

*Досліджено комплексоутворення Hg (II) з ксиленоловим оранжевим у фазі полімерного аніониту АВ-17×8. Встановлені кількісні характеристики складу та стійкості твердофазного комплексу. Встановлено, що максимальне вилучення (87%) Hg (II) досягається при рН 5–7 за 20 хвилин контакту фаз з об'єму 500 см<sup>3</sup>. Межа виявлення становить 0,2 мкг/см<sup>3</sup>. Закон Бера виконується в інтервалі концентрацій ртуті (0,1–8,0)·10<sup>-5</sup> М. Отримані результати використані для розробки методики визначення мікрокількостей Hg (II)*

*Ключові слова: спектрофотометрія, аналіз, ртуть, концентрування, сорбція, барвники, іммобілізація, аніонообмінник*

*Исучено комплексообразование Hg (II) с помощью ксиленолового оранжевого в фазе полимерного анионита АВ-17×8. Установлены количественные характеристики состава и устойчивости твердофазного комплекса. Установлено, что максимальное извлечение (87%) Hg (II) достигается при рН 5–7 за 20 минут контакта фаз из объема 500 см<sup>3</sup>. Предел обнаружения составляет 0,2 мкг/см<sup>3</sup>. Закон Бера выполняется в интервале концентраций ртути (0,1–8,0)·10<sup>-5</sup> М. Полученные результаты использованы для разработки методики определения микроколичеств Hg (II)*

*Ключевые слова: спектрофотометрия, анализ, ртуть, концентрирование, сорбция, красители, иммобилизация, анионообменник*

УДК 543.064:543.42:543.068.53:546.4

## ТВЕРДОФАЗНЕ СПЕКТРО- ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ Hg (II) ЗА ДОПОМОГОЮ КСИЛЕНОВОГО ОРАНЖЕВОГО

Є. Є. Костенко

Доктор хімічних наук, професор\*

E-mail: Kostenkoelizaveta@ukr.net

О. М. Бутенко

Кандидат технічних наук, доцент\*

\*Кафедра аналітичної хімії

Національний університет харчових технологій  
вул. Володимирська, 68,  
м. Київ, Україна, 01601

### 1. Вступ

З метою покращення метрологічних характеристик методик визначення мікрокількостей металів в різних об'єктах, в сучасній аналітичній практиці застосовують гібридні методи аналізу, що включають стадію сорбційного концентрування аналіту і наступного його визначення безпосередньо у твердій фазі. За цих умов межа визначення (МВ) зменшується пропорційно ступеню концентрування аналіту, а надійність зростає завдяки селективності його вилучення, що призводить до зменшення впливу матричних компонентів розчину на аналітичний сигнал. Для концентрування іонів металів із розчинів часто застосовують адсорбенти з іммобілізованими барвниками, селективними до певних іонів металів.

Використання таких твердофазних реагентів дозволяє підвищувати чутливість і вибірковість визначення багатьох елементів; вилучати їх з великих об'ємів розчинів, не використовуючи органічні розчинники; отримувати концентрат визначуваних елементів у місці пробовідбору [1].

### 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Відомо, що завдяки унікальним властивостям ртуть застосовується в металургії, хімічній промис-

ловості, гальванічних елементах, гальванотехніці, медицині, сільському господарстві та багатьох інших галузях. Особливо велике значення має ртуть в лабораторній практиці. Вона застосовується в різних контрольно-вимірювальних приладах [2].

В літературі є також відомості, щодо посилення фармакологічної дії антибіотиків в разі використання їх комплексних сполук з іонами металів [3, 4] зокрема з Hg (II).

Крім того солі ртуті (II) входять до складу окремих фармацевтичних препаратів (наприклад «Меркурід», «Витурід» тощо), які широко використовуються для лікування онкологічних захворювань [5]. Тому створення нових доступних методик визначення ртуті (II) є актуальним.

Цю проблему неможливо вирішити, не використовуючи сучасні аналітичні методи контролю. Зокрема цікаво було використати з цією метою метод твердофазної спектрофотометрії (ТФС), що дозволяє поєднувати сорбційне концентрування і наступне фотометричне визначення у твердій фазі.

