

УДК 628.33

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.181411

ВИЛУЧЕННЯ КАТІОНІВ Cu^{2+} , Zn^{2+} та Ni^{2+} ЗІ СТИЧНИХ ВОД ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ІОНІТОМ КУ-2-8

Колегова А. С., Трохименко Г. Г., Магась Н. І.

УДАЛЕНИЕ КАТИОНОВ Cu^{2+} , Zn^{2+} и Ni^{2+} ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ИОНИТОМ КУ-2-8

Колегова А. С., Трохименко А. Г., Магась Н. И.

EXTRACTION OF Cu^{2+} , Zn^{2+} and Ni^{2+} CATIONS FROM INDUSTRIAL WASTEWATER BY IONITE KU-2-8

Kolichova A., Trokhymenko H., Magas N.

Об'єктом дослідження є модельні розчини стічних вод та промивних вод металооброблювальних підприємств, що містять іони міді, нікелю та цинку. Одним з найбільш проблемних місць є те, що недостатньо вивчені процес сорбції катіонів міді, нікелю та цинку на сильнокислотному катіоніті КУ-2-8 при високих концентрації металів.

В роботі було вивчено процеси сорбції та десорбції іонів Cu^{2+} , Zn^{2+} та Ni^{2+} на катіоніті КУ-2-8 в H^+ -формі, використовуючи модельні розчини сульфат металів за високих концентрацій. Досліди проводили в іонообмінній колонії діаметром 2 см² із завантаженням катіонітом об'ємом 20 см³. У процесі проведення досліджень вимірювали концентрацію металів титрометричними, фотометричними і інструментальними методами (концентрації іонів міді, цинку і нікелю, кислотність, лужність, рН). Модельні розчини іонів важких металів Cu^{2+} , Zn^{2+} і Ni^{2+} концентрацією 10, 20 та 50 мг-екв/дм³ пропускали через іоніт КУ-2-8 у H^+ -формі. Ємність іоніту при сорбції 0,01 н модельних розчинів у середньому досягала 2073 мг-екв/дм³, при 0,02 н – 2140 мг-екв/дм³ і при 0,05 н – 2100 мг-екв/дм³. У роботі після вилучення металів з модельних розчинів та повного насичення іоніту було вивчено умови регенерації катіоніту в Cu^{2+} , Zn^{2+} та Ni^{2+} -формі розчинами 5, 8 та 10 % сірчаної кислоти. Ефективність десорбції іонів двухвалентних металів з іоніту складала майже 100 %.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що вперше було проведено сорбцію іонів металів при концентраціях 10, 20 та 50 мг-екв/дм³ в перерахунку на метал та їх десорбцію 5, 8 та 10 % сірчаною кислотою з катіоніту.

Після проведення дослідів було запропоновано схему очищення промивних вод за допомогою іонного обміну та електролізу, що дасть змогу на підприємствах гальванічних виробництв організовувати екологічно-безпечні процеси обробки металів.

Ключові слова: важкі метали, іонний обмін, сорбція іонів металів, стічна вода, гальванічне виробництво.

Объектом исследования являются модельные растворы сточных вод и промывных вод металлообрабатывающих предприятий, содержащих ионы меди, никеля и цинка. Одним из самых проблемных мест является то, что недостаточно изучены процессы сорбции катионов меди, никеля и цинка на сильнокислотном катионите КУ-2-8 при высоких концентрациях металлов.

В работе были изучены процессы сорбции и десорбции ионов Cu^{2+} , Zn^{2+} и Ni^{2+} на катионите КУ-2-8 в H^+ -форме, используя модельные растворы сульфат металлов при высоких концентрациях. Опыты проводили в ионообменной колонке диаметром 2 см² с загруженным катионитом объемом 20 см³. В процессе проведения исследований измеряли концентрацию металлов титриметрическими, фотометрическими и инструментальными методами (концентрации ионов меди, цинка и никеля, кислотность, щелочность, pH). Модельные растворы ионов тяжелых металлов Cu^{2+} , Zn^{2+} и Ni^{2+} концентрацией 10, 20 и 50 мг-экв/дм³ пропускали через ионит КУ-2-8 в H^+ -форме. Емкость ионита при сорбции 0,01 н модельных растворов в среднем достигала 2073 мг-экв/дм³, при 0,02 н – 2140 мг-экв/дм³ и при 0,05 н – 2100 мг-экв/дм³. В работе после извлечения металлов из модельных растворов и полного насыщения ионита было изучено условия регенерации катионита в Cu^{2+} , Zn^{2+} и Ni^{2+} -форме растворами 5, 8 и 10 % серной кислотой. Эффективность десорбции ионов двухвалентных металлов с ионита составляла почти 100 %.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые было проведено сорбцию ионов металлов при концентрациях 10, 20 и 50 мг-экв/дм³ в пересчете на металл и их десорбцию 5, 8 и 10 % серной кислотой с катионита.

После проведения опытов было предложено схему очистки промывных вод с помощью ионного обмена и электролиза, что позволит на предприятиях гальванических производств организовывать экологически безопасные процессы обработки металлов.

Ключевые слова: тяжелые металлы, ионный обмен, сорбция ионов металлов, сточная вода, гальваническое производство.

1. Вступ

Збільшення техногенного навантаження на природу у сотні разів відбулося у ХХ столітті внаслідок стрімкого розвитку науково-технічного прогресу. Як наслідок, щорічно з надр нашої планети видобувається біля 30 млн. т корисних копалин; 1,5 % цієї сировини є форма продукту, що споживається, а близько 98 % – становлять відходи виробництва, які токсичні для людини. Вчені підраховали, що коли виробництво буде нарощуватись подібними темпами, то заліза людству вистачить на 250, олова – на 35, міді – на 29 років. До 2500 року людство вичерпає усі запаси металів, що є на Землі [1].

За даними Міжнародної організації Global Footprint Network людство на сьогодні вичерпало природні ресурси, а саме воду, повітря, ґрунт, які планета може відновити за рік (використання ресурсів у 1,75 раз перевищує відновлення) [2].

