

А.В.Сліпкань\*, Д.Є.Китова, О.В.Штеменко

**ТЕРМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОЧАСТОК ЦИРКОНІЙ ГІДРОФОСФАТУ, НАВАНТАЖЕНИХ КОМПЛЕКСНИМИ СПОЛУКАМИ ДИРЕНІЮ(III)**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»,  
просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005, Україна

\*e-mail: [n.kolesova1993@gmail.com](mailto:n.kolesova1993@gmail.com)

За допомогою методів диференційного термічного аналізу та ізотермічних витримок досліджено термічні перетворення продуктів інтеркаляції кластерних сполук диренію(III) усіх структурних типів у міжшаровий простір цирконій гідрофосфату. На термограмах зразків спостерігали два основних ендотермічних ефекти, перший з яких відповідає відщепленню кристалізаційної води цирконій гідрофосфату, а другий – термічним перетворенням комплексних сполук диренію(III). Втрата маси, яка відповідає термічним перетворенням комплексних сполук диренію(III), в отриманих наночастках склала 6,15–11,24 та 12,30–29,90 % для мольних співвідношень речовина:цирконій гідрофосфат 1:30 та 1:5 відповідно, що узгоджується із запропонованим механізмом термічного розкладу наночасток.

**Ключові слова:** сполуки диренію(III), наночастки, цирконій гідрофосфат, диференційний термічний аналіз, ізотермічні витримки.

**ВСТУП.** Дослідження процесів, що відбуваються при нагріванні твердих продуктів взаємодії неорганічної матриці та біологічно активної речовини, є одним із найбільш інформативних методів аналізу. За допомогою методу термічних перетворень можна дослідити відсоток включення активної речовини, міцність утворених зв'язків та особливості процесу руйнування речовини, що аналізують.

У даній роботі описано процес термічного розкладу наночасток цирконій гідрофосфату, навантажених комплексними сполуками диренію(III) усіх структурних типів [1]. Слід відмітити, що кожен із складових нової фази (комплексна сполука диренію(III) та цирконій гідрофосфат) має характерний діапазон температур, в яких відбуваються специфічні перетворення. У попередніх роботах було розглянуто процес інтеркаляції комплексних сполук диренію(III) всіх структурних

типів та досліджено деякі фізико-хімічні властивості утворених продуктів [2–5]. Показано, що в результаті процесу інтеркаляції комплексна сполука диренію(III) координується до наночасток цирконій гідрофосфату через фосфатні групи, що визначає специфіку термічних перетворень утворених продуктів.

Мета роботи – дослідити термічні характеристики наночасток цирконій гідрофосфату, навантажених представниками комплексних сполук диренію(III) всіх структурних типів та визначити втрати маси, що відповідають відщепленню складових сполук ренію при термічній обробці наночасток.

**ЕКСПЕРИМЕНТ ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.**  $Zr(HPO_4)_2 \cdot 6H_2O$  – цирконій гідрофосфат ( $\theta$ -ZrP) синтезовано за методикою [6]. Отриманий осад білого кольору фільтрували та промивали дистильованою водою. Вихідні комплексні сполуки диренію

© А.В.Сліпкань, Д.Є.Китова, О.В.Штеменко, 2019

(III) з пропіонатним лігандом одержано за наступними методиками :

цис -  $\text{Re}_2(\text{C}_2\text{H}_5\text{COO})_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{ДМСО}$  [7],

транс- $\text{Re}_2(\text{C}_2\text{H}_5\text{COO})_2\text{Cl}_4$  [8],

$\text{Re}_2(\text{C}_2\text{H}_5\text{COO})_3\text{Cl}_3$  [8],

$\text{Re}_2(\text{C}_2\text{H}_5\text{COO})_4\text{Cl}_2$  [7].

