Методы и объекты химического анализа, 2007, т. 2, № 1, С. 62–69.

Твердофазно-спектрофотометричне визначення нікелю та цинку іммобілізованим дитизоном

О. А. Запорожець, Л. С. Зінько, Т. Є. Кеда, К. П. Левченко, І. В. Притика

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64, 01033 Київ, Україна; e-mail: keda@univ.kiev.ua

Надійшла: 19 квітня 2007 / Прийнята до друку: 20 червня 2007

Шляхом адсорбційного закріплення на поверхні силікагелю дитизонатів Fe(II) і Mn(II) отримано модифіковані сорбенти та досліджено їхні хіміко-аналітичні властивості. Встановлено оптимальні умови взаємодії Zn(II), Cd(II) та Ni(II) із закріпленим у такий спосіб дитизоном. Розроблено методики сорбційно-спектрофотометричного визначення Zn(II) та Ni(II) з межею виявлення 0,14 та 0,07 мг/л відповідно та кольорову шкалу для візуального тест-визначення Ni(II) з межею виявлення 0,12 мг/л.

O.A. Zaporozhets, L. S. Zinko, T. Ye. Keda, K. P. Levchenko, I. V. Prytyka. Solid-phase spectrophotometric determination of nickel and zinc using dithizone immobilized *– Modified sorbents were obtained by Fe(II) and Mn(II) adsorption on silica gel surface, and their properties were studied. Optimum conditions of Zn(II), Cd(II) and Ni(II) interaction with dithizone immobilized in such a way have been established. The methods of sorption-spectrophotometric determination of Zn(II) and Ni(II) with the detection limits of 0.14 and 0.07 mg/l, respectively, and a colour scale for the visual test determination of Ni(II) (with the detection limit of 0.12 mg/l) were developed.*

Ключові слова: *твердофазна спектрофотометрія · сорбція · дитизон · нікель · цинк*
Keywords: *solid-phase spectrophotometry · sorption · dithizone · nickel · zinc*

Сучасні методи аналізу із використанням нековалентно іммобілізованих на високодисперсних кремнеземах аналітичних реагентів дедалі більше знаходять практичне застосування [1–4]. Висока чутливість, економічність, експресність та простота застосування цих методів обумовлені, зокрема, поєднанням операцій розділення, концентрування та детектування аналітичного сигналу безпосередньо у фазі концентрату. Гетерогенізація класичних органічних реагентів, зокрема дитизону (H_2Dz), дозволяє покращити їхні хіміко-аналітичні властивості [4]. Так, при нековалентному закріпленні H_2Dz та $Zn(HDz)_2$ на поверхні силікагелю (СГ) та Silpearl (СП) значно підвищується стійкість реагенту при зберіганні. Дитизон, іммобілізований у формі реагенту (H_2Dz-СГ) та у формі $Zn(HDz)_2$, не змінює своїх хіміко-аналітичних властивостей впродовж тижня та 6 місяців відповідно [5, 6]. При закріпленні реагенту у формі дитизонату реалізується орієнтація молекул модифікатора, при якій можливе утворення на поверхні координаційно насичених хелатів металів, що є більш стійкими та інтенсивно забарвленими. Встановлено [5–8], що іммобілізований $Zn(HDz)_2$ реагує з іонами металів, які утворюють стійкіші, порівняно з Zn(II), комплекси з дитизоном, а саме Cu(II), Pd(II) та Hg(II) (рис.1). На цій основі розроблено методики сорбційно-спектроскопічного і візуального тест-визначення цих металів. Іони металів, що утворюють менш стійкі комплекси з H_2Dz, не реагують з іммобілізованим дитизонатом цинку.

З рис. 1 видно, що для визначення іонів металів, які утворюють у розчині комплекси складу $M(HDz)_2$ при pH > 4, а саме Zn(II), Co(II), Pb(II), Ni(II) та Cd(II) [9], кращими реагентами мають бути іммобілізовані $Fe(HDz)_2$ та $Mn(HDz)_2$. Відомостей щодо застосування СГ, модифікованих зазначеними комплексами, для визначення іонів металів у літературі не знайдено.

Метою даної роботи була розробка твердофазних аналітичних реагентів на основі адсорбційно закріплених на поверхні кремнеземів дитизонатів Fe(II) і Mn(II) та дослідження їхніх хіміко-аналітичних властивостей.

© О. А. Запорожець, Л. С. Зінько, Т. Є. Кеда, К. П. Левченко, І. В. Притика

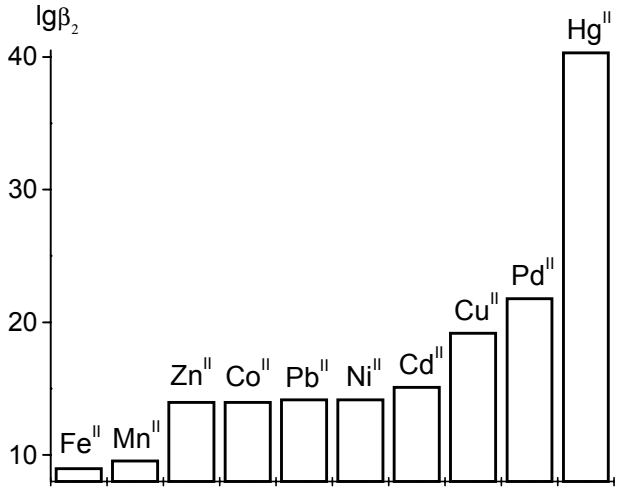

Рис. 1. Константи стійкості дитизонатів металів [10].

