

УДК 622.765:542.61:546.571

**Обушенко Тетяна Іванівна**

старший викладач кафедри технології неорганічних

речовин та загальної хімічної технології

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Толстопалова Наталія Михайлівна**

к.т.н., доцент, в.о. зав. кафедри технології неорганічних

речовин та загальної хімічної технології

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Баранюк Надія Віталіївна**

студентка

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Обушенко Татьяна Ивановна**

старший преподаватель кафедры технологии неорганических

веществ и общей химической технологии

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Толстопалова Наталья Михайловна**

к. т. н., доцент, и.о. зав. кафедры технологи неорганических

веществ и общей химической технологии

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Баранюк Надежда Витальевна**

студентка

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Obushenko Tetiana**

Senior lecturer

Department inorganic compounds technology and  
general chemical technology

National Technical university of Ukraine

«Igor Sikorsky Kiyv Politechnical Institute»

**Tolstopalova Nataliya**

Candidate of technical science, associate professor

Department inorganic compounds technology and  
general chemical technology

National Technical university of Ukraine

«Igor Sikorsky Kiyv Politechnical Institute»

**Baranuk Nadia**

student

National Technical university of Ukraine

«Igor Sikorsky Kiyv Politechnical Institute»

**ФЛОТОЭКСТРАКЦИЯ ИОНОВ ЦИНКУ З ВОДНЫХ РОЗЧИНИВ  
ФЛОТОЭКСТРАКЦИЯ ИОНОВ ЦИНКА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ  
SOLVENT SUBLATION ZINC IONS FROM WATER SOLUTIONS**

***Анотація:** Флотоекстракція – комбінований метод, що включає переваги іонної флотації та рідинної екстракції. Це такий процес, при якому флотована речовина (сублат) концентрується у тонкому шарі органічної рідини, що знаходиться на поверхні водної фази. Проведені дослідження флотоекстракційного видалення іонів цинку з водних розчинів дозволили визначити раціональні умови процесу: рН 7, молярне співвідношення  $Zn^{2+}$ :ПАР = 1 : 2, об'єм органічної фази 5 см<sup>3</sup>. За цих умов ступінь видалення іонів цинку в ізоаміловий спирт склала 95%.*

***Ключові слова:** цинк, флотоекстракція, ступінь видалення, сублат.*

**Аннотация:** Флотоэкстракция – комбинированный метод, сочетающий в себе достоинства ионной флотации и жидкостной экстракции. Это такой процесс, при котором сфлотированное вещество (сублат) концентрируется в тонком слое органической жидкости, находящейся на поверхности водной фазы. Проведенные исследования флотоэкстракционного удаления ионов цинка из водных растворов позволили определить рациональные условия процесса: рН 7, молярное соотношение  $Zn^{2+}$  : ПАВ = 1 : 2, объем органической фазы 5 см<sup>3</sup>. При этих условиях степень удаления ионов цинка в изоамиловый спирт составила 95%.

**Ключевые слова:** цинк, флотоэкстракция, степень извлечения, сублат.

**Summary:** Solvent sublation is a combined method that includes advantages of ionic flotation and liquid extraction. This is a process in which flotation product (sublate) concentrates in a thin layer of organic liquid, which is located on the surface of aqueous phase. The research of zinc ions by solvent sublation from model solutions allowed to determine rational conditions of process: pH 7, molar ratio of  $Zn^{2+}$ :surfactant = 1:2, the volume of organic phase 5 cm<sup>3</sup>. Under these conditions removal ratio of zinc ions into isoamyl alcohol is 95%.

**Key words:** zinc, solvent sublation, removal ratio, sublat.

В наш час, з розвитком різноманітних галузей промисловості, виникає низка все нових і нових проблем, пов'язаних із забрудненням навколишнього середовища, зокрема води. З позицій концепції сталого розвитку, сучасний стан водойм є вкрай незадовільним і з часом дедалі погіршуватиметься. Щороку підприємства, які спеціалізуються на металообробці та гальванічному виробництві, акумулюють тисячі тонн стічної води, вкрай забрудненої різними металами. Особливо актуальною є проблема забруднення води гальванічними виробництвами, оскільки

внаслідок електрохімічних процесів нанесення металічного покриття, у воду виділяються важкі метали в іонізованому вигляді. Для очистки води, забрудненої іонами важких металів, застосування якогось одного певного методу є малоефективним. З цього приводу варто згадати загальновідомий реагентний метод або хімічне осадження, що має ряд недоліків:

- утворення значної кількості вологого шламу;
- порівняно низька ступінь очистки, коли в очищеній воді залишається кількість важких металів, яка в десятки разів перевищує ГДК.