Для синтезу цільових наночастинок до розчину комплексної сполуки з концентрацією  $5 \cdot 10^{-4}$  М додавали необхідну кількість ZrP у мольному співвідношенні Re(III):ZrP 1:5 та 1:30. Розчин, в якому проходив процес інтер-каляції, перемішували на магнітній мішалці протягом 5 діб при кімнатній температурі. Отримані наночастки фільтрували, багаторазово промивали дистильованою водою та сушили у муфельній шафі за температури  $80^\circ\text{C}$  [2–5].

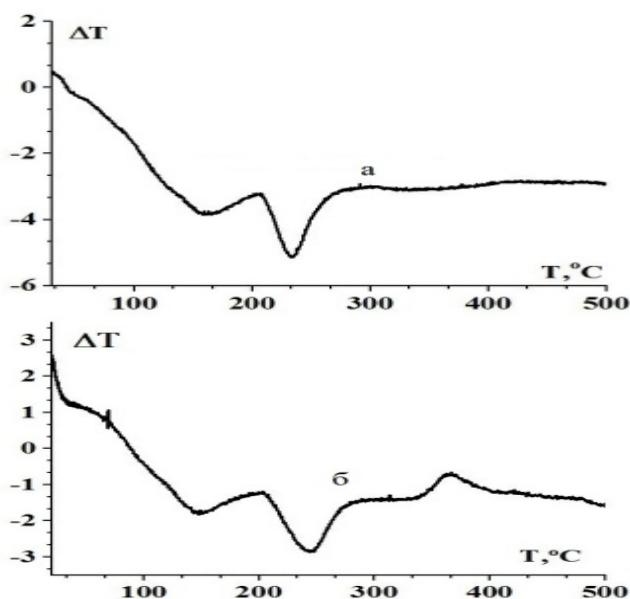


Рис. 1. Термограми зразків:  
а – цис- $\text{Re}_2(\text{RCOO})_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{ДМСО}:\text{ZrP}=1:30$ ;  
б – цис- $\text{Re}_2(\text{RCOO})_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{ДМСО}:\text{ZrP}=1:5$ .

Термічні перетворення продуктів інтеркаляції досліджували методом ДТА ТЕРМО-SCAN-2 (НПО «Аналітприбор», м.С.-Пб). Швидкість розгортки  $10^\circ/\text{хв}$ , відкрита кварцева кювета,  $d=5\text{мм}$ . Еталон –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Втрату маси продуктів інтеркаляції в результаті термічних перетворень було визначено методом ізотермічних витримок. Для

цього кварцовий реактор для ізотермічних витримок [8] нагрівали в інтервалі досліджуваного екстремума температур у струмені  $\text{N}_2$ , кваліфікації ос.ч.

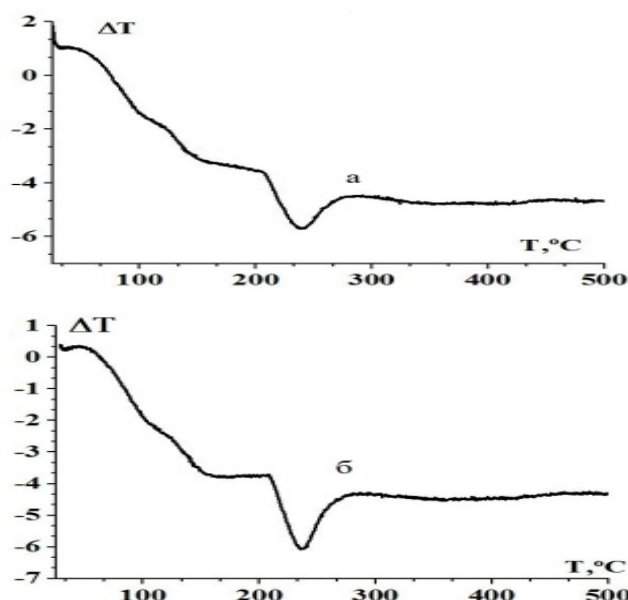


Рис. 2 Термограми зразків:  
а – транс- $\text{Re}_2(\text{RCOO})_2\text{Cl}_4:\text{ZrP}=1:30$ ;  
б – транс- $\text{Re}_2(\text{RCOO})_2\text{Cl}_4:\text{ZrP}=1:5$

