

УДК 542.8:543.4:543.6:547.1

О.С. Погребняк ^а, М.М. Візір ^б, О.П. Шевченко ^а, О.А. Лут ^а, Ю.А. Шафорост ^а

КОЛЬОРОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЦИНКУ СУЛЬФАРСАЗЕНОМ НА МОДИФІКОВАНОМУ АЛЮМІНІЙ ОКСИДІ

^а Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси, Україна^б Ауробіндо Фарма США, м. Дюрем, Північна Кароліна, США

Цинк відіграє дуже важливе значення в життєдіяльності всіх живих організмів. Втім його вміст потрібно пильно контролювати, бо, окрім позитивного впливу, надлишок цього елемента може нести й негативні наслідки. Тому для забезпечення оптимального рівня надходження цинку в організм людини необхідний контроль за його вмістом у харчових продуктах і питній воді. У даній роботі запропоновано методику кольориметричного визначення цинку, яка базується на зміні кольору алюміній оксиду, модифікованого сульфарсазеном. Координати кольору у системі RGB, CMYK та Lab визначали шляхом комп'ютерної обробки зображення, отриманого скануванням забарвленого сорбенту за допомогою програми Adobe Photoshop. Також було розраховано величини колірної відмінності (ΔE), насиченості (S) та кольорового тону (T). Найвища кореляція мала місце при визначенні цинку в координатах R–с(Zn^{2+}) системи RGB. Межа виявлення цинку (за 3s-критерієм) становить 2,29 мкг/см³. Діапазон визначуваних концентрацій складає 3–100 мкг/см³. Метрологічні характеристики методик було перевірено на модельних розчинах. Кольориметрична методика визначення цинку успішно апробована на цинквмісних сплавах та шлам. Методика проста у виконанні та придатна для визначення цинку у різноманітних об'єктах.

Ключові слова: цинк, сульфарсазен, кольориметрія, модифікований алюміній оксид, сплав Деварда, латунь, шлам.

DOI: 10.32434/0321-4095-2025-163-6-105-112

Вступ

Цинк – досить розповсюджений у природі елемент, його вміст у земній корі складає $1,5 \cdot 10^{-3}\%$. Найбільш розповсюдженими мінералами цинку є сфалерит (ZnS), цинкіт (ZnO), смітсоніт ($ZnCO_3$), госларит ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) та вілеміт (Zn_2SiO_4) [1].

Біологічне значення цинку було встановлено приблизно 150 років тому, хоча ранозагоювальні властивості цинкової мазі були відомі ще стародавнім єгиптянам. Проте і сьогодні біохімічні властивості цього мікроелемента про-

довжують вивчатися. Цинк присутній у всіх тканинах, органах, секретах людського організму і належить до найбільш незамінних і важливих для життєдіяльності організму людини мікроелементів [2]. Біологічне значення цинку значною мірою пов'язане з функціонуванням залоз внутрішньої секреції, в яких він концентрується. Крім того, іони цинку істотно впливають на здатність інсуліну знижувати рівень глюкози в крові. Цинк також має важливе значення у діяльності клітин головного мозку, тому його використовують для лікування психічних захворювань. Здатність цинку

© О.С. Погребняк, М.М. Візір, О.П. Шевченко, О.А. Лут, Ю.А. Шафорост, 2025



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Colorimetric determination of zinc by sulfarsazene on modified aluminum oxide

підвищувати загальний енергетичний рівень біохімічних процесів і посилювати захисну реакцію організму відкриває перспективи для його застосування як стимулятора багатьох фізіологічних процесів [3]. Він також стимулює ділення клітин. Ця властивість цинку проявляється при розвитку тканин зародка, ран, що зарубцьовуються, та злоякісних пухлин, які без цинку розвиватися не можуть, тобто він сприяє діленню і ракових клітин. Надлишок цинку в організмі може призвести до загальної інтоксикації та мутацій ДНК. Крім того, цинк помітно впливає на стан статевих функцій, а саме на активність деяких статевих гормонів, вироблення сперматозоїдів, розвиток чоловічих статевих залоз і вторинних статевих ознак. Цинк необхідний для нормальної роботи органів зору, нюху та смаку, а також входить до складу деяких ферментів, що активізують розщеплення вугільної кислоти.

У людському організмі міститься приблизно 1,4–2,3 г цинку, він надходить в організм переважно з харчовими продуктами в середній кількості 14–15 мг за добу. Більша його частина (11–12 мг) виводиться, а 2,5–3,0 мг цинку надходить у плазму крові, де зв'язується білками і ферментом карбоангідразоном. У такому зв'язаному стані цинк потрапляє всередину клітин, у м'язи та волосся. Вміст цинку у волоссі – об'єктивний показник обміну речовин в організмі. Важливе значення цинк має в синтезі рослинних гормонів: ауксинів, амінокислоти проліну тощо.

