

*Досліджено комплексоутворення Hg (II) з хромазурою S у фазі полімерного аніоніту АВ-17×8. Встановлені кількісні характеристики складу та стійкості твердофазного комплексу. Встановлено, що максимальне вилучення (85 %) Hg (II) досягається при рН 1 за 20 хвилин контакту фаз з об'ємом 500 см<sup>3</sup>. Межа виявлення – 20 мкг/дм<sup>3</sup>. Закон Бера виконується в інтервалі концентрацій ртуті (20–100) мкг/дм<sup>3</sup>. Отримані результати використані для розробки методики визначення мікрокількостей Hg (II) в грибах*

*Ключові слова: твердофазне спектрофотометричне визначення, токсичні метали*

*Изучено комплексобразование Hg (II) с хромазурой S в фазе полимерного анионита АВ-17×8. Установлены количественные характеристики состава и устойчивости твердофазного комплекса. Установлено, что максимальное извлечение (85 %) Hg (II) достигается при рН 1 за 20 минут контакта фаз из объема 500 см<sup>3</sup>. Предел обнаружения – 20 мкг/дм<sup>3</sup>. Закон Бера выполняется в интервале концентраций ртути (20–100) мкг/дм<sup>3</sup>. Полученные результаты использованы для разработки методики определения микроколичеств Hg (II) в грибах*

*Ключевые слова: твердофазное спектрофотометрическое определение, токсичные металлы*

УДК 543.064:543.42:543.068.53:546.4

## ТВЕРДОФАЗНЕ СПЕКТРО- ФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ Hg (II) ЗА ДОПОМОГОЮ ХРОМАЗУРОЛА S

Є. Є. Костенко

Доктор хімічних наук, професор\*  
E-mail: Kostenkoelizaveta@ukr.net

О. М. Бутенко

Кандидат технічних наук, доцент\*  
E-mail: Kostenkoelizaveta@ukr.net

\*Кафедра аналітичної хімії

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

### 1. Вступ

Для визначення металів-токсикантів та деяких інших домішок широко використовують методи молекулярної та атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Можливість визначення низьких концентрацій забезпечується попереднім концентруванням. Ефективне концентрування забезпечує твердофазна екстракція, що широко застосовується для розробки нових методик визначення мікрокількостей металів. Однак при застосуванні традиційних сорбентів доводиться або вилучати аналіт з твердофазного концентрату, або застосовувати спеціальні спектральні методи для реєстрації сигналу аналітичної форми на поверхні сорбенту. Пряме фотометрування твердофазного концентрату стає можливим, якщо використовувати прозорі твердофазні екстрагенти, такі як полімерні іонообмінні смоли з хелатоутворюючими групами [1]. Є досвід простого одержання прозорих твердофазних екстрагентів шляхом іммобілізації деяких аналітичних реагентів на звичайних іонообмінниках; їх застосовано для визначення металів-токсикантів у об'єктах довкілля [2].

Видається перспективним розвинути цей підхід до одержання прозорого твердофазного концентрату для визначення мікрокількостей металів-токсикантів у харчових продуктах. Це дозволить концентрувати аналіти на місці пробовідбору, вимірювати світлопоглинання аналітичної форми безпосередньо у фазі іонообмінника, усунути стадію вилучення аналіту з

екстракту і пов'язані з цим завади за рахунок втрат чи забруднень, скоротити тривалість та трудомісткість аналізу.

### 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Ртуті є одним з найбільш небезпечних металів для здоров'я людини. Величина його ГДК зокрема в різних харчових об'єктах складає 0,005–0,7 мг/кг [3]. Тому важливим завданням аналітичної хімії є надійний та експресний контроль харчових продуктів і сировини та інших об'єктів довкілля на вміст токсичних металів, зокрема ртуті (II). Цю проблему неможливо вирішити, не використовуючи сучасні аналітичні методи контролю, зокрема комбіновані та гібридні, що поєднують сорбційне концентрування і наступне визначення у твердій фазі різними методами. З цією метою нині використовують синтетичні та природні полімери, мінеральні носії або інертні матеріали, здатні утримувати модифікатори. Як модифікатори найбільшого поширення набули хелатоутворюючі органічні реагенти, зокрема відомі металохромні барвники.

