

УДК 546.719:54-386

*Ю.В. Гусак, О.А. Голіченко, В.В. Закатов, О.В. Штеменко***ВЗАЄМОДІЯ ТРАНС-ТЕТРАХЛОРО-ДИ- μ -КАРБОКСИЛАТІВ ДИРЕНІЮ(III) З ДИПЕПТИДАМИ ГЛІЦИЛОВОГО РЯДУ****ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна**

Розроблено методики одержання нових кластерних сполук транс-тетрахлоро-ди- μ -карбоксилатів диренію(III) з дипептидами гліцилового ряду. Методами електронної абсорбційної та ІЧ-спектроскопії, а також за допомогою елементного аналізу встановлено склад і запропоновано будову уперше синтезованих сполук: транс-[$\text{Re}_2(\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}(\text{COO})-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2)_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{CH}_3\text{CN}] \text{Cl}_2$ (I) та транс-[$\text{Re}_2(\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}(\text{COO})-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{CH}_3\text{CN}] \text{Cl}_2$ (II). Аналіз електронних спектрів поглинання розчинів одержаних речовин показав наявність дублету (12500 та 16129 cm^{-1}), що відповідає $\delta \rightarrow \delta^*$ -електронному переходу почверного зв'язку Re-Re, характерного для розчинів транс-тетрахлороди- μ -карбоксилатів диренію(III). На ІЧ-спектрах зафіксовано появу коливачь при 1485 cm^{-1} для I та 1486 cm^{-1} для II, характерні для $\nu_s(\text{CO})$ координованої карбоксилатної групи, що свідчить про місточкову координацію цієї групи до біядерного фрагменту Re_2^{6+} . На протонування аміногрупи вказує поява широкої смуги валентних коливачь $\nu(\text{NH}_3^+)$ в інтервалі 3400–3350 cm^{-1} і деформаційних коливачь $\delta(\text{NH}_3^+)$ при 1557 cm^{-1} та 1614 cm^{-1} для I та II, відповідно. Визначено стабільність одержаних комплексних сполук у водних розчинах. Показано, що гідроліз синтезованих речовин проходить протягом 4–5 діб із зменшенням рН реакційного розчину.

Ключові слова: почверний зв'язок, кластерні сполуки, реній, пептиди, гліцил-лейцин, гліцил-фенілаланін, гідроліз.

DOI: 10.32434/0321-4095-2022-142-3-21-25**Вступ**

Однією з особливостей комплексних сполук диренію(III) є унікальний почверний зв'язок, що разом із різноманітністю будови та можливістю реалізувати координаційне число 10, зумовлює широкий спектр біологічної активності, більшості структурних типів, а саме циста тетра-конфігурації [1]. Зміною пептидного ліганду можна впливати на розподіл та дію комплексної сполуки у певних частинах організму. Через свій невеликий розмір пептиди, як правило, демонструють швидку фармакокінетику і здатність дуже ефективно проникати у пухлини [2]. Враховуючи ці фізіологічні властивості дипептидів та встановлений раніше механізм біологічної активності кластеру ренію(III) [1], можна очікувати їх синергічну дію. Саме тому, низь-

комолекулярні пептиди та їх координаційні сполуки з металами є перспективними речовинами для створення на їх основі високоефективних та нетоксичних лікарських препаратів [3].

Експериментальна частина

Для синтезу транс-тетрахлоро-ди- μ -карбоксилатів диренію(III) як вихідну сполуку використовували тетра-*n*-бутиламоній октагалогенідиренат $(\text{NBu}_4)_2\text{Re}_2\text{Cl}_8$, синтезовану за методикою [4]. Як біоліганди обрали дипептиди гліцинового ряду, а саме гліцин-лейцин (Gly-Leu), гліцин-фенілаланін (Gly-Phe), придбані у Sigma-Aldrich. Розчинники – ацетонітрил, ізопропіловий спирт (ІПС), етилацетат – застосовували без додаткового очищення.

Електронні спектри поглинання (ЕСП) у діапазоні 25000–8500 cm^{-1} досліджували на спек-

© Ю.В. Гусак, О.А. Голіченко, В.В. Закатов, О.В. Штеменко, 2022



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Interaction of trans-tetrachlorodi- μ -carboxylates of dirhenium(III) with dipeptides of the glycyl series

трофотометрі Specord M-40. ІЧ-спектри знімали у діапазоні $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ у таблетках КВг на Фур'є-спектрометрі ФСМ 1201. Елементний аналіз на реній та хлор виконували за стандартною спектрофотометричною методикою [5,6]. Зміну рН реакційного розчину фіксували на рН-метрі-мілівольтметрі рН-150 МА при температурі 20°C у фізіологічному розчині $0,9\%$ NaCl.

