

Е.М. РАХМАНЬКО, Ю.В. МАТВЕЙЧУК, В.В. ЯСИНЕЦКИЙ

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕТРАРОДАНОЦИНККАТ-СЕЛЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦИНКА И РОДАНИД-ИОНОВ

The ligand (thiocyanate) response of the tetrathiocyanozincate-selective electrode in zinc chloride solution medium and in the medium free from zinc chloride has been studied. The ligand (thiocyanate) response has extremely high slope:  $88 \div 97$  mV/ $pC_{SCN^-}$  and  $129 \div 130$  mV/ $pC_{SCN^-}$  (in  $5 \text{ mol/dm}^3$  zinc chloride solution medium). Electrode was used to determine both zinc content in wastes of chemical fibres industry and thiocyanate ions in technological solutions of PAN fibres industry and model systems.

В настоящее время создано большое количество роданид-селективных электродов на основе комплексных соединений цинка с фталоцианином [1], кобальта (III) с основанием Шиффа [2], цинка с бутан-2,3-дионбиссалицилгидразонатом [3], где в качестве полимерной матрицы использовался поливинилхлорид.

Разработанный на кафедре аналитической химии БГУ тетрароданоцинкат-селективный электрод на основе тринилоктадециламмония (ТНОДА) может быть использован для количественного определения не только цинка, но и роданид-ионов как в отсутствие ионов цинка в растворе, так и в их присутствии [4, 5].

В настоящей работе представлены результаты исследования роданидной функции тетрароданоцинкат-селективного электрода в отсутствие хлорида цинка в фоне и при постоянной его концентрации, а также методики количественного определения цинка и роданид-ионов в модельных и реальных объектах.

### Экспериментальная часть

В качестве реагентов использовали хлорид калия х. ч., роданид калия или аммония х. ч., соляную кислоту х. ч., металлический цинк ч. д. а., 99,95 %, трилон Б (фиксанал), аммиак водный ос. ч., хлорид аммония х. ч., эриохром черный Т, гидроксид натрия х. ч., хлорид натрия х. ч., фенол технический, тиосульфат натрия (фиксанал), иодид калия ч. д. а., ортофосфорную кислоту ч., крахмал, бромную воду (бром ч.).

Для изготовления мембран применяли поливинилхлорид (ПВХ) марки Fluka, тетрагидрофуран ч. д. а., дополнительно очищенный перегонкой по методике [6], ТНОДА с содержанием основного вещества не менее 99,7 %. В качестве пластификатора мембран использовали дибутилфталат (ДФБ) марки Sigma-Aldrich Chemie GmbH (Germany) с содержанием основного вещества не менее 99 %, который перегоняли при пониженном давлении. Измерения проводили на иономере И-160, электрод сравнения – хлоридсеребряный электрод ЭВЛ-1МЗ. Методика изготовления ионселективных электродов (ИСЭ) приведена в работе [7].

Фоновые растворы для изучения роданидной функции получали следующим образом: в мерных колбах на 1000 или 500 мл готовили фоновые растворы  $ZnCl_2$  с концентрацией  $5; 1; 10^{-1}; 10^{-2}$  моль/л по точной навеске металла ( $\pm 0,00005$  г), растворенной в минимальном объеме соляной кислоты. Исходный раствор, содержащий 1 моль/л  $SCN^-$  на фоне различных концентраций цинка, готовили следующим образом: в мерную колбу на 100 мл вносили навеску 7,61230 г роданида аммония ( $\pm 0,00005$  г) и доводили объем раствора до метки фоновым раствором. Растворы с меньшей концентрацией  $SCN^-$  получали последовательным разбавлением в два раза фоновым раствором цинка соответствующей концентрации. Точная концентрация  $NH_4SCN$  или  $KSCN$  устанавливалась иодометрическим методом [8].

Измеряли э. д. с. электрохимической цепи:



Тетрароданоцинкат-селективный электрод имеет нормальную цинкроданидную функцию с наклоном  $28 \div 31$  мВ/ $pC_{Zn^{2+}}$  в диапазоне концентраций  $KSCN$  от  $5 \cdot 10^{-2}$  до  $5 \cdot 10^{-1}$  моль/л. Время отклика электродов составляло  $20 \div 30$  с.