Експериментальна частина

Реагенти

У роботі використовували H_2Dz "ч.д.а", HCl, HNO_3, H_2SO_4, NaOH "ос.ч.", хлороформ і гексан "х.ч." (фірми „Merck"). Воду очищали відповідно до вимог, викладених у роботі [11]. Використовували мезопоруватий силікагель SG-60 (Merck, Німеччина): $S_{пит}$=490 м^2/г; $d_{пор}$=6,0 нм; $pH_{суспензії}$=6,5–7,5. Вихідний розчин Fe(II) з концентрацією 0,2 ммоль/л отримували розчиненням наважки $FeSO_4 \cdot H_2O$ у 0,01 моль/л H_2SO_4 (з додаванням аскорбінової кислоти). Хлороформний розчин $Fe(HDz)_2$ готували за наступною методикою. До 2,5 мл розчину Fe(II) додавали 2,5 мл стандартного боратного буферного розчину з pH 9,18. Водну фазу струшували з 5 мл 1 ммоль/л розчину H_2Dz у хлороформі до встановлення рівноваги. Розчин Mn(II) з концентрацією 0,2 ммоль/л готували розбавленням вихідного 1,543 моль/л $MnSO_4$ 0,01 моль/л H_2SO_4. Хлороформний розчин $Mn(HDz)_2$ готували за наступною методикою: до 2,5 мл розчину Mn(II) додавали 0,5 мл 2,0 моль/л розчину гідразингідрату та 2,0 мл стандартного боратного буферного розчину з pH 9,18. Водну фазу струшували з 5,0 мл 1,0 ммоль/л розчину H_2Dz у хлороформі. Залишки дитизону відокремлювали обробкою екстракту водним розчином з масовою часткою NH_3 1% [9]. Розчин Ni(II) з концентрацією 0,2 ммоль/л готували розчиненням наважки $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ у дистильованій воді. 0,01 моль/л розчин $ZnSO_4$ готували розчиненням наважки гранульованого Zn кваліфікації "х.ч." в 0,05 моль/л H_2SO_4 [12]. Розчин $CdSO_4$ з концентрацією 0,0728 моль/л готували розчиненням металічного Cd кваліфікації ос.ч. у суміші сульфатної та нітратної кислот при нагріванні на піщаній бані [12]. Робочі розчини готували розбавленням вихідних безпосередньо перед проведенням експерименту.

Апаратура

В роботі використовували атомно-абсорбційний спектрометр "Сатурн" (Сєвєродонецьк, Україна) з стандартним пальником та пропан-бутановим полум'ям, стандартні лампи з порожнистим катодом для Zn(II) (213,9 нм) і Cd(II) (228,8 нм), ширина щілини 0,5 нм. Електронні спектри поглинання розчинів та сорбентів у тонкому шарі (l=0,10 см) вимірювали на спектрофотометрах СФ-46 та КФК-3 відповідно. Кислотність розчинів контролювали скляним електродом за допомогою іономіра універсального ЕВ-74 (Гомель, Білорусь). Зважування проводили на аналітичних терезах (ВТ-500, ВЛР-200). Розчини перемішували магнітною мішалкою.

Процедури

Сорбцію $Mn(HDz)_2$ немодифікованим та іонів металів модифікованим СГ вивчали у статичному режимі. Для цього 5,0–100,0 мл досліджуваного розчину певної концентрації перемішували магнітною мішалкою впродовж 1–30 хв з 0,010–0,200 г сорбенту. Сорбент відокремлювали центрифугуванням і висушували на повітрі. Залишкову або рівноважну концентрацію $Fe(HDz)_2$ та $Mn(HDz)_2$ у хлороформно-гексанових розчинах (відповідно 1:24 та 1:9) визначали спектрофотометрично за власним поглинанням при 420 та 530 нм відповідно. Концентрацію Ni(II) контролювали за реакцією з диметилгліоксимом [13], а Zn(II) і Cd(II) – ААС методом. Величину сорбції (Г, %), ємність сорбенту за визначуваною речовиною (a, моль/г) та величину десорбції (d, %) розраховували за формулами, наведеними у роботі [5]. Аналітичний відгук ΔA розраховували за рівнянням: $\Delta A=(A'_{max}-A'_{min})-(A''_{max}-A''_{min})$, де A'_{max} і A''_{max} – поглинання модифікованого сорбенту при λ_{max} відповідно у присутності та за відсутності аналіту, A'_{min} і A''_{min} – поглинання при λ=800 нм у присутності та за відсутності аналіту відповідно. Діапазон тест-шкали та її кольорові характеристики розраховували методом колориметрії (КМ) [3, 14]. Кольорову відмінність за світлотою (ΔL) та загальну кольорову відмінність (ΔE) розраховували за рівняннями: $\Delta L=L_0-L$; $\Delta E=[(L_0-L)^2+(a-a_0)^2+(b-b_0)^2]^{1/2}$, де L, a, b, L_0, a_0, b_0 – координати кольору досліджуваного зразка і зразка порівняння відповідно.