Збереження та відновлення водних ресурсів є одними з найгостріших питань сьогодення при нестачі чистої води або її незадовільної якості у країнах, що розвиваються. Із загальної поверхні Землі (площа 510 млн. км), вода займає біля 71 %. Але більше як 98 % усіх водних запасів Землі становлять води з високою мінералізацією, які мало придатні для споживання. Частка прісної води, яка придатна для господарського споживання – всього 4,2 млн. км (0,3 % загального об'єму гідросфери) [3].

Одними з основних джерел забруднення водних ресурсів є промислові, комунальні та сільськогосподарські стічні води, нафта та нафтопродукти, поверхневі стоки та атмосферні опади. Найбільша кількість забруднених стічних вод від промислових стоків, що мають різноманітний склад поллютантів. Але найтоксичніми стічними водами вважаються стічні води виробництв, що використовують кольорові метали та дорогі хімічні реагенти.

Стічні води (промивні та відпрацьовані концентровані розчини) гальванічних виробництв значною мірою містять іони важких металів [4], які є не тільки високотоксичними, але й цінними компонентами. Адже у наш час для України та інших країн стає актуальною проблема втрати цінних металів та їх вилучення зі стічних вод гальванічних виробництв. Одним з головних завдань є розробка нових методів очищення, знезараження, нейтралізації та утилізації забруднених стічних вод промислових підприємств.

Отже, очищення промислових стоків від іонів важких металів є досить актуальною для України та інших країн світу. Вирішити це питання можна за рахунок впровадження маловідходних технологій вилучення цінних металів із промислових стічних вод [5].

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є модельні розчини іонів металів – Cu^{2+} , Zn^{2+} та Ni^{2+} . Для сорбції цих металів використовувався катіоніт КУ-2-8 в H^+ -формі, об'ємом 20 см³. Іоніт розміщували в іонообмінній колонці (рис. 1), де проводили сорбцію та десорбцію іонів важких металів.

Регенерацію проводили сірчаною кислотою концентрацією приблизно 1000, 1600 і 2000 мг-екв/дм³.

Даний катіоніт є високоселективним до двозарядних катіонів металів, що дає змогу проводити очищення промивних вод та його регенерацію, а також створювати комплексні маловідходні технології очищення стічних вод від катіонів металів.

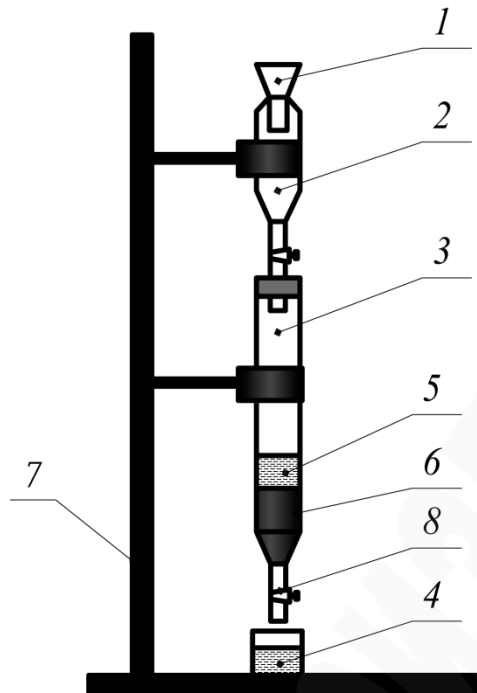


Рис. 1. Іонообмінна колонка для очищення води від іонів важких металів:
 1 – лійка; 2 – крапельна лійка; 3 – іонообмінна колонка; 4 – склянка для відбору проб; 5 – шар модельного розчину над іонітом; 6 – іоніт; 7 – штатив; 8 – гвинтовий зажим

Існує багато методів вилучення важких металів зі стічних вод, але у них всіх є як недоліки, так і переваги [6–8].

На рис. 2 представлена традиційна схема очищення промивних стоків в Україні [9].

Головним недоліком такої схеми очищення гальваностоків використовуються дорогі реагенти та утворюється велика кількість шламів, які потрібно утилізувати, що також потребує енергозатрат. Недоочищені стічні води потрапляють у навколишнє середовище й здійснюють негативний вплив як на живі організми, так і на людину.

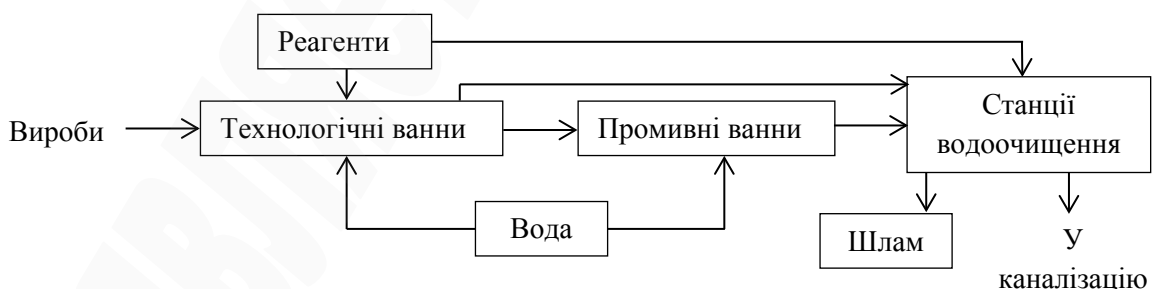


Рис. 2. Традиційна схема очищення промислових стічних вод

Тому головною задачею стає удосконалення схем очищення промивних вод, що містять іони важких металів для створення маловідходного виробництва на гальванічних підприємствах.

3. Мета та задачі дослідження

Метою наукової роботи є вивчення процесів сорбції та десорбції катіонів важких металів – Cu^{2+} , Zn^{2+} та Ni^{2+} з високомініералізованих стічних вод за допомогою іонного обміну в динамічних умовах.

Для досягнення даної мети були поставлені наступні задачі:

1. Дослідити ефективність сорбції іонів міді, цинку та нікелю на катіоніті КУ-2-8 в H^+ -формі іонообмінним методом з високомініералізованих стічних та промивних вод.