При вивченні констант дисоціації функціональних груп [7] було встановлено, що чим нижча константа дисоціації, тим раніше електродонорний атом утворює зв'язки метал-ліганд. Отже, координаційна здатність приєднання ліганду до металу змінюється у наступному порядку: карбоксильна група, аміногрупа та пептидний нітроген. При більш високих значеннях рН, коли група NH_2 депротонувана, дипептид може скоординуватися через атом нітрогену аміногрупи. Але за високих значеннях рН (>8) не стабільним є кластерний фрагмент Re_2^{6+} [8]. Тому були обрані умови коли при середніх значеннях рН ($5,8\text{--}7,9$) дипептиди утворюють з кластером диренію(III) стійкий зв'язок через карбоксильну групу.

Попередньо нами вже була встановлена можливість містчкової координації лігандів білкової природи через карбоксильну групу до біядерного фрагменту Re_2^{6+} [9], але, враховуючи більш складну будову і фізико-хімічні властивості гліцил-лейцину та гліцин-фенілаланіну,

методики були модифіковані для того, щоб запобігти руйнуванню дипептидів на окремі амінокислоти. Для цього були змінені умови синтезу: температура (до 50°C) та обережне перемішування реакційної суміші. На відміну від відомих методик отримання комплексів металів з пептидами, нова методика дала змогу використовувати широку низку органічних розчинників, а саме ацетонітрил або суміш ацетонітрилу та розчинників з донорним числом по Гутману $\text{DN}(\text{SbCl}_5) > 14,1$ (ДМФА, ДМСО), взятих у співвідношенні $50:1\div 50:10$ та не передбачає використання інертного газу при видаленні розчинників, що спростило їх спосіб одержання та збільшило вихід цільового продукту [14].

Синтез *біс-ацетонітрил-транс-тетрахлориди- μ -гліцил-лейцинатодиреній(III) хлориду* транс- $[\text{Re}_2(\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}(\text{COO})-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3)_2\text{Cl}_4\cdot(\text{CH}_3\text{CN})_2]\text{Cl}_2$ (I) (рис. 1,а) реалізується наступним чином: у плоскодонну колбу вносили $0,088\text{ г}$ ($0,467\text{ ммоль}$) Gly-Leu, який розчиняли в ацетонітрилі (20 мл) протягом 14 годин, перемішуючи на шейкері при 140 об./хв . Потім доливали окремо розчинений в ацетонітрилі (10 мл) $0,106\text{ г}$ ($0,093\text{ ммоль}$) $(\text{NBu}_4)_2\text{Re}_2\text{Cl}_8$. Суміш, що одержали, перемішували на шейкері із швидкістю 250 об./хв протягом 16 діб. Одержану після випаровування розчинників речовину перекристалізували з ізопропілового спирту для видалення непрореаго-