Результати та їхнє обговорення

Дослідження сорбції $Fe(HDz)_2$ та $Mn(HDz)_2$ немодифікованим СГ з хлороформно-гексанових розчинів залежно від часу контакту фаз свідчить (рис. 2, кр. 1, 2), що комплексні сполуки кількісно вилучаються впродовж 3 хв. Ізотерма сорбції $Fe(HDz)_2$ (рис. 3а, кр. 1) належить до L-типу і лінеаризується у координатах Ленгмюра (R=0,990) з a_{max}=6,5 мкмоль/г та константою сорбції $k=1{,}2\cdot10^5$ л/моль. Ізотерму сорбції $Mn(HDz)_2$ (рис. 3а, кр. 2) можна віднести до S2-типу. Максимальне експериментально отримане значення сорбційної ємності СГ за $Mn(HDz)_2$ становить 19 мкмоль/г.

Враховуючи здатність Fe(II) окиснюватись киснем повітря дослідили стабільність закріпленого на поверхні $Fe(HDz)_2$ залежно від pH розчину. Встановлено, що в межах pH 2–8 спостерігається суттєва десорбція комплексної сполуки з поверхні. З рис. 4 видно, що при висушуванні на повітрі „поверхневий" комплекс також руйнується. З огляду на низьку стійкість придатність іммобілізованого $Fe(HDz)_2$ для аналітичної практики є вкрай обмеженою.

Іммобілізований $Mn(HDz)_2$ ($Mn(HDz)_2$-СГ) не руйнується при висушуванні сорбенту (рис. 5, кр. 2).

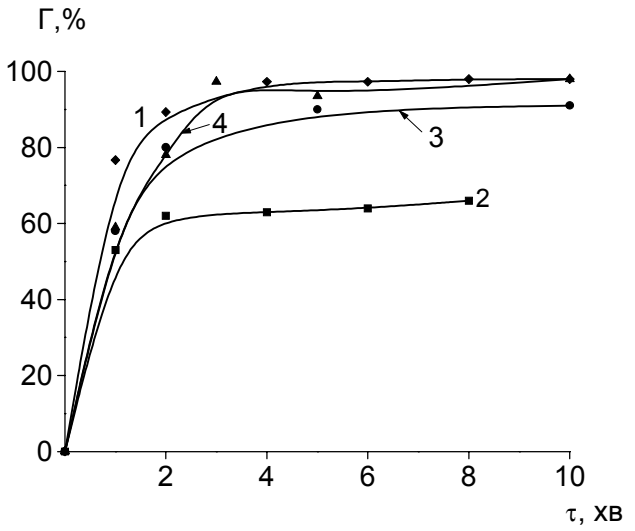

Рис. 2. Вилучення $Fe(HDz)_2$ (1) та $Mn(HDz)_2$ (2) немодифікованим СГ, Ni(II) (3) і Zn(II) (4) СГ, модифікованим $Mn(HDz)_2$ залежно від тривалості контакту фаз.
С, мкмоль/л: $Fe(HDz)_2$ – 8,0; $Mn(HDz)_2$ – 10,0; Ni(II) та Zn(II) – 5,0. V/m, мл/г: 250 (1, 2), 100 (3, 4); $a_{Mn(HDz)2}$, мкмоль/г: 2,0 (3), 1,4 (4); pH 5 (3, 4); T = 291,0±0,5 K.