В качестве реальных объектов для определения цинка был выбран цинк содержащий шлам ОАО «Могилевский завод искусственного волокна» и зола с установки обжига отходов ОАО «Могилевхимволокно», для определения  $SCN^-$  – раствор осадительной ванны производства волокна Нитрон I (г. Новополоцк), представляющий собой раствор роданида натрия в воде.

Цинк содержащий шлам по внешнему виду не отличается от обычной земли. Он образуется в результате очистки сточных вод от цинка реагентным методом (осаждение сульфидом или карбонатом натрия),

поэтому для перевода цинка в раствор шлам обрабатывали раствором соляной кислоты [9, 10]. Зола представляет собой тонкий порошок серого цвета, в котором металлы находятся преимущественно в форме оксидов.

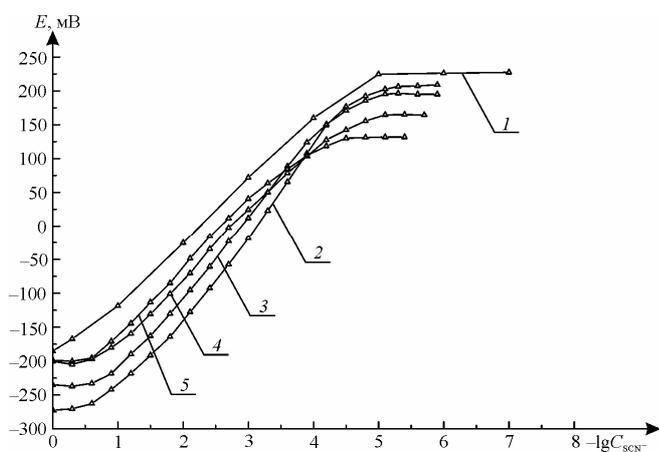
Для количественного определения цинка в образцах отходов (зола, шлам) в качестве референтного применяли метод атомно-абсорбционной спектрофотометрии, а также комплексометрического титрования [11]. Комплексометрическое определение цинка в золе практически невозможно, так как она содержит, кроме цинка, кобальт, медь, никель, кадмий, железо, марганец.

Определение цинка атомно-абсорбционным методом осуществлялось на спектрофотометре VARIAN AA 240 FS.

По результатам потенциометрических измерений и комплексометрического титрования рассчитывали массовую долю цинка во влажных образцах отходов (%).

### Результаты и их обсуждение

На рисунке представлены роданидные функции  $[Zn(NCS)_4]^{2-}$ -селективного электрода на фоне различных концентраций хлорида цинка. С увеличением фоновой концентрации хлорида цинка от  $10^{-2}$  до 5 моль/л потенциал существенно уменьшается. Согласно [4] функция такого типа отличается большими стабильностью и селективностью к  $SCN^-$ , повышающимися с ростом содержания ионов цинка. На графиках появляется отклонение от линейности при высоких концентрациях  $SCN^-$  (более 0,2 моль/л).



Роданидная функция  $[Zn(NCS)_4]^{2-}$ -СЭ в отсутствие хлорида цинка в фоне (1) и при различной его фоновой концентрации, моль/л: 2 – 5, 3 – 1, 4 –  $10^{-1}$ , 5 –  $10^{-2}$

Причины возникновения, математическое описание лигандной (роданидной) функции  $[Zn(NCS)_4]^{2-}$ -селективного электрода подробно рассмотрены в работах [4, 7, 12]. Изменение потенциала  $[Zn(NCS)_4]^{2-}$ -селективных электродов в растворах лигандов можно объяснить двумя факторами: вытеснением роданид-ионами комплексных анионов  $[Zn(NCS)_4]^{2-}$  в приэлектродный слой и участием лигандов в равновесиях комплексообразования. Теоретический наклон роданидной функции должен быть равен  $96 \div 97$  мВ. Высокие концентрации роданид-ионов приводят к снижению наклона до 67 мВ.

