

РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 504.5:628.33

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-214-223

Микола Гомеля, Ганна Трохименко, Олена Глушко

ВПЛИВ ІОНІВ ЖОРСТКОСТІ НА СОРБЦІЮ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА КАТІОНІТІ

Актуальність теми дослідження. Актуальним питанням є очищення стічних вод гальванічних виробництв, що містять іони важких металів. Кумулятивний ефект, канцерогенна дія останніх на живі організми зумовлює активний пошук шляхів вилучення катіонів важких металів зі стічних вод. Викликає інтерес метод іонного обміну.

Постановка проблеми. Стічні води гальванічних виробництв містять суміші катіонів важких металів. Доцільно було дослідити вплив іонів жорсткості на селективність іоніту та перспективи розділення важких металів у процесі сорбції на сильнокислотному іоніті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Досліджено процеси сорбції іонів цинку, кадмію, нікелю та міді на катіоніті КУ-2-8. Селективність катіоніту по іонах важких металів при низьких їх концентраціях менша селективності по іонах жорсткості. При іонообмінному пом'якшенні води можливе вилучення іонів міді на слабкокислотному катіоніті.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Оцінка впливу іонів жорсткості на сорбцію іонів важких металів при вилученні їх зі стічних вод гальванічних виробництв при використанні для промивки деталей водопровідної води.

Постановкою завдання було вивчення впливу іонів жорсткості та взаємного впливу іонів важких металів на їх сорбцію на сильнокислотному катіоніті.

Виклад основного матеріалу. Катіоніт КУ-2-8 ефективно вилучає іони важких металів з розчинів, що містять їх суміші. Показано, що різниця в селективності катіоніту по іонах важких металів недостатня для ефективного їх розділення у процесі сорбції.

Встановлено, що іоніт сорбує іони міді з води навіть за низьких концентрацій при жорсткості 4,8 мг-екв/дм³.

Суміші важких металів при кислотній регенерації вимиваються з катіоніту КУ-2-8 не гірше, ніж з іоніту з сорбованим одним видом іонів важких металів.

Висновки відповідно до статті. В умовах концентрування важких металів на катіонітах досягнути ефективного розділення даних катіонів неможливо.

При застосуванні іонообмінного вилучення катіонів важких металів з гальваностоків необхідно застосовувати знесолу або Na-катіоновану воду.

Встановлено, що іони важких металів сорбовані індивідуально і в сумішах з іншими іонами важких металів ефективно десорбуються сірчаною кислотою незалежно від співвідношення в сорбційному об'ємі.

Ключові слова: важкі метали; іонний обмін; сорбція; регенерація іоніту; іони жорсткості.

Рис.: 7. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. Проблема забезпечення водою є однією з головних у світі та в Україні зокрема. Це пов'язано як із кількістю води, так і з її якістю в природних водоймах. Скидання стічних вод промислових підприємств, об'єктів теплоенергетики, шахтних вод призводить до забруднення природних вод [1]. Необхідність очищення стічних вод гальванічних виробництв, що містять іони важких металів, не викликає сумнівів. Важкі метали відносяться до найбільш токсичних забруднювачів, які здатні до накопичення в живих організмах. При міграції по трофічних ланцюгах їх концентрація збільшується у 2-3 рази при переході на наступний рівень трофічного ланцюга [2]. Якщо в решті-решт важкі метали потрапляють в організм людини і перевищують межі допустимої концентрації, то вони можуть викликати серйозні розлади здоров'я. Тому питання очищення промислових стоків від іонів важких металів є достатньо актуальним. Радикально вирішити його можна через впровадження замкнутих циркуляційних систем водокористування на промислових підприємствах. Актуальним лишається створення прямоочних систем з вилученням важких металів з води перед скидом у каналізацію, адже при використанні замкнутого циклу необхідно пом'якшувати воду. В обох випадках перспективним напрямком є застосування іонного обміну. Проте недостатня ефективність та недосконалість процесів регенерації іонообмінних матеріалів, складність переробки отриманих фільтратів стали головною перешкодою поширенню іонного обміну в практиці очищення стічних вод від іонів важких металів.

