

ОЧИСТКА СТИЧНИХ ВОД ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ВІД СПОЛУК КАДМІЮ

Олексій Терновцев¹, Олена Зоря², Вікторія Стоянова³

^{1,2,3} Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

¹ aternovtsev@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-1761-2444>

² zoriaolena@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-4878-5164>

³ victoriya199420@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2510-3586>

Анотація. Стаття присвячена проблемі вирішення актуальної задачі екології – раціональному використанню водних ресурсів. Найбільш шкідливими і розповсюдженими токсичними речовинами стічних вод, а в деяких випадках і природних є сполуки важких металів, зокрема кадмію, який належить до 2-го класу небезпеки.

Наявність великої кількості металопреробних підприємств, хімічного, машинобудівного, металургійного профілю які мають гальванічні цехи для нанесення металевих покриттів, що приводить до утворення великої кількості металовмісних стоків, що робить проблему очищення стічних вод з вмістом важких металів доволі актуальною.

Серед розроблених підходів важливе місце займають сорбційні методи, які забезпечують найбільш повне вилучення токсичних іонів, особливо із розчинів з низькою концентрацією, яка перевищує допустимі норми. Успішний розвиток сорбційної технології очищення води полягає в розробці високоякісних сорбентів.

Розробка ефективних методів очищення стічних вод промислових підприємств від іонів важких металів є актуальною проблемою сьогодні. Представлено результати експериментальних досліджень очистки води від іонів кадмію з використанням феромагнітних сорбентів, отриманих з відпрацьованих промислових розчинів. Визначено оптимальні параметри процесу очистки від дози магнетиту, рН середовища, при різному співвідношенні $Fe^{2+} : Fe^{3+}$ в магнетиті.



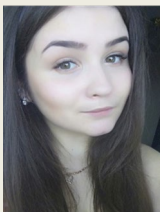
Олексій ТЕРНОВЦЕВ

доцент кафедри водопостачання та водовідведення,
Керівник «Лабораторії води»
КНУБА
к.т.н., доцент



Олена ЗОРЯ

доцент кафедри водопостачання та водовідведення,
к.т.н., доцент



Вікторія СТОЯНОВА

здобувач вищої освіти рівня PhD
кафедри водопостачання та водовідведення,
лаборант «Лабораторії води»
КНУБА

Ключові слова. Стічні води; важкі метали; гальванотехніка; ефект очистки; ферит; оксиди заліза; кадмій.

ВСТУП

У поверхневих водах річкового басейну Дніпра виявлено 161 забруднювач, зокрема гербіцид атразин, метали кадмій і нікель.

Це загрожує здоров'ю населення України та може спричинити екологічну катастрофу [1]. Такі висновки екологічного дослідження оприлюднила пресслужба Рахункової палати України. Результати аудиту ефективності цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро свідчать, що показники якості води в річці невпинно погіршуються. Кадмій потрапляє у водні об'єкти із погано очищеними стічними водами.

Стічні води, що містять кадмій, утворюються переважно в результаті технологічних операцій в гальванотехніці, при виготовленні барвників, а також при збагаченні поліметалевих руд. Кадмій використовують в атомній і ракетній техніці, виробництві лужних акумуляторів, він входить до складу полімерів (в якості стабілізаторів), спеціальних сплавів і антикорозійних покриттів, які використовують в харчовій промисловості і водопровідній практиці.

Сполуки кадмію надзвичайно отруйні. Впливають на більшість систем організму – органи дихання і шлунково-кишковий тракт, центральну і периферичну нервову системи [12]. Механізм дії сполук кадмію полягає в пригніченні активності ряду ферментів, порушенні фосфорно-кальціє-вого обміну, порушення метаболізму мікроелементів (Zn, Cu, Mn, Se). ГДК кадмію у воді водоймищ становить 0.001 мг/л, лімітуючий показник шкідливості – санітарнотоксикологічний [9].