Таблица 1

Наклоны роданидной функции тетрароданоцинкат-СЭ

Фон, $C_{Zn^{2+}}$ , моль/л	Наклон, мВ/р $C_{SCN^-}$ , в диапазоне $C(SCN^-)$ , моль/л				
	$1 \div 10^{-1}$	$10^{-1} \div 10^{-2}$	$10^{-2} \div 10^{-3}$	$10^{-3} \div 10^{-4}$	$10^{-4} \div 10^{-5}$
0	67±4	94±2	97±2	88±3	65±4
5	34±6	94±2	129±7	130±5	83±5
1	26±5	98±6	118±7	121±6	59±3
$10^{-1}$	27±5	95±6	107±4	97±8	45±4
$10^{-2}$	33±3	99±7	94±6	69±6	22±4

Однако более интересна роданидная функция на фоне постоянной концентрации хлорида цинка (см. рисунок, табл. 1). Роданидная функция  $[Zn(NCS)_4]^{2-}$ -селективного электрода на фоне 5 моль/л  $ZnCl_2$  имеет очень высокий наклон и может быть описана следующими уравнениями ( $\Theta = 29$  мВ) [4]:

$$E_1 = E_1^0 + 4 \cdot \Theta \cdot \lg[CNS^-],$$

$$E_2 = E_2^0 + 3 \cdot \Theta \cdot \lg[CNS^-],$$

$$E_3 = E_3^0 + 2 \cdot \Theta \cdot \lg[CNS^-],$$

$$E_4 = E_4^0 + \Theta \cdot \lg[CNS^-],$$

$$E_5 = E_5^0 + \Theta \cdot \lg[Zn_{aq}^{2+}] = const.$$

**Методика потенциометрического определения цинка в отходах (шламе) ОАО «Могилевский завод искусственного волокна».** Для приготовления растворов при построении градуировочных графиков в координатах  $E - \lg C_{Zn^{2+}}$  использовали металлический цинк (99,95 %); рабочие растворы готовили последовательным разбавлением 0,1 моль/л роданидом аммония.

Навеску  $0,10000 \pm 0,00005$  г отходов, предварительно высушенных при  $105^\circ\text{C}$  до постоянной массы, трижды обрабатывали 4 моль/л соляной кислотой (по 1 мл) при  $70 \div 75^\circ\text{C}$  в вытяжном шкафу, каждый раз выпаривая смесь досуха. Сухой остаток обрабатывали 2 мл 4 моль/л HCl при  $70 \div 75^\circ\text{C}$ , отфильтровывали осадок на вакуум-фильтре и выпаривали фильтрат досуха. Сухой остаток растворяли в 5 мл 0,1 моль/л  $\text{NH}_4\text{CNS}$  и переносили в мерную колбу на 50 мл, стакан трижды ополаскивали 5 мл раствора 0,1 моль/л  $\text{NH}_4\text{CNS}$ , растворы переносили в мерную колбу и объем доводили до метки 0,1 моль/л раствором  $\text{NH}_4\text{CNS}$ . Измеряли потенциал электрода, погруженного в приготовленный раствор, и рассчитывали в нем концентрацию цинка.

**Методика потенциометрического определения цинка в золе с установки переработки отходов ОАО «Могилевхимволокно».** Навеску  $0,10000 \pm 0,00005$  г золы (предварительно высушенной при  $105^\circ\text{C}$ ) трижды обрабатывали концентрированной соляной кислотой (по 1 мл) при  $80 \div 90^\circ\text{C}$ , каждый раз выпаривая смесь досуха. Затем обрабатывали сухой остаток 2 мл концентрированной соляной кислоты при  $80 \div 90^\circ\text{C}$ , отфильтровывали осадок на вакуум-фильтре и выпаривали фильтрат досуха. Сухой остаток растворяли в 5 мл 0,1 моль/л  $\text{NH}_4\text{CNS}$ , раствор переносили в мерную колбу на 50 мл, стакан трижды ополаскивали 5 мл раствора 0,1 моль/л  $\text{NH}_4\text{CNS}$ , растворы переносили в мерную колбу и объем доводили до метки 0,1 моль/л раствором  $\text{NH}_4\text{CNS}$ . Измеряли потенциал электрода, погруженного в приготовленный раствор, и рассчитывали в нем концентрацию цинка.