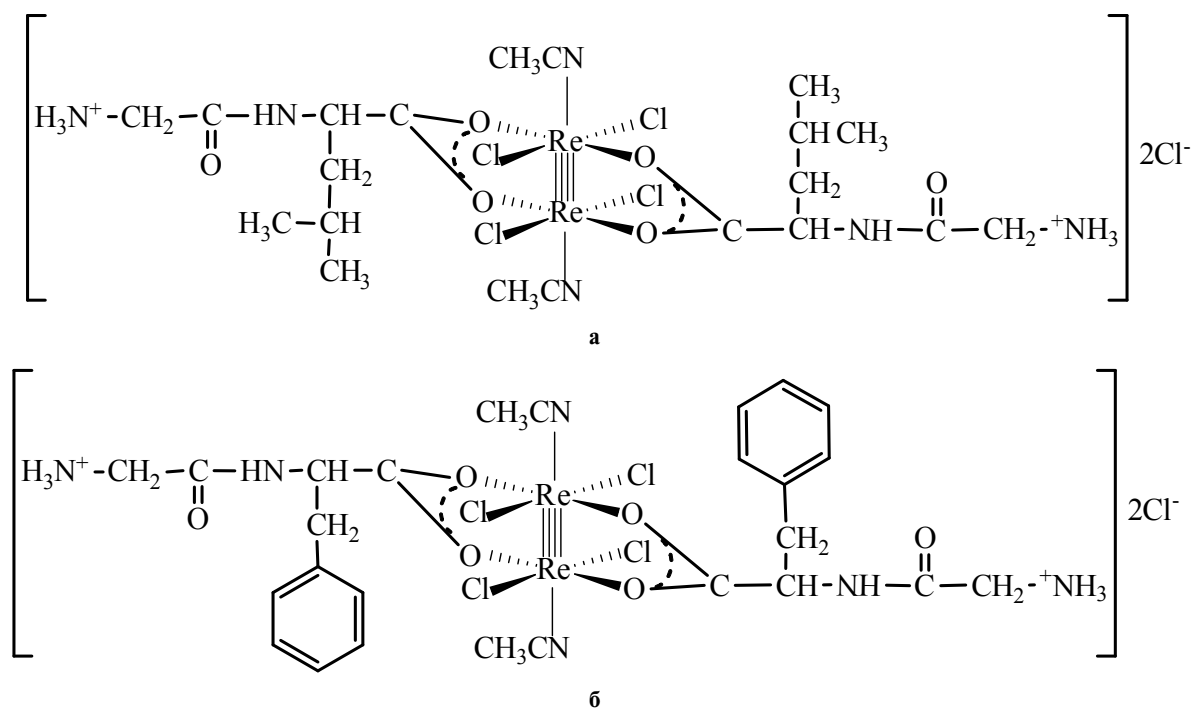


Рис. 1. Графічне зображення: а – транс- $[\text{Re}_2(\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}(\text{COO})-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3)_2\text{Cl}_4\cdot 2\text{CH}_3\text{CN}]\text{Cl}_2$ (I), б – транс- $[\text{Re}_2(\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}(\text{COO})-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Cl}_4\cdot 2\text{CH}_3\text{CN}]\text{Cl}_2$ (II)

ваних вихідних сполук, потім висушували під вакуумом. Вихід цільового продукту склав 57%. UV-Vis (CH_3CN) (ν , cm^{-1}): 12500, 16129; ІЧ (KBr) (ν , cm^{-1}): 3148, 3050, 2962, 2874, 1684, 1614, 1486, 1270, 918, 760.

Синтез *біс-ацетонітрил-транс-тетрачлороди- μ -гліцил-фенілаланінатодиреній(III) хлориду* транс-[$\text{Re}_2(\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}(\text{COO})-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{CH}_3\text{CN}] \text{Cl}_2$ (II) (рис 1,б) здійснюють аналогічно I з використанням як ліганду Gly-Phe. Вихід цільового продукту склав 54%. UV-Vis (CH_3CN) (ν , cm^{-1}): 12500, 16129; ІЧ (KBr) (ν , cm^{-1}): 3359, 3200, 3059, 2961, 2616, 1683, 1557, 1485, 1456, 1382, 1264, 1215, 1107, 927, 703, 632, 517.

Синтезовані сполуки I та II мають темно смарагдове забарвлення, добре розчиняються у таких полярних розчинниках, як вода, ацетонітрил, метанол та ацетон, помірно розчинні у ізопропіловому спирті, не розчиняються у бензолі та етилацетаті.

Результати та їх обговорення

Для того щоб підтвердити будову новосинтезованих комплексних сполук I та II, нами були проаналізовані дані ЕСП їх розчинів (рис. 2). У видимій ділянці спектра спостерігали дублетну картину (12500 та 16129 cm^{-1}), що відповідає $\delta \rightarrow \delta^*$ -електронному переходу почверного зв'язку Re-Re, характерного для розчинів транс-тетрачлороди- μ -карбоксилатів диренію(III) [10].