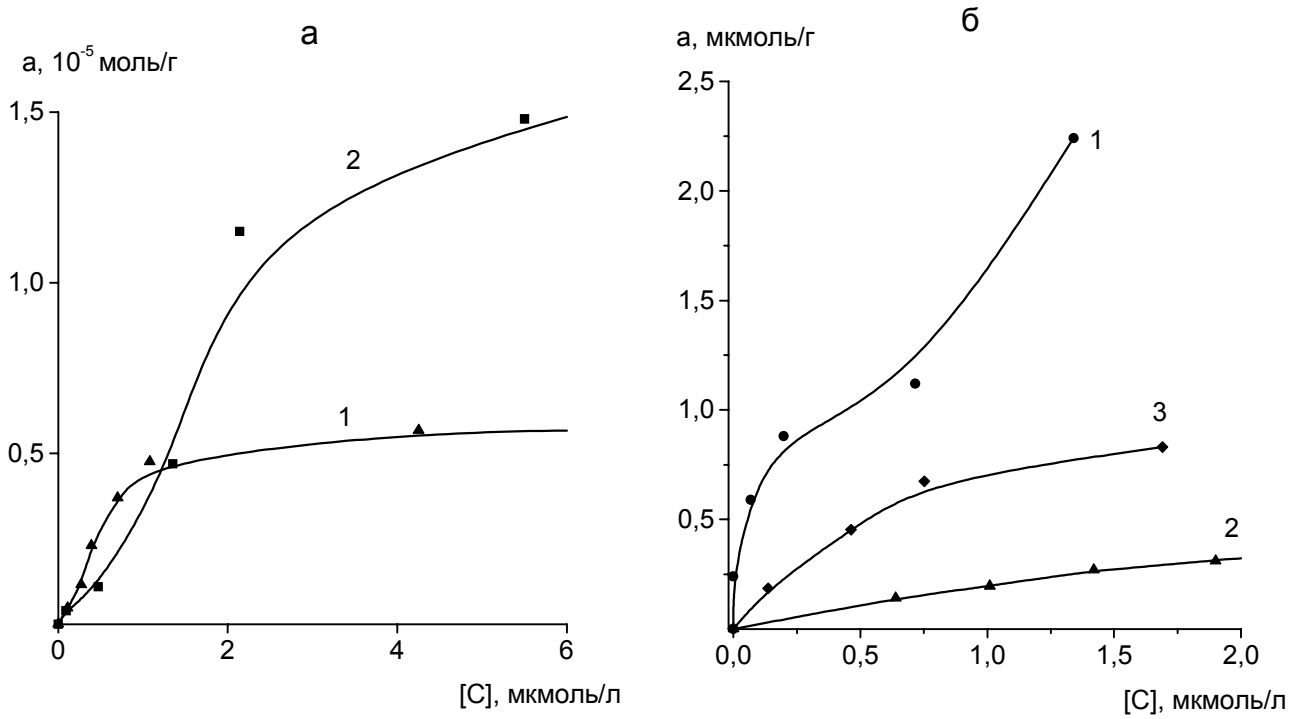

Рис. 3. Ізотерми сорбції: а) $Fe(HDz)_2$ (1) та $Mn(HDz)_2$ (2) немодифікованим СГ з хлороформно-гексанових розчинів; б) Zn(II) (1), Ni(II) (2) та Cd(II) (3) СГ, модифікованим $Mn(HDz)_2$. V/m, мл/г: 250 (а), 100 (б), $a_{Mn(HDz)2}$, мкмоль/г: 1,44 (1, 2), 2,2 (3); pH 4,5 (1), 5,0 (2, 3); T = 291,0±0,5 K.

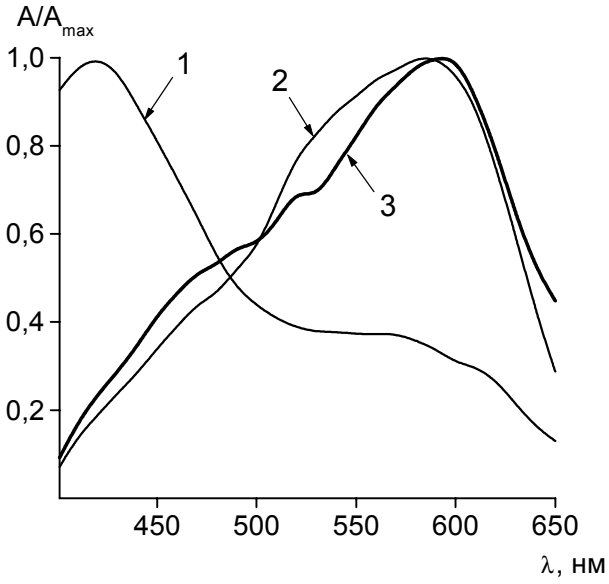

Рис. 4. Нормовані спектри поглинання хлороформно-гексанового розчину $Fe(HDz)_2$ (1), H_2Dz-СГ (2) та $Fe(HDz)_2$-СГ (3), висушеного на повітрі.

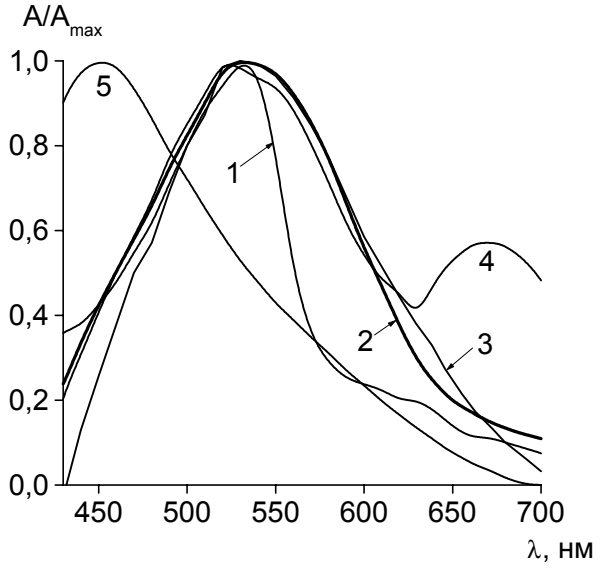

Рис. 5. Нормовані спектри поглинання Mn(HDz)2 в хлороформно-гексановому розчині (1) й СГ, модифікованого $Mn(HDz)_2$, до (2) та після обробки розчинами металів: Zn(II) (3), Ni(II) (4) і Cu(II) (5). pH=5,0.

З метою перевірки можливості його застосування в аналітичній практиці дослідили стійкість модифікатора до дії розчинів хлоридної та сульфатної кислот, а також реакційну здатність іммобілізованого у такий спосіб реагенту. В межах pH 4–5 десорбція H_2Dz виявилась мінімальною (≤5%). Отже цей діапазон pH обрано надалі як робочий.

