

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

УДК 543.42.062:541.183:546.47

СОРБЦИОННО-СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ  
И ТЕСТ-ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИНКА(II) В ВИДЕ РАЗНОЛИГАНДНОГО  
КОМПЛЕКСА С 1,10-ФЕНАНТРОЛИНОМ И БРОМФЕНОЛОВЫМ СИНИМ

© 2004 г. О. А. Запорожец, Л. С. Иванько, Л. В. Быкова, Н. А. Мостовая

Киевский национальный университет им. Т. Шевченко

01033 Украина, Киев, ул. Владимирская, 64

Поступила в редакцию 25.07.2002 г., после доработки 27.05.2003 г.

Изучено взаимодействие Zn(II), Cd(II) и Pb(II) с нековалентно иммобилизованным на кремнеземе 1,10-фенантролином в присутствии бромфенолового синего. Установлены оптимальные условия реакции и состав образующихся на поверхности разнолигандных комплексов, предложена схема взаимодействия на границе раздела фаз. Разработаны сорбционно-спектрофотометрическая методика и тест-шкала для определения цинка с пределами обнаружения 0.011 и 0.018 мг/л соответственно. Методика применена для определения подвижных форм цинка в почве.

Известно, что ионы Ag(I), Cd(II), Fe(II), Zn(II), Hg(II) и Mn(II) при введении 1,10-фенантролина (Фен) экстрагируются хлороформом в виде разнолигандных комплексов  $[M(\text{Фен})_x]^{n+}$  сульфофталеиновый краситель $^{n-}$  ( $n = 1-3$ ) [1]. Это свойство положено в основу методик экстракционно-фотометрического определения указанных ионов [2–9]. К основным их недостаткам можно отнести невысокую чувствительность и избирательность, необходимость создания высокой концентрации реагентов, а также использования токсичного органического растворителя. Переведение реакции комплексообразования на поверхность сорбента в ряде случаев позволяет существенно повысить не только экологическую безопасность определения, но и чувствительность и избирательность [10]. Ранее была показана возможность использования нековалентно иммобилизованного на силикагеле Фен (Фен-СГ) для определения Fe(II) и Cu(II) [11, 12]. Образование разнолигандного комплекса на поверхности Фен-СГ в присутствии красителей сульфофталеинового ряда положено в основу высокочувствительного и избирательного определения серебра [11, 12].

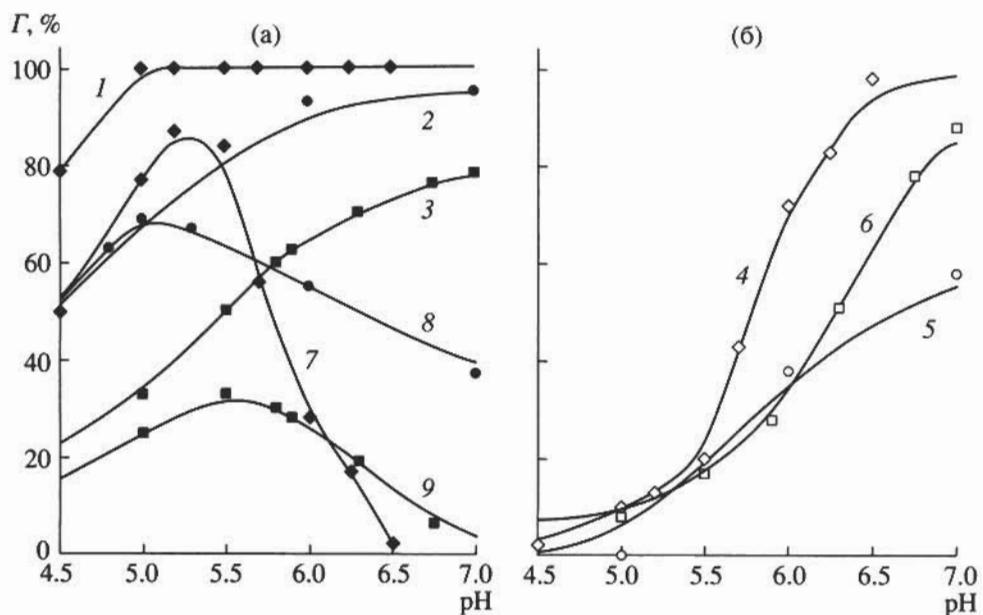
В данной работе изучено взаимодействие Zn(II) и Cd(II) с иммобилизованным Фен в присутствии бромфенолового синего с целью установления пригодности этой системы для сорбционно-спектрофотометрического и тест-определения этих металлов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