2. Вивчити процеси регенерації катіоніту від іонів міді, цинку та нікелю за допомогою сірчаної кислоти.

3. Визначити ефективність іонного обміну для високомініералізованих стічних вод, що містять іони важких металів.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Найбільш перспективними методами вилучення іонів важких металів із стічних вод різного походження є іонний обмін [10] та електроліз, що дозволяють організувати замкнуті (безстічні) цикли водокористування й забезпечують створення маловідходних процесів переробки відпрацьованих регенераційних розчинів [11].

Ефективність вилучення катіонів важких металів різними методами зі стічних промивних вод гальванічних виробництв знижується при малих концентраціях цих іонів. Тому застосування методів іонного обміну є більш перспективним при концентруванні іонів [12] для подальшого відновлення металів електрохімічними методами.

Для іонного обміну найчастіше застосовують органічні та неорганічні (мінеральні) іоніти [13]. Найбільш практичне значення для знесолення стічних вод знайшли штучні органічні іоніти з великою сорбційною поверхнею. Катіоніт КУ-2-8 є одним з таких іонітів, що має велику обмінну ємність, механічну та хімічну стійкість до середовищ [14]. Іоніт марки КУ-2-8 широко застосовується для знесолення води у різних діапазонах концентрацій катіонів, в тому числі для вилучення важких металів [15, 16]. У цих роботах показано високу поглинаючу здатність даного катіоніту до двохвалентних катіонів. Це пояснюється наявністю одного виду фіксованих іонів – сульфогрупи. При цьому працюючи як в сольовій, так і кислотній формі, катіоніт легко регенерується як кислотами, так і розчинами солей, що дає змогу створювати широкий спектр комплексних технологій очищення забруднених іонами важких металів вод.

У роботі [17] вивчали сорбцію іонів міді на катіоніті КУ-2-8 у статичних і динамічних умовах при концентрації от 1 до 30 мг/дм³. Результати досліджень показали, що у динамічних умовах сорбція відбувається ефективніше, ніж у статичних, при цьому ємність іоніту зростає.

У роботі [18] проведено ряд експериментів з вивчення кінетики сорбції міді, цинку, кадмію на синтезованих катіонітах марки КУ-2-8. Дані роботи показали його високу селективність до іонів цих металів.

Авторами роботи [19] було розроблено метод очищення кислих промивних вод травильних цехів від іонів металів Cu, Zn, Ni та Cr при концентраціях у діапазоні від 3 до 250 мг/мл. Компоненти, що містились в стічних водах, концентрували на селективних сорбентах, а потім розділяли хроматографічними методами.

Іонообмінна ємність іонів знижується при збільшенні швидкості проходження розчину в іонообмінній колоні, а також при зменшенні концентрації іонів важких металів, що пояснюється утворенням стійких аквакомплексів [20].

Таким чином, результати літературного аналізу дозволяють зробити висновок про те, що катіоніт марки КУ-2-8 можна використовувати для очищення стічних вод металооброблювальних підприємств в різних діапазонах концентрацій. Іоніт також легко регенерувати кислотами і його можливо використовувати багаторазово.

5. Методи дослідження

Катіоніт об'ємом 20 см³ розміщали у іонообмінну колонку (рис. 1) з діаметром 2 см. Витрата модельного розчину при сорбції становила 10–15 см³/хв, а витрата розчину при десорбції іонів металів – 2–5 см³/хв.

Як модельні розчини використовували сульфат міді, сульфат цинку та сульфат нікелю, розчинені у дистильованій воді. Сорбцію та регенерацію проводили за одним металом у модельному розчині на катіоніті при концентраціях: Cu²⁺ – 10, 20, 50 мг-екв/дм³; Zn²⁺ – 10, 20, 50 мг-екв/дм³ та Ni²⁺ – 10, 20, 50 мг-екв/дм³. Під час проведення сорбції відбирали проби об'ємом 100–500 см³ й аналізували на вміст міді за методом спектрофотометрії [21], цинк та нікель – за методом трилонометрії з урахуванням концентрації міді [21]. Також у пробах контролювали кислотність та рН.

Регенерацію катіоніту КУ-2-8 проводили 5, 8 та 10-% сірчаною кислотою в іонообмінній колонці (рис. 1). Об'єм проб, що відбиралися складав 20–50 см³. У пробах також контролювали концентрацію катіонів, кислотність, лужність та рН середовища.

6. Результати досліджень

Результати сорбції іонів міді, цинку та нікелю на катіоніті у динамічних умовах представлені на рис. 3–5.

Як показали дослідження (рис. 3), повна обмінна динамічна ємність (ПОДЕ) іоніту досягає у середньому 2073 мг-екв/дм³ при пропусканні 0,01 н модельних розчинів. До проскоку іонів важких металів у аналізованому розчині було пропущено 2,5–3 дм³ модельних розчинів, а до повного насичення іоніту потрібно було пропустити 5–5,5 дм³, що видно з графіків на рис. 3.