В природному середовищі він зустрічається, як правило, в невисоких концентраціях, які не викликають біологічних ефектів. В нормальних геохімічних умовах вміст кадмію в природних водах не перевищує 0.05 – 1мкг/л, однак в кадмієвих геохімічних провінціях досягає 10мкг/л. Джерелом більш високих концентрацій кадмію (декількох десятків мікрограмів на 1л) у воді служать неочищені стоки промислових підприємств. За кордоном використання металевих труб і резервуарів з гальванічним покриттям та неякісних пластмасових труб для подачі води в ряді випадків супроводжувались підвищенням рівня кадмія у воді до 0,2 – 4

мг/л. У водоймах кадмій сорбується завислими речовинами і з ними осідає на дно. При підвищенні рН води кадмій знову переходить у воду. Кадмій шкодить рослинам і екосистемам в цілому, руйнує здоров'я людини, розповсюджуючись по харчовому ланцюгу. Іони кадмія належать до забруднювачів 2-го класу токсичності, що обумовлює необхідність відділення стічних вод із вмістом іонів кадмію в окремий потік і його локальне знешкодження. В зв'язку з чим вилучення і нейтралізація кадмію є однією з пріоритетних екологічних задач.

Для вилучення іонів кадмію з розчинів традиційно використовують такі методи як: реагента обробка, іонний обмін та мембранні методи [10]. Основним методом вилучення іонів кадмію з стічних вод є сумісне осідання гідроксидів важких металів під дією вапняного молока. Існуючі на сьогодні технології, які забезпечують екологічно безпечну якість стічних вод, не знайшли широкого розповсюдження по різних причинах, основна з яких – економічна недоцільність. Виникає необхідність в розробці і впровадженні автоматизованих розгалужених технологічних схем на базі існуючих, впровадження перспективних способів очистки, необхідна модернізація очисних споруд з використанням новітніх технологій очистки і обладнання.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасний науково-технічний прогрес пов'язаний з постійним прискоренням темпів споживання водних ресурсів і розвитком виробництв. Будь-яка галузь промисловості є джерелом потрапляння у водне середовище забруднюючих речовин із стічними водами, які погіршують її якість. Кількісний і якісний склад стічних вод різноманітний і залежить від галузі промисловості та технологічних процесів.

Забруднення промислових стічних вод складаються з залишків оброблюваної сировини і реагентів, застосованих в технологічному процесі. Найбільш характерними і небезпечними забруднюючими речовинами

стічних вод основних галузей промисловості є екстрагуючі речовини, ПАВ, іони важких металів (мідь, залізо, цинк, нікель), різні органічні речовини.[3] Особливою специфікою відрізняються гальванічні процеси, які широко використовуються у виробничому циклі машинобудівельних, приладобудівних, електротехнічних підприємств. З одного боку, такі підприємства споживають значну кількість чистої води, з іншого – утворюється великий об'єм рідких відходів (стічних вод, електролітів і різних концентратів). При їх переробці реагентними, електрокоагуляційними, іонообмінними і іншими методами утворюються токсичні відходи – гальванічні шлами, які складаються з важкорозчинних гідроксидів, карбонатів, сульфідів важких металів [4]. Найбільш доцільним способом утилізації гальванічних шламів представляється комплексне вилучення з них цінних речовин, однак всі розроблені технології потребують використання багатостадійних процесів з використанням різноманітних, в тому числі токсичних реагентів (хімічні) або значних витрат енергії (електрохімічні) методи [5]. Крім того, реалізація таких процесів потребує значних капітальних вкладень. Одним з пе-

рспективних напрямків вирішення проблеми ліквідації шламів є їх хімічна стабілізація методом феритизації - модифікації реагентного очищення стічних вод від іонів важких металів за допомогою залізовмісних реагентів [7].

При постійному зростанні дефіциту води «свіжої» якості більшість дослідників та розробників пропонують очищені стічні води розглядати як важливе джерело водопостачання промислового підприємства.

Виходячи з цього, системи водопостачання та водовідведення промислового підприємства необхідно розглядати як єдиний технологічний комплекс. Проблема очистки і багаторазового використання промислових стічних вод не може бути вирішена тільки пошуками багатьох приватних способів, придатних для окремо взятого підприємства.

Для відпрацювання технології і уточнення впливу на технологічний режим процесу очистки стічних вод гальванічного виробництва від іонів важких металів дози магнетита, часу проведення реакції, рН середовища, концентрації іонів важких металів і температури використовувалась експериментальна установка, схема якої наведена на рис.1.