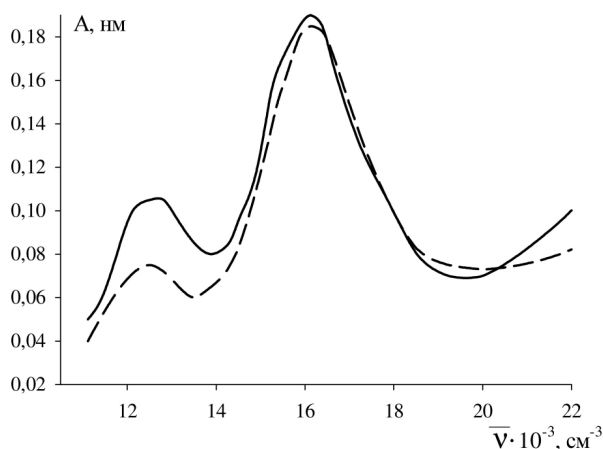


Рис. 2. ЕСП розчинів в ацетонітрилі сполуки I (---) ($C_m=3,11 \cdot 10^{-4}$ моль/л) і сполуки II (—) ($C_m=3,82 \cdot 10^{-4}$ моль/л)

Результати елементного аналізу на Re та внутрішньосферний Cl наведені у табл. 1.

Кількість зовнішньосферних іонів хлору для синтезованих комплексних сполук визначали осадженням їх у вигляді AgCl при взаємодії підкисненого тетрафтороборатною кислотою водного розчину цільових продуктів з розчином аргентум(I) тетрафтороборату, результати наведені у табл. 2.

Таким чином, одержані дані хімічного аналізу новосинтезованих речовин підтверджують утворення комплексних сполук із формулою транс-[$\text{Re}_2(\text{Gly}-\text{X})_2\text{Cl}_4 \cdot (\text{CH}_3\text{CN})_2] \text{Cl}_2$ (де X – це пептидний залишок Leu, Phe), у молекулі яких міститься 6 атомів Cl.

Аналізуючи ІЧ-спектри для нових кластерних сполук I–II, ми фіксували багато спільних рис. Так, на ІЧ-спектрах обох речовин присутні смуги коливань у діапазоні 3200 cm^{-1} , які свідчать про збереження конфігурації дипептиду, а саме пептидного зв'язку $\nu_{\text{as}}(\text{NH})$. До складу сполук I–II входить аміногрупа, на її протонування вказує поява широкої смуги валентних коливань $\nu(\text{NH}_3^+)$ в інтервалі 3400–3350 cm^{-1} і деформаційних коливань $\delta(\text{NH}_3^+)$ при 1557 cm^{-1} та 1614 cm^{-1} для I та II, відповідно. Поява смуг коливань при 1485 cm^{-1} для I та 1486 cm^{-1} для II характерні для $\nu_s(\text{CO})$ координованої карбоксилатної групи, що свідчить про місточкову координацію цієї групи до біядерного фрагменту Re_2^{6+} [11]. Інтенсивні смуги у діапазоні 3050–2616 cm^{-1} відповідають валентним симетричним і антисиметричним коливанням $\nu(\text{CH})$ у групах $-\text{CH}$, $-\text{CH}_2$ і їх комбінації, що підтверджує збереження вуглецевого скелета пептидів та наявність аксіального ліганду CH_3CN ($\nu_{\text{as}}(\text{CH}_3)$ 2960 cm^{-1}).

Результати попередніх досліджень комплексних сполук ренію та комплексів металів з дипептидами [1,3] дозволяють зробити висновок про те, що синтезовані нами речовини I та II можуть бути використані як нові компоненти ліків у протипухлинній та імунотерапії. Тому важливо було визначити стабільність одержаних комплексних сполук у водних розчинах, для того, щоб розширити уявлення про можливі механізми їх специфічної біологічної активності.

Наважку комплексних сполук I–II розчи-

Таблиця 1

Результати хімічного аналізу сполук I та II

№	Молярна маса, г/моль	Re (%)		Внутрішньосферний Cl (%)	
		Знайдено	Вираховано	Знайдено	Вираховано
I	1043,63	31,02	35,68	19,33	20,38
II	1111,632	29,93	33,50	19,03	19,13

Таблиця 2
Результати хімічного аналізу осаду, одержаного при взаємодії пептидних транс-тетрахлоро-ди- μ -карбоксилатодиреній(III) хлоридів з AgBF_4

№	Зовнішньосферний Cl (%)	
	Знайдено	Вираховано
I	31,02	35,68
II	29,93	33,50

няли у фізіологічному розчині за постійної температури (20°C). Досліджувані речовини I–II виявили спільні риси проходження гідролізу. На ЕСП розчину сполуки I (рис. 3) та II спочатку фіксували зменшення інтенсивності максимуму поглинання при 12660 cm^{-1} , який повністю зникає за 5 год у сполуці I та за 7 год у сполуці II, що свідчить про перегрупування сполуки з транс- у цис-конфігурацію [12].