**Реагенты.** Использовали бромфеноловый синий (БФС) и Фен ч.д.а. (Chempol), HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ос.ч. (Merck), гексаметилентетрамин (урот-

ропин) “для инъекций”, Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 0.5H<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> х.ч.; NaF, NH<sub>3</sub> конц., CH<sub>3</sub>COOH ч.д.а., ацетон и гексан х.ч. (Merck). Воду очищали, как описано в работе [13]. Растворы CdSO<sub>4</sub>, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, ZnCl<sub>2</sub> и Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> готовили растворением металлических Cd, Mn, Pb и Zn квалификации ос.ч. в соответствующих кислотах, как описано в работе [4], а Hg(II) – растворением навески Hg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 0.5H<sub>2</sub>O в 0.1 M HNO<sub>3</sub> и стандартизовали титриметрически [14]. Ацетатные буферные растворы с pH 4.8–5.2 готовили по рекомендации [15]. Использовали 6.6 × 10<sup>-4</sup> M раствор Фен в (1:4) смеси ацетон–гексан (по объему). Рабочие растворы готовили разбавлением исходных перед проведением эксперимента. Силикагель марки L 40/100 (СГ), S = 600 м<sup>2</sup>/г, d = 8 нм. (Chempol) очищали, как описано в работе [11].

**Аппаратура.** Спектры поглощения растворов и сорбентов в тонком слое ( $l = 0.1$  см), а также спектры диффузного отражения (СДО) регистрировали на СФ-46, КФК-3 и Specord M 40 соответственно. Функцию Гуревича–Кубелки–Мунка рассчитывали по формуле  $F(R) = (1 - R)^2/2R$  [16], где R – коэффициент диффузного отражения сорбента, измеренный относительно MgO. Диапазон тест-шкал и ее цветовые характеристики рассчитывали методом цветометрии [17, 18] на основании спектров поглощения сорбентов с использованием преобразованных координат света ( $A$ ,  $B$ ) и светлоты ( $L$ ) [17]. Цветовое различие по светлоте ( $\Delta L$ ) и величину общего цветового различия ( $\Delta E$ ) рассчитывали по формулам:  $\Delta L = L_0 - L$ ;  $\Delta E = [(L_0 - L)^2 + (A - A_0)^2 + (B - B_0)^2]^{1/2}$ , где  $L$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $L_0$ ,  $A_0$ ,  $B_0$  – координаты цвета измеряемого образца и образца сравнения соответственно. В качестве образца сравнения применяли Фен-СГ, обрабо-



**Рис. 1.** Зависимость от pH раствора степени извлечения Zn(II) (1, 4, 7), Cd(II) (2, 5, 8) и Pb(II) (3, 6, 9) сорбентами (1–3) и немодифицированным СГ (4–6). Кривые (7)–(9) – разность степеней извлечения металлов модифицированным и немодифицированным СГ.  $c_{\text{БФС}} \cdot n \times 10^6 \text{ M} : 20$  (Zn, Cd), 50 (Pb),  $c_M = 1 \times 10^{-5} \text{ M}$ ,  $V = 10 \text{ мл}$ ,  $m = 0.020 \pm 0.001 \text{ г}$ ;  $t, \text{мин.}: 2$  (Pb), 5 (Zn), 10 (Cd).