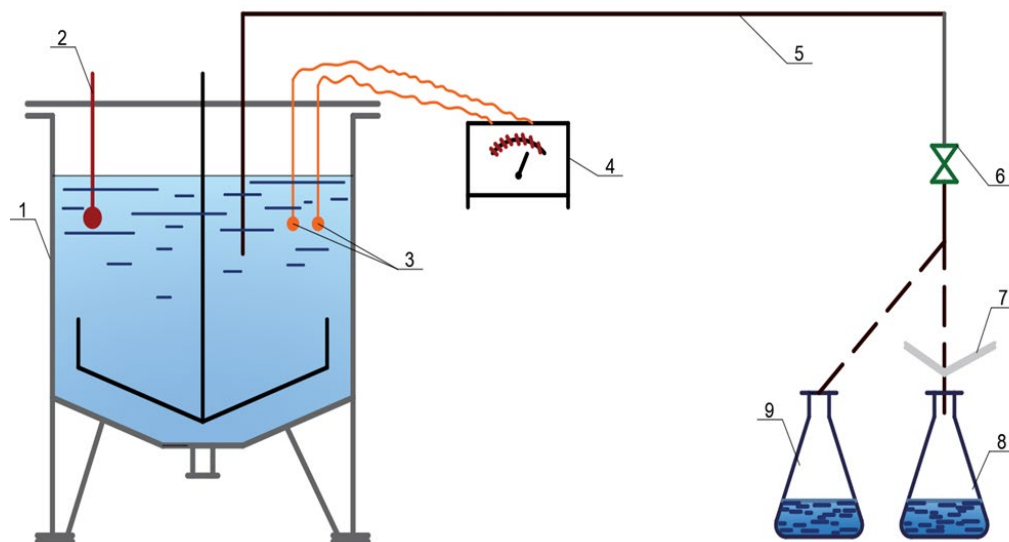


Рис.1. Схема експериментальної установки для дослідження процесу очистки стічних вод гальванічного виробництва від іонів важких металів

Fig. 1. Scheme of an experimental installation for the study of the process of purification of electroplating wastewater from heavy metal ions

Установка складається з реактора з мішалником (1), який являє собою сталю емальовану ємність діаметром 400 мм, висотою 535 мм, об'ємом 63 л. На валу нанесено поділки в см. для заміру глибини депресійної лійки, по якій визначали висоту підйому рівня рідини в реакторі. Мішалник з електродвигуном через автотранс-форматор має змінну частоту обертання від 0,2 до 5,8 с⁻¹. Термометр (2), датчики рН-метра (3,4) і поліетиленова трубка (5) діаметром 5 мм для відбору проб, яку закріпили в кришці реактора. Кран (6) з трубкою (5) працювали в режимі сифону. Проба відфільтрувалась через фільтрувальний папір (7), який було розміщено в лійці. Фільтрат збирався в колбу (8). Ємність (9) призначена для збору продувуваних стоків. При проведенні досліджень визначення впливу температури на кінетику процесу охолодження чи нагріву стічних вод виконувалось через кришку реактора від баку з водою. Вода через кришку реактора прокачувалась побутовим насосом продуктивністю 400 л/год. Вода в баку охолоджувалась льодом чи підігрівалась електричним кип'ятильником.

Для визначення розміру частинок суспензії магнетиту відбирали 200 мл проби, відмиті до рН=6...7, а потім для стабілізації розчину і запобігання злипанню окремих частинок в суспензію добавляли 25 мл 20% розчину лаурилсульфат натрію і обережно перемішували протягом 10 хвилин. Розчин відстоювали і декантували відстоюну частину. В осад добавляли 25 мл 15% розчину желатину з температурою 35...45°C. Після цього пробу при неперервному обережному перемішуванні охолоджували до різкого збільшення в'язкості желатини і переходу її в желеподібний стан. В подальшому пробу зберігали при температурі 0...5°C.

Для мікроскопічного аналізу робили по десять зрізів з отриманої проби і з допомогою металографічного мікроскопу підраховували на кожному зрізі кількість частинок з різними інтервалами діаметрів, потім підрахунки сумували і методом математичної статистики визначали середнє значення. Середній діаметр частинок складає 0,84 мкм.

Щільність частинок визначали після фільтрації і сушки осаду при температурі 105°C протягом 2-ох годин методом гідростатичного зважування.