Тому, застосування комплексу методів, спрямованих на якомога повну очистку стічних вод, є вкрай необхідною. Серед методів доочистки води після попередньої реагентної обробки варто акцентувати увагу на методі флотоекстракції – різновид іонної флотації, що був запропонований Себба в 1962 році.

Цей метод заснований на комбінації методів флотації і екстракції, що базується на пропусканні газових бульбашок крізь водну фазу і винесенні речовини забрудника (сублату) в органічну фазу [1]. При цьому органічна фаза повинна бути легшою, ніж водна, і не розчинятися в ній. В процесі флотоекстракції застосовуються поверхнево-активні речовини, що відіграють роль збирачів, зв'язуючись з іонами важких металів у нерозчинні у воді гідрофобні сублати, які внаслідок своїх гідрофобних властивостей, силами адгезії зв'язуються з бульбашками і виносяться з водної фази в органічну. Оскільки процес флотоекстракції проводиться невеликий проміжок часу (15 – 20 хвилин), органічна фаза, яка повинна незалежно від геометрії флотоекстракційної колонки мати товщину 5-7 мм, не встигає повністю вичерпати свою ємність як екстрагента. Тому, ефективність флотоекстракції не залежить від коефіцієнта розподілу. Останніми роками ведуться дослідження флотоекстракції як в Україні, так і за кордоном [2-9].

До переваг флотоекстракції відносять: можливість багатократного концентрування іонів забрудників у невеликих об'ємах органічного

розчинника; можливість регенерації цінних компонентів; використовується значно менша кількість органічного розчинника (у порівнянні з методом екстракції); процес не лімітується константою розподілу; відсутність піни (у порівнянні з методом флотації); відсутність великих кількостей вологого осаду.

Метою роботи було визначення закономірностей вилучення іонів цинку з імітатів стічних вод методом флотоекстракції, з'ясування оптимальних умов процесу (рН, мольне співвідношення ПАР : метал, тривалість процесу, об'єм органічної фази).

Процес флотоекстракції проводили у циліндричній скляній колонці діаметром 35 мм, дном якої слугував фільтр Шотта. Через пористу перегородку подавали газ (азот) під тиском з балону. Витрати азоту контролювали ротаметром. Вихідна концентрація іонів цинку 100 мг/дм<sup>3</sup>. Витрата газу 40 см<sup>3</sup>/хв. Об'єм модельного розчину 100 см<sup>3</sup>, об'єм органічної фази 5 см<sup>3</sup>. Процес флотоекстракції відбувався до встановлення мінімальної залишкової концентрації іонів цинку, яку визначали за стандартними методиками фотометричним методом. Експериментально встановлено тривалість процесу 20 хв. Мірою ефективності процесу флотоекстракції слугував показник ступеня вилучення іонів цинку X, %.

В якості ПАР використано солі карбонових насичених кислот, а саме – каприлат натрію, лаурат калію та пальмітат калію.

Було здійснено підбір органічного екстрагенту і виявлено, що найвищий ступінь вилучення досягається при використанні в якості органічної фази ізоамілового спирту.

На рисунку 1 представлено графіки залежності ступеню вилучення цинку від рН модельного розчину. Зменшення рН нижче 7 супроводжується зниженням ступеню видалення іонів внаслідок імовірного гідролізу сублатів та утворення вільної кислоти, яка не має поверхневої активності, на відміну від її солі. Збільшення рН розчинів вище 7 зменшує ступінь видалення металу внаслідок утворення негативно

зарядженого комплексу  $Zn(OH)_4^{2-}$ , що утворюється внаслідок розчинення гідроксиду цинку.