В літературі є відомості щодо використання полімерних адсорбентів, що містять іонообмінні та комплексоутворюючі групи, іонообмінних смол, волокнистих сорбентів [4–6], мембранних дисків, хімічно модифікованих кремнеземів для концентрування ртуті (II) та відокремлення його від інших еле-

ментів. При цьому визначення ртуті (II) у концентраціях проводять як у фазі адсорбенту, так і в елюаті. У роботі [4] запропонована методика вилучення Hg (II) та CH<sub>3</sub>Hg (I) полімерним сорбентом на основі полістерендивінілбензену з хелатними групами біс(о-амінофенілтіо)етану. Авторами роботи [5] розроблена методика тесту 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>). Літературні відомості щодо твердофазного спектрофотометричного визначення Hg (II) за допомогою полімерних сорбентів, з іммобілізованими барвниками, обмежуються роботою [7], з якої видно, що реакція взаємодії Hg (II) з твердофазним (ТФ) еріохром чорним Т характеризується невисокою чутливістю і селективністю.

Для концентрування та відокремлення Hg (II) використовуються також такі неорганічні адсорбенти, як оксиди, сульфіді, фероціаніди, природні сорбційні матеріали. Дослідження показують надзвичайну ефективність природних глин у вилученні катіонів важких металів, зокрема Hg (II) з води бентонітом [8, 9]. Бентонітові глини використовуються для очищення стічних вод від розчинних форм Hg (II) [10].

В останні роки в літературі з'являється інформація 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 [11]. Не дивлячись на широке використання глинистих матеріалів, є ряд недоліків, що обмежує їх використання. Зокрема, 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.

Для сорбційно-спектроскопічного визначення Hg (II) використовують також твердофазні екстрагенти на основі кремнеземів з ковалентно закріпленими органічними лігандами. Однією з найбільш вивчених груп є N-вмісні хімічно модифіковані кремнеземи (ХМК) з прищепленими моно- і бідентатними аліфатичними і гетероциклічними амінами та азосполуками [12–14].

При використанні γ-амінопропілсилікагеля авторами роботи [15] було досліджено умови сорбції Hg (II). Встановлено, що суттєва сорбція Hg (II) спостерігається при рН>3. Співвідношення NH<sub>2</sub>-груп поверхні кремнезему до кількості іонів Hg при досягненні сорбційної ємності дорівнює 3:1. На основі отриманих даних запропонований сорбційно-фотометричний метод визначення 0,1-10 мг/л іонів ртуті 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.

Твердофазний реагент сілохром N-бензоіл-N'-пропілтіосечовина був використаний для вилучення

Hg (II) із стічних вод. Оптимальні умови такого сорбційно-спектрофотометричного визначення наступні: V=50 см<sup>3</sup>, рН1-2, елюент – дитизон в хлороформі, МВ=0,01 мг/дм<sup>3</sup> [16].

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.

В літературі відсутні також дані щодо використання відомих барвників, наприклад, хромазуrola S (ХАЗ), іммобілізованих на іонообмінниках, 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

Метою даної роботи стало створення нової ефективної методики визначення мікрокількостей ртуті (II) у харчових об'єктах.

- Для цього потрібно було вирішити наступні задачі:
- встановити оптимальні умови сорбційного концентрування та наступного визначення у фазі сорбенту іонів ртуті (II) твердофазним реагентом хромазуrolom S-AB-17×8;
  - дослідити хімізм взаємодії іонів Hg (II) з ХАЗ, 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 хромазуrolom S

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 комплексометрично. Робочі 1·10<sup>-3</sup> М розчини готували розведенням вихідного дистильованою водою.

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

В роботі використовували кондиційний аніонообмінник АВ-17×8 (А) в СГ формі зерненням 0,25–0,50 мм, який готували до роботи за методикою, описаною в [17]. Підготовлену матрицю модифікували водним розчином ХАЗ з розрахунку ~ 0,01 г ХАЗ на 1 г повітряно-сухого А-СІ, як це описано в [18, 19]. 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 іономіром И-160 зі скляним електродом.