За цих умов з іммобілізованим H_2Dz взаємодіють Co(II), Cu(II), Cd(II), Zn(II) та Ni(II) (рис. 5). Спектри поглинання комплексів до концентрації металів <5,0 мкмоль/л, за винятком Ni(II), практично співпадають зі спектрами іммобілізованого $Mn(HDz)_2$ (λ_{max}=520–540 нм). На рис. 5 (кр. 3) як приклад наведено спектр поглинання комплекса Zn(II). Зі збільшенням концентрації іонів металів відбувається гіпсохромний зсув (рис. 5, кр. 5). Це, ймовірно, обумовлено утворенням на поверхні комплексу найпростішої стехіометрії. Згідно [9] максимальне поглинання такого комплексу у розчині спостерігається при 450 нм. Відносно невисокі молярні коефіцієнти поглинання комплексів CuHDz та $Cu(HDz)_2$ ($2{,}0\cdot10^4$ та $4{,}5\cdot10^4$ л·моль$^{-1}$·см$^{-1}$ відповідно [9]) та низька вибірковість за умов проведення експерименту унеможливлюють його твердофазно-спектрофотометричне (ТСФ) визначення у такий спосіб. Молярні коефіцієнти поглинання $Zn(HDz)_2$ та $Cd(HDz)_2$ ($8{,}8\cdot10^4$ та $8{,}6\cdot10^4$ відповідно [9]) у 8 разів перевищують ε $Mn(HDz)_2$ ($1{,}1\cdot10^4$ л·моль$^{-1}$·см$^{-1}$) у розчині, що може бути використано для розробки сорбційно-спектрофотометричних методик їх визначення. З точки зору контрастності, найкращою є гетерофазна реакція ТР з іонами Ni(II), завдяки появі у спектрі поглинання комплекса довгохвильового максимума (λ_{max}=670 нм). Тому далі вивчали взаємодію твердофазного $Mn(HDz)_2$ з іонами Zn(II), Cd(II) та Ni(II).

Сорбцію Zn(II), Cd(II) та Ni(II) з водного розчину вивчали залежно від часу контакту фаз, складу розчину, співвідношення об'єму розчину та маси наважки сорбенту. Результати дослідження кінетики сорбції (рис. 2, кр. 2–4) вказують на те, що сорбційна рівновага встановлюється впродовж кількох хвилин. Ізотерми сорбції (рис. 3б) належать до L-типу і лінеаризуються у координатах Ленгмюра з a_{max}, мкмоль/г: 1,2 (Zn(II)), 1,0 (Ni(II)), 1,2 (Cd(II)); k, 10^6 л/моль: 21,2 (Zn(II)), 0,25 (Ni(II)), 1,42 (Cd(II)). Максимальні коефіцієнти розподілу в сорбційних системах Zn(II), Cd(II) і Ni(II) становлять відповідно, л/г: 1,7 (V/m=70 мл/г), 1,6 та 0,9 (V/m=100 мл/г).

З рис. 6 і 7 видно, що при обробці ТР розчинами Zn(II) й Ni(II) інтенсивність поглинання сорбентів зростає при 530 та 670 нм відповідно зі збільшенням вмісту аналіту в розчині, що було покладено в основу методик їх ТСФ визначення. При взаємодії Ni(II) з $Mn(HDz)_2$-СГ колір ТР змінюється з блідо-бурякового на коричнево-фіолетовий, що використано для розробки кольорової шкали для його напівкількісного тест-визначення. Для обґрунтування діапазону лінійності кольорової шкали і врахування суб'єктивного фактора людського зору при розробці тест-методик було застосовано метод колориметрії. Візуальні

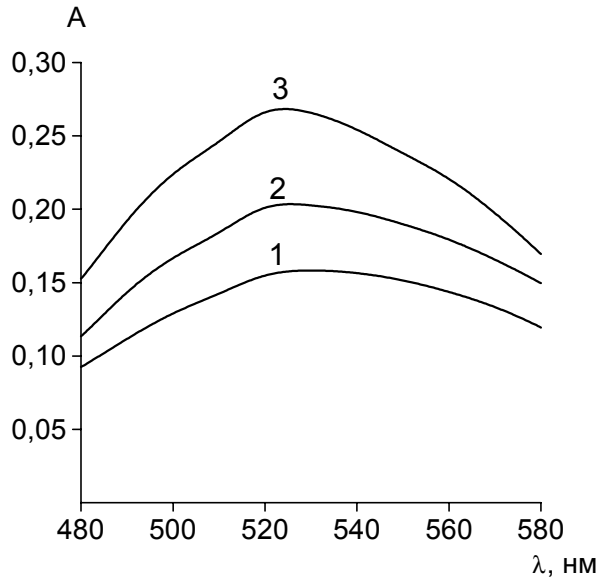

Рис. 6. Спектри поглинання $Mn(HDz)_2$-СГ до (1) та після обробки розчинами Zn(II).
$C_{Zn(II)}$, мкмоль/л: 7,5 (2); 20 (3). pH=5,0; $a_{Mn(HDz)2}$ = 1,5 мкмоль/г; V/m = 120 мл/г.