Кількісну реакцію на почверний зв'язок Re–Re здійснювали за допомогою нагрівання в концентрованій  $\text{HCl}$  [9]. Наявність іона  $\text{Re}_2\text{Cl}_8^{2-}$  визначали спектрофотометрично [10]. У результаті термічних досліджень продуктів інтеркаляції комплексних сполук диренію (III) усіх структурних типів у міжшаровому просторі ZrP у мольних співвідношеннях Re(III):ZrP 1:5 та 1:30 у діапазоні температур  $40\text{--}500^\circ\text{C}$  спостерігали два основних енергетичних ефекти (рис. 1–4), які супроводжувалися втратами маси.

Перший ендотермічний ефект за температури  $50\text{--}150^\circ\text{C}$  відповідає відщепленню кристалізаційної води ZrP, другий ( $250\text{--}280^\circ\text{C}$ ) – термічним перетворенням інтеркальованих комплексних сполук диренію(II) [11]. Для прикладу, у цис -  $\text{Re}_2(\text{RCOO})_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{ДМСО}:\text{ZrP}$  1:5 та 1:30 перший фазовий перехід пов'язаний із втратою води кристалічного цирконій гідрофосфату [12] при  $120^\circ\text{C}$ ,

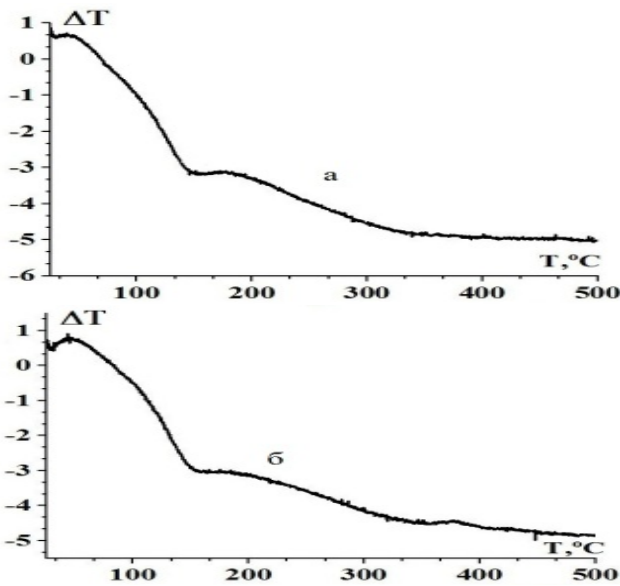


Рис. 3 Термограми зразків:  
а –  $\text{Re}_2(\text{RCOO})_3\text{Cl}_3:\text{ZrP}=1:30$ ;  
б –  $\text{Re}_2(\text{RCOO})_3\text{Cl}_3:\text{ZrP}=1:5$

що відповідає 8,87 % втрати маси (за даними ізотермічної витримки зразка в атмосфері азоту). Згідно із спектроскопічними дослідженнями процесу інтеркаляції [3], продуктом взаємодії цис- $\text{Re}_2(\text{RCOO})_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{ДМСО}$  з наночастками цирконій гідрофосфату є комплексна сполука диренію(III) цис-структурного типу з фосфатними групами в аксіальних положеннях. Другий фазовий перехід відбувається у діапазоні температур 250–280 °C за рахунок дегідратації фосфатних груп, що скоординовані в аксіальному положенні комплексної сполуки диренію(III) з утворенням пірофосфатів [13]. Цей процес призводить до втрати маси у 29,9 % для мольного співвідношення 1:5 та 10,9 % – для мольного співвідношення 1:30 (за даними ізотермічних витримок зразків).