З даних літератури відомо, що полімерні адсорбенти, що містять іонообмінні та комплексоутворюючі групи, іонообмінні смоли, волокнисті сорбенти [6–8], мембранні диски, хімічно модифіковані кремнеземом широко використовуються для концентрування ртуті (II) та відокремлення його від інших елементів.

У цих методиках визначення ртуті (II) в концентратах проводять як у фазі адсорбенту, так і в елюаті. Так відома методика вилучення Hg (II) та CH<sub>3</sub>Hg (I) полімерним сорбентом на основі полістерендивінілбензену з хелатними групами біс(о-амінофеніліо)етану [6]. Розроблена методика тест визначення Hg (II) за допомогою волокнистого сорбенту, наповненого аніонообмінником АВ-17, яка апробована при аналізі прісних природних вод методом «внесено-знайдено» (МВ=0,02 мг/дм<sup>3</sup>) [7]. Дані літератури щодо твердофазного спектрофотометричного визначення Hg (II) в харчових об'єктах за допомогою полімерних сорбентів, з іммобілізованими барвниками, обмежуються роботами [9, 10]. В роботі [9] показано, що реакція взаємодії Hg (II) з твердофазним (ТФ) еріохром чорним Т характеризується невисокою чутливістю і селективністю. Хіміко-аналітичні показники методики визначення Hg (II) з твердофазним хромозуролом S значно вищі [10], ніж з еріохром чорним Т, що було використано під час аналізу харчових продуктів.

Крім полімерних сорбентів різної природи для концентрування та відокремлення Hg (II) використовуються також такі неорганічні адсорбенти, як оксиди, сульфіді, фероціаніди, природні сорбційні матеріали. Дані літератури свідчать про ефективність природних глин у вилученні катіонів важких металів, зокрема Hg (II) з води бентонітом [11,12], використовується для очистки стічних вод від розчинних форм Hg (II) [13].

Відомі також дослідження щодо застосування глин, ковалентно модифікованих комплексоутворюючими групами, для концентрування та вольтамперометричного визначення Hg (II) з використанням вуглецевих електродів, модифікованих смектитами з прищепленими аміно- та тіольними групами [14]. Але через слоїсту будову глинистих адсорбентів, іммобілізація органічних лігандів ускладнена. Ці адсорбенти мають низьку площу поверхні, малий розмір часточок, а також низьку механічну міцність та селективність, що робить їх непридатними в аналітичній практиці для рутинного аналізу.

Сорбційно-спектроскопічне визначення Hg (II) виконують також, використовуючи кремнеземи з ковалентно закріпленими органічними лігандами, наприклад, N-вмісні хімічно модифіковані кремнеземи (ХМК) з прищепленими моно- і бідентатними аліфатичними і гетероциклічними амінами та азосполуками [15–17].

Авторами роботи [18] було досліджено умови сорбції Hg (II) на  $\gamma$ -амінопропілсілікагелі. Показано, що Hg (II) сорбується при pH>3. Встановлено співвідношення NH<sub>2</sub>-груп поверхні кремнезему до кількості іонів Hg при досягненні сорбційної рівноваги – 3:1. Авторами запропонований сорбційно-фотометричний метод визначення 0,1–10 мг/дм<sup>3</sup> іонів ртуті (II) у твердій фазі. Методика ґрунтується на утворенні забарвленого змішаннолігандного комплексу сорбованого ртуті (II) з Na<sub>2</sub>H<sub>2</sub>Dz, подальшої обробки комплексу цетилпіридиній бромідом та подальшою реєстрацією електронних спектрів дифузного відбиття. Методика апробована на модельних розчинах хлорного виробництва.

Для вилучення Hg (II) із стічних вод авторами роботи [19] був використаний твердофазний реагент силохром N-бензоіл-N'-пропілтіосечовина. Вста-

новлені оптимальні умови такого сорбційно-спектрофотометричного визначення: V=50 см<sup>3</sup>, pH 1–2, елюент – дитизон в хлороформі, МВ=0,01 мг/дм<sup>3</sup>.

З наведених даних видно, що літературна інформація щодо комбінованих методів сорбційного концентрування і наступного визначення Hg (II) в різних об'єктах обмежується невеликою кількістю робіт. Останні, в основному, передбачають визначення Hg (II) в елюаті або за спектрами дифузного відбиття твердого концентрату в природних та стічних водах. Інформація щодо використання розроблених методик для визначення ртуті (II) в харчових об'єктах відсутня за виключенням роботи [10].