танный  $2 \times 10^{-5} \text{ M}$  раствором БФС при pH 5.0. Суспензию перемешивали магнитными мешалками, кислотность растворов измеряли стеклянным электродом (иономер универсальный ЭВ-74). Равновесные концентрации ионов металлов определяли на атомно-абсорбционном спектрометре "Сатурн" (пламя пропан–бутан–воздух, лампа ЛСП-1,  $\lambda, \text{нм}$ : 213.8 (Zn), 228.8 (Cd) и PbНК 283.3 (Pb), спектральная цель 0.05 нм).

**Методика эксперимента.** Иммобилизацию Фен на СГ осуществляли перемешиванием  $1.00 \pm 0.01 \text{ г}$  очищенного СГ с  $50.0 \text{ мл } 6.6 \times 10^{-4} \text{ M}$  ацетоно-гексанового раствора Фен в течение 20 мин. Модифицированный сорбент отфильтровывали и высушивали при  $80$ – $100^\circ\text{C}$ . Емкость сорбента относительно Фен составляла  $2 \times 10^{-5} \text{ моль/г}$ .

Ионы металлов и БФС сорбировали в статическом режиме. Для этого  $10.0$ – $100 \text{ мл}$  раствора перемешивали с  $0.020$ – $0.200 \text{ г}$  сорбента в течение 1–20 мин, сорбент отделяли и высушивали до воздушно-сухого состояния. Равновесную концентрацию БФС в растворе определяли фотометрически по собственному поглощению (590 нм). Степень извлечения ( $\Gamma, \%$ ) и десорбции ( $d, \%$ ), величину сорбции ( $a, \text{моль/г}$ ) и коэффициент распределения ( $D, \text{мл/г}$ ) рассчитывали по формулам:  $\Gamma, \% = (c_0 - [c]) \times 100 / c_0$ ;  $d, \% = V[c] \times 100 / am$ ;  $a = (c_0 - [c])V/m$ ;  $D = IV \times 1000 / (100 - \Gamma)m$ , где  $c_0$  и  $[c]$  – исходная и равновесная концентрации адсорбата в растворе,  $\text{M}$ ;  $V$  – объем раствора,  $\text{l}$ ;  $m$  – масса сорбента,  $\text{г}$ ;  $a$  – емкость сорбента,  $\text{моль/г}$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Взаимодействие ионов металлов с иммобилизованным на СГ Фен в присутствии БФС.** Фен–СГ извлекает из  $\geq 10^{-5} \text{ M}$  растворов БФС ионы Ag(I), Cd(II), Zn(II), Pb(II) и Hg(II) с образованием на поверхности окрашенных в синий цвет разнолигандных комплексов. Изучено взаимодействие этих ионов с иммобилизованным Фен в зависимости от pH раствора, времени контакта фаз, соотношения  $V/m$ , концентрации БФС и металлов в растворе.

Результаты изучения сорбции Zn(II), Cd(II) и Pb(II) в зависимости от кислотности раствора модифицированным и немодифицированным СГ приведены на рис. 1. Видно, что эффективность извлечения возрастает в ряду Pb(II) < Cd(II) < Zn(II), что хорошо согласуется с константами устойчивости их комплексов с Фен [15]. Максимальное извлечение ионов металлов за счет комплексообразования наблюдается при pH 4.8–5.5. Ртуть (II), образующая более устойчивые гидроксокомплексы, эффективно сорбируется в этих условиях как модифицированным, так и немодифицированным СГ.

При pH  $> 4.2$  БФС находится в растворе преимущественно в виде двухзарядного аниона ( $pK_a'' = 4.2$ ) [19] и практически не извлекается Фен–СГ. Поэтому дальнейшие исследования проводили при pH  $5.0 \pm 0.2$ .