Методиками, що використовуються для контролю вмісту цинку в різноманітних об'єктах, є комплексонометричні з індикаторами еріохромом чорним Т [4] і ксиленоловим оранжевим [5] та спектрофотометрична з сульфарсазеном [6]. При відносній простоті і доступності вони недостатньо чутливі і вибіркові щодо катіонів інших металів, зокрема Pb^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Bi^{3+} тощо. Тому для отримання достовірних результатів проводять маскування заважаючих іонів або їх відділення іонним обміном або екстракцією [4].

В останній час для визначення вмісту цинку запропоновано низку методик, більшість з яких, наприклад, є електрохімічними [7,8], спектрофотометричними [9] та проводяться методом атомно-абсорбційної спектроскопії [10].

Незважаючи на різноманітність запропонованих індикаторних систем, більшість методик визначення цинку характеризуються низькою вибірковістю, а також є недостатньо експресними. У разі необхідності виконання аналізу поза межами лабораторії, на місці відбору проби, перевагу віддають швидким, простим і дешевим тест-

методам виявлення та напівкількісного визначення речовин. У такому випадку різко зменшується, а нерідко й повністю відпадає не тільки необхідність використання коштовного та складного лабораторного обладнання, а й висококваліфікованого персоналу. Отже, проблема розробки вибіркової, простої, експресної та в той же час екологічно безпечної методики визначення іонів цинку у різноманітних об'єктах є досить актуальним завданням аналітичної хімії.

Метою даної роботи було з'ясування можливості застосування алюміній оксиду, модифікованого сульфарсазеном, для кольорометричного визначення цинк-іонів та застосувати її для визначення вмісту цинку в сплавах та у фільтраті шламу з Черкаського ВО «Хімволокно».

Методика експерименту

Реагенти

Використовували сульфатну кислоту, цинк сульфат, натрій тетраборат, та амоній хлорид кваліфікації «х.ч.»; сульфарсазен (СН), натрій гідроксид та розчин амоніаку кваліфікації «ч.д.а.»; алюміній оксид кваліфікації «для хроматографії».

Усі розчини готували на дистильованій воді. Для приготування вихідного розчину цинк сульфату ($10,0 \text{ мг/см}^3$ в перерахунку на Zn) розчинили $1,099 \text{ г ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в мірній колбі на $25,0 \text{ см}^3$. Стандартний (100 мкг/см^3) та робочі розчини солі цинку готували розбавленням вихідного розчину цинк сульфату.

Для приготування вихідного розчину СН (0,05%) розчиняли $50,0 \text{ мг}$ реактиву в $100,0 \text{ см}^3$ розчину натрій тетраборату з концентрацією $0,05 \text{ моль/дм}^3$.

Алюміній оксид модифікували СН наступним чином. До наважки Al_2O_3 масою $10,0 \text{ г}$ додавали $50,0 \text{ см}^3$ вихідного розчину СН, $2,0 \text{ см}^3$ $1,0 \text{ моль/дм}^3$ H_2SO_4 (контролювали $\text{pH} \approx 7,9$) і перемішували на магнітній мішалці 2–3 хв, фільтрували та висушували до постійної маси при кімнатній температурі.

Амоніачний буферний розчин ($\text{pH} \approx 9$) готували розчиненням у мірній колбі на $100,0 \text{ см}^3$ $5,4 \text{ г}$ NH_4Cl в $35,0 \text{ см}^3$ 25% розчину NH_4OH та доводили до мітки дистильованою водою.

Апаратура

Дослідження здійснювали на спектрофотометрі Mapada UV 1200 (Instruments Co., Ltd.), товщина кювети становила $1,0 \text{ см}$. Виміри проводили відносно «нульового» розчину порівняння, що містив усі реактиви, крім розчину цинку. Кольорометричні вимірювання здійснювали за допомогою сканера Mustek S410W і комп'ютерної програми Adobe Photoshop 6.0. Зважування речо-

вин здійснювали на аналітичних вагах ВЛР-200. Кислотність середовища вимірювали рН-метром HI98103 Checker с електродом HI1271. Для перемішування розчинів використовували магнітну мішалку ММ-5. Час вимірювали секундоміром СОП пр-2а-3-000.

Методики дослідження

Спектрофотометричне (СФ) визначення цинк-іонів з сульфарсазеном згідно з методикою [6] проводили таким чином. Для побудови градуального графіку (ГГ) у мірну колбу на 25,0 см³ вносили 0–20,0 см³ стандартного (або досліджуваного) розчину цинку, додавали води до ≈ 20 см³ та по 1,0 см³ амоніачного буферу і робочого розчину СН, доводили до 25,0 см³ дистильованою водою і вимірювали оптичну густину отриманих розчинів при 545 нм відносно «нульового» розчину.