Методика проведення експериментів по вивченню процесу очистки стічних вод від іонів важких металів обумовлювалась метою дослідження. По-перше, процес необхідно проводити в умовах рівномірного розподілу частинок магнетиту по всьому об'єму камери реакції, і, по-друге, на першому етапі проведення досліджень вплив гідродинамічних факторів повинен бути мінімальним. Тому частоту обертання мішалника поступово збільшували за допомогою автотрансформатора до певної величини, коли всі частинки магнетита знаходились в зваженому стані, досягаючи однорідності перемішування.

Дослідження процесу очистки стічних вод гальванічного виробництва від іонів кадмію (II) з використання магнетита (рис.2).

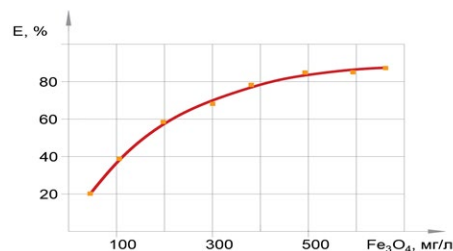


Рис.2. Залежність повноти очистки від дози магнетиту ($C_{Cd^{2+}поч.} = 62$ мг/л, рН=8,0, магнетит із солей заліза)

Fig. 2. Dependence of the completeness of purification on the dose of magnetite ($C_{Cd^{2+}initial} = 62$ mg/l, рН=8.0, magnetite from iron salts)

При використанні магнетиту, отриманого із розчинів солей заліза, повнота очистки 85...90% досягається при співвідношенні $Fe_3SO_4 : Cd^{2+} = 10:1$.

Із отриманих залежностей видно, що повнота очистки залежить від способу і структури частинок при отриманні магнетита.

В відповідності з запропонованою єдиною брутто-формулою оксигідратів частинки магнетита в водному розчині за рахунок іонно-електростатичних, магнітних і молекулярних сил знаходяться в оболонці, що

складається з гідроксильних іонів і гідроксидів заліза, утворюючи надміцелярні агрегати. Доводами на користь запропонованого хімізму очистки води від іонів кадмію (II) з використанням магнетита є результати вивчення залежності повноти очистки від рН середовища (рис.3) і фільтрації під напором при зневодненні осаду (рис.4). Магнетит отримували із солей заліза, з подальшою відмивкою рН=7,0.

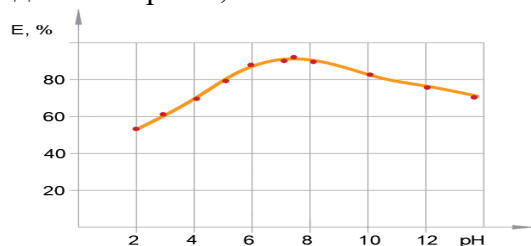


Рис.3. Залежність повноти очистки води від іонів кадмію (II) при різних рН середовища ($C_{Cd^{2+}+поч.} = 58$ мг/л, $C_{Fe_2SO_4} : C_{Cd^{2+}} = 10:1$)

Fig. 3. Dependence of the completeness of water purification on cadmium (II) ions at different pH of the environment ($C_{Cd^{2+}}$ initial – 58 mg/l, $C_{Fe_2SO_4} : C_{Cd^{2+}} = 10:1$).

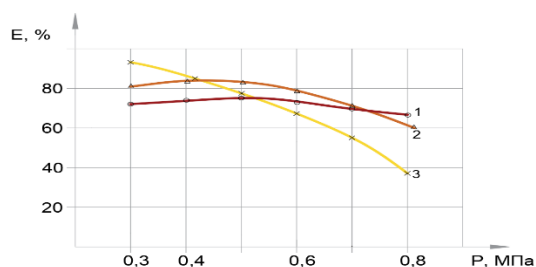


Рис.4. Залежність повноти очистки води від іонів кадмію (II) при різному напорі фільтрації (рН=8,0, $C_{Cd^{2+}+поч.} = 61$ мг/л, $C_{Fe_2SO_4} : C_{Cd^{2+}} = 10:1$)
1 - $d_{Fe_3SO_4} = 1,42$ мкм; 2 - $d_{Fe_3SO_4} = 0,82$ мкм; 3 - $d_{Fe_3SO_4} = 0,39$ мкм

Fig. 4. Dependence of the completeness of water purification on cadmium (II) ions at different filtration pressures (pH=8.0, $C_{Cd^{2+}}$ initial – 61 mg/l, $C_{Fe_2SO_4} : C_{Cd^{2+}} = 10:1$)
1 - $d_{Fe_3SO_4} = 1.42$ μ m; 2 - $d_{Fe_3SO_4} = 0.82$ μ m; 3 - $d_{Fe_3SO_4} = 0.39$ μ m

При введенні суспензії магнетита в стічні води з рН < 5 в гідратній оболонці останнього знаходиться незначна кількість іонів

ОН, а при рН > 10 відбувається розчинення утворюваного гідроксида кадмію за рахунок надлишкової лужності. При підвищенні напору фільтрації більш ніж 0,6 МПа за рахунок тангенціальних сил відбувається відрив частинок гідроксида кадмію з частинок магнетита.