Результаты исследования кинетики сорбции показали, что равновесие в системе устанавливается

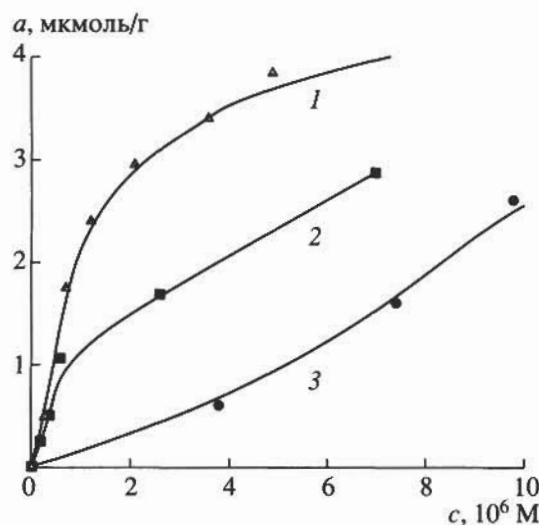


Рис. 2. Изотермы сорбции Zn(II) (1), Cd(II) (2) и Pb(II) (3) на Фен-СГ.  $c_{\text{БФС}} (n \times 10^6 \text{ M})$ : 0.020 (1), 0.120 (2), 1.0 (3),  $V = 10 \text{ мл}$ ;  $m (\text{г})$ : 0.02 (1, 3), 0.08 (2),  $\text{pH} 5.0$ ,  $a_{\text{Фен}} = 20 \text{ мкмоль/г}$ .

ется в течение 2–5 мин для всех исследуемых ионов. В отсутствие БФС ионы Zn(II), Cd(II) и Pb(II) извлекаются лишь на 40–60%. В присутствии БФС сорбция увеличивается на 20%, что может свидетельствовать об образовании на поверхности более гидрофобного разнолигандного ком-

плекса. Оптимальной для определения выбрана концентрация  $\geq 1 \times 10^{-5} \text{ M}$  БФС.

Изотермы сорбции Zn(II), Cd(II) и Pb(II) Фен-СГ в присутствии БФС приведены на рис. 2. Видно, что степень сродства адсорбата к поверхности Фен-СГ также увеличивается в ряду Pb(II) < Cd(II) < Zn(II). Изотермы сорбции Zn(II) и Cd(II) могут быть отнесены к  $L_1$ -типу [20] и линеаризованы в координатах Ленгмюра ( $r = 0.996$ ). Константы сорбции ( $k, 10^5 \text{ мл/г}$ ) и  $a_{\text{max}}$  (мкмоль/г) соответственно равны: 8.2 и 4.7 (Zn) и 3.1 и 4.2 (Cd).  $S_4$ -тип изотермы сорбции Pb(II) обусловлен, вероятно, тем, что он извлекается преимущественно по механизму гидролитической сорбции.

В оптимальных условиях сорбции ( $2 \times 10^{-5} \text{ M}$  БФС) коэффициент распределения максимальен ( $10^3 \text{ мл/г}$ ): 1.7, 1.5 и 0.4 для Zn(II), Cd(II) и Pb(II) соответственно.

С целью изучения природы взаимодействия на границе раздела фаз “Фен-СГ – раствор M(II) в присутствии БФС” на примере Zn(II) изучили зависимость соотношения БФС и Zn(II) на поверхности ( $\Delta a_{\text{БФС}}/a_{\text{Zn(II)}}$ ) от концентрации БФС в растворе. Насыщение на кривой достигается при  $a_{\text{БФС}}/a_{\text{Zn(II)}} \approx 1$ , что позволяет предположить образование на поверхности разнолигандного комплекса с соотношением Zn:БФС = 1:1.