Для встановлення часу, необхідного для завершення модифікації Al₂O₃, у серію хімічних стаканчиків вносили по 1,000 г алюміній оксиду та додавали 10,0 см³ розчину СН. Розчини перемішували і через кожні 0,5 хв рідину зливали і промивали дистильованою водою. Після седиментації забарвлений осад переносили в стаканчик для сканування. Координати кольору в різних системах визначали, скануючи осади на дні стаканчика. Режим сканування: Colog 24 біт, роздільна здатність 400 пікселів/дюйм. Після сканування для усунення зернистості осаду його зображення піддавали змазуванню по Гауссу з радіусом 5,0 пікселів, використовуючи опцію програми Adobe Photoshop 6.0 «Фільтр/Змазування/Змазування Гаусса...». Потім встановлювали потрібну систему кольору (RGB, CMYK, Lab) за допомогою опції «Зображення/Режим». Для виведення числових значень координат кольору використовували опцію «Вікно/Показати/Інформація».

Для дослідження впливу оптимальної кислотності при модифікації сорбенту у серію хімічних стаканчиків вносили по 0,500 г алюміній оксиду, 5,0 см³ розчину СН та додавали певний об'єм 0,1 моль/дм³ H₂SO₄ або NaOH і доводили до загального об'єму 10,0 см³ дистильованою водою. Розчини перемішували, вимірювали рН, через 2–3 хв рідину зливали, промивали дистильованою водою, сканували забарвлений осад та піддавали зображення комп'ютерній обробці.

Для встановлення оптимальної маси алюміній оксиду, необхідної для адсорбції 0,05% розчину СН, у серію хімічних стаканчиків вносили від 0,1 до 3,0 г алюміній оксиду, 5,0 см³ розчину СН та коректували рН за допомогою 0,1 моль/дм³ H₂SO₄

до значення $\approx 7,9$. Розчини перемішували 2–3 хв, рідину зливали, осад промивали дистильованою водою, сканували та проводили комп'ютерну обробку зображення.

Для побудови ГГ при кольориметричному визначенні цинку вносили у хімічний стакан 0–20,0 см³ стандартного розчину цинку і 1,0 см³ амоніачного буферу. У суміш реактивів висипали 0,500 г модифікованого СН алюміній оксиду, доводили до 25,0 см³ дистильованою водою та перемішували 2–3 хвилини і сканували забарвлений осад та піддавали зображення комп'ютерній обробці за допомогою програми Adobe Photoshop 6.0.

При кольориметричному визначенні цинку в досліджуваних зразках відбирали у хімічний стакан 5,0 см³ аналізованого розчину і виконували всі операції аналогічно до побудови ГГ.

Результати та їх обговорення

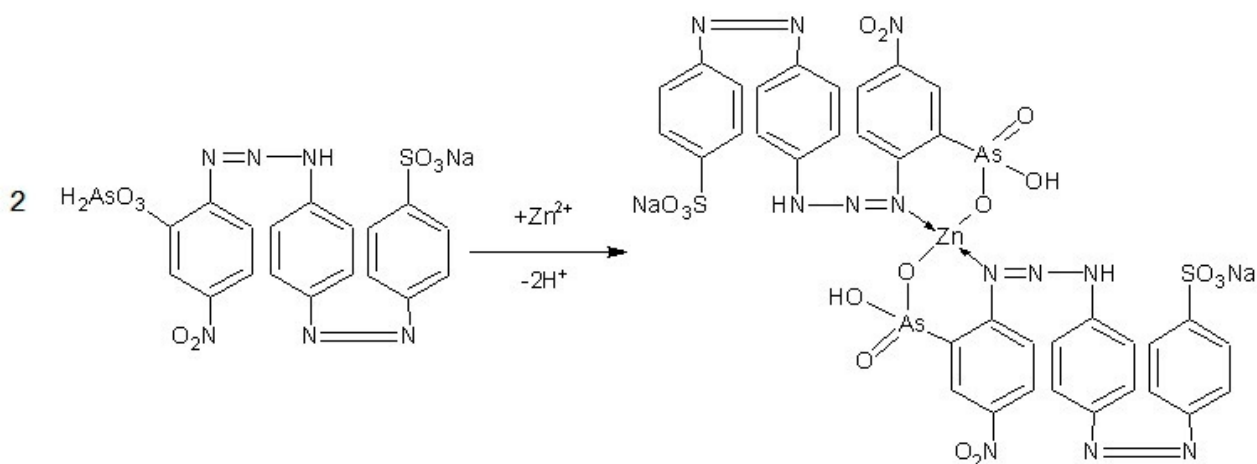
Цинк реагує з сульфарсазеном з утворенням комплексної сполуки ($\lambda_{\text{max}}=545$ нм) згідно зі Схемою. Ця реакція лежить в основі стандартної СФ методики визначення цинку [5], яку використовували для контролю визначення цинку методом ГГ. Для цього вимірювали значення оптичних густин комплексів СН з Zn²⁺-іоном відносно «нульового» розчину. Виявилось, що в наших умовах закон Бугера-Ламберта-Бера зберігається в межах 0,05–10 мкг/см³ цинку. У цьому діапазоні рівняння ГГ має вигляд ($R^2=0,9991$; $n=7$):