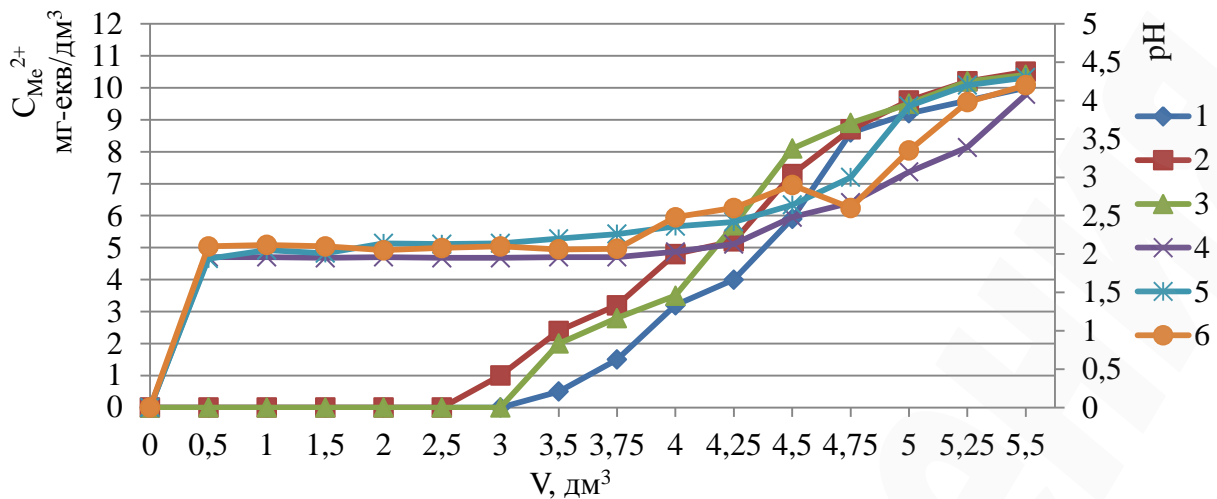


Рис. 3. Залежність концентрацій сорбованих іонів міді ($[\text{Cu}^{2+}] = 10$ мг-екв/дм³) (1), рН (4); іонів цинку ($[\text{Zn}^{2+}] = 10,5$ мг-екв/дм³) (2), рН (5); іонів нікелю ($[\text{Ni}^{2+}] = 10,4$ мг-екв/дм³) (3), рН (6) модельних розчинів від пропущеного об'єму через катіоніт КУ-2-8 в Н⁺-формі ($V_i = 20$ см³) (ПОДС (1) = 2087,5 мг-екв/дм³, ПОДС (2) = 2059 мг-екв/дм³, ПОДС (3) = 2072 мг-екв/дм³)

При пропусканні модельних розчинів з концентрацією 0,02 н повна обмінна динамічна ємність іоніту сягала в середньому 2140 мг-екв/дм³. Об'єм пропущених модельних розчинів до проскоку важких металів був приблизно 1,5 дм³. Для повного насичення катіоніту знадобилося пропустити приблизно 3,25 дм³ розчинів важких металів (рис. 4).

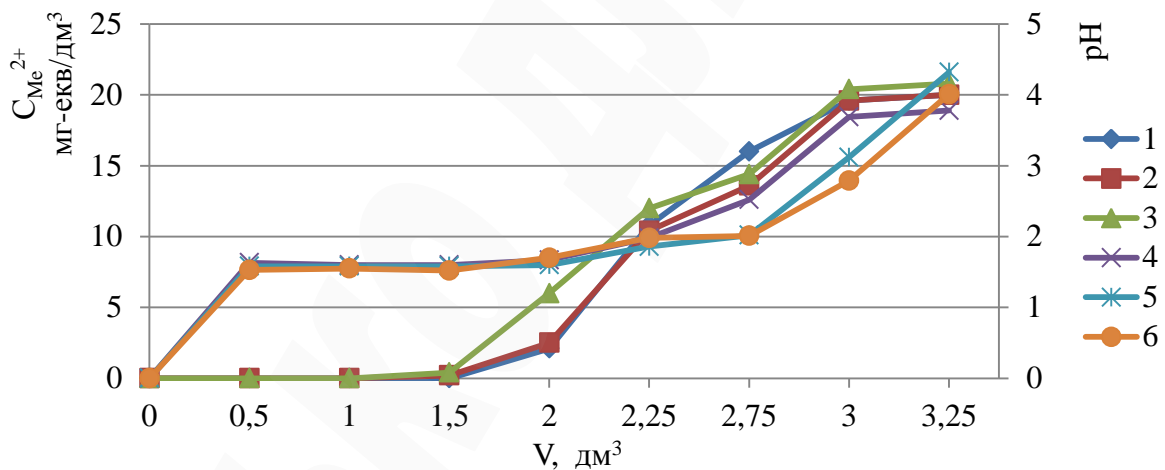


Рис. 4. Залежність концентрацій сорбованих іонів міді ($[\text{Cu}^{2+}] = 20$ мг-екв/дм³) (1), рН (4); іонів цинку ($[\text{Zn}^{2+}] = 20$ мг-екв/дм³) (2), рН (5); іонів нікелю ($[\text{Ni}^{2+}] = 21$ мг-екв/дм³) (3), рН (6) модельних розчинів від пропущеного об'єму через катіоніт КУ-2-8 в Н⁺-формі ($V_i = 20$ см³) (ПОДС (1) = 2107,5 мг-екв/дм³, ПОДС (2) = 2190 мг-екв/дм³, ПОДС (3) = 2120 мг-екв/дм³)

При пропусканні 0,05 н модельних розчинів обмінна ємність катіоніту була у середньому 2100 мг-екв/дм³. Повне насичення катіоніту відбувалось при

пропусканні 1,2 дм³ розчину, до проскоку металів було пропущено 0,6 дм³ розчину, як видно з рис. 5.

