

## АНАЛІЗ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ НА ВМІСТ ІРИДІЮ ТА ПАЛАДІЮ

Л. В. ЛОЗИНСЬКА, О. С. ТИМОШУК, Т. Я. ВРУБЛЕВСЬКА

Львівський національний університет імені Івана Франка

Уперше досліджено взаємодію Ir(IV) з 5-гідроксиіміно-4-іміно-1,3-тіазолідин-2-оном та Pd(II) з 4-[N'-(4-іміно-2-оксо-тіазолідин-5-іліден)-гідразино]-бензенсульфокислотою. Встановлено оптимальні умови для утворення цих сполук, їхні метрологічні характеристики. На основі одержаних результатів розроблено нові методики визначення вмісту іридію та паладію, які апробовано під час аналізу інтерметалідів складу Tb<sub>2</sub>Ir<sub>3</sub>Al<sub>9</sub>, Gd<sub>2</sub>Ir<sub>3</sub>Al<sub>9</sub>, Yb<sub>40</sub>Pd<sub>40</sub>Ga<sub>20</sub>, Yb<sub>40</sub>Pd<sub>38</sub>Sn<sub>22</sub> та резистора СП5-35Б ( $S_r \leq 0,02$ ).

**Ключові слова:** паладій (II), іридій (IV), азолідони, спектрофотометрія, інтерметаліди, резистор.

Платинові метали відрізняються термостійкістю, пластичністю, корозійною стійкістю, відбивальною та емісійною здатністю, також тепло- і електропровідністю, та високими магнетними характеристиками [1, 2]. Цими унікальними фізичними та хімічними властивостями володіють не тільки самі метали, але і їх сполуки та матеріали на їхній основі: сплави, каталізатори, порошки, оксидні плівки. Вони відіграють важливу роль у різних галузях: електроніці, електро- та радіотехніці, машинобудуванні, хімії (каталіз), біології і медицині [1–3]. Під час розробки нових матеріалів підвищується інтерес до досліджень сплавів та інтерметалідів. Введенням у сплав іридію, паладію чи інших платинових металів вдається не лише збільшити його механічну міцність (Ir–Hf–Nb), але і підвищити хімічну стійкість (Pd–Cu–Ga) [4, 5]. Сплави на основі паладію та іридію є хорошими каталізаторами (PdGa, Ni–Ir) і адсорбентами атомів водню (Pd–Ag) [6–8]. Інтерметалічні сполуки іридію (Ti<sub>3</sub>Ir, ThIr<sub>2</sub>, ZrIr<sub>2</sub>, Nb<sub>3</sub>Ir, Th<sub>7</sub>Ir<sub>3</sub>, Rh<sub>17-x</sub>Ir<sub>x</sub>S<sub>15</sub> та ін.) і паладію (YbPd<sub>2</sub>Sn та ін.) відомі як надпровідники [9–11]. Тому важливо дослідити поведінку і вміст цих компонентів під час аналізу таких інтерметалідів.

**Матеріали, апаратура та методика експерименту.** Для створення вихідного розчину Pd(II) розчинили металічний паладій (99,999%) у суміші концентрованих кислот HNO<sub>3</sub> і HCl (1:3) класифікації “х.ч.”. Робочі розчини паладію (II) готували розбавленням вихідного 1,0 М HCl, а вихідний стандартний розчин Ir(IV) ([IrCl<sub>6</sub>]<sup>2-</sup>) – спіканням точної наважки металічного іридію (99,99%) 0,01...0,05 г з окиснювальною сумішшю 0,2 г NaNO<sub>3</sub>, 0,6 г NaOH та 0,1 г BaO<sub>2</sub> класифікації “ч.д.а.” із подальшим розчиненням отриманого плаву в 3 М HCl [1]. Домінуючу форму існування Ir(IV) визначали спектрофотометрично, порівнянням електронних спектрів поглинання отриманого розчину з описаними в літературі [12]. З огляду на можливі втрати іридію під час спікання виконували додаткову стандартизацію йодометричним титруванням [1]. Для створення робочих розчинів розбавили відповідні аліквоти в 1 М хлоридній кислоті.