Постановка проблеми. Серед відомих методів утилізації регенераційних розчинів іонообмінного вилучення важких металів з промивних вод гальванічних виробництв, таких як нейтралізація і висадження гідроксидів металів, випаровування розчинів, електродіаліз та електроліз, останні є найбільш перспективними, оскільки дають можливість видаляти метали і дозволяють повторно використовувати регенераційні розчини. Проте, здебільшого, у стічних водах гальванічних виробництв зустрічаються суміші катіонів важких металів. Тому при вилученні даних іонів з гальваностоків іонообмінним методом та наступній електрохімічній переробці регенераційних розчинів отримують суміші металів. З іншого боку, відомо, що іоніт КУ-2-8 має меншу селективність по іонах Cd^{2+} , ніж по іонах Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} і водночас має значну селективність по іонах жорсткості, зокрема по Ca^{2+} . Тому важливо було вивчити ці процеси й оцінити перспективи розділення важких металів на іоніті в процесі сорбції. Крім того, визначити умови застосування прямооточних систем з вилученням важких металів з води перед скидом у каналізацію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що сильноокислотний катіоніт КУ-2-8 характеризується високою ємністю за катіонами, включаючи і катіони важких металів. Цей катіоніт має високу ємність при використанні як у сольовій, так і в кислій формі. Це дозволяє використовувати вказаний катіоніт для вилучення важких металів у слаболужному, нейтральному та кислому середовищах [3]. За рівної селективності іонітів за різними іонами головним чинником, що впливає на іонообмінне вилучення важких металів з води, є рівень їх концентрацій та вміст іонів жорсткості у воді. За низьких концентрацій іонів важких металів вилучення їх із води з високим рівнем жорсткості буде неефективним [4]. Це ж стосується й іонів міді [5]. Проте при іонообмінному пом'якшенні води цілком можливе і вилучення іонів міді з води на слабоокислотному катіоніті DOWEX-МАС-3 [6; 7], хоча ємності іоніту за міддю будуть далекими від максимальних. Головним недоліком DOWEX-МАС-3 є те, що при використанні його при пом'якшенні води в кислій формі відбувається її підкислення. З одного боку, це забезпечує її повну декарбонізацію та високу стабільність щодо карбонатних відкладень. З іншого – підкислена вода є корозійноактивною і не придатною для використання в більшості технологічних процесів. А використання катіоніту в сольовій (Na^+) формі ускладнюється тим, що його переведення в Na^+ форму при регенерації можливе лише при послідовній обробці розчином кислоти та лугу [8], що не є технологічним.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Оцінка впливу іонів жорсткості на сорбцію іонів важких металів при вилученні їх зі стічних вод гальванічних виробництв при використанні для промивки деталей водопровідної води та розділення важких металів в умовах концентрування їх на іонітах.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є визначення ефективності сумісної сорбції іонів кадмію, цинку, міді та нікелю на сильноокислотному катіоніті КУ-2-8, а саме можливості їх розділення в процесі сорбції та визначення ефективності десорбції різних катіонів важких металів та їх сумішей при обробці кислотою. Крім того, доцільним є вивчення впливу іонів жорсткості на процес сорбції іонів важких металів на сильноокислотному катіоніті КУ-2-8.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- для оцінки можливостей іонообмінного розділення катіонів важких металів визначити їх взаємний вплив на сорбцію на сильноокислотному катіоніті КУ-2-8 при вилученні з водних розчинів-аналогів промивних вод гальванічних виробництв;
- на прикладі сорбції іонів міді з водопровідної води визначити вплив іонів жорсткості на селективність іоніту щодо іонів важких металів;
- визначити ефективність десорбції катіонів важких металів з іонітів при обробці розчинами сірчаної кислоти залежно від типу сорбованих катіонів та їх співвідношення в сорбційному об'ємі.

Виклад основного матеріалу. Як іонообмінний матеріал використовували сильно-кислотний катіоніт КУ-2-8 в Na^+ -формі. Як модельні розчини використовувалися розчини сульфатів іонів важких металів у різних комбінаціях. Концентрації іонів міді в суміші підтримували на рівні 31...35 мг-екв/дм³, кадмію – 16...20 мг-екв/дм³, цинку – 14...35 мг-екв/дм³, нікелю – 22...42 мг-екв/дм³.

Сорбцію проводили в динамічних умовах. Об'єм іоніту 10...20 см³. Колонка діаметром 2 см. Витрата розчину при сорбції 10...15 см³/хв, при регенерації 1...3 см³/хв. Регенерацію проводили 5 % розчином сірчаної кислоти. У пробах очищеної води або регенераційного розчину за відомими методиками контролювали концентрацію міді, кадмію, цинку та нікелю, жорсткість та лужність води, рН середовища [9].

У літературі вже давно описано, що сильнокислотний катіоніт КУ-2-8 характеризується високою ємністю за катіонами, включаючи і катіони важких металів [10; 11]. Цей катіоніт має високу ємність при використанні як у сольовій, так і в кислій формі. Це дозволяє використовувати вказаний катіоніт для вилучення важких металів у слаболужному, нейтральному та кислому середовищах. Ефективно вилучає цей катіоніт із води іони важких металів із розчинів, що містять суміші металів (рис. 1, 2). Як показали дослідження, ємність катіоніту по сумі катіонів кадмію та цинку, кадмію та нікелю, цинку та нікелю, кадмію та міді сягає ~2000 мг-екв/дм³. При контролі концентрації окремо іонів міді та іонів інших металів було показано (рис. 2), що катіоніт КУ-2-8 має близьку ефективність за іонами міді, нікелю та цинку. Однак за іонами кадмію іоніт має меншу селективність у порівнянні з іонами міді. Як видно з рис. 2 (крива 4), на першому етапі сорбції іони кадмію та міді поглиналися майже повністю. Це зумовлено тим, що ємність іоніту на цьому етапі була не заповнена повністю. Проте в подальшому, при пропусканні 800...1000 см³ розчину мідь продовжувала сорбуватися, тоді як іони кадмію витіснялися з іоніту.