Виходячи з запропонованого хімізму очистки води від іонів кадмію (II), на експериментальній установці (рис.1) досліджено вплив співвідношення $Fe_2SO_4 : Fe^{3+}$ при отриманні магнетита на повноту очистки, отримані результати наведено на рис.5.

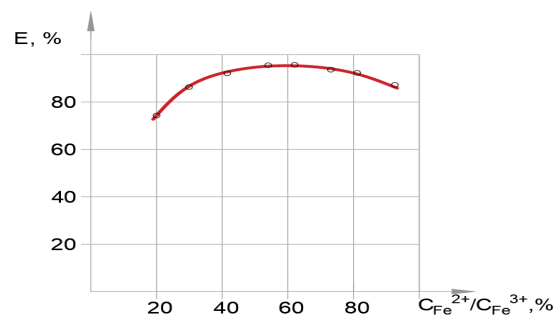


Рис.5. Залежність повноти очистки води від іонів кадмію (II) при різному співвідношенні $Fe^{2+} : Fe^{3+}$ в магнетиті (рН=7,0, $P_{фiльтр} = 0,6$ Мпа, $C_{Cd^{2+}+поч.} = 56$ мг/л)

Fig. 5. Dependence of the completeness of water purification on cadmium (II) ions at different $Fe^{2+} : Fe^{3+}$ ratios in magnetite (pH=7.0, $P_{filter} = 0.6$ Mpa, $C_{Cd^{2+}}$ initial = 56 mg/l)

Наведена залежність ще раз підтверджує запропонований хімізм очистки води від іонів кадмію (II) з використанням магнетита. Повнота очистки більше 95% досягається на частинках магнетита, які мають оболонку із гідроксида заліза (II). При співвідношенні $Fe^{2+} : Fe^{3+} = 1:1$ в феромагнітній суспензії утворюючийся гідроксид кадмію міцно утримується на магнетиті.

На феромагнітних сполуках повинен протікати процес сорбції і інших іонів важких металів.

Для глибокої очистки виробничих стічних вод методом сорбції рекомендується застосовувати апарати з механічним перемішуванням.

Камера реакції один із основних вузлів технологічної схеми очистки. Фактором,

визначаючим ефективність очистки стічних вод з використанням магнетита є забезпечення хорошого контакту поверхні частинок магнетита з очищуваним середовищем. Для глибокого очищення промислових стічних вод методом сорбції рекомендується застосовувати апарат з механічним мішалником, який дозволяє забезпечити достатню ступінь турбулізації потоку.

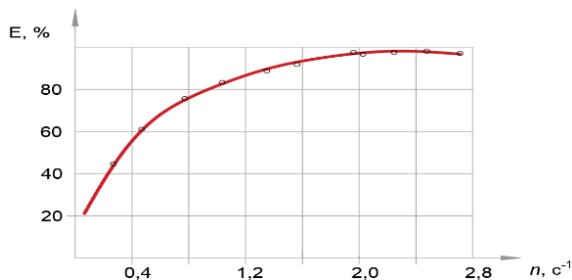


Рис. 6. Залежність повноти очистки від частоти обертання мішалника ($m=\text{const}$, $t=\text{const}$)

Fig. 6. Dependence of the completeness of cleaning on the frequency of rotation of the mixer ($m=\text{const}$, $t=\text{const}$)

Результати експериментальних досліджень по виявленню впливу гідродинамічних факторів (n) на повноту очистки стічних вод від іонів кадмію (II) наведено на рис. 6.

Із графіка видно, що оптимальна частота обертання мішалника $n=1,8 c^{-1}$, в той час, як з умов забезпечення однорідності перемішування, частота обертання мішалника, визначена $n=2,0 c^{-1}$. Неспівпадіння частоти обертання мішалника, визначеної різними методами, пояснюється тим, що при дотриманні умов однорідності перемішування за вміст магнетита в стічних водах приймався ваговий вміст його в пробі.