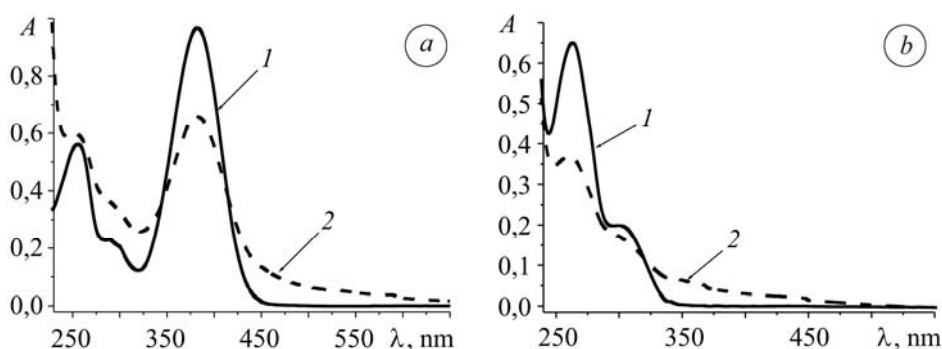
Розчин 5-гідроксиіміно-4-іміно-1,3-тіазолідин-2-ону готували розчиненням точної наважки попередньо очищеного реактиву у 96% етанолі, а розчин 4-[N'-(4-іміно-2-оксо-тіазолідин-5-іліден)-гідразино]-бензенсульфокислоти – розчиненням точної наважки реагенту у дистилаті.

Розчини  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{NaCl}$  і  $\text{NaOH}$  готували з наважки, а  $\text{HCl}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  – розведенням відповідних концентрованих кислот. Ці розчини використовували для підтримання сталої іонної сили і створення необхідного рН. Всі використовувані водні розчини готували на дистилляті.

Спектрофотометричні вимірювання здійснювали на спектрофотометрі 108 UV/ULAB у кварцових кюветах з товщиною поглинального шару 1,0 см, а також фотоколориметрі КФК-3 ( $l = 5,0$  см). Вимірювали рН на рН-метрі рН-150 М з комбінованим скляним електродом (РУП “Гомельський завод вимірювальних приладів”, Білорусія).

**Результати та їх обговорення.** Відомо про можливість використання похідних роданіну, які належать до класу азолідонів, для спектрофотометричного визначення шляхетних металів [13, 14]. Тому використали уперше синтезовані нові органічні реагенти – 5-гідроксиіміно-4-іміно-1,3-тіазолідин-2-он (ГІТО) та 4-[N'-(4-іміно-2-оксо-тіазолідин-5-іліден)-гідразино]-бензенсульфоїкислоту (ІТГБК), які теж є представниками класу азолідонів, для спектрофотометричного визначення платиноїдів [15].

Спектрофотометричним методом встановили умови взаємодії іридію (IV) з ГІТО та паладію (II) з ІТГБК. Електронні спектри поглинання сполук паладію (II) та іридію (IV) з досліджуваними реагентами наведено на рисунку. Максимуми світлопоглинання комплексів і реагентів збігаються через те, що у взаємодію вступають молекулярні форми ГІТО та ІТГБК, а не іонні. Проте за наявності металу в розчині відбувається гіпсохромний ефект і утворюється широка смуга поглинання в обох випадках, що свідчить про комплексоутворення.



Спектри поглинання розчинів азолідонів та їхніх сполук з платиноїдами  
 (а: 1 – ІТГБК; 2 – Pd(II) + ІТГБК;  $C_{\text{Pd(II)}} = 2,0 \cdot 10^{-5}$  М;  $C_{\text{ІТГБК}} = 4,0 \cdot 10^{-5}$  М; рН 8,0;  
 б: 1 – ГІТО; 2 – Ir(IV) + ГІТО;  $C_{\text{Ir(IV)}} = 2,0 \cdot 10^{-5}$  М;  $C_{\text{ГІТО}} = 4,0 \cdot 10^{-5}$  М; рН 5,0);  
 $l = 1,0$  см;  $C_{\text{NaCl}} = 0,1$  М;  $A$  – оптична густина.