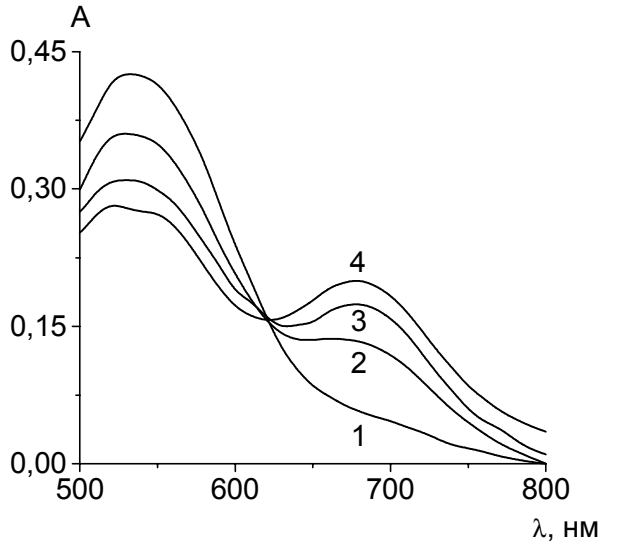

Рис. 7. Спектри поглинання $Mn(HDz)_2$-СГ до (1) та після обробки розчинами Ni(II).
$C_{Ni(II)}$, мкмоль/л: 2 (2); 3 (3); 5 (4). pH=5,0; $a_{Mn(HDz)2}$ = 2,1 мкмоль/г; V/m=100 мл/г.

шкали для визначення Zn(II) та Cd(II) через низьку контрастність їх гетерофазних реакції (відсутній кольоровий перехід, зростає лише насиченість кольору сорбентів) не було розроблено.

Градуювальні графіки (ГГ) для ТСФ та КМ визначення цинку (II), кадмію (II) та нікелю (II) отримували наступним чином. Розчини солей об'ємом 10,0 мл з pH 5,0 та вмістом, мг/л: Ni(II) від 0,03 до 0,29 або Zn(II) від 0,06 до 1,3 чи Cd(II) від 0,11 до 2,2 перемішували магнітною мішалкою з 0,100 г $Mn(HDz)_2$-СГ впродовж 3 хв. Сорбенти після розділення фаз відокремлювали декантацією, вміщували у кювету (l=0,10 см) та вимірювали поглинання при 530 та 670 нм відповідно. Параметри ГГ та межі виявлення (МВ), розраховані за 3S-критерієм, наведено у табл. 1. Межа виявлення Cd(II) співпадає з МВ цинку (II). Однак ГДК Cd(II) у водах [13] значно нижче цієї величини, що свідчить про недоцільність застосування розробленого ТР для його визначення у природних об'єктах.

На основі залежності загальної кольорової відмінності ΔE від концентрації іону металу було обґрунтовано крок кольорової шкали для візуального тест-визначення Ni(II). Для отримання шкали серію розчинів об'ємом 10,0 мл з pH 5,0 та вмістом Ni(II) 0,

Таблиця 1. Параметри градуювальних графіків (ГГ) сорбційно-спектрофотометричного та кольорометричного визначення Zn(II) та Ni(II) $Mn(HDz)_2$-СГ: $Y=a+b\cdot C_{M(II)}$, мг/л

Іон	Y	a ± Δa	b ± Δb	R^2, n=4	Межі лінійності ГГ, мг/л	МВ, мг/л	Норматив ВООЗ[1], мг/л	ГДК[2], мг/л
Zn(II)	ΔA_{530}	0,002±0,004	0,088±0,005	0,994	0,14–1,3	0,14	3	1,0
Ni(II)	ΔA_{670}	0,01±0,01	0,46±0,08	0,972	0,07–0,3	0,07	0,07	0,1
	ΔL	-1±1	-36±5	0,954	0,08–0,35	0,08		
	ΔE	-2±2	94±10	0,988	0,06–0,35	0,06		

[1]для Zn – рівень безпечної для людини концентрації у воді, для Ni – токсикологічний показник для питної води [15];
[2]загальносанітарні (для Zn) та санітарно-токсикологічні (для Ni) показники для водних об'єктів господарсько-питного і культурно-побутового призначення [13].

Таблиця 2. Заважаючий вплив іонів металів та аніонів на визначення 1,0 мкмоль/л Ni(II) та 5 мкмоль/л Zn(II) (pH = 5,0; V/m = 100 мл/г)

Іони	Не заважають, кратні кількості	
	Ni(II)	Zn(II)
ЛМ	10^4	10^4
ЛЗМ	10^3	10^3
Co(II)	100	0,01
Cu(II) *	100	10
Fe(III) **	100	10
Cd(II)	100	0,1
Zn(II)	100	–
Ni(II)	–	0,01
Hg(II)	10	10
Pb(II)	50	50
Cl^-	10^4	10^4
SO_4^{2-}	10^6	$2\cdot10^5$
HCO_3^-	$5\cdot10^3$	10^3
NO_3^-	10^4	$2\cdot10^3$
PO_4^{3-}	10^4	$2\cdot10^3$
CH_3COO^-	$2{,}5\cdot10^5$	$5\cdot10^4$

ЛМ – лужні метали, ЛЗМ – лужно-земельні метали;
* – у присутності $Na_2S_2O_3$;
** – у присутності F^-.

Таблиця 3. Результати ТСФ визначення Ni(II) у стандартних (1–3) та модельних (4, 5) розчинах (n=3, P=0,95).*

Розчин	Вміст Ni(II), мг/л		S_r
	Введено	Знайдено, x ± Δx	
1	0,12	0,11 ± 0,01	0,05
2	0,18	0,18 ± 0,01	0,04
3	0,29	0,28 ± 0,02	0,03
4	0,12	0,11 ± 0,01	0,05
5	0,29	0,28 ± 0,02	0,03

* – модельні розчини містили: Cu(II) – 0,32 мг/л; Fe(III) – 0,28 мг/л; $S_2O_3^{2-}$ – 5,0 ммоль/л; F^- – 10,0 ммоль/л.