Процес очистки стічних вод від іонів важких металів методом сорбції і співосадження на магнетиті можна описати рівнянням осадження (1):



де S – рідка фаза;
 F_1 – тверда фаза

Твердою фазою (F_1) слугує магнетит в виді флокул, пройшовших стадії хімічної конденсації: ядро – Fe_3SO_4 , оболонка –

$FeOOH$ і $Fe(OH)_2$. Іони кадмію (II) знаходяться в розчині.

На основі вище сказаного запропонована фізична модель сорбції іонів кадмію (II) на магнетиті. Нехай в розчині міститься m частинок магнетиту і n іонів кадмію (II). Розглянуто імовірність зіткнення частинок в розчині, що закінчується їх об'єднанням. Імовірність об'єднання іонів кадмію рівна 0, так як, між ними діють сили електростатичного відштовхування; імовірність об'єднання частинок магнетита також близька до 0, їх агрегатна стійкість обумовлена наявністю ζ потенціалу. Отже, ефективність очистки стічних вод від іонів кадмію (II) обумовлюється імовірністю об'єднання їх з частинками магнетита.

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ефективність очистки стічних вод з застосуванням магнетита залежить від умов формування частинок магнетита: розміру частинок, рН суспензії, співвідношення іонів $Fe^{2+} : Fe^{3+}$.

На основі запропонованої математичної моделі процесу отримано рівняння кінетики очистки води від іонів кадмію (II) з використанням магнетита, яке показує, що зміна концентрації іонів кадмію (II) при очистці методом сорбції і співосадження на магнетиті залежить від вихідної концентрації по видаляемим іонам, гідродинамічним параметрам роботи камери реакції, часу проведення процесу і дози магнетита.

Була розроблена експериментальна установка (рис. 1) для виявлення впливу основних технологічних параметрів і гідродинамічних факторів на повноту очистки стічних вод від іонів кадмію (II) методом сорбції і співосадження на магнетит.

