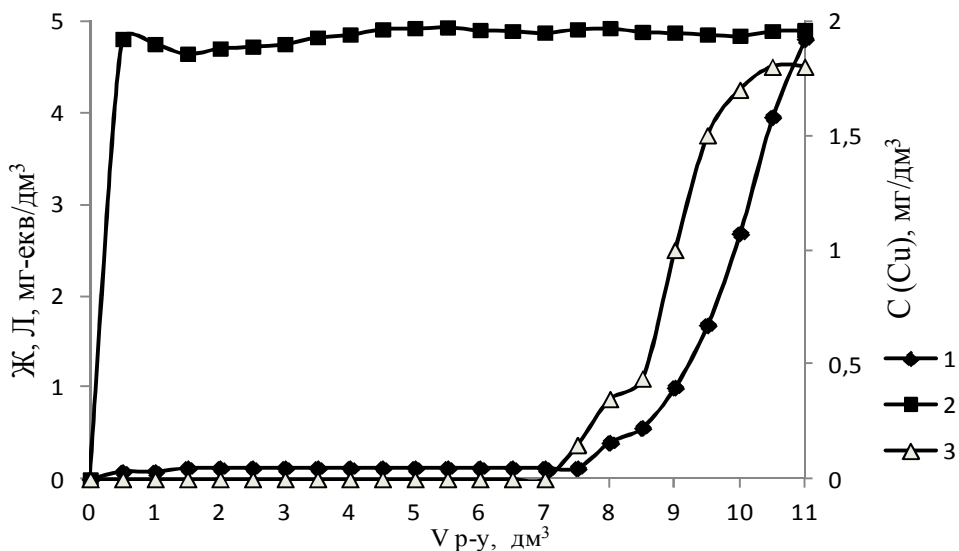


Рис. 5. Залежність залишкової жорсткості (1), лужності (2) водопровідної води ($J = 5,2$ мг-екв/дм³, $L = 4,9$ мг-екв/дм³, $pH = 7,86$), концентрації іонів міді (3) ($C_{Cu^{2+}} = 2$ мг/дм³) від пропущеного об'єму через катіоніт КУ-2-8 ($V_i = 20$ см³) в Na^+ формі (ПОДС₁ = 2224 мг-екв/дм³, ОЄ₃ = 28,3 мг-екв/дм³)

Ємність іоніту по іонах міді при вихідній концентрації 30 мг/дм³ в водопровідній воді складає 520 мг-екв/дм³, при концентрації 2 мг/дм³ – 28,3 мг-екв/дм³, при 1 мг/дм³ – 16,3 мг-екв/дм³. Ємність по іонах жорсткості в даному випадку для іоніту в кислій формі складала 2196 мг-екв/дм³, для іоніту в Na^+ формі – 2224 мг-екв/дм³. Тобто, перехід від кислої до сольової форми іоніту мало впливає на його ємність як по іонах міді, так і по іонах жорсткості.

Цікаво відмітити, що при співвідношенні концентрацій іонів жорсткості до концентрацій іонів 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 іоніту по іонах жорсткості та міді складає відповідно 4,29; 78,6 та 134,7. Це свідчить про незначну перевагу в міді по селективності у порівнянні з іонами жорсткості, що обумовлено значним вмістом у воді іонів магнію 0,8 – 1,2 мг-екв/дм³. Проте у вибраному діапазоні концентрацій іонів міді та іонів жорсткості їх співвідношення в сорбенті в порівнянні з розчином досить близьке. Збільшення відносного вмісту міді в сорбенті, в порівнянні з розчином, сягає 5...20 %.

При проведенні сорбції на катіоніті в кислій формі pH розчину, по мірі його переходу з H^+ в Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} – форму, зростає з 2,79 до 7,87. При використанні іоніту 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 іоніту 700. Проте важливим у даному випадку є і ефективність десорбції іонів міді з іоніту.