Екзотермічний ефект для продукту інтеркаляції у мольному співвідношенні 1:5 (рис.1, б) свідчить про згорання залишків комплексної сполуки, що координується на поверхні наночасток, оскільки її більше, ніж у зразку 1:30.

Для продуктів інтеркаляції транс-тетрахлориди- $\mu$ -карбоксилатів диренію(III) обох мольних співвідношень втрата маси у діапа-

зоні температур 100–150 °C за даними ізотермічних досліджень склала 8,87 %, що відповідає відщепленню кристалізаційної води цирконій гідрофосфату.

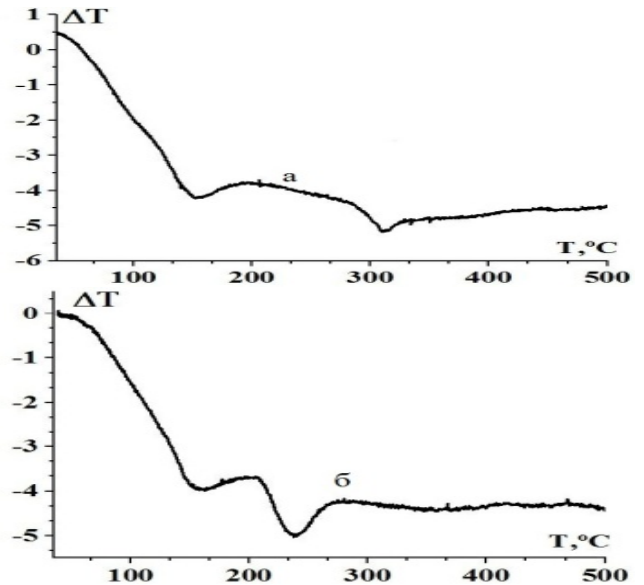


Рис.4 Термограми зразків:  
а –  $\text{Re}_2(\text{RCOO})_4\text{Cl}_2:\text{ZrP}=1:30$ ;  
б –  $\text{Re}_2(\text{RCOO})_4\text{Cl}_2:\text{ZrP}=1:5$

Подібна картина другого ендоефекту у діапазоні температур 250–280 °C спостерігається і для продуктів інтеркаляції цис-тетрахлориди- $\mu$ -карбоксилатів диренію(III), але з більшим відсотком включення комплексної сполуки. Така картина пояснюється тим, що у результаті інтеркаляції системи транс- $\text{Re}_2(\text{RCOO})_2\text{Cl}_4/\text{ZrP}$  продуктом взаємодії з матрицею буде також цис-тетрахлориди- $\mu$ -карбоксилат диренію(III) з фосфатними групами в аксіальних положеннях [2], як і у випадку інтеркаляції представників карбоксилатів диренію(III) цис-структурного типу. Тому друга втрата маси для цього зразку відбувається у діапазоні температур 250–280 °C. За результатами ізотермічних витримок, вона склала 11,11 % для мольного співвідношення 1:30 та 15,17 % для мольного співвідношення 1:5. Термічні дослідження продуктів інтеркаляції трихлоротри- $\mu$ -карбоксилатів диренію(III) у діапазоні температур 90–150 °C свідчать про відщеплення кристаліза-

ційної води ZrP. Втрати маси при ізотермічних витримках у діапазоні вказаних температур склали 9,80% для обох мольних співвідношень.

Другий ендотермічний ефект для продукту інтеркаляції трихлоротри- $\mu$ -карбоксилатів, на відміну від продуктів інтеркаляції інших структурних типів карбоксилатів диренію(III), дуже незначний. Втрати маси у діапазоні температур 200–350°C склали 6,15% для мольного співвідношення 1:30 та 12,30% для мольного співвідношення 1:5.

Судячи з термограми (рис.3), у результаті нагрівання трихлоротри- $\mu$ -карбоксилатів продукт інтеркаляції зазнає повільної деструкції з утворенням продуктів окиснення комплексної сполуки диренію(III), що обумовле-

но складною полімерною будовою комплексної сполуки [14].