Потім спостерігали знебарвлення досліджуваного розчину та поступове зниження піка при 16400 cm^{-1} без зміни його розташування, який є характеристичним для цис-тетрахлоро-ди- μ -карбоксилатів диренію(III) та відповідає $\delta \rightarrow \delta^*$ -електронному переходу почверного зв'язку Re–Re цього структурного типу [13]. За допомогою рН-метрії з'ясували, що з часом відбувається збільшення кислотності досліджуваних розчинів: на початку досліду – для I рН 4,14 для II рН 4,42, в кінці досліду – для I рН 2,08, для II рН 2,34. Приблизна тривалість $t(t_{1/2})$ гідролізу для синтезованої сполуки I склала відповідно 4 доби/2 доби, для II – 5 діб/3 доби.

Висновки

Розроблена методика одержання нових

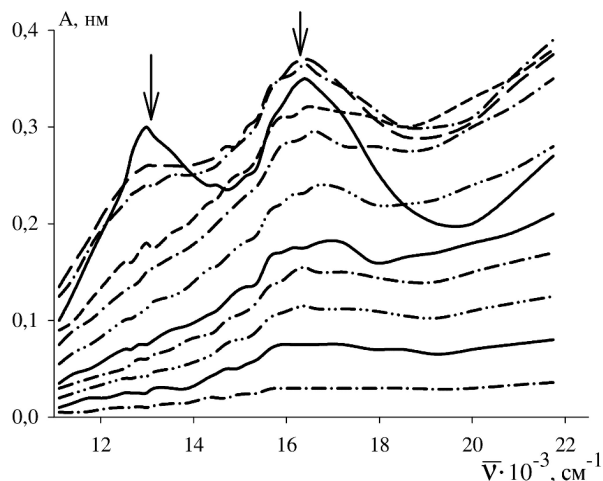


Рис. 3. ЕСП синтезованої сполуки I у фізіологічному розчині протягом 4 діб з початковою концентрацією $C_m^0 = 9,486 \cdot 10^{-4}$ моль/л

комплексних сполук транс-тетрахлоро-ди- μ -карбоксилатів диренію(III) з дипептидами гліцилового ряду запобігає руйнуванню пептидів та на відміну від відомих методик отримання комплексів металів з пептидами, дає змогу спростити їх спосіб отримання та збільшити вихід цільового продукту. До складу одержаних сполук входить кластерний фрагмент Re_2^{6+} , що містить почверний зв'язок реній–реній. Підтвердження запропонованого складу та будови одержаних речовин було доведено за допомогою елементного аналізу, ІЧ- та електронної абсорбційної спектроскопії.

Отримані результати дослідження стійкості синтезованих сполук у фізіологічному розчині показали, що гідроліз цих речовин відбувається протягом 4 діб для I та 5 діб для II із зменшенням рН реакційного розчину.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Shtemenko A.V., Shtemenko N.I.* Rhenium–platinum antitumor systems // *Ukr. Biochem. J.* – 2017. – Vol.89. – No. 2. – P.5-30.
2. *Okarvi S.M.* Peptide-based radiopharmaceuticals: future tools for diagnostic imaging of cancers and other diseases // *Med. Res. Rev.* – 2004. – Vol.24. – No. 3. – P.357-397.
3. *Бунятян Н.Д., Бобиев Г.М.* Исследование координации иммуноактивных пептидов с ионами металлов как основы для разработки инновационных лекарственных препаратов // *Фармация и фармакология.* – 2014. – Т.2. – № 3. – С.66-75.
4. *Barder T.J., Walton R.A., Cotton F.A.* Tetrabutylammonium octachlorodirhenate(III) // *Inorg. Synth.* – 1985. – Vol.23. – P.116-118.
5. *Evdokimova O.V., Pechishcheva N.V., Shunyaev K.Y.* Up-to-date methods for the determination of rhenium // *J. Anal. Chem.* – 2012. – Vol.67. – No. 9. – P.741-753.
6. *Практическое руководство по неорганическому анализу / Гиллебранд В.Ф., Лендель Г.Э., Брайт Г.А., Гофман Д.И.* – М.: Химия, 1966. – С.1111.
7. *Palade D.M., Gannova Y.N.* Complexation of cobalt(II) with some glycylic dipeptides under inert atmosphere // *Russ. J. Coord. Chem.* – 2003. – Vol.29. – No. 2. – P.106-109.
8. *Голіченко О.А., Штеменко О.В.* Гідроліз комплексних сполук ренію(III) // *Укр. хім. журн.* – 2019. – Т.85. – № 3. – С.27-34.
9. *Synthesis, characterization, in vivo antitumor properties of the cluster rhenium compound with GABA ligands and its synergism with cisplatin / Shtemenko A.V., Collery P., Shtemenko N.I., Domasevitch K.V., Zabitskaya E.D., Golichenko A.A.* // *Dalton Trans.* – 2009. – No. 26. – P.5132-5136.