**Методика комплексонометрического определения цинка в отходах (шлам) ОАО «Могилевский завод искусственного волокна».** Навеску  $20,00 \pm 0,01$  г отходов обрабатывали 60 мл 4 моль/л соляной кислоты при  $70 \div 75^\circ\text{C}$  в течение 3 ч на водяной бане, отфильтровывали суспензию, фильтрат собирали в стакан на 250 мл. После нейтрализации 0,1 моль/л гидроксидом натрия добавляли концентрированный раствор аммиака до pH  $11 \div 11,5$  (pH раствора измеряли на иономере И-160 со стеклянным электродом), нагревая раствор для флокуляции осадка  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Осадок  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  отфильтровывали на вакуум-фильтре и промывали горячим 1 % раствором хлорида аммония во избежание пептизации. Фильтрат переносили в мерную колбу на 500 мл и определяли концентрацию цинка титрованием с 0,025 моль/л трилоном Б [13].

В табл. 2 приведены результаты прямого потенциометрического, комплексонометрического и атомно-абсорбционного определения цинка. Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Microsoft Office Excel, а также методики [14].

Таблица 2

**Результаты прямого потенциометрического, комплексонометрического и атомно-абсорбционного определения цинка в отходах производства химических волокон**

Вид отходов	Прямая потенциометрия, %	$\bar{S}_r$	Комплексонометрическое определение, %	$\bar{S}_r$	Атомно-абсорбционная спектрофотометрия, %	$\bar{S}_r$
Зола	$0,22 \pm 0,06$	22	—	—	$0,20 \pm 0,06$	24
Шлам	$13,8 \pm 0,4$	2,3	$14,3 \pm 0,5$	2,8	$13,4 \pm 0,9$	5,2

Примечание. Здесь  $n = 5, p = 0,95$ .

На заводе «Полимир» (Новополоцк) для контроля содержания роданид-ионов в осадительной ванне используют заводскую методику 10-3М-1 «Выполнение измерений массовой доли роданида натрия в технологических растворах производства Нитрон I титриметрическим методом с азотнокислым серебром», в качестве индикатора применяют 2,7-дихлорфлуоресцеин.

**Методика прямого потенциометрического определения роданид-ионов в осадительной ванне производства Нитрон I завода «Полимир» (Новополоцк).** Исходный раствор осадительной ванны разбавляли в 200 раз в мерной колбе и измеряли потенциал полученного раствора. По градуировочному графику (см. рисунок), а также с учетом разбавления рассчитывали содержание роданид-ионов в осадительной ванне ( $n = 10, p = 0,95$ ), которое составило  $C = 1,124 \pm 0,006$  моль/л,  $\bar{S}_r = 0,007$ .

**Иодометрическое определение роданид-ионов в осадительной ванне производства Нитрон I завода «Полимир» (Новополоцк).** Исходный раствор осадительной ванны разбавляли в 2 тыс. раз. К 5 мл раствора осадительной ванны, помещенной в коническую колбу на 50 мл, приливали 5 мл 20 %

раствора ортофосфорной кислоты и бромную воду до интенсивно-желтой окраски. Раствор встряхивали и оставляли на 2–3 мин. Затем приливали 2 мл 5 % раствора фенола и встряхивали до исчезновения окраски брома; добавляли 0,5 г иодида калия, встряхивали до растворения соли и оставляли на 4–5 мин. Раствор титровали 0,001 н тиосульфатом натрия, используя в качестве индикатора крахмал [8–10]. Результаты иодометрического определения роданид-ионов ( $n = 10$ ,  $p = 0,95$ ):  $C = 1,13 \pm 0,01$  моль/л,  $\bar{S}_r = 0,012$ .

Наиболее точным является прямое потенциометрическое определение роданид-ионов в осадительной ванне, что связано с очень высоким наклоном роданидной функции цинкроданидного электрода.