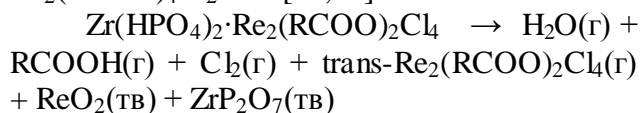
За результатами ізотермічних витримок наночастинок, навантажених дихлоротетра- $\mu$ -карбоксилатами диренію(III) втрати маси у діапазоні температур 100-150°C склали 8,7% для продуктів інтеркаляції обох мольних співвідношень. Другий енергетичний ефект при температурі 250–300 °C відповідає утворенню продукту термічної деструкції сполуки диренію(III) за рахунок дегідратації фосфатних груп цирконій гідрофосфату, скоординованих до кластерного фрагменту Re-Re [13]. Результати ізотермічних витримок у цьому діапазоні температур показали втрати маси 11,24% для мольного співвідношення 1:30 та 27,3% для мольного співвідношення 1:5.

Т а б л и ц я 1

**Втрати мас, що відповідають термічним перетворенням комплексних сполук диренію(III) в отриманих зразках у порівнянні із загальним відсотком включення комплексних сполук диренію(III) у наночастинок**

Продукт інтеркаляції	Re/ZrP=1/30		Re/ZrP=1/5	
	Втрати маси, %	Відсоток включення, %	Втрати маси, %	Відсоток включення, %
cis- Re <sub>2</sub> (RCOO) <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> ·2ДМС O / ZrP	10,90	12,90	29,90	37,00
trans Re <sub>2</sub> (RCOO) <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> / ZrP	11,11	12,10	15,17	25,50
Re <sub>2</sub> (RCOO) <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> / ZrP	6,15	10,20	12,30	29,90
Re <sub>2</sub> (RCOO) <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> / ZrP	11,24	12,20	27,30	35,30

За даними термічних перетворень продуктів інтеркаляції комплексних сполук диренію(III) можна спрогнозувати схему реакції розкладу, що відбувається у зразку при термічній обробці на прикладі Re<sub>2</sub>(RCOO)<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>/ZrP [11,12]:



Відсоток включення комплексних сполук диренію(III) у міжшаровому просторі цирконій гідрофосфату було визначено за допомогою кількісного [9] аналізу на почверний зв'язок Re-Re. Було встановлено, що втрати маси, що відповідають деструкції комплексу диренію(III) при термічних перетвореннях продуктів інтеркаляції дещо менші за отримані дані.

У табл.1 наведено втрати мас, що відповідають термічній деструкції комплексних сполук диренію(III) при термічних перетвореннях продуктів інтеркаляції у діапазоні температур 250-300 °С у порівнянні із загальним відсотком включення комплексних сполук диренію(III) у наночастках.

Отримані данні свідчать про те, що у результаті термічних перетворень продуктів інтеркаляції комплексні сполуки диренію(III) зазнають термічної деструкції із утворення нелеткої форми сполуки ренію, такої як  $\text{ReO}_2$ . Повному згоранню сполуки перешкоджає розташування її між шарами цирконій гідрофосфату, який залишається незмінним у діапазоні температур, у якому було проведено дослідження. Різниця поведінки продуктів інтеркаляції із різним мольним співвідношенням речовина/цирконій гідрофосфат простежується у різниці втрати маси, що характерна для термічної деструкції комплексної сполуки. Так, для мольного співвідношення 1/30 втрата маси у діапазоні температур 250-300°C склала 6-11%, що близько до значень відсотку включення. Для мольного співвідношення 1/5 різниця між втратами мас у діапазоні температур 250-300 °С та відсотком включення комплексної сполуки більша і становить близько 10 %. Така особливість вказує на те, що у продукті інтеркаляції із мольним співвідношенням 1/30 комплексна сполука у більшій мірі координується на поверхні наночасток та зазнає майже повного згорання у вказаному діапазоні температур. У продукті інтеркаляції із мольним співвідношенням 1/5 комплексна сполука у більшій мірі розташована між шарами цирконій гідрофосфату, тому термічної деструкції їй зазнавати складніше.