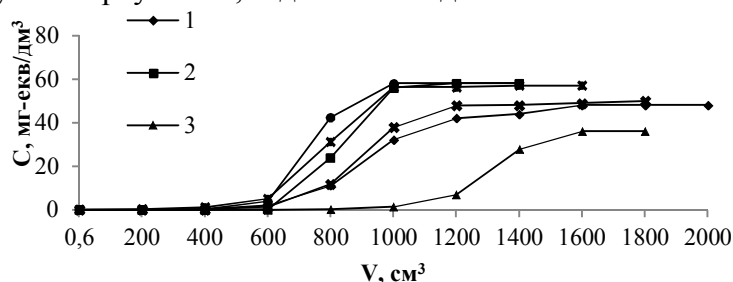


Рис. 1. Залежність вихідних концентрації кадмію та цинку (1), кадмію та нікелю (2), цинку та нікелю (3), кадмію та міді (4), міді та цинку (5), міді та нікелю (6) від пропущеного об'єму розчинів, що містять іони в концентраціях мг-екв/дм³: Cd^{2+} -18,0, Zn^{2+} -30,0(1); Cd^{2+} -16,0, Ni^{2+} - 42,0 (2); Zn^{2+} - 14,0; Ni^{2+} -22,0 (3); Cu^{2+} -32, Cd^{2+} -18,0 (4); Zn^{2+} -14, Cu^{2+} -33 (5); Cu^{2+} -32, Zn^{2+} -35 (6) (ПОДС, мг-екв-дм³: 1-2041; 2-1997; 3-2153; 4-2037; 5-2099; 6-2286) при фільтруванні через катіоніт КУ-2-8 в Na^+ - формі ($V_i = 20\text{см}^3$)

Це призвело до підвищення концентрації на вихідній кривій сорбції кадмію (крива 4) до 31...35 мг-екв/дм³. Очевидно, що можливо лише за рахунок десорбції раніше сорбованих іонів кадмію, що витіснялись з іоніту іонами міді.

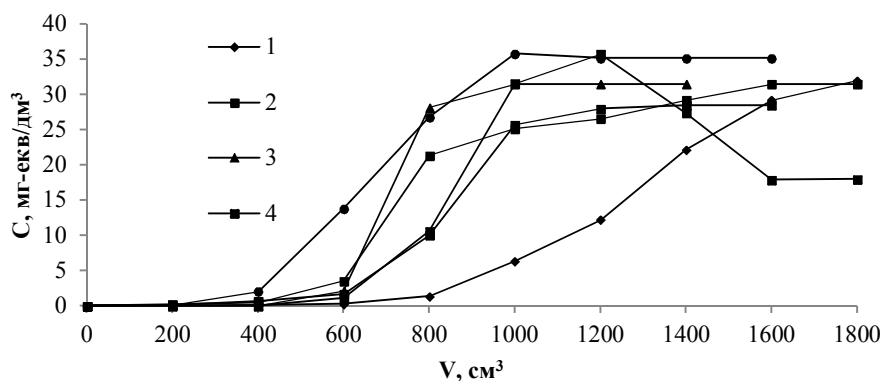


Рис. 2. Залежність вихідних концентрацій міді (1;2;3), кадмію (4), цинку (5) та нікелю (6) від пропущеного об'єму розчинів, що містять суміші іонів міді та кадмію (1;4), міді та цинку (2;5), міді та нікелю (3;6) в концентраціях, мг/дм³: Cu^{2+} -1016, Cd^{2+} -1012 (1;4); Cu^{2+} -1000, Zn^{2+} – 933(2;5); Cu^{2+} -1000, Ni^{2+} -1033 (3; 6), через катіоніт КУ-2-8 в Na^+ - формі ($V_i=20\text{cm}^3$). (ПОДС, мг-екв/дм³: 1-1841; 2-1147; 3-955; 4-197; 5-952; 6-1332)

У подальшому, коли основна маса сорбованих іонів кадмію була витіснена, їх концентрація у вихідному розчині знизилась до початкового рівня – 18 мг-екв/дм³. При цьому повна обмінна динамічна ємність іоніту за міддю сягала 1841 мг-екв/дм³.

Проте різниця у селективності катоніту КУ-2-8 за даними катіонами при досліджуваному діапазоні концентрацій була недостатньою для ефективного їх розділення у процесі сорбції.

Оскільки катіоніт КУ-2-8 має значну селективність по іонам жорсткості, зокрема по Ca^{2+} (і меншу селективність по іонам важких металів), важливим було оцінити можливість сорбції іонів важких металів в присутності іонів кальцію.