Отличие спектра поглощения Фен-СГ, обработанного раствором цинка в присутствии БФС ( $\lambda_{\text{max}} = 595 \text{ нм}$ ), от спектров поглощения дианиона

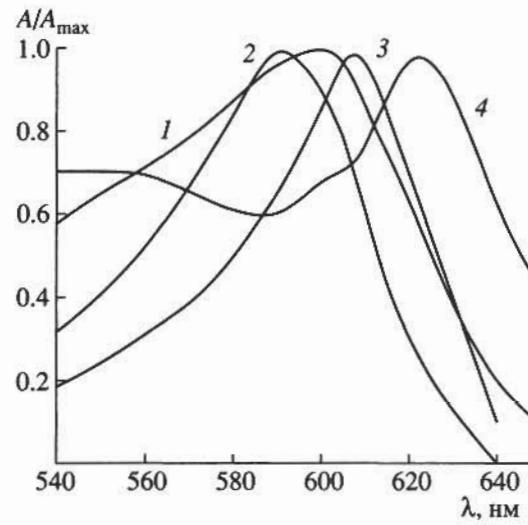


Рис. 3. Нормированные спектры поглощения Фен-СГ, обработанного раствором Zn(II) в присутствии БФС (1), водного раствора БФС (2), хлороформного экстракта  $[\text{Zn}(\text{Фен})_2]^{2+}\text{БФС}^{2-}$  (3), а также спектр поглощения СГ, обработанного водным раствором, содержащим Zn(II), Фен и БФС (4),  $a_{\text{Фен}} = 20 \text{ мкмоль/г}$ , концентрации ( $n \times 10^6 \text{ M}$ ): Фен — 50 (4), БФС — 20, Zn(II) — 8.0,  $\text{pH} 5.0$ .

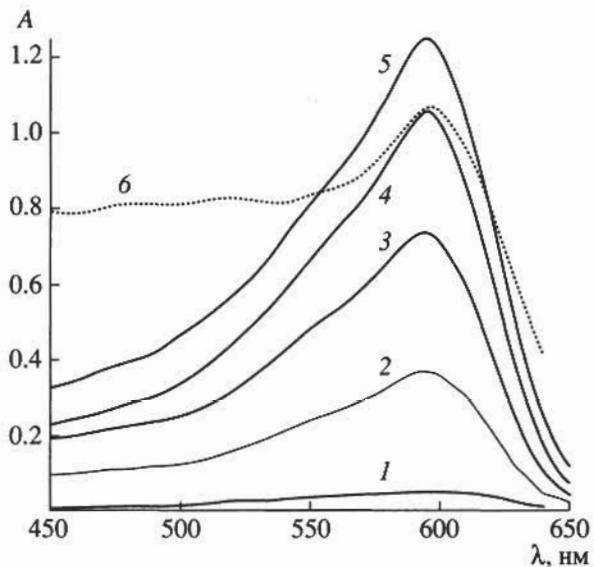


Рис. 4. Спектры поглощения Фен-СГ после обработки растворами Zn(II) (1–5) и водной вытяжкой почвы (6) в присутствии БФС. Концентрации ( $n \times 10^6 \text{ M}$ ): Zn(II) — 0 (1), 1.0 (2), 2.0 (3), 5.0 (4), 10.0 (5); БФС — 20.0. Концентрация, М:  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  — 0.02,  $\text{F}^-$  — 0.01, ацетата — 0.13.  $V = 100 \text{ мл}$ ,  $m = 0.20 \pm 0.01 \text{ г}$ ,  $\text{pH} 5.0$ .