Absorption spectra of solutions of azolidones and azolidones compounds with platinum metals  
 (а: 1 – ITHBA; 2 – Pd(II) + ITHBA;  $C_{\text{Pd(II)}} = 2.0 \cdot 10^{-5}$  М;  $C_{\text{ІТГБК}} = 4.0 \cdot 10^{-5}$  М; рН 8.0;  
 б: 1 – HITO; 2 – Ir(IV) + HITO;  $C_{\text{Ir(IV)}} = 2.0 \cdot 10^{-5}$  М;  $C_{\text{ГІТО}} = 4.0 \cdot 10^{-5}$  М; рН 5.0);  
 $l = 1.0$  см;  $C_{\text{NaCl}} = 0.1$  М;  $A$  – optical density.

Сполуці Pd(II) з ІТГБК властиве плече світлопоглинання у межах 420...450 nm, тоді як сам реагент поглинає світло при 382 nm (див. рисунок, графік а). Розчин ГІТО при рН 5,0 характеризується максимумом абсорбції при 264 nm, а сполука Ir(IV)–ГІТО характеризується плечем у діапазоні 320...470 nm (див. рисунок, графік б). Взаємодія Ir(IV) з ГІТО за кімнатної температури відбувається повільно, тому для її пришвидшення розчини нагрівали на киплячій водянній бані впродовж 60 min. Утворення комплексу Pd(II) з ІТГБК відбувається у широкому діапазоні рН і миттєво за кімнатної температури, а максимальний вихід спостерігають у

діапазоні рН 7,6...8,3. Умови фотометричного визначення іридію (IV) з ГІТО і паладію (II) з ІТГБК та метрологічні характеристики ( $n$  – кількість паралельних дослідів;  $P$  – довірна ймовірність) наведені в табл. 1.

**Таблиця 1. Оптимальні умови та метрологічні характеристики фотометричного визначення Pd(II) та Ir(IV) з азолідонами;  $n = 5$ ;  $P = 0,95$**

Система	рН	$\lambda$ , nm	Надлишок реагенту	Межі лінійності, $\mu\text{g/ml}$	Нижня межа визначення, $\mu\text{g/ml}$	Коефіцієнт кореляції, $R$
Pd(II)–ІТГБК	8,0	438	5-кратний	0,2...2,2	0,2	0,9997
Ir(IV)–ГІТО	5,0	350	1...1,5-кратний	1,3...11,5	1,5	0,9989

На основі розроблених методик визначали вміст паладію та іридію в інтерметалідах і паладієвому резисторі. Досліджували селективність цих методик відносно металів, які також присутні у досліджуваних об'єктах і переходять у розчин під час пробопідготовки (табл. 2).

**Таблиця 2. Селективність спектрофотометричного визначення вмісту Ir(IV) та Pd(II) з азолідонами у модельних розчинах за оптимальних умов**

Іон	Al(III)	Ga(III)	Yb(III)	Sn(II)	Fe(III)	Cu(II)	Rh(III)	Pt(IV)	Ir(IV)	Ag(I)
$C_{\text{Pd}}:C_{\text{Іон}}$	1:40	1:50	1:15	1:40	1:15	1:50	1:15	1:15	1:2	1:40
Іон	Al(III)	Tb(III)	Gd(III)	Cd(II)	Fe(III)	Cu(II)	Rh(III)	Pt(IV)	Pd(II)	Zn(II)
$C_{\text{Ir}}:C_{\text{Іон}}$	1:10	1:100*	1:100*	1:75	0,2	0,12	0,15	0,08	0,1	100

\* – вищі концентрації вказаних іонів не досліджували.