Як показали наші дослідження (рис. 3), цей катіоніт в Na^+ - формі, поряд із пом'якшенням води, забезпечує досить ефективне вилучення іонів міді. Повна обмінна динамічна ємність (ПОДС) іоніту за іонами жорсткості становила 2947 мг-екв/дм³. За міддю його ємність склала всього 179 мг-екв/дм³. Однак в усіх пробах концентрація міді після катіоніту не перевищувала 0,28 мг/дм³ при початковій концентрації 5,3 мг/дм³. Очевидно, що і за умов, коли іоніт перейшов у Ca^{2+} , Mg^{2+} форму він ще міг певний час сорбувати іони міді. Адже відомо, що такий іоніт сорбує іони міді у Ca^{2+} - формі [12]. Проте за таких низьких концентрацій іонів міді до встановлення динамічної рівноваги за іонами міді потрібно було б пропускати десятки кубічних дециметрів води при об'ємі іоніту всього 10 см³. Цей дослід показує, що катіоніт КУ-2-8 сорбує іони міді з води навіть за її низьких концентрацій при жорсткості 4,8 мг-екв/дм³.

Доцільність застосування іонного обміну суттєво залежить від процесів регенерації іонітів та утилізації регенераційних розчинів. Про ефективність регенерації катіоніту КУ-2-8 в Cd^{2+} -, Zn^{2+} -, Ni^{2+} -та Cu^{2+} - формі можна судити за результатами, наведеними на рис. 4 та 5. Як видно з рис. 4, концентрації іонів важких металів у процесі регенерації знижуються з 400-600 мг-екв/дм³ до 54-64 мг-екв/дм³ при зростанні кислотності з 0,47 мг-екв/дм³ до 1,2 мг-екв/дм³.

При використанні проб регенераційних розчинів з концентрацією 50-150 мг-екв/дм³ повторно для регенерації на наступній стадії (~50 % від використаного об'єму кислоти) і при застосуванні розчинів 5%-ї кислоти на другій стадії регенерації можна отримувати розчини важких металів із концентрацією 200...300 мг-екв/дм³ (10...20 г/дм³) із кислотністю ~1 г-екв/дм³. Це необхідно враховувати при виборі методу переробки відпрацьованих регенераційних розчинів.

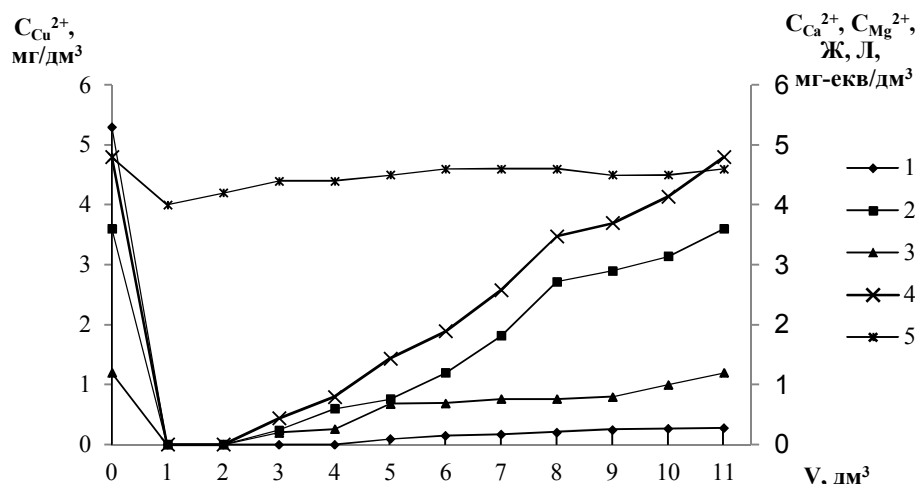


Рис. 3. Залежність залишкової концентрації міді (1), кальцію (2), магнію (3), жорсткості (4), лужності (5) розчину міді у водопровідній воді ($Ж = 4,8$ мг-екв/дм³, $C(Ca^{2+}) = 3,6$ мг-екв/дм³; $C(Mg^{2+}) = 1,2$ мг-екв/дм³; $Л = 4,8$ мг-екв/дм³, $C(Cu^{2+}) = 5,3$ мг/дм³) від пропущеного об'єму розчину через катіоніт КУ-2-8 в Na^+ - формі ($V_i = 10$ см³) (ПОДС1 = 179 мг-екв/дм³; ПОДС2 = 2262 мг-екв/дм³; ПОДС3 = 685 мг-екв/дм³; ПОДС4 = 2947 мг-екв/дм³)

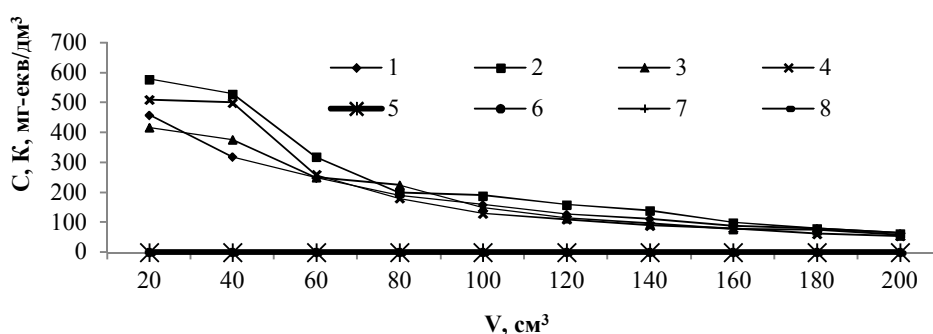


Рис. 4. Залежність концентрації іонів кадмію (1), цинку (2), міді (3), нікелю (4), кислотності розчинів (5,6,7,8) від пропущеного об'єму 5%-го розчину сірчаної кислоти при регенерації катіоніту КУ-2-8 в Cd^{2+} - (1;5), Zn^{2+} - (2;6), Cu^{2+} - (3;7), Ni^{2+} - (4;8) формі ($V_i = 20$ см³)