$$\Delta A_{545} = (0,0002 \pm 0,0034) + (0,0986 \pm 0,0013) \cdot c(\text{Zn, мкг/см}^3).$$

МВ цинку, розрахована за 3s-критерієм, становить 0,1 мкг/см³. Отже, даною методикою можна визначати іони цинку в інтервалі концентрації 0,1–10 мкг/см³.

Далі нами запропоновано як аналітичний сигнал брати не оптичну густину, а за допомогою сканера та відповідного програмного забезпечення вимірювати координати кольору забарвленого сорбенту в системах RGB, CMYK та Lab, тобто застосовувати метод кольориметрії. Попередньо для зручності та зменшення часу елементовизначення сорбент (алюміній оксид) модифікували органічним реактивом СН.

Перед цим проводили оптимізацію умов модифікації сорбенту. Результати визначення часу, необхідного для завершення модифікації, показали, що за створених умов, адсорбція СН після 2 хв витримання алюміній оксиду в розчині досягає максимального значення і стабілізується. На це вказують сталі значення координати кольору R системи RGB після витримання алюміній оксиду в розчині СН в інтервалі 2–12 хв.



Схема

Результати дослідження впливу кислотності при модифікації сорбенту наведені на рис. 1. Як видно, оптимальним, при модифікації сорбенту, є рН 7,8–8,0, на що вказує максимальне значення координати кольору R.

Результати встановлення оптимальної маси алюміній оксиду, необхідної для адсорбції з певного об'єму вихідного розчину СН, наведені на рис. 2. Видно, що для адсорбції СН з 5,0 см³ 0,05% розчину потрібно 1,0 г Al₂O₃. Тому в подальшому для модифікації 10,0 г Al₂O₃ брали 50,0 см³ 0,05% розчину СН.

Після з'ясування оптимальних умов модифікації сорбенту проводили реакцію між стандартними розчинами цинку і модифікованим алюміній оксидом СН. Забарвлений у різні відтінки сорбент піддавали скануванню та будували ряд ГГ, використовуючи різні координати кольору. Потім провели статистичну обробку от-

риманих даних за допомогою комп'ютерної програми OriginPro 8.

У табл. 1 наведено параметри рівнянь ГГ, отриманих із застосуванням різних координат кольору в системах RGB, CMYK та Lab, і деякі результати їхньої статистичної обробки. Як аналітичний сигнал в кольориметрії використовуються також величини колірної відмінності (ΔE), насиченості (S) та кольорового тону (T), які розраховуються із числових значень координат кольору L, а та b. Величини ΔE , S та T розраховували на основі залежностей [11], використовуючи програму Microsoft Excel. У результаті отримали значення колірної відмінності, насиченості та кольорового тону цих зразків. За цими значеннями були розраховані рівняння градувальних графіків у відповідних координатах, параметри яких теж наведені у табл. 1.

Як видно з табл. 1, найкращий коефіцієнт

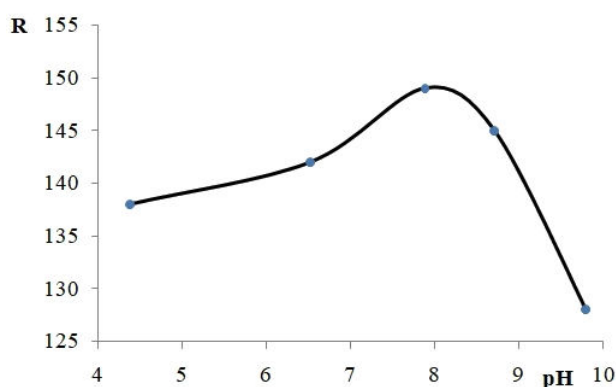


Рис. 1. Залежність координати кольору R, при модифікації алюміній оксиду сульфарсазеном, від рН. ($m(\text{Al}_2\text{O}_3)=0,500$ г, об'єм 0,05% СН дорівнює 5,0 см³)