Результати дослідження умов сорбції ХАЗ на АВ-17×8 та впливу різних середовищ на цей процес, а також десорбцію ХАЗ наведені в роботі [19]. Концентрацію ртуті у рівноважних розчинах визначали фотометрично за допомогою сульфоназо III [20].

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 [21]. 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 [22].

Дослідження спектрів світлопоглинання твердофазного ХАЗ і його комплексу з Hg (II) показало, що батохромний зсув максимуму спектра комплексу і гіперхромний ефект можуть свідчити про утворення комплексної сполуки ртуті в твердій фазі. Встановлено, що максимальне вилучення (85 %) Hg (II) досягається при рН 1 за 20 хвилин контакту фаз з об'ємом 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 20 мкг/дм<sup>3</sup>. Основою (АВ-17×8) ртуті (II) практично не сорбується. Закон Бера виконується в інтервалі концентрацій ртуті (20–100) мкг/дм<sup>3</sup> (V=50см<sup>3</sup>). λ<sub>опт</sub> = 580 нм.

Дані про вплив сторонніх іонів на визначення 2,0·10<sup>-6</sup> М Hg (II) представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Вплив сторонніх іонів металів на визначення Hg (II)

М	Припустима кратність надлишку	М	Припустима кратність надлишку
Pb (II)	1000	Cu (II)	1000
Fe (III)	1000	Zr (IV)	1000
Zn (II)	1000	Ti (IV)	1000
Co (II)	1000	Sn (IV)	10
Ni (II)	1000	Ca (II)	1000
Al (III)	1000	Mg (II)	1000
Cd (II)	1000		

При вивченні хімізму комплексоутворення та з метою встановлення молярного співвідношення компонентів у ТФ комплексі порівнювали спектри світлопоглинання досліджуваного комплексу в розчині [21] і у фазі сорбенту. Збіжність максимумів спектрів світлопоглинання свідчить про ідентичність складів комплексів у обох випадках [19, 23–25]. 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 ХАЗ в аніонообміннику і кількість Hg (II), що прореагував з аніонообмінником, визначали співвідношення компонентів у комплексі [19, 26]. Виявилось, що Hg: ХАЗ=1:1. Тобто можна припустити, що комплексоутворення в ТФ системі, як і в розчині, відбувається за рахунок заміщення іонів гідрогену в гідроксо- і карбокси-групах з утворенням 6-членного циклу. Враховували також форму, у вигляді якої Hg (II) може координуватися з ТФ ХАЗ в оптимальних умовах. За розрахунками при рН 1 координуючим іоном є Hg<sup>+2</sup>. Зважаючи на вплив полімерної матриці на процес комплексоутворення [19, 22], визначали умовну константу стійкості ТФ комплексу HgH<sub>2</sub>R<sup>-</sup> за схемою, описаною в роботах [18, 19, 27–30]. Середнє значення умовної константи стійкості дорівнює lg0,7±8,1=β<sub>1</sub>.

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 [30]. Максимальна ємність модифікованого сорбенту за Hg (II) (1,55·10<sup>-5</sup> моль/г) приблизно дорівнює його ємності за ХАЗ, що також може вказувати на утворення комплексу з еквімолярним співвідношенням компонентів [31]. Отримані дані були використані для розробки нової методики визначення ртуті (II) в харчових об'єктах.

**Методика визначення Hg (II) в грибах**

Готували три однакові проби: в кожену з них додавали по 1 см<sup>3</sup> розчину золи продукту, 20 см<sup>3</sup> дистильованої води, 1 см<sup>3</sup> 10<sup>-3</sup> М розчину фториду натрію для зв'язування іонів Fe<sup>3+</sup>, об'ємі 50 см<sup>3</sup> створювали рН 2 за допомогою HCl і NaOH. В одну з проб вносили 0,3 г іммобілізованого ХАЗ, перемішували 20 хв на магнітній мішалці, отриманий концентрат вносили в кювету, попередньо заповнену дистильованою водою, і вимірювали оптичну густину в кюветі з l=0,1 см при λ=580 нм відносно АВ-17×8. До інших проб додавали стандартні добавки солі ртуті (II), вносили по 0,3 г твердофазного ХАЗ і виконували експеримент як описано вище. Вміст ртуті знаходили за рівнянням: ΔA=(5,03±2,89)·10<sup>-3</sup>+(0,16±±0,003)·mHg, мкг/см<sup>3</sup> або, користуючись графічним варіантом методу добавок. Результати визначення ртуті наведені у табл. 2.