**Методика определения роданид-ионов при отсутствии в фоне хлорида цинка (модельная система).** В мерную колбу на 100 мл вносили навеску 9,7183 г роданида калия ( $\pm 0,00005$  г) и доводили объем раствора до метки дистиллированной водой. Растворы с меньшей концентрацией  $\text{SCN}^-$  готовили разбавлением водой. Измеряли потенциал тетрароданоцинкат-селективного электрода, погруженного в приготовленные растворы, и рассчитывали в них концентрацию роданид-ионов.

**Методика определения роданид-ионов на фоне 5 моль/л хлорида цинка (модельная система).** В мерную колбу на 100 мл вносили навеску 9,7183 г роданида калия ( $\pm 0,00005$  г) и доводили объем раствора до метки 5 моль/л хлоридом цинка. Растворы с меньшей концентрацией  $\text{SCN}^-$  готовили разбавлением фоновым раствором. Измеряли потенциал  $[\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-}$ -селективного электрода, погруженного в приготовленные растворы, и рассчитывали в них концентрацию роданид-ионов (табл. 3).

Таблица 3

Результаты определения цинка и роданид-ионов с помощью  $[\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-}$ -СЭ в модельных растворах

Определяемый ион	Введено, моль/л	Найдено, моль/л	$\bar{S}_r$
Хлорид цинка в фоне отсутствует			
$\text{Zn}^{2+}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$1,04 \cdot 10^{-2} \pm 2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$
	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3} \pm 2,0 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-1}$
	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-4} \pm 3,0 \cdot 10^{-5}$	$0,1 \cdot 10^{-1}$
	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4} \pm 3,0 \cdot 10^{-5}$	$0,2 \cdot 10^{-1}$
	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$9,8 \cdot 10^{-5} \pm 3,0 \cdot 10^{-6}$	$0,1 \cdot 10^{-1}$
	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$8,6 \cdot 10^{-6} \pm 1,0 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-1}$
	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$8,1 \cdot 10^{-7} \pm 1,4 \cdot 10^{-7}$	$0,6 \cdot 10^{-1}$
$\text{CNS}^-$	1,0	$0,998 \pm 4,0 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$9,8 \cdot 10^{-2} \pm 3,0 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-1}$
	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$5,1 \cdot 10^{-2} \pm 3,0 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-1}$
	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$9,9 \cdot 10^{-3} \pm 2,0 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-1}$
	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3} \pm 4,0 \cdot 10^{-4}$	$0,3 \cdot 10^{-1}$
	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,03 \cdot 10^{-3} \pm 3,0 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-4} \pm 4,0 \cdot 10^{-5}$	$0,3 \cdot 10^{-1}$
	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,02 \cdot 10^{-4} \pm 7,0 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$
	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-5} \pm 5,0 \cdot 10^{-6}$	$0,4 \cdot 10^{-1}$
$1,0 \cdot 10^{-5}$	$9,4 \cdot 10^{-6} \pm 1,0 \cdot 10^{-6}$	$0,4 \cdot 10^{-1}$	
Хлорид цинка в фоне 5 моль/л			
$\text{CNS}^-$	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$1,01 \cdot 10^{-1} \pm 1,0 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$
	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$5,1 \cdot 10^{-2} \pm 2,0 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-1}$
	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$9,9 \cdot 10^{-3} \pm 2,0 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \cdot 10^{-1}$
	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-3} \pm 2,0 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-1}$
	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-3} \pm 2,0 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$
	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4} \pm 3,0 \cdot 10^{-5}$	$0,2 \cdot 10^{-1}$
	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,01 \cdot 10^{-4} \pm 3,0 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-5} \pm 4,0 \cdot 10^{-6}$	$0,3 \cdot 10^{-2}$
	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$9,3 \cdot 10^{-6} \pm 8,0 \cdot 10^{-7}$	$0,3 \cdot 10^{-1}$

Примечание. Здесь  $n = 10$ ,  $p = 0,95$ .

\* \* \*

Лигандная функция  $[\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-}$ -селективного электрода на основе ТНОДА обусловлена обменным вытеснением роданид-ионами комплекса  $[\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-}$  из мембраны в приэлектродный слой раствора и последующей его диссоциацией.