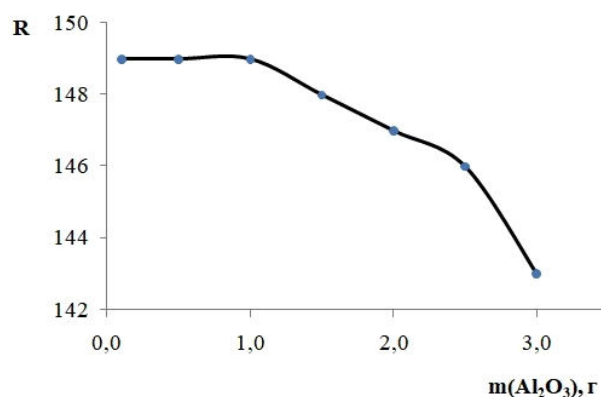


Рис. 2. Залежність координати кольору R при модифікації алюміній оксиду сульфарсазеном від $m(\text{Al}_2\text{O}_3)$. (Об'єм 0,05% СН дорівнює 5,0 см³, рН 7,9)

кореляції (апроксимації) R^2 та межі виявлення (МВ) мають градуювальні графіки в разі застосування як аналітичного сигналу координат кольору R, B, M та колірної відмінності ΔE . Але у випадку ΔE потрібно проводити додаткові розрахунки, та і МВ в цьому випадку дещо більша, а при використанні як аналітичного сигналу координат кольору B та M градуювальні графіки мають досить вузький діапазон. Тому в подальших дослідженнях ми використовували ГГ в координатах R–с(Zn). Лінійність ГГ при цьому зберігається в діапазоні 3–100 мкг/см³ цинку.

Для перевірки правильності та відтворюваності результатів було приготовлено та проаналізовано спектрофото- та кольориметрично (в координатах R–с(Zn)) модельні розчини з різним вмістом цинку. Результати досліджень наведено у табл. 2.

Видно, що методика менш чутлива та точна, ніж СФ, але характеризується задовільною правильністю та відтворюваністю. Відносна похибка визначення цинку не перевищує 5%. Отримані

результати свідчать про перспективність застосування модифікованого алюміній оксиду як твердофазного реагенту для кольориметричного визначення цинку в деяких об'єктах. Апробація методики була проведена на цинквмісних сплавах та у фільтраті шламу з Черкаського ВО «Хімволокно».

Визначення цинку в сплавах та шламів з ВО «Хімволокно»

З метою апробації запропонованої методики та можливості її використання для аналізу деяких об'єктів нами було проведено аналіз сплаву Декарда, латуні марки Л68 та сульфатнокислотної витяжки шламу віскозного виробництва з ВО «Хімволокно» [12,13].

Для аналізу сплавів, що містять цинк, у хімічному стакані розчиняли наважки сплавів ($\approx 0,5$ г) у нітратній кислоті, кількісно переносили в мірну колбу на 50,0 см³ та доводили до мітки дистильованою водою. Відбирали у хімічний стаканчик 5,0 см³ отриманих розчинів, додавали краплями 2 моль/дм³ розчин натрій гідроксиду до

Таблиця 1

Параметри градуювальних графіків кольориметричного визначення цинку і результати їхньої статистичної обробки. $y=(a\pm\Delta a)+(b\pm\Delta b)\cdot C(Zn^{2+})$, мкг/см³ ($P=0,95$)

Координата кольору (y)	$a\pm\Delta a$	$b\pm\Delta b$	Лінійність ГГ, мкг/см ³	R^2 (n)	МВ, мкг/см ³
R	148,7 $\pm$ 0,39	–0,51 $\pm$ 0,01	3–100	0,998 (7)	2,29
G	70,20 $\pm$ 1,5	–0,26 $\pm$ 0,02	20–100	0,976 (4)	17,3
B	80,12 $\pm$ 3,5	–2,0 $\pm$ 0,32	6–20	0,928 (4)	5,25
C	30,00 $\pm$ 0,73	–0,051 $\pm$ 0,02	50–70	0,710 (4)	42,9
M	74,19 $\pm$ 0,34	0,16 $\pm$ 0,01	10–100	0,993 (5)	6,38
Y	67,69 $\pm$ 0,59	–0,051 $\pm$ 0,01	40–100	0,903 (6)	34,7
K	4,411 $\pm$ 0,62	0,11 $\pm$ 0,01	20–100	0,986 (5)	16,9
L	48,22 $\pm$ 2,0	–0,46 $\pm$ 0,06	15–70	0,920 (6)	13,0
a	25,79 $\pm$ 0,34	0,081 $\pm$ 0,01	15–100	0,985 (4)	12,6
b	27,58 $\pm$ 0,77	–0,063 $\pm$ 0,01	40–100	0,814 (4)	36,7
ΔE	68,33 $\pm$ 0,33	–0,13 $\pm$ 0,01	10–100	0,830 (4)	7,62
S	33,02 $\pm$ 0,41	–0,042 $\pm$ 0,02	30–70	0,545 (4)	29,3
T	0,8352 $\pm$ 0,04	–0,011 $\pm$ 0,00	15–70	0,472 (4)	10,9