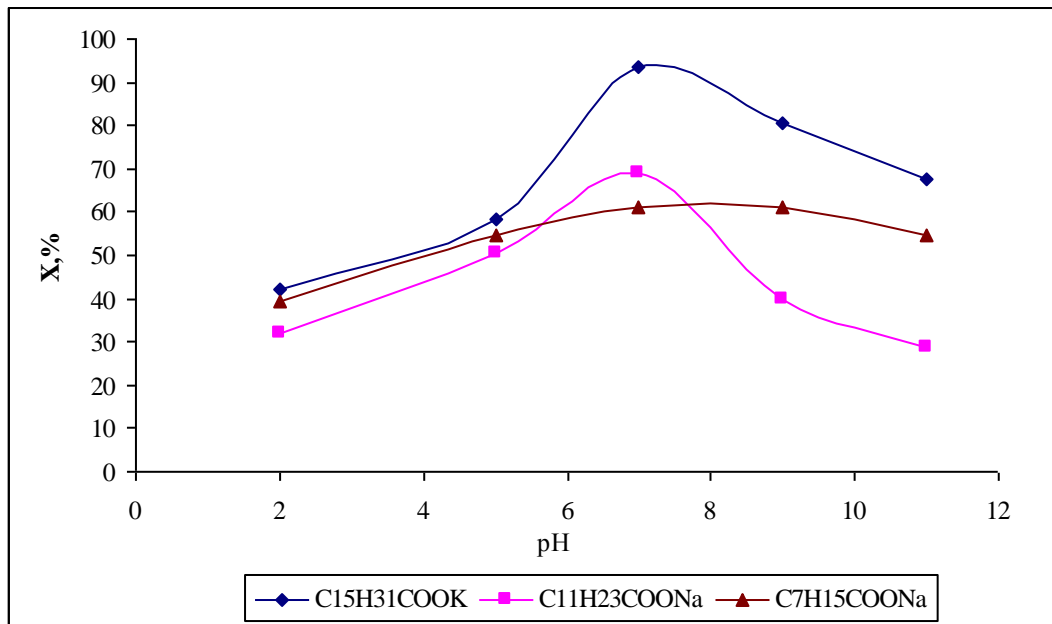


Рис. 1. Залежність ступеня вилучення іонів  $Zn^{2+}$  від pH розчину

Важливу роль при флотоекстракції відіграє поверхнева активність ПАР та їх концентрація. ПАР знижує поверхневий натяг водної фази, що зменшує розміри бульбашок. До того ж, знижений поверхневий натяг на поверхні розділу вода-органічний розчинник, допомагає бульбашкам перетинати границю без коалесценції. Однак, якщо концентрація ПАР занадто висока, надлишок ПАР буде конкурувати за місце на поверхні бульбашки. Крім того, висока концентрація ПАР може призвести до формування великої кількості піни у верхній частині колонки. Як видно з рисунку 2, ефективнішим є ПАР, що мають довший алкільний фрагмент. При інших рівних умовах вилучення цинку найкраще відбувається в системі  $Zn^{2+}$  – PalK (при молярному співвідношенні  $Zn^{2+}:PalK = 1:2$ ), оскільки пальмітат калію ( $C_{15}H_{31}COOK$ ) має найдовший алкільний ланцюг у порівнянні з каприлатом натрію ( $C_7H_{15}COONa$ ) і лауратом калію ( $C_{11}H_{23}COONa$ ), а тому і найвище значення поверхневої активності. В цьому випадку сублат найлегше переходить з водної фази в органічну.