З табл. 2 видно, що досліджувані зразки грибів не забруднені ртуттю і можуть бути рекомендовані для вживання за умов відсутності інших токсикантів.

Таблиця 2

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

Об'єкт аналізу; m зразка	Внесено Hg, мг/кг продукту	Знайдено Hg, мг/кг продукту (А)	S <sub>r</sub>	Знайдено Hg, мг/кг продукту (Б)	S <sub>r</sub>
Печериця, 5 г (А), 50 г (Б)	– 1	– 1,0 ± 0,1	– 0,04	< 0,02 1,1 ± 0,1	– 0,03
Глива, 4,32 г (А), 50 г (Б)	– 1	– 1,1 ± 0,1	– 0,02	< 0,02 1,0 ± 0,1	– 0,03

### 5. Висновки

Досліджено хімізм взаємодії Hg (II) з твердофазним полімерним барвником ХАЗ-АВ-17×8.

Встановлено, що в системі утворюється бінарна комплексна сполука з еквімолярним співвідношенням

компонентів. Стійкість твердофазної комплексної сполуки характеризується величиною  $\lg\beta_1=8,1\pm 0,7$ . Максимальне вилучення (85 %) Hg (II) досягається при рН 1 за 20 хвилин контакту фаз з об'єму 50 см<sup>3</sup>. Кількісна сорбція можлива також з 500 см<sup>3</sup> розчину. Коефіцієнт концентрування – 1667 см<sup>3</sup>/г. Межа виявлення становить 20 мкг/дм<sup>3</sup>. Основою (АВ-17×8) ртуті (II) практично не сорбується. Закон Бера виконується в інтервалі концентрацій ртуті (20–100) мкг/дм<sup>3</sup> (V=50 см<sup>3</sup>).  $\lambda_{\text{opt}} = 580 \text{ нм}$ .

Отримані дані дозволили створити просту чутливу, експресну, селективну методику ТФС визначення мікрокількостей Hg (II). Визначенню не заважають 1000-кратні надлишки іонів Са (II), Mg (II), Cu (II), Pb (II), Zn (II), Со (II), Ni (II), Cd (II), Al (III), Fe (III). Можливе використання невеликих наважок досліджуваних харчових продуктів (до 5 г). Методика не потребує складного коштовного обладнання обслуговування якого передбачає присутність висококваліфікованого персоналу. Правильність отриманих даних визначали методом «внесено-знайдено». Збіжність результатів, отриманих за новою методикою і стандартною, підтверджує достовірність їх.

### Література

1. Yoshimura, K. Ion - exchanger phase absorptiometry for trace analysis [Text] / K. Yoshimura, H. Waki // Talanta. – 1985. – Vol. 32, № 5. – P. 345 – 347.
2. 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.
3. СанПиН. 43-123-4089-56. Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах [Текст] / Введ. 1986-25-06. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 85 с.
4. 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. – P. 73–80.
5. Дедкова, В. П. Тест-метод определения ртути (II) дитизином 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.
6. Chandra, Debraj Polyacrylate anion exchangers in sorption of heavy metal ions with the biodegradable complexing agent [Text] / Debraj Chandra, Swapan Kumar Das, Asim Bhaumik // Chemical Engineering Journal. – 2009. – Vol. 150, Issues 2-3. – P. 280–288.
7. Костенко, Є. Є. Дослідження взаємодії Cu(II), Pb(II), Zn(II), Hg(II), Cd(II) з твердофазним еріохромом чорним Т [Текст] / Є. Є. Костенко, М. Й. Штокало // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2006. – Т. 6, № 24. – С. 45–48.
8. 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, № 3-4. – P. 183–190.
9. 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, № 3. – P. 289–295.
10. Viraraghavan, T. Adsorption of mercury from wastewater by bentonite [Text] / T. Viraraghavan, A. Kapoor // Appl. Clay Sci. – 1994. – Vol. 9, № 1. – P. 31–49.
11. 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. Walcarius // Sens. Act. B. – 2005. – Vol. 110, № 2. – P. 195–203.
12. 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. – P. 229–240.
13. 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. – P. 1173–1188.
14. 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. – P. 214–222.
15. 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.