Таблиця 2

Результати визначення цинку в модельних розчинах методом «введено–знайдено» ($P=0,95$; $n=5$)

Вміст цинку, мкг/см ³		
Введено	Знайдено, $x\pm\Delta x$	
	спектрофотометрія*	кольориметрія
10,0	10,6 $\pm$ 0,2	10,5 $\pm$ 0,4
25,0	26,1 $\pm$ 0,1	25,7 $\pm$ 0,3
50,0	54,8 $\pm$ 0,2	47,6 $\pm$ 0,5

Примітка: * – після 10-тиkratного розведення.

припинення утворення осаду $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Суміш фільтрували через знезолений фільтр «біла стрічка», після чого додавали $0,5 \text{ моль/дм}^3$ розчин сульфатної кислоти до $\text{pH} \approx 5$ та доводили до загального об'єму $10,0 \text{ см}^3$ дистильованою водою. Відбирали $5,0 \text{ см}^3$ (у випадку, коли вміст Zn в сплаві перевищує 20%, брали менший об'єм) приготовленого розчину і подальше визначення вмісту цинку проводили згідно з наведеною вище кольориметричною методикою. Розрахунки здійснювали з урахуванням розбавлення розчинів.

Для аналізу шламу з ВО «Хімволокно» готували кислотну витяжку таким чином. У хімічний стакан на 50 см^3 насипали $\approx 0,5 \text{ г}$ сухого шламу та додавали до нього (у витяжній шафі) 10 см^3 10%-го розчину сульфатної кислоти. Через 10 хвилин вміст хімічного стакана фільтрували та кількісно переносили в мірну колбу на $100,0 \text{ см}^3$ і доводили до мітки дистильованою водою. Для подальшого визначення цинку відбирали $5,0 \text{ см}^3$ отриманого розчину та аналізували згідно із запропонованою кольориметричною методикою. Паралельно проводили порівняльний аналіз цих же об'єктів методом СФ. Результати таких досліджень наведено у табл. 3.

З даних табл. 3 видно, що відтворюваність розробленої кольориметричної методики нижча, ніж у спектрофотометричної. Запропонована нами методика експресна та проста у виконанні. Час одного елементовизначення при серійних аналізах не перевищує 10–15 хвилин. Похибка визначення в порівнянні зі стандартною СФ методикою [6] складає $< 8\%$, але, незважаючи на це, основною її перевагою є те, що вона не потребує вартісного обладнання, такого як спектрофотометри та фотоелектроколориметри. Апробація методики на штучних зразках, цинковмісних сплавах та кислотній витяжці шламу з ВО «Хімволокно» показала доцільність її використання для аналізу подібних об'єктів.

Висновки

Запропонована методика кольориметричного визначення цинку на модифікованому сульфатно-алюміній оксиді проста, екологічно безпечна, характеризується задовільною відтворюваністю, не потребує коштовного обладнання

та залучення висококваліфікованого персоналу. Всі реагенти доступні і стійкі в часі. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що створена методика вперше використана для знаходження вмісту цинку в модельних розчинах, сплавах та в кислотній витяжці шламу з ВО «Хімволокно» м. Черкаси.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Смирнов В.О., Білецький В.С. Флотажні методи збагачення корисних копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2010. – 262 с.
2. Роль цинку в організмі людини та шляхи подолання його дефіциту / Акімов О.Є., Кузнецова Т.Ю., Соловйова Н.В., Міщенко А.В. // Актуальні проблеми сучасної медицини. – 2023. – Т.23. – № 3(83). – С.246-249.
3. Цинк і наноцинк: властивості, застосування у клінічній практиці / Чекман І.С., Ульберг З.Р., Руденко А.Д., Марушко Ю.В., Грузина Т.Г., Резниченко Л.С. // Укр. мед. журн. – 2013. – Т.2. – № 94. – С.42-47.
4. Ombaka O. Complexometric determination of zinc using hydroxytriazene as a metallochromic indicator // Res. J. Life Sci. Bioinform. Pharm. Chem. Sci. – 2020. – Vol.6. – No. 5. – P.77-88.
5. Костенко Є.Є. Хіміко-аналітичні властивості сульфоталейнових барвників, іммобілізованих на аніоніті АВ-17х8 та використання їх в аналізі харчових об'єктів // Методи і об'єкти хімічного аналізу. – 2011. – Т.6. – № 1. – С.58-72.
6. Ackermann G., Kothe J. Vergleichende Untersuchung an Reagentien zur spektralphotometrischen Bestimmung von Zink // Talanta. – 1979. – Vol.26. – No. 8. – P.693-703.
7. Jakuba R.W., Moffett J.W., Saito M.A. Use of a modified, high-sensitivity, anodic stripping voltammetry method for determination of zinc speciation in the North Atlantic Ocean // Anal. Chim. Acta. – 2008. – Vol.614. – No. 2. – P.143-152.
8. Lutka A., Bukowska H. Voltammetric determination of zinc in compound pharmaceutical preparations – validation of method // Acta Pol. Pharm. – 2009. – Vol.66. – No. 5. – P.471-475.
9. Zhou F., Li C., Zhu H., Li Y. A novel method for simultaneous determination of zinc, nickel, cobalt and copper