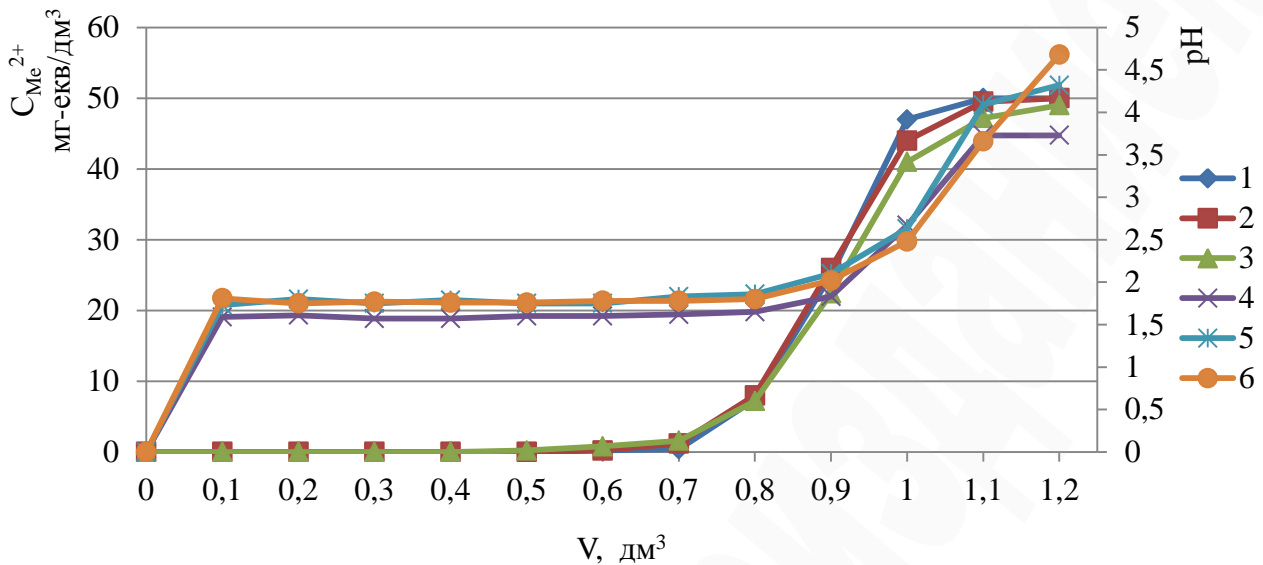


Рис. 5. Залежність концентрацій сорбованих іонів міді ($[Cu^{2+}] = 50$ мг-екв/дм³) (1), pH (4); іонів цинку ($[Zn^{2+}] = 50$ мг-екв/дм³) (2), pH (5); іонів нікелю ($[Ni^{2+}] = 49$ мг-екв/дм³) (3), pH (6) модельних розчинів від пропущеного об'єму через катіоніт КУ-2-8 в Н⁺-формі ($V_i = 20$ см³) (ПОДС (1) = 2100 мг-екв/дм³, ПОДС (2) = 2105,5 мг-екв/дм³, ПОДС (3) = 2093 мг-екв/дм³)

З представлених графіків (рис. 3–5) видно, що pH відібраних проб зростає при зменшенні кислотності, а іоніт КУ-2-8 при цьому насичувався катіонами Cu^{2+} , Zn^{2+} та Ni^{2+} . У цілому сорбція іонів металів відбувалась досить ефективно, що й очікувалося.

Для того, щоб оцінити ефективність іонообмінного очищення води від важких металів, потрібно враховувати не тільки сорбційну ємність, а й ступінь регенерації катіоніта. Тому, після вивчення сорбції важких металів на катіоніті було проведено регенерацію сірчаною кислотою.

Результати регенерації іоніту в Cu^{2+} , Zn^{2+} та Ni^{2+} – формі показані на рис. 6–8.

Під час десорбції іонів металів 5% сірчаною кислотою (рис. 6) концентрація катіонів Cu^{2+} , Zn^{2+} та Ni^{2+} у першій пробі складала у середньому 583 мг-екв/дм³, в останній пробі досягала 0 мг-екв/дм³. При цьому кислотність збільшувалась у середньому від 298,3 мг-екв/дм³ до 998,3 мг-екв/дм³, а pH відібраних проб зменшувалось.

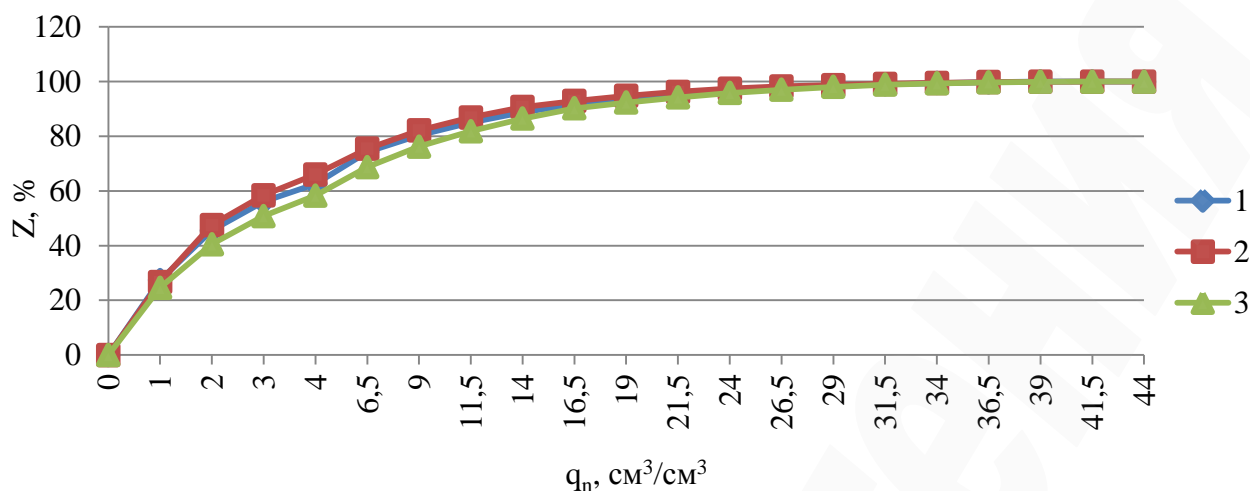


Рис. 6. Залежність ступеня десорбції іонів міді (1), цинку (2) та нікелю (3) від питомої витрати 5 %-ї H_2SO_4 (cm^3/cm^3) через катіоніт КУ-2-8 в Cu^{2+} , Zn^{2+} та Ni^{2+} -формі ($V_i=20\text{cm}^3$) при масі сорбованих іонів, мг-екв: 41,8 (1), 42,11 (2) та 41,86 (3)

Регенерація іоніту КУ-2-8 у динамічних умовах 8 % H_2SO_4 представлена на рис. 7. З графіків видно, що ефективність десорбції металів досягає 100 %. Концентрація металів у першій пробі була в середньому $808 \text{ мг-екв}/\text{дм}^3$, в останній в середньому $0 \text{ мг-екв}/\text{дм}^3$. Кислотність також збільшувалась, а рН розчинів зменшувался.