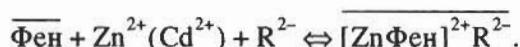
**Таблица 1.** Параметры градуировочных графиков (ГГ) для определения Cd(II) и Zn(II) методами СДО, твердофазной спектрофотометрии и цветометрии.  $y = a + b [M]$ , мг/л;  $V/m = 500$  мл/г

Ион	Параметр	$a$	$b$	Интервал линейности ГГ, мг/л	$r$
Cd(II)	$\Delta F(R)_{600}$	$0.008 \pm 0.004$	$0.19 \pm 0.01$	0.112–0.900	0.996
	$\Delta A_{595}$	$0.06 \pm 0.02$	$5.4 \pm 0.2$	0.01–0.130	0.998
	$\Delta E$	$0.09 \pm 2.9$	$(0.50 \pm 0.04) \times 10^3$	0.017–0.110	0.993
	$\Delta L$	$0.9 \pm 3.0$	$(0.46 \pm 0.04) \times 10^3$	0.020–0.110	0.986
	$\Delta S$	$0.3 \pm 1.5$	$(0.16 \pm 0.02) \times 10^3$	0.028–0.090	0.987

**Таблица 2.** Результаты определения цинка в модельных растворах (1–3) методами ТСФ (1, 2), визуальным тестометодом (3) и в водных вытяжках почвы (4, 5).  $V/m = 125$  мл/г. Концентрации, М: БФС –  $2 \times 10^{-5}$ ,  $F^-$  – 0.01,  $S_2O_3^{2-}$  –  $2 \times 10^{-2}$  ( $n = 3$ ;  $P = 0.95$ )

№	Содержание элементов, мг/л (мг/кг)						$s_r$ (ТФС)	
	Ni(II)	Cd(II)	Fe(III)	Cu(II)	Zn(II)			
					введено	найдено		
1	0.116	0.224	–	0.064	0.325	$0.42 \pm 0.05$	–	0.05
2	0.116	0.56	0.56	0.064	0.650	$0.58 \pm 0.08$	–	0.06
3	0.116	0.224	–	0.064	0.325	$0.42 \pm 0.18$	–	0.33
4	Не определяли				–	$1.3 \pm 0.2$ $(13 \pm 2)$	$1.2 \pm 0.1$ $(12 \pm 1)$	0.06
5	Не определяли				–	$0.96 \pm 0.12$ $(9.6 \pm 1.2)$	$0.92 \pm 0.08$ $(9.2 \pm 0.8)$	0.07

БФС, хлороформного экстракта комплекса  $[Zn(\text{Фен})_2\text{БФС}]$  и немодифицированного СГ, обработанного раствором  $[Zn(\text{Фен})_2\text{БФС}]$  (рис. 3), свидетельствует об образовании на поверхности соединения иного состава. Учитывая данные литературы об образовании на поверхности Фен–СГ комплексов с эквимолярным соотношением М:Фен [11, 12], взаимодействие Zn(II) и Cd(II) в исследуемых системах можно представить схемой:



Поглощение (рис. 4), диффузное отражение ( $F(R)$ ), а также цветометрические функции сорбентов возрастают пропорционально концентрации Zn(II) и Cd(II) в растворе, что может быть положено в основу их определения комбинированными методами. Параметры соответствующих градуировочных графиков (табл. 1) свидетельствуют о том, что чувствительность определения цинка максимальна при использовании метода твердофазной спектрофотометрии (ТФС) –  $c_{\min} = 0.011$  мг/л. На основе проведенных исследований разработана также визуальная тест-шкала

для определения 0.018–0.300 мг/л цинка ( $V_{\text{пробы}} = 100$  мл,  $m = 0.200$  г).

В оптимальных условиях определению  $2 \times 10^{-5}$  М Zn(II) и Cd(II) не мешают  $\leq 2 \times 10^{-5}$  М Ni(II), Pb(II) и Hg(II). При определении цинка мешающее влияние  $\leq 2 \times 10^{-5}$  М Cd(II),  $\leq 5 \times 10^{-5}$  М Cu(II) и Fe(III) устранили введением  $S_2O_3^{2-}$  (0.02 М) и  $F^-$  (0.01 М) соответственно. Добиться избирательности при определении кадмия введением маскирующих агентов, к сожалению, не удалось. Учитывая, что содержание Cd(II), Hg(II), Pb(II) и Ni(II) в природных объектах значительно меньше указанных концентраций, а макрокомпоненты воды и почвы, а также анионы ( $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Ac^-$ ) не мешают определению, данный сорбент может быть предложен для целей экоанализа, в частности, для определения лабильных форм цинка в почвах [21, 22].