В літературі відсутні також дані щодо використання ксиленолового оранжевого (КО), іммобілізованого на аніонообмінниках, які утворюють у розчині та у твердій фазі забарвлені комплексні сполуки з іонами ртуті (II), придатні для безпосереднього фотометричного визначення Hg (II) у фазі сорбенту.

### 3. Мета та задачі дослідження

Тому метою даної роботи стало створення нової ефективної методики твердо фазного спектрофотометричного визначення мікрокількостей ртуті (II).

Для цього потрібно було вирішити наступні задачі:

- встановити оптимальні умови сорбційного концентрування та наступного визначення у фазі сорбенту іонів ртуті (II) твердофазним реагентом ксиленоловим оранжевим-АВ-17×8;
- дослідити хімізм взаємодії іонів Hg (II) з КО, що іммобілізований на АВ-17×8;
- встановити кількісні характеристики складу та стійкості комплексної сполуки, що утворюється у твердій фазі;
- за отриманими даними розробити методику твердофазного спектрофотометричного визначення мікрокількостей іонів Hg (II) у харчових об'єктах.

### 4. Результати дослідження взаємодії іонів Hg (II) з іммобілізованим на аніонообміннику ксиленоловим оранжевим

**Приготування реагентів.** Вихідний 0,1 М розчин Hg (II) готували розчиненням точної наважки Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> в 1 М HNO<sub>3</sub>. Розчин стандартизували комплексонометрично. Робочі 1·10<sup>-3</sup> М розчини готували розведенням вихідного дистильованою водою.

1·10<sup>-3</sup> М розчин сульфаноно III готували розчиненням точної наважки х.ч. препарату фірми «Merk» у воді.

В роботі використовували кондиційний аніонообмінник АВ-17×8 (А) в Cl<sup>-</sup> формі зеренням 0,25–0,50 мм, який готували до роботи за методикою, описаною в [20]. Підготовлену матрицю модифікували водним розчином ХАЗ з розрахунку ~0,01 г ХАЗ на 1 г повітряно-сухого А-Cl, як це описано в [21,22]. Отриманий твердофазний ХАЗ представляє собою прозорі забарвлені гранули, які добре пропускають світло.

**Апаратура.** Спектри світлопоглинання знімали, користуючись спектрофотометрами СФ-46 і

SPECORD UV VIS, оптичну густину розчинів та твердих концентратів вимірювали на фотоелектроколориметрі КФК-3. Кислотність розчинів контролювали іонміром И-160 зі скляним електродом.

Результати дослідження умов сорбції КО на АВ-17×8 та впливу різних середовищ на цей процес, а також десорбцію КО наведені в роботі [22]. Концентрацію ртуті у рівноважних розчинах визначали фотометрично за допомогою сульфоназо III [23].

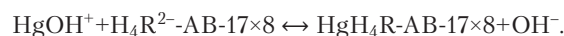
**Підготовка твердої проби до фотометрування** полягала в отриманні світлопоглинаючого шару концентрата, рівномірно розташованого в кюветі. Для вимірювань використовували кварцеві кювети з паралельними стінками, які спочатку заповнювали водою для того, щоб світлопоглинання розчину, який знаходиться між частинками сорбенту, було однаковим у всіх пробах. Потім твердий концентрат переносили в кювету за допомогою піпетки, іншу кювету аналогічно заповнювали модифікованим або стандартним іонообмінником такого ж зернення. Світлопоглинання аналізованих проб вимірювали після досягнення максимально можливої щільності укладки гранул у кюветах. Для зменшення фонового сигналу кювету ставили близько до віконця детектора, а між зразком і детектором встановлювали лавсанову кальку [24]. Остання розсіює світло сильніше, ніж зразок, внесок розсіювання зразка в загальне світлорозсіювання незначний і помилка вимірювання оптичної густини, що обумовлена світлорозсіюванням, незначна. Крім того, світло, яке пройшло і розсіялося іонообмінником рівномірно розсіюється лавсановою калькою, і детектора досягає середня і стала частина загального світлового потоку, що пройшов крізь кювету [25].