Так як при контролі концентрації іонів важких металів в присутності іонів жорсткості доцільно використовувати метод полярографії, де проби

готують в розчинах соляної кислоти, то для десорбції міді з іоніту були використані розчини HCl з концентрацією 1,9 та 3,6 г-екв/дм³. Результати приведені на рис. 6. При застосуванні даних розчинів кислоти досягнуто повної десорбції іонів міді та іонів жорсткості. Повної десорбції іонів міді при кислотності розчину 1,9 н досягнуто при пропусканні 160 см³ розчину через 20 см³ іоніту. 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.

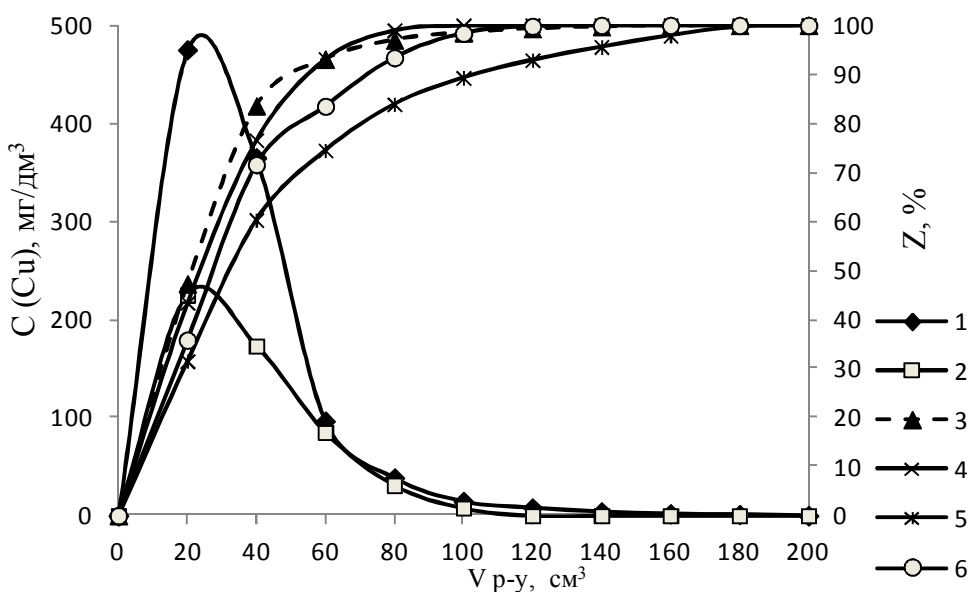


Рис. 6. Залежність вихідної концентрації іонів міді (1; 2), ступеню десорбції іонів міді (3; 4) та іонів жорсткості (5; 6) від витрати розчину соляної кислоти з кислотністю 1,9 (1; 3; 5) та 3,6 (2; 4; 5) г-екв/дм³ при регенерації катіоніту КУ-2-8 в Ca²⁺, Mg²⁺, Cu²⁺ формі (V_i = 20 см³) (маса сорбованої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

Таким чином, метод іонного обміну може бути перспективним для концентрування іонів міді в процесах пробопідготовки при контролі іонів міді в природних та стічних водах, що містять іони жорсткості.

Висновки

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

2. Показано, що при збільшенні співвідношення об'ємів вода : іоніт в статичних умовах за концентрації міді в водопровідній воді 1 та 2 мг/дм³, ємність іоніту зростає із збільшенням об'єму розчину при зниженні ступеню вилучення міді з 99,9 % до 62 %. Ступінь десорбції іонів міді з іоніту в Ca²⁺,

Mg²⁺, Cu²⁺ формі при обробці 5% - ною соляною кислотою в статичних умовах сягає 40...98,7 %.

3. Ефективність вилучення іонів 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 іонів міді 1,9 та 3,6 н розчинами соляної 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 іонного обміну в пробопідготовці при аналізі міді в воді за низьких її концентрацій.

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». – Миколаїв: Видавництво НУК, 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. Інтенсифікація 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.

Надійшло до редакції 12.04.2016