**ВИСНОВКИ.** Особливості термічних перетворень продуктів інтеркаляції комплексних сполук диренію(III) обумовлені будовою утворених продуктів. Втрата маси, що відповідає термічним перетворенням сполук диренію(III), становить 6–11 % та 12–39% для мольних співвідношень речовина/ZrP

1/30 та 1/5 відповідно. Слід відмітити, що у результаті термічної обробки галогенокарбоксилати ренію(III) утворюють летку форму комплексної сполуки диренію(III) транс-конфігурації не в повній мірі – частина ренію залишається в зразку, але у вигляді  $\text{ReO}_2$ . Тому втрату маси, характерну для виділення леткої сполуки диренію(III) транс-конфігурації, не можна назвати відсотком включення комплексної сполуки диренію(III) у наночастках цирконій гідрофосфату.

**ВДЯЧНІСТЬ.** Висловлюємо вдячність професору кафедри неорганічної хімії ДВНЗ УДХТУ І.Л. Коваленку за співпрацю і плідне обговорення результатів диференційного термічного аналізу.

#### ТЕРМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОЧАСТИЦ ЦИРКОНИЙ ГИДРОФОСФАТА, НАГРУЖЕННЫХ КОМПЛЕКСНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ДИРЕНИЯ(III)

А.В. Слипкань\*, Д.Е. Китова, А.В. Штеменко

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»,  
просп. Гагарина, 8, г. Днепр, 49005  
\* e-mail: [n.kolesova1993@gmail.com](mailto:n.kolesova1993@gmail.com)

С помощью методов дифференциального термического анализа и изотермических выдержек исследованы термические превращения продуктов интеркаляции кластерных соединений дирения(III) всех структурных типов в межслоевое пространство цирконий гидрофосфата. На термограммах образцов наблюдали два основных эндотермических эффекта, первый из которых соответствует отщеплению кристаллизационной воды цирконий гидрофосфата, а второй – термическим преобразованиям комплексных соединений дирения(III). Потеря массы, соответствующая термическому преобразованию комплексных соединений дирения(III) в полученных наночастицах. составила 6,15–11,24 и 12,30–29,90 % для мольных соотношений вещество:цирконий гидрофосфат 1:30 и 1:5 соответственно, что полностью согласуется с предложенным механизмом термического разложения наночастиц.

К л ю ч е в ы е с л о в а : соединения дирения(III), наночастицы, цирконий гидрофосфат, дифференциальный термический анализ, изотермические выдержки.

THERMAL CHARACTERISTICS OF ZIRCONIUM PHOSPHATE NANOPARTICLES LOADED WITH DIRHENIUM(III) COMPLEXES

A.V. Slipkan\* , D.E. Kytova, A.V. Shtemenko

Ukrainian State University of Chemical Technology, 8 Gagarin Avenue, c. Dnipro, 49005, Ukraine  
\* e-mail: n.kolesova1993@gmail.com

Using the method of differential thermal analysis and the method of isothermal effects, we investigated the thermal transformations of the intercalation products of representatives of dirhenium(III) complexes of all structural types into the interlayer space of zirconium phosphate. Each of the samples was heated in the temperature range from 40 to 500 C. On the obtained thermograms of the samples, two main endothermic effects were observed, the first of which corresponds to the separation of water of crystallization from zirconium phosphate, and the second to the thermal transformations of dirhenium(III) complexes. The first weight loss for all intercalation products was 8.87–9.80%, that is, the percentage of water in the post samples was the same. The weight loss corresponding to the thermal transformation of dirhenium(III) complexes in the obtained nanoparticles was 6.15–11.24 and 12.30–29.90 % for molar ratios of the substance / zirconium phosphate, respectively, 1:30 and 1:5, which fully consistent with the proposed mechanism for the thermal decomposition of nanoparticles.