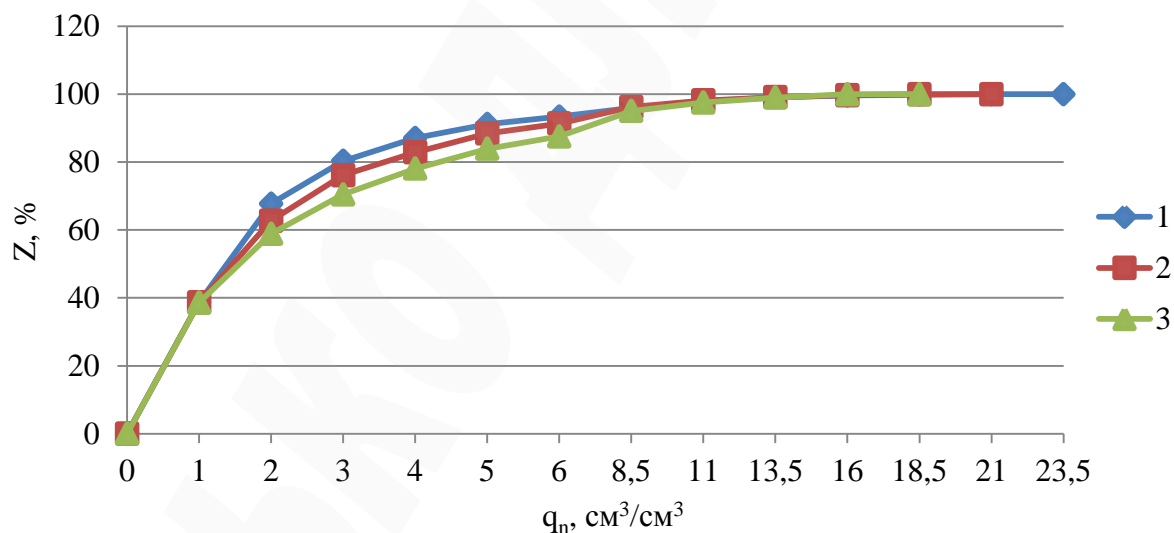


Рис. 7. Залежність ступеня десорбції іонів міді (1), цинку (2) та нікелю (3) від питомої витрати 8 %-ї H_2SO_4 (cm^3/cm^3) через катіоніт КУ-2-8 в Cu^{2+} , Zn^{2+} та Ni^{2+} -формі ($V_i=20\text{cm}^3$) при масі сорбованих іонів, мг-екв: 40,34 (1), 41,18 (2) та 41,43 (3)

Десорбція іонів важких металів 10 % кислотою показало більшу ефективність, ніж регенерація 5 чи 8 % сірчаною кислотою, що видно з графіків на рис. 8. Концентрація катіонів у перших пробах у середньому складала

836,4 мг-екв/дм³, в останніх – 0 мг-екв/дм³, при цьому кислотність зростала з кожною пробою.

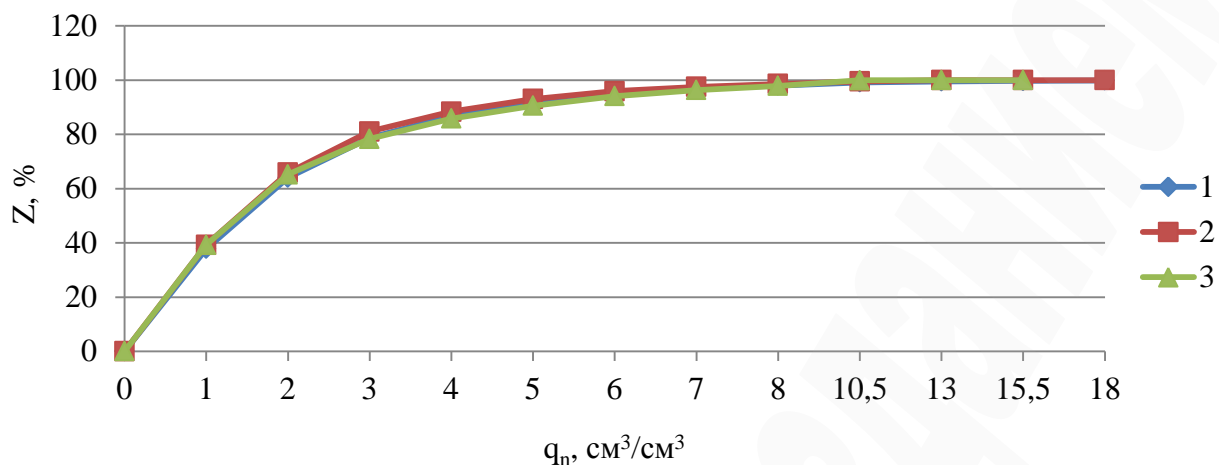


Рис. 8. Залежність ступеня десорбції іонів міді (1), цинку (2) та нікелю (3) від питомої витрати 10 %-ї H₂SO₄ (см³/см³) через катіоніт КУ-2-8 в Cu²⁺, Zn²⁺ та Ni²⁺-формі (V_i=20см³) при масі сорбованих іонів, мг-екв: 41,74 (1), 42,75 (2) та 42,3 (3)

Експерименти показали досить ефективну регенерацію іоніту 5, 8 та 10-% сірчаною кислотою. При 10 % H₂SO₄ десорбція іонів металів була найефективнішою, ніж при регенерації 5 та 8 %-ю кислотою.

Після отримання регенераційних розчинів сумішей металів доцільно проводити їх електроліз, що є наступним етапом очищення стічних вод, які забруднені важкими металами [5].

Після проведення досліджень було запропоновано принципову технологічну схему очищення промивних вод від іонів важких металів, у тому числі міді, цинку та нікелю (рис. 9).