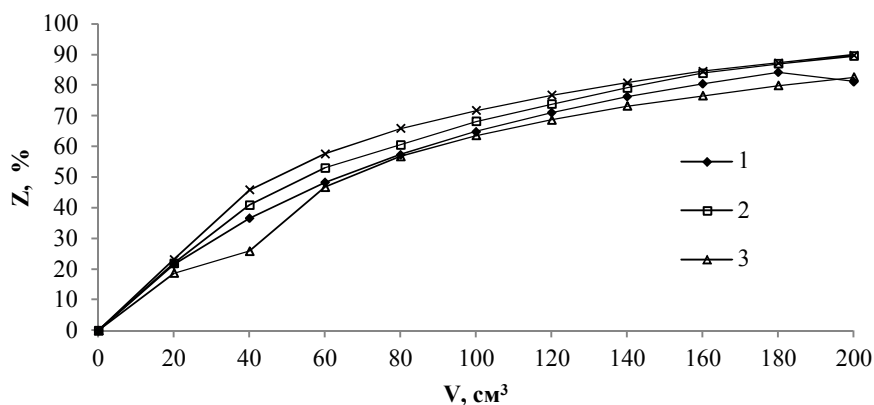


Рис. 5. Зміна ступеня десорбції кадмію (1), цинку (2), міді (3), нікелю (4) із об'ємом пропущеного регенераційного розчину (5%-ї H_2SO_4) через катіоніт КУ-2-8 в Cd^{2+} - (1), Zn^{2+} - (2), Cu^{2+} - (3), Ni^{2+} - (4) формі ($V_i = 20$ см³)

Взагалі застосування 5 % сірчаної кислоти дозволяє досягти ступеня регенерації катіоніту на рівні 80...90 %. Варто зазначити, що при десорбції суміші іонів кадмію та цинку, кадмію та нікелю, цинку та нікелю при використанні 5%-го розчину сірчаної кислоти було досягнуто ступеня десорбції важких металів на рівні 96...99% (рис. 6).

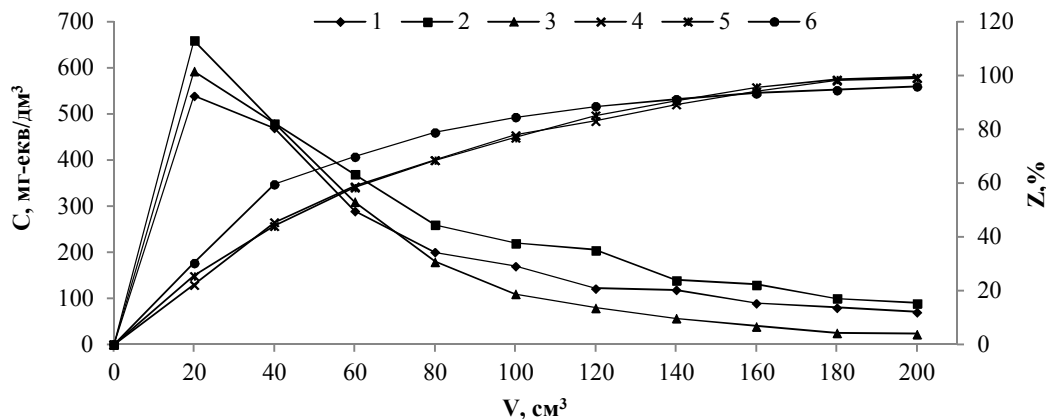


Рис. 6. Залежність вихідної концентрації іонів кадмію та цинку (1), кадмію та нікелю (2), цинку і нікелю (3), ступеня регенерації катіоніту КУ-2-8 в Cd^{2+} , Zn^{2+} (4), Cd^{2+} , Ni^{2+} (5), Zn^{2+} , Ni^{2+} (6) формі ($V_i=20\text{cm}^3$) від пропущеного об'єму 5%-го розчину сірчаної кислоти

При цьому кращі результати було отримано при десорбції іонів з іонітів, на яких було сорбовано, крім інших, іони кадмію.

Отже, суміші іонів важких металів при кислотній регенерації вимиваються з катіоніту КУ-2-8 не гірше, ніж з іонітів з сорбованим одним видом іонів.

Це підтверджують і результати, наведені на рис. 7. У цьому випадку показано, що краще з катіоніту КУ-2-8 десорбуються іони кадмію, цинку та міді, суміші міді з цинком та нікелем. Хоча загалом ефективність регенерації була високою, а ступінь десорбції металів становив 81...99 %.