As a result of research, it was determined that rhenium is not released from nanoparticles to the fullest extent when heated to 500 °C, which indicates the formation of nonvolatile products, such as ReO<sub>2</sub>. In addition, for some products of intercalation, such as trichlorotri-μ-carboxylates dirhenium(III), the weight loss is small compared with other representatives of nanoparticles, which is due to the difficult conversion of the complex compound as a result of the polymer structure of the complex. Thermal decomposition of phosphate ligands also prevents the complete elimination of the rhenium(III) compound due to the hydration of phosphate groups, which are coordinated in the axial position of the complex compound with the formation of pyrophosphates.

Thus, the features of the behavior of samples during thermal studies are due to the structure of the complex compound formed in the interlayer space of zirconium phosphate during the intercalation process.

К е у w o r d s : dirhenium(III) complexes, nanoparticles, zirconium phosphate, differential thermal analysis, isothermal extracts.

ЛІТЕРАТУРА

1. Голиченко А.А., Штеменко А.В., Кожура О.В. Новые методы синтеза изомерных галогенокарбоксилатов дирения(III) // Вопросы химии и хим. технол. – 2001. – № 6. – С. 14–16.
2. Сліпкань А.В., Китова Д.Є., Штеменко О.В. Шаруваті наночастки цирконій гідрофосфату як форма упаковки для trans-Re<sub>2</sub>(RCOO)<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub> // Там само. -2016. -3, № 107. -С. 21–25.
3. Сліпкань А.В., Китова Д.Є., Штеменко О.В. Дослідження процесів інтеркаляції біядерних галогенокарбоксилатів ренію(III) сіс-конфігурації у шаруваті наночастки цирконій гідрофосфату // Там само. -2016. -5-6, №109. -С. 20–25.
4. Сліпкань А.В., Китова Д.Є., Штеменко О.В. Наночастки цирконій гідрофосфату як форма упаковки для дигалогенотетра-μ-карбоксилатів диренію(III) // Укр. хим. журн. -2017. -83, № 7-8. -С. 35–41.
5. Сліпкань А.В., Китова Д.Є., Штеменко О.В. Наночастки цирконій гідрофосфату, навантажені трихлоротри-μ-карбоксилатами диренію(III). // Вопросы химии и хим. технол. - 2018. -№ 2. -С. 39–45.
6. Marti A.A., Colon J.L. Direct ion exchange of tris(2,2'-bipyridine) ruthenium(II) into an α-zirconium phosphate framework // Inorganic Chemistry. -2003. -9, № 42. -P. 2830–2832.
7. Штеменко А.В., Котельникова А.С. Образование біядерных галогенкарбоксилатных соединений рения с четверной связью металл-металл // Изв. Академии наук СССР. Сер. хим. -1980. -№ 11. -С. 2630–2632.
8. Штеменко А.В., Багиров Ш.А., Котельникова А.С. и др. Тетрагалогендиацетатные комплексы Re<sub>2</sub><sup>6+</sup> транс-конфігурації // Журнал