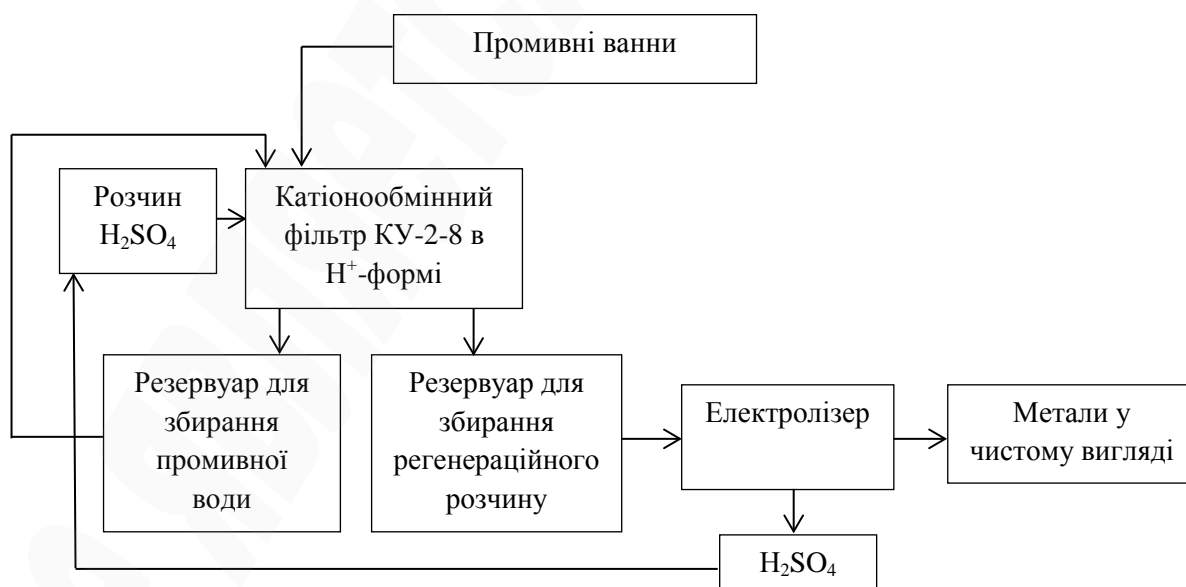


Рис. 9. Принципова технологічна схема очищення промивних вод гальванічних виробництв за допомогою іонного обміну та електролізу

Відпрацьована промивна вода, що містить катіони металів, потрапляє до катіонообмінного фільтру, де відбувається іонний на іоніті КУ-2-8. Після цього, регенераційні розчини, що містять в собі високу концентрацію металу і сірчаної кислоти надходять до електролізера, де проходить електрохімічне виділення металу і кислоти. Кислота у чистому вигляді з електролізера повертається знову на регенерацію катіонообмінника. Таким чином, можна організувати безвідходні процеси вилучення металів з промивних вод гальванічних виробництв, які є екологічно чистими та економічно вигідними.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Іоніт марки КУ-2-8 в кислій формі є високоселективним до двовалентних катіонів металів (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+}) та ступінь десорбції іоніта у середньому сягала майже 100 %. Тому його застосування для концентрування металів при очищенні промивних стічних водах є досить ефективним.

Weaknesses. Відомо, що у промивних, регенераційних та стічних водах металообробних виробництв є суміші іонів важких металів. Тому, для об'єктивного вивчення і створення комплексних технологій очищення цих вод потрібно проводити експерименти із сумішшю важких металів.

Opportunities. Після проведення десорбції металів на іоніті КУ-2-8 утворенні регенераційні розчини доцільно переробляти електрохімічним методом в однокамерному електролізері, що дає змогу повертати цінні компоненти у виробництво.

Threats. Сорбційні методи концентрування іонів важких металів на катіоніті займають багато часу, а також швидкість сорбування іонів пропорційно залежить від швидкості пропускання промивних стічних вод.

8. Висновки

1. Проведено сорбцію іонів важких металів (мідь, цинк, нікель) на сильнокислотному катіоніті КУ-2-8 в H^+ -формі. Визначено, що сорбція металів на катіоніті відбувається ефективно і селективність даного катіоніта майже однакова за цими металами. Також, обмінна ємність іоніту змінювалась від концентрацій металів у модельних розчинах.

2. Результати регенерації суміші металів на іоніті КУ-2-8 в Cu^{2+} , Zn^{2+} та Ni^{2+} -формі при 5, 8 та 10-% сірчаної кислоти показали, що регенерація відбувається майже на 100 %.

3. Встановлено, що після проведення сорбції та десорбції важких металів на катіоніті доцільно проводити електроліз цих металів.

Запропоновано принципову технологічну схему очищення промивних вод гальванічних виробництв за допомогою іонного обміну та електролізу, що дасть змогу створити замкнені системи очищення стічних вод, забруднених іонами важких металів.