Визначенню іридію не заважають достатньо великі надлишки Tb(III), Gd(III), Al(III), так само як і паладію – значні надлишки Al(III), Sn(II), Ga(III), Yb(III), Fe(III), Ag(I), Cu(II), Rh(III) (табл. 2). Оскільки вміст компонентів, які присутні в інтерметалідах і резисторі, не перевищує допустимі концентрації, то маскування не виконували.

**Методика визначення вмісту іридію.** У мірну колбу ємністю 25,0 ml додавали 0,25 ml  $8,0 \cdot 10^{-3}$  М розчину ГІТО, аліквоту розчину Ir(IV) у межах 1,3...11,5  $\mu\text{g/ml}$  у кінцевому об'ємі, 1,25 ml 2,0 М розчину натрій хлориду і 2,0 ml 4,0 М розчину натрій ацетату. Встановлювали кислотність отриманого розчину (до рН 5,0) на рН-метрі за допомогою  $\text{CH}_3\text{COONa}$  та  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Інтенсивність світлопоглинання досліджуваного розчину відносно розчину порівняння вимірювали після 60 min нагрівання на киплячій водяній бані при  $\lambda = 350$  nm,  $l = 1,0$  cm. Концентрацію іридію (IV) знаходили за градувальним графіком або способом порівняння. Правильність спектрофотометричної методики перевіряли, аналізуючи інтерметаліди  $\text{Tb}_2\text{Ir}_3\text{Al}_9$ ,  $\text{Gd}_2\text{Ir}_3\text{Al}_9$  [16].

Інтерметаліди іридію, не зважаючи на хімічну інертність металічного іридію, розчинні за нагрівання у суміші концентрованих HCl та  $\text{HNO}_3$  у співвідношенні 10:1 [1]. Щоб одержати аналізований розчин, наважку сплаву масою 0,05...0,1 g розчиняли у 10...20 ml суміші вказаних кислот та кип'ятили на піщаній бані декілька годин. Залишок чорного кольору, який осідав на дні склянки, відфільтровували, а розчин кількісно переносили у мірну колбу ємністю 200,0 ml. Залишок додатково сплавляли з окиснювальною сумішшю ( $\text{NaNO}_3 + \text{NaOH}$  у співвід-

ношенні 3:1) упродовж 2 h при 700°C з подальшим розчиненням плаву під час нагрівання у 3 M хлоридній кислоті. Одержаний розчин кількісно переносили до попереднього і доводили до мітки дистильованою водою. Для аналізів відбирали аліквотні частини розчинів інтерметалідів об'ємом 0,4...1,0 ml, в яких визначали концентрацію іридію за градувальним графіком або способом порівняння. Вміст іридію в інтерметалідах додатково перевіряли вольтамперометричним методом (табл. 3) ( $n$  – кількість паралельних дослідів;  $\omega$  – масова частка;  $S$  – стандартне відхилення;  $t_{\alpha}$  – критерій Стьюдента;  $S_r$  – відносне стандартне відхилення). Похибка визначення не перевищує похибку фотометричного аналізу.

**Таблиця 3. Результати визначення вмісту іридію у сплавах Tb<sub>2</sub>Ir<sub>3</sub>Al<sub>9</sub> та Gd<sub>2</sub>Ir<sub>3</sub>Al<sub>9</sub>;  $n = 3$ ;  $P = 0,95$**

Інтерметалід	$\omega_{\text{Ir}}^{\text{calc}}$ , %	Вольтамперометричний метод	$S_r$	Спектрофотометричний метод	$S_r$
		$\bar{\omega}_{\text{Ir}}^{\text{pr}} \pm S \cdot t_{\alpha} / \sqrt{n}$ , %		$\bar{\omega}_{\text{Ir}}^{\text{pr}} \pm S \cdot t_{\alpha} / \sqrt{n}$ , %	
Tb <sub>2</sub> Ir <sub>3</sub> Al <sub>9</sub>	50,7	50,6±0,9	0,007	51,7±1,7	0,013
Gd <sub>2</sub> Ir <sub>3</sub> Al <sub>9</sub>	50,9	50,8±0,7	0,006	51,2±1,3	0,010