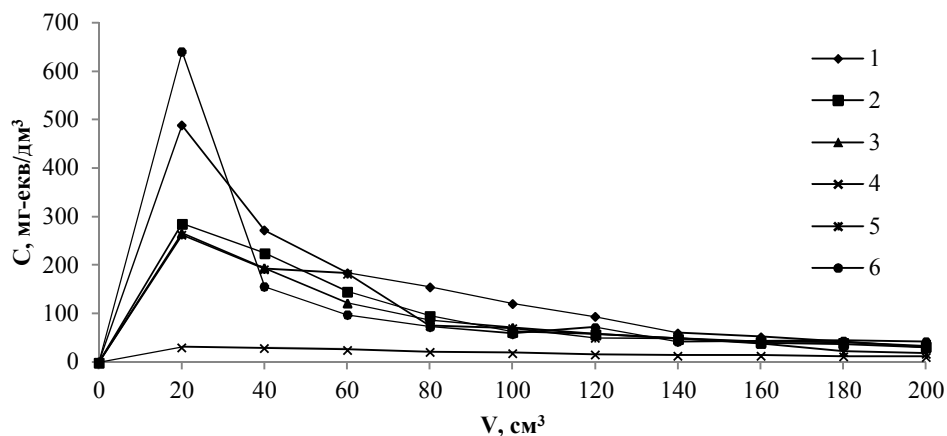


Рис. 7. Зміна вихідної концентрації іонів міді (1;2;3), кадмію (4), цинку (5) та нікелю (6) від пропущеного об'єму 5%-го розчину сірчаної кислоти через катіоніт КУ-2-8 в Cd^{2+} , Cu^{2+} (1;4), Cu^{2+} , Zn^{2+} (2;5) та Cu^{2+} , Ni^{2+} (6) формі ($V_i = 20\text{cm}^3$)

Слід зауважити, що різниця в селективності катіоніту КУ-2-8 за двозарядними катіонами важких металів була не настільки суттєвою, щоб їх можна було розділяти у процесі регенерації катіоніту. Це видно по кривих десорбції міді і кадмію (рис. 7, крива

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

1; 4). Мідь і кадмій вимивалися з катіоніту практично одночасно у кількостях, еквівалентних кількості сорбованих іонів.

Висновки відповідно до статті.

1. Із наведених результатів видно, що катіоніт КУ-2-8 має вищу селективність по іонах Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} в порівнянні з іонами Cd^{2+} . Проте в умовах концентрування важких металів на катіонітах, при очищенні гальваностоків досягнути ефективного розділення таких катіонів неможливо (на 1800 мг-екв сорбованих Cu^{2+} приходиться близько 190 мг-екв сорбованих іонів Cd^{2+}). Селективність іоніту по Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} приблизно однакова.

2. Показано, що іони кальцію за селективністю близькі до катіонів важких металів (Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+}), тому при застосуванні іонообмінного вилучення іонів важких металів із гальваностоків необхідно застосовувати знесолену або Na- катіоновану воду.

3. Іони важких металів сорбовані індивідуально, а також у сумішах з іншими катіонами важких металів ефективно десорбуються сірчаною кислотою незалежно від їхнього співвідношення в сорбційному об'ємі.

Список використаних джерел

1. *Разработка* технологического процесса очистки сточной воды гальванического производства / И. С. Курцхалия [и др.] // Изв. АН Грузии. Сер. хим. – 2005. – № 1-2. – С. 24–29.

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. – Миколаїв: НУК, 2015. – № 4. – С. 98–105.

3. *Гомеля М. Д.* Очистка гальваностокот от ионов кадмия ионообменным методом / М. Д. Гомеля, В. М. Радовенчик, О. В. Глушко // Екологія і ресурси. – 2007. – № 16. – С. 57–62.

4. *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, B. M. Siddique // *Desalination*. – 2009. – № 250. – P. 300–310.

5. *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 гідравліки : науково-технічний збірник. – 2016. – Вип. 26. – С. 45–54.

6. *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 «КПУ», серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2014. – № 1 (12). – С. 54–59.

7. *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 «КПУ», серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2016. – № 1 (15). – С. 60–65.

8. *Застосування* слабокислотного катіоніту DOWEX-MAC-3 для стабілізаційної обробки води / І. М. Макаренко, О. В. Глушко, В. В. Рисухін, В. П. Малін // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – № 3/6 (57). – С. 16–20.

9. *Физико-химические* методы анализа: практическое руководство : учебное пособие для вузов / [В. Б. Алесковский, В. В. Бардин, М. И. Булатов и др. ; под ред. В. Б. Алесковского]. – Л. : Химия, 1988. – 376 с.

10. *Гомеля Н. Д.* Разработка экологически чистой технологии извлечения цинка из гальваностокот / Н. Д. Гомеля, И. С. Сагайдак // Перспективные направления развития экологии, экономики, энергетики : сб. науч. ст. / ОЦНТЭИ. – Одесса, 1999. – С. 81–85.

11. *Сагайдак І. С.* Локалізація та знешкодження стічних вод, забруднених сполуками хрому, кадмію та цинку : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 21.06.01 «Техногенна безпека держави» / І. С. Сагайдак ; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – К., 2000. – 20 с.