Література

1. Danylian, O. H., Taranenko, V. M. (2003). *Osnovy filosofii*. Kharkiv: Pravo, 352.

2. *Earth Overshoot Day 2019 is July 29th, the earliest ever* (2019). Global Footprint Network. Available at: <https://www.footprintnetwork.org/2019/06/26/press-release-june-2019-earth-overshoot-day/>
3. Khilchevskiy, V. K., Obodovskiy, O. H., Hrebin, V. V. et. al. (2008). *Zahalna hidrolohiia*. Kyiv: Vydavnychopolihrafichnyi tsentr «Kyivskiy universytet», 399.
4. Carstea, E. M., Bridgeman, J., Baker, A., Reynolds, D. M. (2016). Fluorescence spectroscopy for wastewater monitoring: A review. *Water Research*, 95, 205–219. doi: <http://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.021>
5. Koliehova, A. S., Trokhymenko, H. H., Homelia, M. D. (2018). Vyvchennia ionoobminnykh protsesiv vyluchennia ioniv midi ta tsynku na kationiti KU-2-8 ta elektrokhimichne rozdilennia reheneratsiinykh rozchyniv u systemi Cu-Zn. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky*, 29 (68 (1 (2))), 142–147.
6. Carolin, C. F., Kumar, P. S., Saravanan, A., Joshiba, G. J., Naushad, M. (2017). Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5 (3), 2782–2799. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jece.2017.05.029>
7. Gunatilake, S. K. (2015). Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*, 1 (1), 12–18.
8. Azimi, A., Azari, A., Rezakazemi, M., Ansarpour, M. (2017). Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters: A Review. *ChemBioEng Reviews*, 4 (1), 37–59. doi: <http://doi.org/10.1002/cben.201600010>
9. Pliatsuk, L. D., Melnyk, O. S. (2008) Analiz tekhnolohii ochystky halvanichnykh stokiv v Ukraini. *Visnyk Sumskoho derzhavnoho universytetu. Serii Tekhnichni nauky*, 2, 116–121.
10. Calmon, C.; Calmon, C., Gold, H., Prober, R. (Eds.) (1979). *Ion exchange pollution control (Vol. 2)*. CRC Press, Pub. location Boca Raton. doi: <http://doi.org/10.1201/9781351073868>
11. Chaplin, B. P. (2019). The Prospect of Electrochemical Technologies Advancing Worldwide Water Treatment. *Accounts of Chemical Research*, 52 (3), 596–604. doi: <http://doi.org/10.1021/acs.accounts.8b00611>
12. Nachod, F. C., Schubert, J. (1956). *Ion Exchange Technology*. Imprint Academic Press. doi: <http://doi.org/10.1016/c2013-0-12449-x>
13. Bolshanina, S. B., Hurets, H. M., Balabukha, D. S., Miliaieva, D. V. (2014). Ochyshchennia stichnykh vod halvanichnykh vyrobnytstv sorbtsiinymy metodamy. *Ekolohichna bezpeka*, 1, 114–118.
14. Minaieva, V. O. (2013). *Ionnyi obmin ta ionoobminna khromatohrafiia*. Cherkasy: ChNU imeni Bohdana Khmelnytskoho, 128.
15. Gomelya, N., Ivanova, V., Trus, I. (2017). Efficiency of extraction heavy metal ions from diluted solutions by ion-exchange methods. *Technical sciences and technologies*, 4 (10), 154–162. doi: [http://doi.org/10.25140/2411-5363-2017-4\(10\)-154-162](http://doi.org/10.25140/2411-5363-2017-4(10)-154-162)
16. Verbych, S., Hilal, N., Sorokin, G., Leaper, M. (2005). Ion Exchange Extraction of Heavy Metal Ions from Wastewater. *Separation Science and Technology*, 39 (9), 2031–2040. doi: <http://doi.org/10.1081/ss-120039317>

17. Homelia, M. D., Ivanova, V. P., Kamaiev, V. S., Marushchak, Yu. A. (2017). Kontsentrivannia kationiv vazhkykh metaliv na prykladi ioniv midi pry zastosuvanni kationitu KU-2-8. *Intehrovani tekhnologii ta enerhozberezhennia*, 4, 70–75.

18. Bobylev, A. E., Ikanina, E. V., Markov, V. F., Maskaeva, L. N. (2013). Kompozicionnye sorbenty na osnove kationita KU-2×8 s nanostrukturirovannoi gidroksidnoi ili sulfidnoi aktivnoi komponentnoi. *Kondensirovannye srody i mezhfaznye granicy*, 15 (3), 238–246.

19. Sokolova, L. P., Skorniyakov, V. V., Kargman, V. B., Saldadse, K. M. (1986). Selective separation of components [copper, nickel, zinc, chromium(VI)] in the process of ion-exchange purification of waste waters. *Journal of Chromatography A*, 364, 135–142. doi: [http://doi.org/10.1016/s0021-9673\(00\)96203-4](http://doi.org/10.1016/s0021-9673(00)96203-4)

20. Galimova, A. R., Tunakova, Iu. A., Kulakov, A. A. (2013). Issledovanie sorbcionnykh kharakteristik polimernykh ionitov, ispolzuemykh v vodopodgotovke. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 16 (10), 141–145.

21. Lure, Iu. Iu. (1989). *Spravochnik po analiticheskoi khimii*. Moscow: Khimiia, 448.

The object of the research is model solutions of wastewater and wash water from metal processing enterprises containing copper, nickel and zinc ions. One of the most problematic places is that the process of sorption of copper, nickel and zinc cations on the strongly acidic cation exchanger KU-2-8 at high metal concentrations is not well understood.

The sorption and desorption processes of Cu^{2+} , Zn^{2+} and Ni^{2+} ions on KU-2-8 cation exchanger in the H^+ form are studied using model solutions of metal sulfate at high concentrations. The experiments were carried out in an ion-exchange column with a diameter of 2 cm² loaded with cation exchanger with a volume of 20 cm³. During the research, the concentration of metals was measured by titrometric, photometric and instrumental methods (concentration of copper, zinc and nickel ions, acidity, alkalinity, pH). Model solutions of heavy metal ions Cu^{2+} , Zn^{2+} and Ni^{2+} with a concentration of 10, 20, and 50 mg-Eq/dm³ were passed through KU-2-8 ion exchanger in the H^+ form. During sorption of 0.01 n model solutions, the ion exchanger capacity on average reached 2073 mg-Eq/dm³, at 0.02 n – 2140 mg-Eq/dm³ and at 0.05 n – 2100 mg-Eq/dm³. After metal extraction from model solutions and complete saturation of the ion exchanger, the conditions for the regeneration of cation exchanger in the Cu^{2+} , Zn^{2+} and Ni^{2+} form with solutions of 5, 8 and 10 % sulfuric acid were studied. The efficiency of desorption of divalent metal ions from an ion exchanger was almost 100 %.

The scientific novelty of the work lies in the fact that metal ions were sorbed for the first time at concentrations of 10, 20, and 50 mg-Eq/dm³ in terms of metal and their desorption of 5, 8, and 10 % sulfuric acid from cation exchanger.

After the experiments, a scheme for washing water treatment using ion exchange and electrolysis was proposed, which will allow the organization of environmentally friendly metal processing processes at galvanic enterprises.

Keywords: heavy metals, ion exchange, sorption of metal ions, waste water, galvanic production.