Проведенні дослідження дають можливість застосування енергоресурсозберігаючого методу очищення промислових стічних вод від іонів кадмію з використанням феромагнітних сорбентів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Барановський В.А., Омельчук С.Т., Бардов В.Г. Екологічні проблеми природних вод України. К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2000. 80с.
2. Викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферне повітря (1990-2018 рр.) [Електронний ресурс] / Офіційний Інтернет сайт Державної служби статистики України. – Режим доступу : http://www.ukrstar.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm.
3. Zoria O., Ternovtsev O., Kapanytsia Yu., Zoria D. Resource-Saving Technology Of Industrial Wastewater Treatment From Nickel Compounds. *2nd International Symposium of Earth, energy, environmental science and sustainable development 2021, Volume 2534, Issue 1*. DOI:<https://doi.org/10.1063/5.0106509>
4. Зоря О.В., Терновцев О.В., Зоря Д.І. Очистка стічних вод промислових підприємств від сполук міді феритизацією. *Будівельні конструкції. Теорія та практика. зб. наук. пр. Київ, КНУБА, 2021. Вип.8*. DOI: <https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.58-68>
5. Gomelya, N.D., Trus, I.N., Nosacheva, Y.V. (2014) Water purification of sulfates by liming when adding reagents containing aluminium. *Journal of Water Chemistry and Technology, 36 (2), 70 – 74*. DOI: <https://doi.org/10.3103/s1063455x14020040>
6. Gomelya, N.D., Trus, I.M., Radovenchyk, I.V. (2014). Influence of stabilizing water treatment on weakacid cation exchange resin inacidic form on quality of mine water nanofiltration desalination. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 5, 100 – 105*.
7. Долина, Л.Ф. Проектирование и расчет сооружений и установок для физико-химической очистки производственных сточных вод [Текст]: учебное пособие / Л.Ф. Долина – Д.: Континент, 2004. – 227 с.
8. Долина, Л.Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов [Текст]: Монография // Л.Ф. Долина – Дн-вск.: Континент, 2008. – 254 с.
9. Беспамятнов Г.П. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде / Г.П. Беспамятнов, Ю.А. Кротов. – Л.: Химия, 1985. – 120 с.
10. Gardea Torrestey Jorge L. Influence of chemical modification of algae biomass on its ability to adsorb heavy metal ions / Gardea Torrestey Jorge L. Becker-Napan Michelle K. And other // *Envirion Sci. And Technol.* – 1990/ - Vol. 24. – P.1372-1377. DOI: <https://doi.org/10.1021/es00079a011>
11. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия: [учебник]. – М.: Логос, 2000. – 624 с.
12. Архіпова Г.І. Вплив надлишкового вмісту важких металів у питній воді на організм людини / Г.І. Архіпова, Т. О. Мудрак, Д. В. Завертана. // *Вісник НАУ.* – 2010. - №1. – С.233-235.
13. Виноградов С.С. «Экологически безопасное гальваническое производство». Изд. 2-е, перераб. и доп.; / Под ред. проф. В.Н. Кудрявцева. (Прил. К журналу Гальвано-техника и обработка поверхности). М.; Глобус, 2002. 352 с.
14. Шкундина С. Очистка сточных вод. Ферроферригидрозоль из наночастиц // *Печатный монтаж. Вып. №3.- 2011.-С.19-23*.
15. Филипчук В. Доочистка металомістких стічних вод від іонів важких металів / Филипчук В. // *Вісник ТДТУ.* – Тернопіль : ТДТУ, 2002. – Том 7. – № 3. – С. 139–143. – (Хімія. Хімічна, біологічна та харчові технології). URI : <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/38333>
16. Коваленко Д.Г. Современное состояние и перспективы развития гальванопроизводств // *Перспективная технология производства РЭА.* – Л., 1991.- №3.- С.3-5.
17. Мисник О.Ф. Забрудненість питної води солями важких металів та вилучення їх з розчинів нанокомпозитом цирконію (IV)оксиду / О. Ф. Мисник, А. О. Литвиненко // *ScienceRise. Biological science.* – 2016. – № 1. – С. 31-39. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2016.72686>
18. Безцінний О.О. Відтворення відпрацьованих стічних вод, забруднених іонами важких металів /О.О. Безцінний // *Комунальне господарство міст. Серія : Технічні науки та архітектура.* – 2018. – Вип. 142. – С. 45-48. http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_142_10
19. Xianfang Zhu, Tiehong Song, Zhuo Lv, Guodong Ji. (2016) High-efficiency and low-cost α -Fe₂O₃ nanoparticles-coated volcanic rock for Cd (II) removal from wastewater. *Process Safety and Environmental Protection, 104 (A), 373-381* DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.09.019>.

REFERENCES

1. Baranovsky V.A., Omelchuk S.T., Bardov V.G. Ecological problems of natural waters of Ukraine. K.: Center for Environmental Education and Information, 2000. 80 p.