- неорган. химии. -1981. - **26**, № 1. -С. 111–114.
9. Штеменко О.В., Бовикін Б.О., Кожура О.В. Синтез біядерних кластерів ренію(III) з амінокислотами // Укр. хим. журн. -1997. -**63**, № 11. -С. 35–38.
  10. Poineau F., Sattelberger A.P., Conradson S.D. Octachloro- and octabromoditechnetate(III) and their rhenium(III) congeners // *Inorg. Chem.* - 2008. -**47**, № 6. -P. 1991–1999.
  11. Штеменко А.В., Бовыкин Б.А., Шрам В.П. и др. Термическое разложение биядерных галогенкарбоксилатов рения(III) // Журн. неорган. химии. -1985. -**30**, №12. -С.3085–3089.
  12. Mosby B.M., Diaz A., Bakhmutov V., Clearfield A. Surface functionalization of zirconium phosphate nanoplatelets for the design of polymer fillers// *ACS Appl. Mater. Interfaces.* - 2014. -**№ 6**. -P. 585–592.
  13. Столяренко В.Г., Курячая Е.В., Штеменко А.В. Дифосфаты дирения(III). Синтез и спектральные характеристики // Вопросы химии и химической технологии. – 2004. – №3. – С. 30-33.
  14. Козьмин П.А, Суражская М.Д., Ларина Т.Б. Строение кристаллов соединения  $\text{Re}_2\text{Cl}_3(\text{HCOO})_3$  // Координац. химия. -1980. -**6**, №6. -С.963–966.
  15. Slipkan A.V., Kytova D.E., Shtemenko A.V. *ical technology.* 2016. **5-6** (109): 20. [in Ukrainian].
  4. Slipkan A.V., Kytova D.E., Shtemenko A.V. Nanoparticles of zirconium phosphate form of packaging for dihalohenotetra- $\mu$ -carboxylates dirhenium(III). *Ukrainian Chemistry Journal.* 2017. **83**(7-8): 35. [in Ukrainian].
  5. Slipkan A.V., Kytova D.E., Shtemenko A.V. Nanoparticles of zirconium phosphate, loaded with trichlorotri- $\mu$ -carboxylates dirhenium(III). *Questions of chemistry and chemical technology.* 2018. **2**: 39. [in Ukrainian].
  6. Marti A.A., Colon J.L. Direct ion exchange of tris(2,2'-bipyridine) ruthenium(II) into an  $\alpha$ -zirconium phosphate framework. *Inorganic Chemistry.* 2003. **9**(42): 2830.
  7. Shtemenko A.V., Kotelnikova A.S. The formation of binuclear halohenocarboxylates dirhenium(III) compounds with a metal-to-metal quadruple bond. *Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Chemical series.* 1980. **11**: 2630. [in Russian].
  8. Shtemenko A.V., Bagirov Sh.A., Kotelnikova A.S., Lebedev V.G., Kazimov O.I., Alieva A.I. Tetrahalohenodiacetates complexes of  $\text{Re}_2^{6+}$  trans-configurations. *Journal of Inorganic Chemistry.* 1981. **26**(1): 111. [in Russian].
  9. Shtemenko A.V., Bovikin B.O., Kozhura O.V. Synthesis of binuclear clusters of rhenium(III) with amino acids. *Ukrainian Chemistry Journal.* 1997. **63**(11): 35. [in Ukrainian].
  10. Poineau F., Sattelberger A.P., Conradson S.D. Octachloro- and octabromoditechnetate(III) and their rhenium(III) congeners. *Inorganic Chemistry.* 2008. **47**(6): 1991.
  11. Shtemenko A.V., Bovykin B.A., Shram V.P. Thermal decomposition of binuclear halocarboxylates rhenium(III). *Journal of Inorganic Chemistry.* 1985. **30**(12): 3085. [in Russian].
  12. Mosby B.M., Diaz A., Bakhmutov V., Clearfield A. Surface functionalization of zirconium phosphate nanoplatelets for the design of polymer fillers. *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 2014. **6**: 585.

#### REFERENCES

13. Stolyarenko V.G., Kuryachaya E.V., Shtemenko A.V. Diphosphates dirhenium(III). Synthesis and spectral characteristics. *Questions of chemistry and chemical technology*. 2004. **3**: 30. [in Russian].
14. Kozmin P.A., Surazhsкая M.D., Larina T.B. The crystal structure of the compound  $\text{Re}_2\text{Cl}_3(\text{HCOO})_3$ . *Coordination Chemistry*. 1980. **6**(6): 963. [in Russian].  
Надійшла 25.04.2019