Результаты определения цинка в модельных растворах, имитирующих состав вытяжек почвы (табл. 2) свидетельствуют об удовлетворительной правильности и повторяемости, и, соответст-

венно пригодности методики для анализа объектов указанного типа.

В качестве примера на рис. 4 приведен спектр поглощения Фен-СГ, обработанного водной вытяжкой почвы с высоким содержанием железа (III) ( $>2.0$  мг/л) (кривая 6). Полоса поглощения в области 400–550 нм, очевидно, обусловлена взаимодействием иммобилизованного Фен с Fe(II), образующимся при восстановлении тиосульфатом не полностью замаскированного Fe(III). Однако, благодаря высокой контрастности реакции, даже в этом случае возможно получение достоверных результатов при определении цинка сорбционно-спектрофотометрическим методом. Содержания цинка в пробе, найденные методом градиуровочного графика и методом добавок (с учетом влияния матрицы), практически совпадают. Правильность результатов анализа контролировали атомно-абсорбционным методом (ААС). Результаты определения, представленные в табл. 2, свидетельствуют о пригодности разработанной методики для анализа водных вытяжек почв.

По сравнению с предложенным ранее наиболее чувствительным твердофазным реагентом на цинк на основе иммобилизованного на СГ 1-(2-тиазолилазо)-2-нафтоля [23] разработанный сорбент при сопоставимых метрологических характеристиках отличается большей устойчивостью модификатора и продуктов реакции в растворах с высокой минерализацией, что делает его более предпочтительным при анализе почв. Более высокая чувствительность Фен-СГ по сравнению с ксерогелем, модифицированным 4-(2-пиридилизо)резорцином [24], позволяет применять его для определения не только общего содержания, но и концентрации лабильных форм цинка в почвах.

**Визуальная тест-шкала.** Ацетатные буферные растворы с pH 5.0 ( $V = 100$  мл), содержащие  $2 \times 10^{-5}$  М БФС и переменные количества цинка (0, 0.016, 0.032, 0.065, 0.130 мг/л), перемешивали в течение 2 мин с  $0.20 \pm 0.01$  г Фен-СГ. Стандартную цветную шкалу готовили методом компьютерной имитации. Подбор цветов, а также обоснование шага и диапазона шкалы осуществляли построением зависимости изменения координат цветности (в системе CIELAB) воздушно-сухих сорбентов от концентрации определяемого компонента и моделированием шкалы в графическом редакторе Corel Draw.

**Определение лабильных форм цинка в почве.** Пробу почвы высушивают при  $60\text{--}70^\circ\text{C}$  в течение 3–4 ч и измельчают. Навеску (10 г) почвы встрихивают с 100 мл ацетатного буферного раствора (pH 5.0) в течение 1 ч [22]. Полученный раствор отделяют фильтрованием через бумажный фильтр “синяя лента”. В случае необходимости pH фильтрата доводят серной кислотой до 5.0