12. *Шаблій Т. О.* Вилучення іонів міді з води теплообмінних циркуляційних систем / Т. О. Шаблій // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 3/8 (45). – С. 10–13.

References

1. Kurtskhaliya, I. S., Enukidze, N. E., Simoniya, Z. M., Partsvaniya, D. A. & Nadirashvili, M. V. (2005). *Razrabotka tekhnologicheskogo protsessa ochistki stochnoi vody galvanicheskogo*

производства [Development of technological process of wastewater treatment of galvanic production]. *Izvestiya akademii nauk Gruzii. Seriya khimicheskaya – Proceedings of the Academy of Sciences of Georgia. Chemical series*, 1-2, 24–29 [in Russian].

2. Trokhymenko, H. H. & Tsyhaniuk, N. V. (2015). Yznachennia stupeniu kumuliatsii vazhkykh metaliv u hidrobiontakh Buzkoho 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*, 4, 98–105. Mykolaiv: NUK [in Ukrainian].

3. Homelia, M. D., Radovenchyk, V. M. & Hlushko, O. V. (2007). Ochystka halvanostokov ot yonov kadmyia yonoobmennym metodom [Cleaning of galvanic rocks from cadmium ions by the ion exchange method]. *Ekolohiia i resursy – Ecology and resources*, 16, 57–62 [in Russian].

4. 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*, 250, 300–310 [in English].

5. Malin, V. P., Homelia, M. D. & Halimova, V. M. (2016). Efektyvnist zastosuvannia 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 hidravliky. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk - Problems of water supply, drainage and hydraulics. Scientific and technical collection*, 26, 45–54 [in Ukrainian].

6. Makarenko, I. M., Nosachova, Yu. V. & Ivanenko, O. I. (2014). Otsinka vplyvu ioniv tverdosti na efektyvnist ochyshchennia vody vid ioniv midi [Estimation of the influence of hardness ions on the efficiency of water purification from copper ions]. *Visnyk NTUU «KPU», seriia «Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozbezheniia» – Bulletin of the NTUU «KPU» series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation»*, 1 (12), 54–59 [in Ukrainian].

7. 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», seriia «Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozbezheniia» – Bulletin of the NTUU «KPU» series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation»*, 1(15), 60–65 [in Ukrainian].

8. Makarenko, I. M., Hlushko, O. V., Rysukhin, V. V. & Malin, V. P. (2012). Zastosuvannia slabokyslotnoho kationitu DOWEX-MAC-3 dlia stabilizatsiinoi obroby vody [Application of low-acid cation exchanger DOWEX-MAC-3 for stabilizing water treatment]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii - East European Magazine of Advanced Technology*, 3/6 (57), 16–20 [in Ukrainian].

9. Aleskovskiy, V. B., Bardin, V. V., Bulatov, M. I. (1988). *Fiziko-himicheskie metody analiza. Prakticheskoe rukovodstvo: Uchebnoe posobie dlja vuzov [Physicochemical methods of analysis. A Practical Guide: A Textbook for Universities]*. V. B. Aleskovskyy (Ed.). Leningrad: Khimiia [in Russian].

10. Homelia, N. D. & Sagajdak, I. S. (1999). Razrabotka ekologicheskii chistoi tekhnologii izvlecheniia tsinka iz galvanostokov [Development of ecologically pure technology of extraction of zinc from galvanic rocks]. Proceedings from *Perspektivnye napravlenija razvitija jekologii, jekonomiki, energetiki: zbirnyk naukovykh prats Mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii [International Scientific Conference. Perspective directions of development of ecology, economy, power engineering]*. Odessa: OCNTEI [in Russian].

11. Sahaidak, I. S. (2000). Lokalizatsiia ta zneshkodzhennia stichnykh vod, zabrudnenykh spolukamy khromu, kadmiu ta tsynku [Localization and disposal of wastewater contaminated with chromium compounds, cadmium and zinc]. (*Extended abstract of candidate's thesis*). National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv [in Ukrainian].

12. Shablii, T. O. (2010). Vyluchennia ioniv midi z vody teploobminnykh tsyrkuliatsiinykh system [Emission of copper ions from water of heat exchange circulating systems]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii – East European Magazine of Advanced Technology*, 3/8 (45), 10–13 [in Ukrainian].

Nikolai Gomelya, Ganna Trohymenko, Olena Hlushko

INFLUENCE OF LANDSCAPE IONS ON SORPTION OF HEAVY METALS ON CATIONITE

Urgency of the research. Actual issues are the treatment of sewage of galvanic plants containing heavy metal ions. The cumulative effect, the carcinogenic action of the latter on living organisms leads to an active search for ways to remove heavy cations from sewage. The method of ion exchange is of interest.

Target setting. Wastewater from galvanic plants contains mixtures of heavy metal cations. It was advisable to investigate the effect of rigidity ions on the selectivity of ion exchangers and the prospects of separation of heavy metals during sorption on strongly acidic ion exchangers.