2. **Emissions of pollutants and carbon dioxide into the atmospheric air (1990-2018)** [Electronic resource] / Official Internet site of the State Statistics Service of Ukraine: http://www.ukrstar.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm.
3. **Zoria O., Ternovtsev O., Kapanytsia Yu., Zoria D.** Resource-Saving Technology Of Industrial Wastewater Treatment From Nickel Compounds. *2nd International Symposium of Earth, energy, environmental science and sustainable development 2021, Volume 2534, Issue 1*. DOI:<https://doi.org/10.1063/5.0106509>
4. **Zoria O., Ternovtsev O., Zoria D.** Purification of wastewater of industrial enterprises from copper compounds by ferritization. Building constructions. Theory and practice: coll. Science. Kyiv Ave., KNUBA, 2021. Issue 8. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.58-68>
5. **Gomelya, N.D., Trus, I.N., Nosacheva, Y.V.** (2014) Water purification of sulfates by liming when adding reagents containing aluminium. *Journal of Water Chemistry and Technogy*, 36 (2), 70 – 74. <https://doi.org/10.3103/s1063455x14020040>
6. **Gomelya, N.D., Trus, I.M., Radovenchyk, I.V.** (2014). Influence of stabilizing water treatment on weakacid cation exchange resin inacidic form on quality of mine water nanofiltration desalination. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 100 – 105.
7. **Dolina L.F.** Design and calculation of structures and facilities for physical and chemical treatment of industrial wastewater [Text]: a training manual / *L.F. Dolina - D.: Continent, 2004. - 227 p.*
8. **Dolina L.F.** Modern techniques and technologies for wastewater treatment of salts of heavy metals [Text]: Monograph / *L.F. Dolina - Dn- vsk.: Continent, 2008. – 254 p.*
9. **Bespamyatnov G.P.** Maximum allowable concentrations of chemical substances in the environment / *G.P. Bespamyatnov, Yu.A. Krotov. - L.: Chemistry, 1985. – 120 p.*
10. **Gardea Torrestey Jorge L.** Influence of chemical modification of algae biomass on its ability to adsorb heavy metal ions / Gardea Torrestey Jorge L. Becker-Hapan Michelle K. And other // *Envirion Sci. And Technol.* – 1990/ - Vol. 24. – P. 1372-1377.
DOI: <https://doi.org/10.1021/es00079a011>
11. **Alekseenko V.A.** Ecological geochemistry: [textbook]. -: *Logos, 2000. – 624 p.*
12. **Archipova G.I.** Influence of excessive content of heavy metals in drinking water on the human body / G.I. Archipova, T.O. Mudrak, D.V. Zavertana // *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine.* - №1. - P.233-235.
13. **Vinogradov S.S.** "Ecological safe galvanic production". Edited by Prof. V.N. Kudryavtsev. (*Supplement to the journal Galvanotechnics and Surface Treatment*). M; Globus, 2002. 352 p.
14. **Shkundyna S.** Ochystka stochnykh vod. Ferroferrihydrozol yz nanochastyts // *Pechatnyi montazh. Vyp. №3.- 2011.-P..19-23.*
15. **Philipchuk V.** Post-treatment of metal-containing wastewater from heavy metal ions / Philipchuk V. // *Bulletin of TSTU: TSTU, 2002. - Vol. 7. - No. 3. - P. 139-143. - (Chemistry. Chemical, biological and food technologies) :* <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/38333>.
16. **Kovalenko D.H.** Sovremennoe sostoia-nye y perspektyvy razvytyia halvanoproyz-vodstv // *Perspektyvnaia tekhnolohyia proyzvodstva RƏA. – L., 1991.- №3.- S.3-5.*
17. **Mysnyk O.F.** Contamination of drinking water with salts of heavy metals and their extraction from solutions by a nanocomposite of zirconium (IY) oxide / O.F. Mysnyk. Misnyk, A. O. Lytvynenko // *ScienceRise. Biological science. - 2016. - No. 1. - P. 31-39.* <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2016.72686>.
18. **Beztsinnyi O.O.** Reproduction of waste sewage contaminated with heavy metal ions / O.O. Beztsinnyi // *Municipal economy of cities. Series: Technical sciences and architecture. - 2018. - Issue 142. - P. 45-48.* http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2018_142_10.
19. **Xianfang Zhu, Tiehong Song, Zhuo Lv, Guodong Ji.** (2016) High-efficiency and low-cost α -Fe₂O₃ nanoparticles-coated volcanic rock for Cd (II) removal from wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, 104 (A), 373-381 <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.09.019>.

TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER FROM CADMIUM COMPOUNDS

*Oleksiy TERNOVTSEV,
Olena ZORIA,
Viktorii STOIANOVA*

Summary. The article is devoted to the problem of solving an urgent environmental problem - the rational use of water resources. The most harmful and widespread toxic substances in wastewater, and in some cases in natural waters, are heavy metal compounds, in particular cadmium, which belongs to the 2nd class of hazard. The presence of a large number of metal processing enterprises, chemical, machine-building, and metallurgical enterprises with electroplating shops for applying metal coatings leads to the formation of a large amount of metal-containing wastewater, which makes the

problem of wastewater treatment containing heavy metals quite relevant.

Among the developed approaches, sorption methods are important, as they ensure the most complete removal of toxic ions, especially from solutions with low concentrations that exceed permissible standards. The successful development of sorption water treatment technology is based on the development of high-quality sorbents. The development of effective methods for the treatment of industrial wastewater from heavy metal ions is an urgent problem of our time. The paper presents the results of experimental studies of water purification from cadmium ions using ferromagnetic sorbents obtained from waste industrial solutions. The optimal parameters of the purification process from the dose of magnetite, pH of the medium, at different ratios of $Fe^{2+} : Fe^{3+}$ ratio in magnetite.

Keywords. Wastewater; heavy metals; electroplating; purification effect; ferrite; iron oxides; cadmium.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2023