Таблиця 3

Результати визначення вмісту цинку в деяких об'єктах ($P=0,95$; $n=5$)

Об'єкт дослідження	Вміст Zn , %	
	Спектрофотометрія	Кольориметрія
Сплав Деварда	$5,1 \pm 0,1$	$4,7 \pm 0,2$
Латунь марки Л68	$33 \pm 0,2$	$31 \pm 0,5$
Шлам ВО "Хімволокно"	$3,6 \pm 0,1$	$3,8 \pm 0,3$

based on UV-vis spectrometry // *Optik*. – 2019. – Vol.182. – P.58-64.

10. Атомно-абсорбционное определение цинка и марганца в природных водах с предварительным мицеллярно-экстракционным концентрированием / Дорошук В.А., Межуева М.С., Лелюшок С.А., Куличенко С.А. // *Укр. хим. журн.* – 2011. – Т.77. № 7. – С.57-61.

11. Чеботарьов О.М., Снігур Д.В. Кольорометрія в дослідженні кислотно-основних рівноваг у розчинах поліфункціональних органічних сполук. – Одеса: Одес. нац. ун-т ім. І.І. Мечникова, 2020. – С.11.

12. Основи безвідходного перероблення шламових відходів БАТ «Черкаське хімволокно» / Шафорост Ю.А., Галаган Р.Л., Король Я.Д., Лут О.А. // *Питання хімії та хім. технол.* – 2022. – № 6. – С.108-114.

13. Атамась Г.М., Столяренко Г.С. Фізико-хімічні властивості та кінетичні дослідження переробки цинковмісних шламів БАТ «Черкаське хімволокно», як альтернативного джерела сировини для виробництва цинкового купоросу // *Питання хімії та хім. технол.* – 2008. – № 3. – С.76-79.

Надійшла до редакції 27.03.2025

COLORIMETRIC DETERMINATION OF ZINC BY SULFARSAZENE ON MODIFIED ALUMINUM OXIDE

O.S. Pogrebnyak ^{a,*}, M.M. Vizir ^b, O.P. Shevchenko ^a, O.A. Lut ^a, Yu.A. Shaforost ^a

^a Bogdan Khmelnytsky National University, Cherkasy, Ukraine

^b Aurobindo Pharma USA, Durham, United States

* e-mail: pogrebniak-oleg@ukr.net

Zinc plays a critical role in the life processes of all living organisms. However, its concentration must be carefully monitored, since an excessive amount of this element may have adverse effects in addition to its beneficial ones. Therefore, to ensure an optimal level of zinc intake in the human body, it is necessary to control its content in food and drinking water. In this work, a colorimetric method for the determination of zinc is proposed, based on the color change of aluminum oxide modified with sulfarsazene. The color coordinates in the RGB, CMYK, and Lab systems were determined by computer processing of the image obtained by scanning the colored sorbent using Adobe Photoshop. The values of color difference (ΔE), saturation (S), and hue (T) were also calculated. The best correlation was observed between zinc concentration and the R component of the RGB system. The detection limit (blank + 3σ) for zinc was $2.29 \mu\text{g}/\text{cm}^3$, where s is the standard deviation of the blank. The linear range of the calibration curve was 3–100 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$. The metrological characteristics of the method were verified using model solutions. The proposed colorimetric method was successfully tested on zinc-containing alloys and sludge samples. The procedure is simple, reproducible, and suitable for determining zinc in a wide variety of samples.

Keywords: zinc; sulfarsazene; colorimetry; modified aluminum oxide; Devarda's alloy; brass; sludge.