Аналіз спектрів світлопоглинання іммобілізованого КО і його комплексу з Hg (II) показав, що батохромний зсув максимуму спектра комплексу і гіперхромний ефект можуть свідчити про утворення комплексної сполуки ртуті в твердій фазі. Експериментально було встановлено, що максимальне вилучення (87 %) Hg (II) досягається при рН 5–7 за 20 хвилин контакту фаз з об'єму 50 см<sup>3</sup>.

Кількісна сорбція можлива також з 500 см<sup>3</sup> розчину. При цьому коефіцієнт концентрування складає 1667 см<sup>3</sup>/г. Межа виявлення становить 0,2 мкг/см<sup>3</sup>. Основою (АВ-17×8) ртуті практично не сорбується. Закон Бера виконується в інтервалі концентрацій ртуті (0,1–8,0)·10<sup>-5</sup> М (V=50 см<sup>3</sup>). λ<sub>опт</sub>=640 нм. На комплексоутворення Hg (II) з ТФ КО впливають: 1:1 – Cu (II), Zn (II), Cd (II), Zr (IV), Fe (III); 1:50 – Pb (II), Sn (IV); 1:100 – Co (II), л.з.м., Br<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, F<sup>-</sup>, Al (III); 1:1000 – NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

При вивченні хімізму комплексоутворення та з метою встановлення молярного співвідношення компонентів у твердофазному комплексі порівнювали спектри світлопоглинання досліджуваного комплексу в розчині [15] і у фазі сорбенту. Збіжність максимумів спектрів світлопоглинання свідчить про ідентичність складів комплексів у обох випадках [16, 17, 26]. Отримані дані підтверджувались наступним чином: до наважки модифікованого аніонообмінника додавали надлишок розчину солі ртуті і насичували аніонообмінник до встановлення сталої концентрації Hg (II) у водній фазі. Знаючи кількість КО в аніонообміннику і кількість Hg (II), що прореагував з аніонообмінни-

ком, визначали співвідношення компонентів у комплексі [18]. Виявилось, що Hg:КО=1:1. Тобто можна припустити, що комплексоутворення в ТФ системі, як і в розчині, відбувається за рахунок заміщення іонів гідрогену карбоксильних груп і координаційного зв'язку з нітрогеном імінодіацетатної групи з утворенням двох циклів. Враховували також форму, у вигляді якої Hg (II) може координуватися з ТФ КО в оптимальних умовах. За розрахунками ртуті у слабкокислотному середовищі (рН 5) знаходиться у гідролізованому стані за умов відсутності речовин, здатних до комплексоутворення. Враховуючи присутність в системі ТФ КО, можна припустити, що комплексоутворення відбувається за схемою:



Зважаючи на вплив полімерної матриці на процес комплексоутворення [14], визначали умовну константу стійкості ТФ комплексу за схемою, описаною в роботах [11, 19–22]. Середнє значення умовної константи стійкості дорівнює lgβ<sub>1</sub>=16,9±0,5.

Дослідження процесу сорбції дозволило зробити припущення про міцне вертикальне закріплення комплексу металу на поверхні сорбенту, відсутність взаємодії між адсорбованими молекулами, паралельну орієнтацію їх між собою [23]. Максимальна ємність модифікованого сорбенту за Hg (II) (1,33 · 10<sup>-5</sup> моль/г) приблизно дорівнює його ємності за КО, що також може вказувати на утворення комплексу з еквімолярним співвідношенням компонентів [24].

Отримані дані були використані для розробки нової методики визначення ртуті.

Методика визначення Hg (II) у штучній суміші

Склад суміші насупний, мкг/100 см<sup>3</sup>: Hg (II)–18; Cu (II)–0,10; Zn (II)–0,20; Cd (II)–0,05; Zr (IV)–0,05; Fe (III) – 10; Pb (II)–0,20; Sn (IV) – 0,01; Mn (II)–2; Co (II)–20; Ca (II)–50; Mg (II)–50; Al (III)–50.