16. 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.
17. Айвазов, Б. В. Практическое руководство по хроматографии [Текст]: книга / Б. В. Айвазов. – М.: Высш.шк., 1968. – С. 81–88.
18. 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.
19. Костенко, Є. Є. Хіміко-аналітичні властивості сульфогфталейнових барвників, іммобілізованих на аніоніті АВ-17×8 та їх використання в аналізі харчових об'єктів [Текст] / Є. Є. Костенко // Методи та об'єкти хім. аналізу. – 2011. – Т. 6, № 1-2. – С. 56–70.
20. Костенко, Е. Е. Фотометрическое определение микроколичеств свинца в питьевой воде с помощью сульфоназо III [Текст] / Е. Е. Костенко, М. Г. Христиансен, Е. Н. Бутенко // Химия и технология воды. – 2002. – Т. 24, № 6. – С. 558–565.
21. Николаева, Т. М. Определение железа методом твердофазной спектрофотометрии [Текст] / Т. М. Николаева, А. И. Лазарев // Заводская лаборатория. – 1992. – Т. 58, № 10. – С. 10–13.
22. 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.
23. Брыкина, Г. Д. Сорбционно-рентгенофлуоресцентное определение меди, никеля, цинка и кадмия в почвах [Текст] / Г. Д. Брыкина, Н. Л. Степанова, А. В. Стефанов, Л. С. Крысина, Т. А. Белявская // Журн. аналит. химии. – 1983. – Т. 38, № 1. – С. 33–37.
24. Брыкина, Г. Д. Определение микроколичеств урана (VI) методом твердофазной спектрофотометрии [Текст] / Г. Д. Брыкина, Г. Ф. Агапова, В. Ф. Калинина, Л. С. Крысина // Журн. аналит. химии. – 1988. – Т. 43, № 8. – С. 1461–1465.
25. Брыкина, Г. Д. Сорбционно-фотометрическое определение палладия в промышленных объектах [Текст] / Г. Д. Брыкина, Т. В. Марчак, Л. С. Крысина, В. П. Хвостова, Т. А. Белявская // Журн. аналит. химии. – 1982. – Т. 37, № 10. – С. 1841–1845.
26. Пилипенко, А. Т. Модифицирование катионообменника КУ-23 4-(2- пиридилазо) резорцином для концентрирования и фотометрического определения тяжелых металлов [Текст] / А. Т. Пилипенко, В. Г. Сафронова, Л. В. Закревская // Журн. аналит. химии. – 1989. – Т. 44, № 9. – С. 1594–1598.
27. Тертых, В. А. Равновесия комплексобразования и адсорбции на поверхности исходных и модифицированных кремнезёмов [Текст] / В. А. Тертых, В. В. Янишпольский // Теор. и экспер. химия. – 1991. – № 3. – С. 361–370.
28. Скопенко, В. В. Исследование взаимодействия неводных растворов меди (II) и кобальта (II) с  $\gamma$ -(2(8)-метилхинолинамино)пропилаеросилом [Текст] / В. В. Скопенко, А. К. Трофимчук, В. Н. Зайцев // Журн. неорг. химии. – 1982. – Т. 27, № 10. – С. 2579–2582.
29. Холин, Ю. В. Выбор модели описания равновесий комплексобразования  $\text{CoCl}_2$  с аминопропилкремнеземами в диметилформамиде [Текст] / Ю. В. Холин, В. Н. Зайцев, Н. Д. Донская // Журн. неорг. химии. – 1990. – Т. 35, № 6. – С. 1569–1574.
30. Парфит, Г. Адсорбция из растворов на поверхностях твердых тел [Текст]: книга / Г. Парфит, К. Рочестер. – М.: Мир, 1986. – 475 с.
31. Костенко, Є. Є. Хіміко-аналітичні властивості азобарвників, іммобілізованих на аніоніті АВ-17×8, та використання їх в аналізі харчових об'єктів [Текст] / Є. Є. Костенко // Укр. хім. журн. – 2011. – Т. 77, № 8. – С. 107–115.