REFERENCES

1. Smyrnov VO, Biletskyi VS. *Flotatsiini metody zbahachennia korysnykh kopalyn* [Flotation methods of mineral processing]. Donetsk: Eastern Publishing House; 2010. 262 p. (in Ukrainian).
2. Akimov O, Kuznetsova T, Solovyova N, Mishchenko A, Zakolodna O, Soloviev V. Rol' tsynku v orhanizmi liudyny ta shliakhy podolannia yoho defitsytu [Role of zinc in human body and approaches to overcome its deficiency]. *Actual Problems of the Modern Medicine: Bulletin of Ukrainian Medical Stomatological Academy*. 2023; 23(3): 246-249. (in Ukrainian). doi: 10.31718/2077-1096.23.3.246.
3. Chekman IS, Ulberh ZR, Rudenko AD, Marushko YuV., Hruzyna TH, Reznynchenko LS, et al. Tsynk i nanotsynk: vlastyvoli, zastosuvannia u klinichnii praktysii [Zinc and nanozinc: properties, application in clinical practice]. *Ukr Med J*. 2013; 2(94): 42-47. (in Ukrainian).
4. Ombaka O. Complexometric determination of zinc using hydroxytriazene as a metallochromic indicator. *Res J Life Sci Bioinform Pharm Chem Sci*. 2020; 6(5): 77-88. doi: 10.26479/2020.0605.07.
5. Kostenko YeYe. Khimiko-analitychni vlastyvoli sulfoftaleinovykh barvnykiv, immobilizovanykh na anioniti AV-17x8 ta vykorystannia yikh v analizi kharchovykh ob'ektiv [Chemical and analytical properties of sulfophthalein dyes immobilized on AB-17x8 anionite and their use in the analysis of food objects]. *Methods and Objects of Chemical Analysis*. 2011; 6(1): 58-72. (in Ukrainian).
6. Ackermann G, Kothe J. Vergleichende Untersuchung an Reagentien zur spektralphotometrischen Bestimmung von Zink. [Comparative study of reagents for the spectrophotometric determination of zinc]. *Talanta*. 1979; 26: 693-703. (in German). doi: 10.1016/0039-9140(79)80174-5.
7. Jakuba RW, Moffett JW, Saito MA. Use of a modified, high-sensitivity, anodic stripping voltammetry method for determination of zinc speciation in the North Atlantic Ocean. *Anal Chim Acta*. 2008; 614: 143-152. doi: 10.1016/j.aca.2008.03.006.
8. Lutka A, Bukowska H. Voltammetric determination of zinc in compound pharmaceutical preparations – validation of method. *Acta Pol Pharm*. 2009; 66(5): 471-475.
9. Zhou F, Li C, Zhu H, Li Y. A novel method for simultaneous determination of zinc, nickel, cobalt and copper based on UV-vis spectrometry. *Optik*. 2019; 182: 58-64. doi: 10.1016/j.ijleo.2018.12.159.
10. Doroshchuk VA, Mezhueva MS, Leliushok SA, Kulychenko SA. Atomno-absorbtsionnoe opredelenie tsinka i margantsa v prirodnykh vodah s predvaritelnyim mitsellyarno-ekstraktsionnyim kontsentriruvaniem [Atomic absorption determination of zinc and manganese in natural waters with preliminary micellar extraction concentration]. *Ukr Chem J*. 2011; 77(7): 57-61. (in Russian).

11. Chebotarov OM, Snihur DV. *Kolorometriya v doslidzhenni kyslotno-osnovnykh rivnovah u rozchynakh polifunktsionalnykh orhanichnykh spoluk* [Colorimetry in the study of acid-base equilibria in solutions of polyfunctional organic compounds]. Odesa: I.I. Mechnikov Odesa National University Publishers; 2020. (in Ukrainian).

12. Shaforost YuA, Galagan RL, Korol YaD, Lut OA. Basics of waste-free processing of sludge waste from «Cherkasy Khimvolokno» chemical plant. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2022; (6): 108-114. (in Ukrainian). doi: 10.32434/0321-4095-2022-145-6-108-114.

13. Atamas HM, Stoliarenko HS. Fizyko-khimichni vlastyvoli ta kinetychni doslidzhennia pererobky tsynkovmisnykh shlamiv VAT «Cherkaske khimvolokno», yak alternatyvnoho dzherela syrovyny dlia vyrobnytstva tsynkovoho kuporosu [Physicochemical properties and kinetic studies of processing of zinc-containing sludge by Cherkassy Chemical Fiber OJSC as an alternative source of raw materials for the production of zinc sulfate]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2008; (3): 76-79. (in Ukrainian).