Роданидная функция  $[\text{Zn}(\text{NCS})_4]^{2-}$ -селективного электрода на фоне 5 моль/л  $\text{ZnCl}_2$  имеет более высокий наклон и более низкие пределы обнаружения по сравнению с роданидной функцией в отсутст-

вие цинка в растворе, что является перспективным для количественного определения роданид-ионов. Несмотря на аномальные наклоны, роданидная функция хорошо воспроизводится, что позволяет рекомендовать  $[Zn(NCS)_4]^{2-}$ -селективный электрод для прямых потенциометрических измерений роданид-ионов с высокой точностью.

На основе проведенных исследований разработаны методики прямого потенциометрического определения цинка и роданид-ионов в модельных растворах и отходах производства химических волокон.

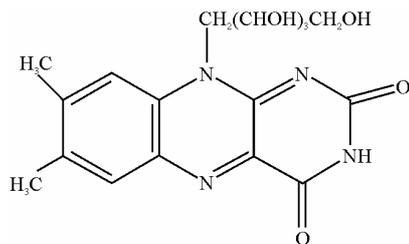
1. Wen-Ju Xu, Ya-Qin Chai, Ruo Yuan, Su-Li Liu // Anal. Bioanal. Chem. 2006. Vol. 385. P. 926.
2. Shokrollahi A., Ghaedi M., Ghaedi H., Kianfar A.H. // Intern. J. Environ. Anal. Chem. 2008. Vol. 88. № 12. P. 841.
3. Mazloum Ardakani M., Sadeghi A., Salavati-Niasari M. // Talanta. 2005. Vol. 66. P. 837.
4. Рахманько Е.М. Физико-химические основы применения экстракции солями высших четвертичных аммониевых оснований в анализе: Дис. ... д-ра хим. наук. Мн., 1994.
5. Старобинец Г.Л., Рахманько Е.М., Ломако В.Л. // ЖАХ. 1981. Т. 36. Вып. 7. С. 1305.
6. Лабораторная техника органической химии / Под ред. Б. Кейла. М., 1966.
7. Таразевич М.Я. Тетрароданоцинкат-селективный электрод и его аналитическое применение: Дис. ... канд. хим. наук. Мн., 2006.
8. Уильямс У.Дж. Определение анионов: справочник. М., 1982.
9. Способ переработки цинксодержащих отходов вязкого производства: пат. 14186 С2 Респ. Беларусь, МПК(2009) D 01F 13/00 / В.В. Ясинецкий, Ю.В. Матвейчук; заявитель Мог. гос. ун-т продовольствия. № а 20090927; заявл. 25.06.09; опубл. 30.04.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2011. № 2. С. 107.
10. Матвейчук Ю.В., Оботуров А.В., Ясинецкий В.В. // Хим. волокна. 2011. № 3. С. 53.
11. Живописцев В.П., Селезнева Е.А. Аналитическая химия цинка. М., 1975.
12. Рахманько Е.М., Ломако В.Л., Поклонская Т.Е. и др. // ЖАХ. 1995. Т. 50. № 2. С. 200.
13. Шарло Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений. М., 1965.
14. Гордон А., Форд Р. Спутник химика. М., 1976.

Поступила в редакцию 23.06.11.

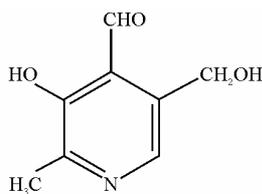
**Евгений Михайлович Рахманько** – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой аналитической химии.

**Юлия Владимировна Матвейчук** – аспирант кафедры аналитической химии. Научный руководитель – Е.М. Рахманько.

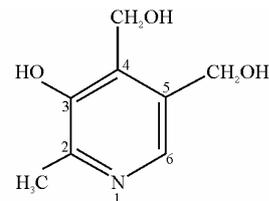
**Валерий Владимирович Ясинецкий** – кандидат химических наук, доцент кафедры химии Могилевского государственного университета продовольствия.



Рибофлавин  
(витамин В<sub>2</sub>)



Пиридоксаль  
(витамин В<sub>6</sub>)



Пиридоксин  
(витамин В<sub>6</sub>)