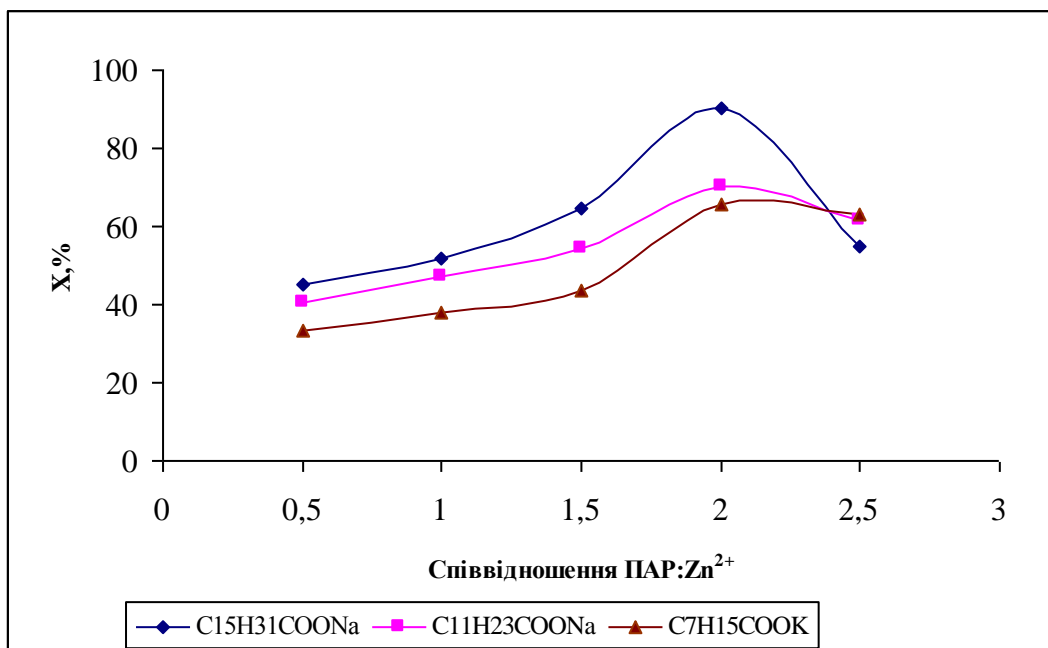


Рис. 2. Залежність ступеня вилучення Zn<sup>2+</sup> від молярного співвідношення ПАР : Zn<sup>2+</sup>

Найвищий ступінь вилучення спостерігається при співвідношенні ПАР:Me = 2:1. При менших співвідношеннях кількості ПАР не вистачає для повного зв'язування іонів цинку і подолання поверхневого натягу на межі поділу вода-органічний шар. При збільшенні ж співвідношення до 2,5:1 надлишкова кількість ПАР починає концентруватися на межі поділу фаз і сприяє проходженню зворотного процесу (перехід сублату до водної фази).

Радіус бульбашок є одним із ключових параметрів в процесі флотоекстракції. Зі зменшенням радіусу бульбашок, площа поверхні бульбашок збільшується, час перебування бульбашок в колонці з розчином збільшується, що призводить до збільшення константи швидкості процесу. Визначено вплив розміру бульбашки на ступінь вилучення і виявлено (рис. 3), що найкраще вилучення проходить при розмірі останньої 40 мкм, при розмірі 16 мкм бульбашка не здатна підняти досить важку частинку сублату, а при  $r = 100$  мкм ступінь вилучення досить низький через порівняно невелику міжфазну поверхню.