(контроль pH-метром). К 25 мл раствора добавляют  $2 \times 10^{-5}$  М раствор БФС, маскирующие агенты ( $c_{\text{Fe}} = 0.01$  М,  $c_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}} = 0.02$  М) и перемешивают с  $0.20 \pm 0.01$  г Фен-СГ в течение 2 мин. Измеряют поглощение воздушно-сухого сорбента при 595 нм относительно Фен-СГ, обработанного контрольным раствором, содержащим все компоненты, кроме почвенной вытяжки. Содержание цинка в растворе рассчитывают по уравнению соответствующего градиуровочного графика (табл. 1).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Пилипенко А.Т., Тананайко М.М. Разнолигандные и разнometалльные комплексы и их применение в аналитической химии. М.: Химия, 1983.
- Тананайко М.М., Гореништейн Л.И. // Укр. хим. журн. 1975. Т. 41. № 9. С. 996.
- Тананайко М.М., Гореништейн Л.И. // Изд. вузов. Сер. Химия. 1976. Т. 19. № 1. С. 12.
- Шестидесятная Н.Л., Воронич О.Г., Мотыль В.А. // Журн. аналит. химии. 1977. Т. 32. № 2. С. 260.
- Тананайко М.М., Гореништейн Л.И. // Укр. хим. журн. 1974. Т. 40. № 11. С. 1191.
- Тананайко М.М., Гореништейн Л.И. // Изд. вузов. Сер. Химия. 1975. Т. 13. № 9. С. 1363.
- Кобякова С.О., Савостина В.М., Пешкова В.М. // Журн. аналит. химии. 1974. Т. 29. № 2. С. 300.
- Тананайко М.М., Биленко Н.С. // Изд. вузов. Сер. Химия. 1972. Т. 15. № 11. С. 1643.
- Тананайко М.М., Гореништейн Л.И. // Укр. хим. журн. 1977. Т. 43. № 12. С. 1319.
- Запорожец О.А., Гавер О.М., Сухан В.В. // Успехи химии. 1997. Т. 66. № 7. С. 702.
- Zaporozhets O., Gawer O., Sukhan V. // Colloids and surfaces. 1999. P. 273.
- Zaporozhets O., Gawer O., Sukhan V. // Talanta. 1998. V. 46. P. 1387.
- Методы анализа чистых химических реагентов. М.: Химия, 1984. 280 с.
- Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ. М.: Наука, 1964. 399 с.
- Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1989. 480 с.
- Рунов В.К., Тропина В.В. // Журн. аналит. химии. 1996. Т. 51. № 1. С. 71.
- Морозко С.А., Иванов В.М. // Журн. аналит. химии. 1990. Т. 45. № 9. С. 1838.
- Кириллов Е.А. Цветоведение. М.: Легпромбытиздат, 1987. 128 с.
- Stability Constants of Metal ion Complexes: part B. Organic Ligands / Ed. D.D. Perrin. Oxford-N.Y.-Toronto-Sidney-Paris-Frankfurt: Pergamon Press, 1988.
- Giles C.N., Mc Ewans T.H., Nakhwa S.N., Smith D. // J. Chem. Soc. 1960. V. 9. P. 3973.

21. Кабата-Пендрас А., Пендрас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989.
22. Брыкина Г.Д., Степанова Н.Л., Стефанов А.В. и др. // Журн. аналит. химии. 1983. Т. 38. № 1. С. 33.
23. Zaporozhets O., Petruniok N., Bessarabova O., Sukhan V. // Talanta. 1999. V. 49. P. 899.
24. Моросанова Е.И., Азарова Ж.М., Золотов Ю.А. // Журн. аналит. химии. 2002. Т. 57. № 5. С. 499.

## Sorption-Spectrophotometric and Test Determination of Zinc(II) as the Mixed-Ligand Complex of 1,10-Phenanthroline and Bromophenol Blue

O. A. Zaporozhets, L. S. Ivan'ko, L. V. Bykova, and N. A. Mostovaya

*Shevchenko National University, Vladimirskaya ul. 64, Kiev, 01033 Ukraine*

The interaction of Zn(II), Cd(II), and Pb(II) with 1,10-phenanthroline noncovalently immobilized on silica in the presence of Bromophenol Blue was studied. The optimum conditions of the reaction and the composition of mixed-ligand complexes that are formed at the surface were found, and a scheme was proposed for the interaction at the phase boundary. A sorption-spectrophotometric procedure and a test scale were developed for the determination of zinc with detection limits of 0.011 and 0.018 mg/L, respectively. The procedure was used for the determination of labile zinc species in soil.