Готували три однакові проби суміші, в кожную з них додавали по 1 см<sup>3</sup> 10<sup>-3</sup>М розчину NaF для зв'язування іонів Fe<sup>3+</sup> і створювали рН 5 за допомогою уротропіну в об'ємі 100 см<sup>3</sup>. В одну з проб вносили 0,3 г іммобілізованого КО, перемішували 20 хв. на магнітній мішалці, отриманий концентрат вносили в кювету, попередньо заповнену дистильованою водою, і вимірювали оптичну густину при 640 нм. До інших проб суміші додавали стандартні добавки солі ртуті, вносили по 0,3 г твердофазного КО і виконували експеримент як описано вище. Вміст ртуті знаходили за рівнянням: ΔA=–0,053+0,02·m<sub>Hg</sub>, мкг або, користуючись графічним варіантом методу добавок. Результати визначення ртуті наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Результати визначення ртуті в штучній суміші пропонованим (А) та ААС (Б) методами (P=0,95, n=3)

Об'єкт аналізу	Внесено Hg, мкг	Знайдено Hg, мкг (А)	S <sub>r</sub>	Знайдено Hg, мкг (Б)	S <sub>r</sub>
Штучна суміш	-	18,0±0,6	0,1	18,0±0,5	0,04
	10,0	27,8±0,8	0,06	27,9±0,4	0,05
	20,0	37,6±0,8	0,09	37,8±0,6	0,08

Правильність отриманих даних визначали методом «внесено-знайдено». Збіжність результатів, отриманих за новою методикою і стандартною, підтверджує достовірність їх.

## 5. Висновки

Досліджено хімізм взаємодії Hg (II) з твердофазним полімерним барвником КО-АВ-17×8. Встановлено, що в системі утворюється бінарна комплексна сполука з еквімолярним співвідношенням компонентів.

Стійкість твердофазної комплексної сполуки характеризується величиною  $\lg\beta_1=16,9\pm 0,5$ . Максимальне вилучення (87 %) Hg (II) досягається при рН 5–7 за

20 хв. контакту фаз з об'ємом 50 см<sup>3</sup>. Кількісна сорбція можлива також з 500 см<sup>3</sup> розчину. Коефіцієнт концентрування – 1667 см<sup>3</sup>/г. Стійкість твердофазної комплексної сполуки Hg (II) з КО та чутливість пропонованої методики значно вища (межа визначення становить 0,2 мкг/дм<sup>3</sup>), ніж комплексу та методики з ХАЗ [10]. Закон Бера виконується в інтервалі концентрацій ртуті (0,2–8,0) мкг/дм<sup>3</sup>.

Отримані дані дозволили створити просту чутливу, експресну, селективну методику ТФС визначення мікрокількостей Hg (II). Можливе використання невеликих наважок досліджуваних харчових продуктів (до 5 г). Методика не потребує складного коштовного обладнання обслуговування якого передбачає присутність висококваліфікованого персоналу.