Actual scientific researches and issues analysis. The processes of sorption of zinc, cadmium, nickel and copper ions on cation exchange of KU-2-8 have been investigated. The selectivity of cation exchangers for heavy metal ions at low concentrations is less selectivity in ions of rigidity. At ion-exchange mitigation of water it is possible to extract copper ions on weakly acidic cation exchangers.

Uninvestigated parts of general matters defining is the evaluation of the influence of rigid ions on the sorption of heavy metal ions when they are removed from sewage from galvanic productions when used for washing of tap water parts.

The research objective was the study of the influence of rigidity ions and the mutual influence of heavy metal ions on their sorption on strongly acidic cation exchangers.

The statement of basic materials. Cationite KU-2-8 effectively removes ions of heavy metals from solutions containing their mixtures. It is shown that the difference in the selectivity of cation exchangers on heavy metal ions is not sufficient for efficient separation during sorption.

It was established that ionite adsorbs copper ions from water even at low concentrations with a hardness of 4.8 mg-eq/dm³.

Mixtures of heavy metals in acid regeneration are washed out of cation exchanger KU-2-8 not worse than ion exchanged with sorbent one type of heavy metal ions.

Conclusions. In the conditions of concentration of heavy metals on cation exchangers it is impossible to effectively divide these cations data.

When applying ion-exchange extraction of cations of heavy metals from galvanostics, it is necessary to use desalted or Na-cationized water.

It has been established that heavy metal ions are sorbed individually and in mixtures with other heavy metal ions are effectively desorbed with sulfuric acid, regardless of the ratio in sorption volume.

Keywords: heavy metals; ion exchange; sorption; regeneration of ion exchanger; ions of rigidity.

Fig.: 7. References: 12.

Николай Гомеля, Анна Трохименко, Елена Глушко

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ЖЕСТКОСТИ НА СОРБЦИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА КАТИОНИТЕ

Актуальность темы исследования. Актуальным вопросом является очистка сточных вод гальванических производств, содержащих ионы тяжелых металлов. Кумулятивный эффект, канцерогенное действие последних на живые организмы предопределяет активный поиск путей извлечения катионов тяжелых металлов из сточных вод. Вызывает интерес метод ионного обмена.

Постановка проблемы. Сточные воды гальванических производств содержат смеси катионов тяжелых металлов. Целесообразным было исследование влияния ионов жесткости на селективность ионита и перспективы разделения тяжелых металлов в процессе сорбции на сильнокислотном ионите.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследованы процессы сорбции ионов цинка, кадмия, никеля и меди на катионите КУ-2-8. Селективность катионита по ионам тяжелых металлов при низких их концентрациях меньше селективности по ионам жесткости. При ионообменном смягчении воды возможно извлечение ионов меди на слабокислотном катионите.

Нерешенной частью общей проблемы является оценка влияния ионов жесткости на сорбцию ионов тяжелых металлов при изъятии их из сточных вод гальванических производств при использовании для промывки деталей водопроводной воды.

Постановкой задачи было изучение влияния ионов жесткости и взаимного влияния ионов тяжелых металлов на их сорбцию на сильнокислотном катионите.

Изложение основного материала. Катионит КУ-2-8 эффективно удаляет ионы тяжелых металлов из растворов, содержащих их смеси. Показано, что разница в селективности катионита по ионам тяжелых металлов недостаточна для эффективного их разделения в процессе сорбции.

Установлено, что ионит сорбирует ионы меди из воды даже при низких концентрациях при жесткости 4,8 мг-экв/дм³.

Смеси тяжелых металлов при кислотной регенерации вымываются из катионита КУ-2-8 не хуже, чем из ионита с сорбированным одним видом ионов тяжелых металлов.

Висновки. В умовах концентрування важких металів на катионіти досягти ефективного розділення даних катионів неможливо.

При використанні іонообмінного видалення катионів важких металів з гальваностоків необхідно застосовувати обессолену або Na-катионовану воду.

Встановлено, що іони важких металів сорбуються індивідуально і в сумісях з іншими іонами важких металів ефективно десорбуються серною кислотою, незалежно від співвідношення в сорбційному об'ємі.

Ключові слова: важкі метали; іонний обмін; сорбція; регенерація іоніти; іони жорсткості.

Рис.: 7. Бібл.: 12.

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

Трохименко Ганна Григорівна – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та охорони праці, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (просп. Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, 54025, Україна).

Трохименко Анна Григорьевна – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологической безопасности и охраны труда, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова (просп. Героев Сталинграда, 9, г. Николаев, 54025, Украина).

Trohymenko Ganna – PhD in Biological Sciences, Associate professors, Head of Department of Environmental Safety and Occupational Safety Department of Environmental Safety and Occupational Safety, National University of Shipbuilding named Admiral Makarov (9 Heroes of Stalingrad Av., 54025 Nikolaev, Ukraine).

E-mail: antr@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0835-3551>

Scopus Author ID: 57192818654

Глушко Олена Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

Глушко Елена Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

Hlushko Olena – PhD in Technical Sciences, Associate professors 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: alyona_glushko@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8243-5707>