**Методика визначення вмісту паладію.** У мірну колбу ємністю 25,0 ml додавали 2,5 ml 1,0·10<sup>-3</sup> M розчину ІТГБК, аліквоту розчину Pd(II) у межах 0,2...2,2 μg/ml у кінцевому об'ємі, 12,5 ml 0,1 M розчину натрій тетраборату. Встановлювали кислотність отриманого розчину (до рН 8,0) на рН-метрі за допомогою HCl і NaOH та вимірювали інтенсивність його світлопоглинання відносно розчину порівняння, який готували аналогічно лише без додавання паладію при  $\lambda = 438$  nm,  $l = 5,0$  cm. Концентрацію паладію (II) знаходили за градувальним графіком або способом порівняння.

Розроблену методику апробували, визначаючи вміст паладію (II) з ІТГБК у відпрацьованому резисторі СП5-35Б (22,45 mg Ag та 28,92 mg Pd) та інтерметалідах Yb<sub>40</sub>Pd<sub>40</sub>Ga<sub>20</sub>, Yb<sub>40</sub>Pd<sub>38</sub>Sn<sub>22</sub> [17, 18].

Розчиняли резистор так: деталі резистора, які містили дорогоцінні метали, помістили в термотривку хімічну склянку об'ємом 150 ml, після цього туди внесли 20 ml суміші концентрованих хлоридної та нітратної кислот (3:1). Розчиняли деталі у суміші кислот під час нагрівання на піщаній бані, накривши хімічну склянку годинниковим склом. Одержаний розчин випарили до вологих солей та перевели паладій (II) у хлоридну форму, продовжуючи нагрівати на піщаній бані в присутності 10 ml концентрованої хлоридної кислоти до припинення виділення оксидів нітрогену. Після цього вміст склянки кількісно перенесли в мірну колбу об'ємом 50,0 ml та довели до мітки дистильованою водою. Робочий розчин готували розбавленням вихідного розчину в 10 разів 1 M хлоридною кислотою. Для аналізу відбирали аліквоти робочого розчину досліджуваного об'єкта об'ємом 0,5 ml, у яких визначали паладій (II) за градувальним графіком або способом порівняння. Одержані результати (табл. 4) добре узгоджуються з результатом визначення вмісту паладію атомно-абсорбційним методом ( $\lambda = 246,5$  nm, полум'я – пропан–бутан–повітря).

Інтерметаліди паладію масою 0,1...0,2 g розчиняли в 10...20 ml суміші концентрованих HCl та HNO<sub>3</sub> (3:1). Отриману суміш кип'ятили у хімічній склянці на піщаній бані впродовж 1...2 h. Сухий залишок розчиняли в 2,5 M розчині хлоридної кислоти і переносили у мірну колбу ємністю 100,0 ml. Робочі розчини отримували розбавленням вихідних розчинів у 10 разів 1 M HCl. Для визначення вмісту паладію відбирали аліквоти робочих розчинів інтерметалідів об'ємом

0,5...1,0 ml. Концентрацію паладію знаходили за описаною вище методикою. Отримані результати добре узгоджуються із результатами визначення вмісту паладію вольтамперометричним методом в аміачному середовищі (табл. 5) [1].