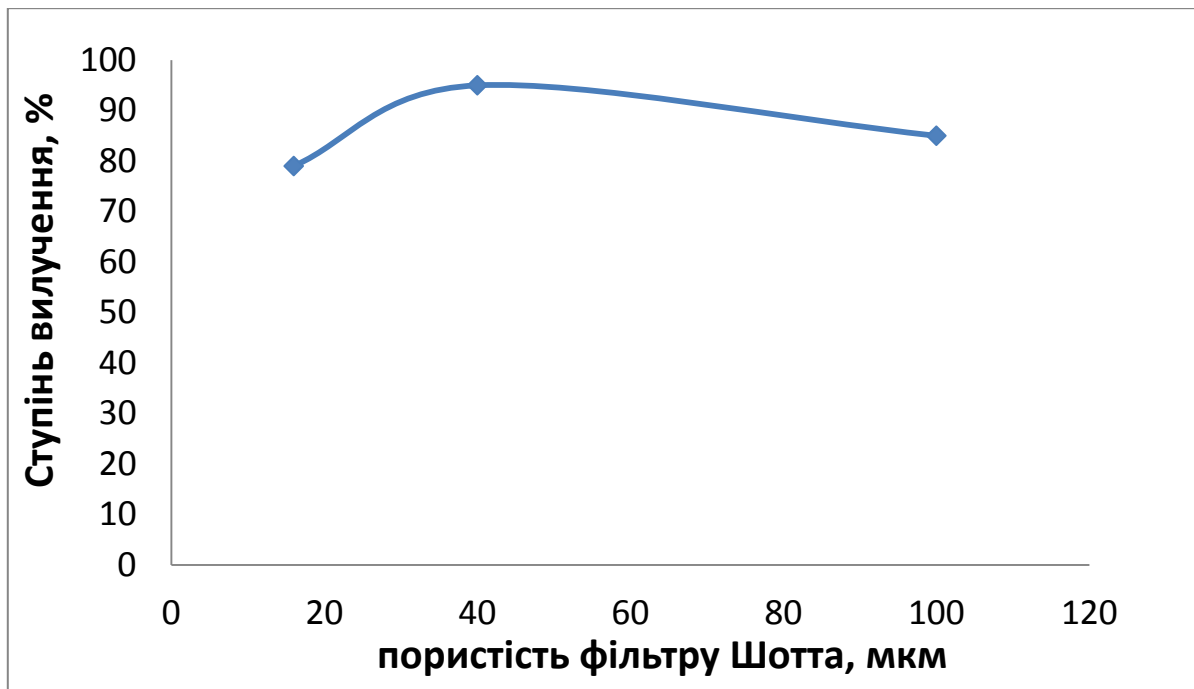


Рис. 3. Залежність ступеня вилучення цинку від середнього радіусу бульбашки, який визначається пористістю використаного фільтру Шотта

### Висновки

Досліджено закономірності вилучення іонів  $Zn^{2+}$  (вихідна концентрація металу  $100 \text{ мг/дм}^3$ ) та виявлено наступні раціональні умови проведення процесу очищення: ПАР – пальмітат калію; органічна фаза – ізоаміловий спирт; об'єм органічної фази  $5 \text{ см}^3$ ; рН 7; мольне співвідношення  $Me:ПАР = 1:2$ ; тривалість процесу не менше 20 хвилин. Для цих умов ступінь вилучення іонів цинку – 95%.

### Література:

1. Астрелін І. М. Теоретичні засади та практичне застосування флотоекстракції: огляд / І. М. Астрелін, Т. І. Обушенко, Н. М. Толстопадова, О. О. Таргонська // Вода і водоочисні технології. –2013.– № 3.–С.3–23.
2. Lu, Y. Solvent sublation: theory and application /Y. Lu, X. Zhu // Separation and Purification Methods.–2001.–Vol.30.–№2.–P.157–89.



3. *Bi, P. The recent progress of solvent sublation/ H. Dong, J. Dong // Journal of Chromatography.–2010.–V.1217.– P.2716–2725.*
4. *Obushenko T. I. Wastewater Treatment from Toxic Metals by Flotoextraction / T. I. Obushenko, I. M. Astrelin, N. M. Tolstopalova, M. A. Varbanets and T. A. Kondratenko// Journal of Water Chemistry and Technology.–2008.–Vol.30.– № 4.–P.241–245.*
5. *Обушенко Т.І. Закономірності процесу флотоекстракції при очищенні стічних вод від іонів важких металів / Т.І. Обушенко, І.М. Астрелін, Н.М. Толстопалова, М.Є. Молодченко // Наукові вісті НТУУ „КПІ”.–2009.–№3.–С.117–122.*
6. *Обушенко Т.І. Флотоекстракція іонів заліза з низькоконцентрованих розчинів / Т.І. Обушенко, І.М. Астрелін, Н.М. Толстопалова, В.П. Копотун // Наукові вісті НТУУ “КПІ”.–2010.– № 3.–С.106–111.*
7. *Болелый А. С. Флотоэкстракция ионов никеля из водных растворов / А. С. Болелый, Т. И. Обушенко, Н. М. Толстопалова //Молодой ученый.–2017.–№10(144).–С.115-118.*