## Література

1. Зайцев, В. Н. Комплексообразующие кремнеземы: синтез, строение привитого слоя и химия поверхности [Текст] / В. Н. Зайцев. – Харьков: Фолио, 1997. – 240 с.
2. Гладышев, В. П. Аналитическая химия ртути [Текст] / В. П. Гладышев, С. А. Левицкая, Л. М. Филиппова. – М.: Наука, 1974. – 224 с.
3. Алексеев, В. Г. Ионные равновесия в растворах пенициллинов, цефалоспоринов и их металлокомплексов [Текст] : автореф. дис. ... д-ра хим. наук: 02.00.04 / В. Г. Алексеев // Тверской гос. ун-т. – Тверь, 2010. – 48 с.
4. Владимирова, Е. В. Применение вольтамперометрии на границе раздела двух несмешивающихся растворов электролитов для определения антибиотиков макролидного и аминогликозидного рядов [Текст] : автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.02 / Е. В. Владимирова // Моск. гос. ун-т. – М., 2011. – 28 с.
5. Хелатные комплексы ртути с цистеином и метионином, способ их получения и лекарственный препарат «Меркурид» - модулятор апоптоза, обладающий противоопухолевым, противовирусным, противопаразитарным и иммуномодулирующим действием. Патент 2456001 Рос. Федерация: МПК Рос. Федерация: А61К 33/28, А61К 31/198, С01G 13/00, А61P 35/00, А61P 31/12, А61P 37/02, А61P 33/00 (2006.01) [Текст] / Гусев, С. Н., Гусев, Р. С., Грамма, А. И.; заявители и патентообладатели Гусев, С. Н., Гусев, Р. С., Грамма, А. И. – № 2010107176/15; заявл. 26.02.10; опубл. 20.07.12, Бюл. № 25. – 3 с.
6. Mondal, B. C. Determination of mercury species with a resin functionalized with a 1,2-bis (o-aminophenylthio)ethane moiety [Text] / B. C. Mondal, A. K. Das // Anal. Chim. Acta. – 2003. – Vol. 477, Issue 1. – P. 73–80. doi:10.1016/S0003-2670(02)01372-7
7. Дедкова, В. П. Тест-метод определения ртути (II) дитизоном на твердой фазе волокнистого анионообменника [Текст] / В. П. Дедкова, О. П. Швоева, С. Б. Саввин // Журн. аналит. химии. – 2004. – Т. 59, № 4. – С. 429–433.
8. Kolodyńska, D. Polyacrylate anion exchangers in sorption of heavy metal ions with the biodegradable complexing agent [Text] / D. Kolodyńska // Chemical Engineering Journal. – 2009. – Vol. 150, Issue 2-3. – P. 280–288. doi:10.1016/j.cej.2008.12.027
9. Костенко, Е. Е. Дослідження взаємодії Cu(II), Pb(II), Zn(II), Hg(II), Cd(II) з твердофазним еріохромом чорним Т [Текст] / Е. Е. Костенко, М. Й. Штокало // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2006. – Т. 6, № 24. – С. 45–48.
10. Костенко, Е. Е. Твердофазне спектрофотометричне визначення Hg (II) за допомогою хромазура S [Текст] / Е. Е. Костенко, О. М. Бутенко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 3, № 5 (69). – С. 20–24.
11. Vengris, T. Nickel, copper and zinc removal from waste water by a modified sorbent [Text] / T. Vengris, R. Binkiene, A. Sveikauskaitė // Appl. Clay Sci. – 2001. – Vol. 18, Issue 3-4. – P. 183–190. doi:10.1016/S0169-1317(00)00036-3
12. Pradas, E. G. Adsorption of cadmium and zinc from aqueous solution on natural and activated bentonite [Text] / E. G. Pradas, M. V. Sanchez, F. C. Cruz, M. S. Viciano, M. F. Perez // J. Chem. Tech. Biotechnol. – 1994. – Vol. 59, Issue 3. – P. 289–295. doi:10.1002/jctb.280590312
13. Viraraghavan, T. Adsorption of mercury from wastewater by bentonite [Text] / T. Viraraghavan, A. Kapoor // Appl. Clay Sci. – 1994. – Vol. 9, Issue 1. – P. 31–49. doi:10.1016/0169-1317(94)90013-2
14. Tonle, I. K. Preconcentration and voltammetric analysis of mercury (II) at a carbon paste electrode modified with natural smectite-type clays grafted with organic chelating groups [Text] / I. K. Tonle, E. Ngameni, A. Walcaris // Sens. Act. B. – 2005. – Vol. 110, Issue 2. – P. 195–203. doi:10.1016/j.snb.2005.01.027
15. Goswami, A. Silica gel functionalized with resacetophenone: synthesis of a new chelating matrix and its application as metal ion collector for their flame atomic absorption spectrometric determination [Text] / A. Goswami, A.K. Singh // Anal. Chim. Acta. – 2002. – Vol. 454, Issue 2. – P. 229–240. doi:10.1016/S0003-2670(01)01552-5