0,12, 0,22, 0,33 мг/л перемішували магнітною мішалкою з 0,100 г $Mn(HDz)_2$-СГ впродовж 3 хв. Іммітат кольорової шкали моделювали у графічному редакторі Corel Draw. МВ, розрахована методом математичної статистики на основі параметрів розподілу вірогідностей знаходження Ni(II) залежно від його концентрації у пробі за експериментальними частотами виявлення [3, 16], становить 0,12 мг/л.

Заважаючий вплив досліджували, вимірюючи поглинання ТР, оброблених 1,0 мкмоль/л Ni(II) та 5 мкмоль/л Zn(II) за відсутності та у присутності сторонніх іонів. Як критерій заважаючого впливу обирали зміну аналітичного сигналу ± 5% при введенні стороннього іону. З табл. 2 видно, що визначенню Zn(II) заважають Co(II), Cd(II) та Ni(II). Втім, вміст цих металів у водах набагато нижчий за концентрацію Zn(II) [17]. Визначенню Ni(II) не заважають 100-кратні кількості Co(II), а заважаючий вплив Cu(II) і Fe(III) може бути усунено введенням 5,0 ммоль/л $S_2O_3^{2-}$ та 10 ммоль/л F^- відповідно.

Результати перевірки метрологічних характеристик ТСФ методики визначення Ni(II) наведено у табл. 3. Видно, що результати характеризуються задовільною точністю і відтворюваністю, що свідчить про можливість застосування $Mn(HDz)_2$-СГ для визначення Ni(II) у присутності Cu(II) та Fe(III).

Порівняно з найбільш чутливим твердофазним реагентом на Ni(II) (табл. 4) на основі іммобілізованого на СП 4-(2-піридилазо)-2-нафтолату цинку [20] розроблений є більш вибірковим та стійким у розчинах з високою мінералізацією, зокрема, до дії CH_3COO^-. Поступаючись за чутливістю запропонованим раніше авторами [22–24] методикам визначення Zn(II) (табл. 5) у формі комплексів з 1-(2-тіазолілазо)-2-нафтолом, ксиленоловим оранжевим та різнолігандного комплексу з 1,10-фенантроліном і бромфеноловим синім, розроблена методика є більш експресна (час елементовизначення скорочено в 2–3 рази) та простіша у виконанні (немає потреби у використанні додаткових розчинів реагентів). Задовільні стійкісні характеристики модифікатора, зручність у використанні, достатню вибірковість та чутливість виявлення (на рівні та нижче ГДК у водах), роблять запропонований ТР перспективним для визначення Ni(II) та Zn(II) у водних об'єктах господарсько-питного і культурно-побутового призначення.

Література

1. *Запорожец О.А., Гавер О.М., Сухан В.В.* Иммобилизация аналитических реагентов на поверхности носителей// Успехи химии. – 1997. – Т. 66, № 7. – С. 702–712.

Таблиця 4. Порівняльна характеристика розроблених методик визначення Ni(II) з кращими аналогами з літератури

Носій / модифікатор	Метод детектування	МВ, мг/л	Не заважають визначенню (кратні кількості)	Тривалість аналізу, хв	Література
Силохром С-120 / 4-(2-тіазолілазо)резорцин	КМ	0,005	Cu(II)*, Fe(III)**	>30	[18]
ПАН-КУ-2 з наступною проявкою диметилгліоксимом	ВТ	0,1	Zn(II), Cd(II) (100), Fe(III), Mn(II), Co(II) (5)	20	[19]
СП / цинку 4-(2-піридилазо)-2-нафтолат	ВТ	0,003	Co(II) (3), Cu(II)*	20	[20]
СГ / мангану (II) дитизонат	ТСФ	0,065	Cu(II)*, Fe(III)**, Mn(II), Zn(II), Cd(II), Co(II) (100)	4–5	дана робота
	КМ	0,064			
	ВТ	0,120			

* – в присутності $S_2O_3^{2-}$; ** – присутності F^-

Таблиця 5. Порівняльна характеристика розробленої методики визначення Zn(II) з кращими аналогами з літератури

Носій / модифікатор	Метод детектування	МВ, мг/л	Не заважають визначенню (кратні кількості)	Тривалість аналізу, хв	Література
КГ / (4-(2-піридилазо)резорцин / цетилпіридиній хлорид	ТСФ	0,1	K, Na (1000), Ca(II), Mg(II) (100), Cu(II) (1), Cd(II), Co(II) (2), Ni(II) (4), Pb(II) (15), Mn(II) (10), Fe(III) (5)	10–15	[21]
СП / 1-(2-тіазолілазо)-2-нафтол	СДВ	0,015	Cu(II)*, Fe(III)**, Co(II) (0,03)	15	[22]
СП / ксиленоловий оранжевий	СДВ	0,009	Al(III), Fe(III)**, Pb(II)***	15	[23]
СГ / 1,10-фенантролін / бромфеноловий синій	ТСФ	0,011	Cu(II)*, Fe(III)**, Ni(II), Pb(II), Hg(II) (10)	5–7	[24]
СГ / мангану (II) дитизонат	ТСФ	0,136	Cu(II)*, Fe(III)**, Ni(II), Co(II) (0,01), Cd(II) (0,1), Hg(II) (10), Pb(II) (50), Mn(II) (100)	4–5	дана робота