**Таблиця 4. Результати спектрофотометричного визначення вмісту паладію з ІТГБК у резисторі СП5-35Б;  $n = 3$ ;  $P = 0,95$**

Метод визначення	$\bar{C}_{Pd} \pm S \cdot t_{\alpha} / \sqrt{n}$ , mg	$S_r$
Спектрофотометричний	23,7±0,4	0,007
Атомно-абсорбційний	23,3±1,4	0,025

**Таблиця 5. Результати визначення вмісту паладію в інтерметалідах  $Yb_{40}Pd_{40}Ga_{20}$  та  $Yb_{40}Pd_{38}Sn_{22}$ ;  $n = 3$ ;  $P = 0,95$**

Інтерметалід	$\omega_{Pd}^{calc}$ , %	Вольтамперометричний метод	$S_r$	Спектрофотометричний метод	$S_r$
		$\bar{\omega}_{Pd}^{pr} \pm S \cdot t_{\alpha} / \sqrt{n}$		$\bar{\omega}_{Pd}^{pr} \pm S \cdot t_{\alpha} / \sqrt{n}$ , %	
$Yb_{40}Pd_{40}Ga_{20}$	33,9	34,3±0,6	0,007	34,6±1,4	0,016
$Yb_{40}Pd_{38}Sn_{22}$	29,8	30,2±0,8	0,011	29,5±1,0	0,014

## ВИСНОВКИ

Досліджено взаємодію нових реагентів класу азолідонів: 4-[N'-(4-іміно-2-оксо-тіазолідин-5-іліден)-гідразино]-бензенсульфокислоти з іонами Pd(II) та 5-гідроксимино-4-іміно-1,3-тіазолідин-2-ону з іонами Ir(IV), встановлено оптимальні умови їх взаємодії. Розроблено спектрофотометричні методики визначення цих платиноїдів та досліджено селективність розроблених методик. Методики успішно апробовано під час аналізу резистора та інтерметалідів. Одержані результати добре узгоджуються з арбітражними методиками: вольтамперометричною та атомно-абсорбційною. Похибки визначення за розробленими методиками не перевищують похибки фотометричного визначення.

*РЕЗЮМЕ.* Впервые исследовано взаимодействие Ir(IV) с 5-гидроксиимино-4-имино-1,3-тиазолидин-2-оном и Pd(II) с 4-[N'-(4-имино-2-оксо-тиазолидин-5-илиден)-гидразино]-бензенсульфокислотой. Установлены оптимальные условия образования этих соединений, их метрологические характеристики. На основе полученных результатов разработаны новые методики определения содержания иридия и палладия, которые апробированы при анализе интерметаллидов состава  $Tb_2Ir_3Al_9$ ,  $Gd_2Ir_3Al_9$ ,  $Yb_{40}Pd_{40}Ga_{20}$ ,  $Yb_{40}Pd_{38}Sn_{22}$  и резистора СП5-35Б ( $S_r \leq 0,02$ ).

*SUMMARY.* The interaction of Ir(IV) with 5-hydroxyimino-4-imino-1,3-thiazolidin-2-one and Pd(II) with 4-[N'-(4-imino-2-oxo-thiazolidin-5-ylidene)-hydrazino]-benzenesulfonic acid has been investigated for the first time. The optimal conditions of these compounds formation, their metrological performance have been established. On the basis of the obtained results new methods of iridium and palladium determination have been elaborated, which were approved during the analysis of intermetallides  $Tb_2Ir_3Al_9$ ,  $Gd_2Ir_3Al_9$ ,  $Yb_{40}Pd_{40}Ga_{20}$ ,  $Yb_{40}Pd_{38}Sn_{22}$  and resistor SP5-35B ( $S_r \leq 0,02$ ).

1. Аналитическая химия платиновых металлов / С. И. Гинзбург, Н. А. Езерская, И. В. Прокофьев и др. – М.: Наука, 1972. – 614 с.
2. Аналитическая химия металлов платиновой группы: Сб. статей / Под ред. Ю. А. Золотов, Г. М. Варшал, В. М. Иванов. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 592 с.
3. Сулима В. С. Електродіагностичні матеріали: Навч. пос. для вищих навч. закладів. – Харків: УПА, 2004. – 140 с.