16. Etienne, M. Analytical investigation of the chemical reactivity and stability of aminopropyl-grafted silica in aqueous medium [Text] / M. Etienne, A. Walcarius // Talanta. – 2003. – Vol. 59, Issue 6. – P. 1173–1188. doi:10.1016/s0039-9140(03)00024-9
17. Perrez-Quintanilla, D. Preparation of 2-mercaptobenzothiazole – derivatized mesoporous silica and removal of Hg (II) from aqueous solution [Text] / D. Perrez-Quintanilla, J. Hierro, M. Fajardo, I. Sierra // J. Environ. Monit. – 2006. – Vol. 8, Issue 1. – P. 214–222. doi:10.1039/b507983g
18. Арендарюк, Е. Н. Сорбционно-спектроскопическое определение ртути на  $\gamma$ -аминопропилсиликагеле [Текст] / Е. Н. Арендарюк, А. К. Трофимчук, Э. С. Яновская, Л. А. Батковская // Укр. хим. журн. – 2001. – Т. 67, № 9. – С. 33–36.
19. Симонова, Л. Н. Сорбционно-фотометрическое определение различных форм ртути с помощью силикагеля с привитой N-бензоил-N'-пропилтиомочевинной [Текст] / Л. Н. Симонова, И. М. Брускина, А. К. Трофимчук, А. С. Тряшин // Журн. аналит. химии. – 1989. – Т. 44. – С. 661–665.
20. Айвазов, Б. В. Практическое руководство по хроматографии [Текст] / Б. В. Айвазов. – М.: Высш. шк., 1968. – С. 81–88.
21. Костенко, Е. Е. Твердофазная спектрофотометрия – эффективный метод определения тяжелых металлов в пищевых объектах [Текст] / Е. Е. Костенко, М. И. Штокало // Журн. аналит. химии. – 2004. – Т. 59, № 12. – С. 1276–1282.
22. Костенко, Е. Е. Хіміко-аналітичні властивості сульфогфталейнових барвників, іммобілізованих на аніоніті АВ-17×8 та їх використання в аналізі харчових об'єктів [Текст] / Е. Е. Костенко // Методи та об'єкти хім. аналізу. – 2011. – Т. 6, № 1 – 2. – С. 56 – 70.
23. Пат. № 49538 А. Україна. МПК 7 C01G13/00. Спосіб визначення мікрокількостей ртуті (II) [Текст] / Костенко Е. Е.; заявник і власник патенту Національний університет харчових технологій. – № 2001128967; заявлено 25.12.01; Надрук. 16.09.2002, Бюл. № 9. – 4 с.
24. Николаева, Т. М. Определение железа методом твердофазной спектрофотометрии [Текст] / Т. М. Николаева, А. И. Лазарев // Заводская лаборатория. – 1992. – Т. 58, № 10. – С. 10–13.
25. Брыкина, Г. Д. Твердофазная спектрофотометрия [Текст] / Г. Д. Брыкина, Д. Ю. Марченко, О. А Шпигун // Журн. аналит. химии. – 1995. – Т. 50, № 5. – С. 484–491.
26. Брыкина, Г. Д. Твердофазная спектрофотометрия [Текст] / Г. Д. Брыкина, Л. С. Крысина, В. М. Иванов // Журн. аналит. химии. – 1988. – Т. 43, № 9. – С. 1547–1560.

**Вивчено процеси електрохімічного опріснення розчинів з високим вмістом іонів жорсткості в трикамерному електролізері з двома аніонними мембранами. Показано, що ефективно знесолення розчину сульфату магнію, який знаходиться між аніонними мембранами, відбувається за рахунок дифузії сульфат-аніонів в анодну область та гідролізу іонів магнію за рахунок дифузії гідроксид-аніонів з катодної камери в роботу**

**Ключові слова: електродіаліз, опріснення води, аніонні мембрани, шахтні води, католіт, аноліт**

**Изучены процессы электрохимического опреснения растворов с высоким содержанием ионов жесткости в трехкамерном электролизере с двумя анионными мембранами. Показано, что эффективное обессоливание раствора сульфата магния, который находится между анионными мембранами, происходит за счет диффузии сульфат-анионов в анодную область и гидролиза ионов магния за счет диффузии гидроксид-анионов с катодной камеры в рабочую**

**Ключевые слова: электродиализ, опреснение воды, анионные мембраны, шахтные воды, католит, анолит**

УДК 521.359.7

## ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ЗНЕСОЛЕННЯ РОЗЧИНІВ, ЩО МІСТЯТЬ ІОНИ ЖОРСТКОСТІ

**І. М. Макаренко**

Кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник  
Кафедра екології та  
технології рослинних полімерів  
Національний технічний університет  
України «Київський  
політехнічний інститут»  
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056  
E-mail: dsts1@ukr.net

### 1. Вступ

Надмірна мінералізація поверхневих вод є гострою проблемою для ряду регіонів України. Обумовлено це як природними, так і антропогенними факторами. Проблема актуальна для Донбасу, Приазов'я, Криму, ряду регіонів центральних та західних областей України. Насамперед це стосується

районів з розвинутою промисловістю та шахтобудуванням.

До таких районів слід віднести райони з потужними підприємствами вугледобувної промисловості, райони розміщення підприємств ядерної промисловості, залізрудні райони, базові підприємства нафтодобувної та нафтопереробної промисловості, металургії та інших галузей виробництва.