* – в присутності $S_2O_3^{2-}$; ** – в присутності F^-; *** – в присутності CH_3COO^-

2. *Золотов Ю.А., Иванов В.М., Амелин В.Г.* Химические тест-методы анализа. – М.: Едиториал УРСС. – 2002. – 304 с.
3. *Островская В.М., Запорожец О.А., Будников Г.К., Чернавская Н.М.* Вода. Индикаторные системы. – М.: ВИНИТИ РАН, 2002. – 266 с.
4. *Запорожець О.А.* Адсорбовані на кремнеземах органічні реагенти у комбінованих спектроскопічних і тест-методах аналізу // Наукові записки Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2004. – Т. XIV. Хімічний факультет. – С. 118–128.
5. *Zaporozhets O.A., Petryniock N.I., Sukhan V.V.* Ag(I), Hg(II) and Pb(II) Spectrophotometric and Visual Test Determination with Dithizone Adsorbed on Silica Surface // Talanta. – 1999. – 50. – P. 865–873.
6. *Запорожец О.А., Кеда Т.Е., Богославец И.М.* Сорбционно-спектроскопическое и тест-определение Cu(II) с помощью иммобилизованного на силикагеле дитизоната цинка // Химия и технология воды. – 2005. – 27, № 6. – С. 549–558.
7. *Запорожець О.А., Кеда Т.Є., Потьомкіна Ю.В.* Взаємодія іонів Паладію (II) з іммобілізованим на кремнеземі дитизоном та цинкдитизонатом // Наукові записки НаУКМА. – 2003. – Т. 22, Част. 3. – С. 439–441.
8. *Запорожець О.А., Кеда Т.Є., Потьомкіна Ю.В., Левченко К.П. Притика І.В.* Взаємодія платинових металів та ауруму (I, III) з іммобілізованим на кремнеземі дитизоном // Вопросы химии и химической технологии. – 2006. – (у друці)
9. *Иванчев Г.* Дитизон и его применение. – М.: Издат. ин. лит., 1961. – 450 с.
10. *Stability* Constants of Metal-ion Complexes: Part B. Organic Ligands / Ed. Douglas. D. Perrin. – Toronto – Sidney – Paris – Francfurt: Pergamon Press. – 1988 – P. 944–945.
11. *Чупахин Н.С., Сухановская А.И., Красильщик В.З и др*. Методы анализа чистых химических реактивов. – М.: Химия, 1984. – 280 с.
12. *Коростылев Г.П*. Приготовление растворов для химико-аналитических работ. – М.: Изд-во АН СССР. – 1962. – 312 с.
13. *Лурье Ю.Ю*. Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1984. – 448 с.
14. *Кириллов Е.А.* Цветоведение. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 128 с.
15. http://www.who.int/water_sanitation_health
16. *Панталер Р.П., Тимченко А.К., Авраменко Л.И., Бланк А.Б.* Экспресс-тест для определения кобальта в воде // Журн. аналит. химии. – 1998. – 53, № 5. – С. 529–532.
17. *Мур Дж.*, *Рамамурти С.* Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 288 с.
18. *Иванов В.М., Кузнецова О.В.* Раздельное определение 4-(2-тиазолилазо)резорцинатов никеля, цинка и кобальта в фазе сорбента методом цветометрии // Журн. аналит. химии. – 2000. – 55, № 9. – С. 998–1003.
19. *Дедкова В.П., Швоева О.П., Савин С.Б.* Тест-метод определения Cu(II), Ni(II) и Cr(VI) из одной пробы // Журн. аналит. химии. – 2001. – 56, № 8. – С. 851–855.
20. *Запорожец О.А., Петрунек Н.И., Калиниченко Е.В., Сухан В.В.* Визуальный тест-метод для определения Ni(II) на основе иммобилизованого на кремнеземе 4-(2-пиридилазо)-2-нафтолата цинка // Химия и технология воды. – 1999. – 21, № 1. – С. 14–20.
21. *Моросанова Е.И., Азарова Ж.М., Золотов Ю.А.* Ксерогели, модифицированные 4-(2-пиридилазо)резорцином и хлоридом цетилпиридиния. Твердофазно-спектрофотометрическое определение цинка в растворах // Журн. аналит. химии.– 2002. – 57, № 5. – С. 499–503.
22. Zaporozhets O.A., Petruniok N.I., Bessarabova O., Sukhan V.V. Determination of Cu(II) and Zn(II) using silica gel loaded with 1-(2-thiasolylazo)-2-naphthol // Talanta. – 1999. – 49. – P. 899–906.
23. *Запорожец О.А., Цюкало Л.Е.* Тест-определение свинца и цинка в воде с использованием иммобилизованого на кремнеземе ксиленолового оранжевого // Журн. аналит. химии.– 2004. – Т.59, №4. – С.434–439.
24. *Запорожец О.А., Иванько Л.С., Быкова Л.В., Мостовая Н.А.* Сорбционно-спектрофотометрическое и тест-определение цинка (II) в виде разнолигандного комплекса с 1,10-фенантролином и бромфеноловым синим // Журн. аналит. химии.– 2004. – 59, № 1. – С. 29–34.