4. *Corrosion and biocompatibility testing of palladium alloy castings* / M. Syverud, J. E. Dahl, H. Hero, E. Morisbak // *Dent. Mater.* – 2001. – **17**, № 1. – P. 7–13.
5. *Sha J. B. and Yamabe-Mitarai Y.* Ultra-high strength of Ir–Hf–Nb ternary alloys with an fcc/L1<sub>2</sub> microstructure at 1950°C // *Intermetallics.* – 2013. – **32**, № 1. – P. 145–150.
6. *In situ* surface characterization of the intermetallic compound PdGa – A highly selective hydrogenation catalyst / K. Kovnir, M. Armbrüster, D. Teschner et al. // *Surf. Sci.* – 2009. – **603**, № 10–12. – P. 1784–1792.
7. *Structural and catalytic properties of supported Ni–Ir alloy catalysts for H<sub>2</sub> generation via hydrous hydrazine decomposition* / L. He, Ya. Huang, X. Ya. Liu et al. // *Appl. Catal., B.* – 2014. – **147**, № 5. – P. 779–788.
8. *Chen Sh., Adams B. D., and Chen A.* Synthesis and electrochemical study of nanoporous Pd–Ag alloys for hydrogen sorption // *Electrochim. Acta.* – 2010. – **56**, № 1. – P. 61–67.
9. *Ливингстон С.* Химия рутения, родия, палладия, осмия, иридия, платины / Пер. с англ. П. А. Чельцова-Бебутова, под ред. Р. Н. Щелокова. – М.: Мир, 1978. – 366 с.
10. *Suppression of electron correlations in the superconducting alloys of Rh<sub>17-x</sub>Ir<sub>x</sub>S<sub>15</sub>* / H. R. Naren, A. Tamizhavel, A. K. Nigam, S. Ramakrishan // *Physica C: Superconductivity.* – 2010. – **470**, № 17–18. – P. 682–684.
11. *Magnetic fluctuations and superconductivity in YbPd<sub>2</sub>Sn* / A. Amato, B. Roessli, P. Fischer et al. // *Physica B: Condensed Matter.* – 2003. – **326**, № 1–4. – P. 369–373.
12. *Езерская Н. А., Кисилева И. Н.* Кулонометрическое определение иридия во фторидно-хлоридных растворах // *Журн. аналит. химии.* – 2001. – **56**, № 9. – С. 967–970.
13. *Гурьева Р. Ф., Саввин С. Б.* Азороданины, азотиопропиороданины и их аналитическое применение // *Успехи химии.* – 1998. – **67**, № 3. – С. 236–251.
14. *Гурьева Р. Ф., Саввин С. Б.* Спектрофотометрические методы определения благородных металлов // *Журн. аналит. химии.* – 2002. – **57**, № 11. – С. 1158–1175.
15. *Lozynska L. and Tymoshuk O.* Spectrophotometric investigation of palladium (II) ions interaction with 5-hydroxyimino-4-imino-1,3-thiazolidin-2-one // *Chemistry & Chemical Technology. Chemistry.* – 2013. – **7**, № 4. – P. 391–395.
16. *Уточнення кристалічної структури тернарних алюмінідів R<sub>2</sub>Ir<sub>3</sub>Al<sub>9</sub> (R = Gd, Tb)* / Ю. Луцишин, Я. Токайчук, П. Демченко, Р. Гладішевський // *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. хім.* – 2010. – Вип. **51**. – С. 52–59.
17. *Giovannini M., Pasero R., and Saccone A.* Phase relationships at 600°C of the Yb–Pd–Sn system from 25 to 100 at.% Yb // *Intermetallics.* – 2010. – **18**, № 4. – P. 429–433.
18. *Crystal structure and magnetic behaviour of ternary YbTGa<sub>2</sub> compounds (T = Ni, Pd, Pt) and quaternary solid solutions YbPd<sub>1-x</sub>Ag<sub>x</sub>Ga<sub>2</sub>* / P. Rogl, Yu. Grin, K. Hiebl, and C. Godart // *J. Alloys Compd.* – 1996. – **239**, № 2. – P. 127–130.

*Одержано 16.12.2013*