10. Голиченко А.А., Штеменко А.В., Кожура О.В. Новые методы синтеза изомерных галогенкарбоксилатов дирения(III) // Вопросы химии и хим. технол. – 2001. – № 6. – С.14-16.

11. Nakamoto K. Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds: part B: applications in coordination, organometallic, and bioinorganic chemistry, 6 ed. – John Wiley & Sons, 2009. – 408 p.

12. Golichenko A.A., Shtemenko A.V. Cluster rhenium(III) complexes with adamantanecarboxylic acids: synthesis and properties // Rus. J. Coord. Chem. – 2006. – Vol.32. – P.242-249.

13. Гідроліз комплексної сполуки ренію(III) з β-аланіном / Овчаренко А.О., Величко О.В., Голиченко О.А., Штеменко О.В. // Вопросы химии и хим. технол. – 2020. – № 4. – С.115-120.

14. *Synthesis*, characterization and biological studies of rhenium, technetium-99m and rhenium-188 pentapeptides / Sanders V.A., Iskhakov D., Abdel-Atti D., Devany M., Neary M.C., Czerwinski K.R., et al. // Nucl. Med. Biol. – 2019. – Vol.68-69. – P.1-13.

Надійшла до редакції 23.12.2021

INTERACTION OF TRANS-TETRACHLORODI-μ-CARBOXYLATES OF DIRHENIUM(III) WITH DIPEPTIDES OF THE GLYCYL SERIES

Y.V. Husak, O.A. Holichenko, V.V. Zakatov, A.V. Shtemenko *
Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

* e-mail: shtemenko@ukr.net

The paper reports the methods for the synthesis of new cluster compounds of trans-tetrachlorodi-μ-carboxylates of dirhenium(III) with dipeptides of the glycyll series. The compositions and the structures were determined by electron absorption and IR spectroscopies as well as by elemental analysis for the following newly synthesized compounds: trans-[Re₂(H₃N⁺-CH₂-CO-NH-CH(COO)-CH₂-CH(CH₃)-CH₃)₂Cl₄·2CH₃CN]Cl₂ (I) and trans-[Re₂(H₃N⁺-CH₂-CO-NH-CH(COO)-CH₂-C₆H₅)₂Cl₄·2CH₃CN]Cl₂ (II). Analysis of the electronic absorption spectra of the solutions of the synthesized substances showed the presence of a doublet pattern (12500 and 16129 cm⁻¹), which corresponds to the δ→δ^{*}-electronic transition of the Re-Re quadruple bond characteristic of solutions of trans-tetrachlorodi-μ-carboxylates of dirhenium(III). The appearance of oscillations at 1485 cm⁻¹ for I and 1486 cm⁻¹ for II, characteristic of the ν_s(CO) of the coordinated carboxylate group, was detected on the IR spectra, which indicates the bridging coordination of this group to the Re₂⁶⁺ binuclear fragment. The protonation of the amino group is indicated by the appearance of a wide band of valence oscillations ν(NH₃⁺) in the range of 3400–3350 cm⁻¹ and deformation oscillations δ(NH₃⁺) at 1557 cm⁻¹ and 1614 cm⁻¹ for I and II, respectively. The stability of the obtained complex compounds in aqueous solutions was determined. It was shown that the hydrolysis of the synthesized substances takes place in 4–5 days, which is accompanied by a decrease in the pH of the reaction solution.

Keywords: quadruple bond; cluster compound; rhenium; peptide; glycyll-leucine, glycyll-phenylalanine; hydrolysis.

REFERENCES

- Shtemenko AV, Shtemenko NI. Rhenium–platinum antitumor systems. *Ukr Biochem J.* 2017; 89(2): 5-30. doi: 10.15407/ubj89.02.005.
- Okarvi SM. Peptide-based radiopharmaceuticals: future tools for diagnostic imaging of cancers and other diseases. *Med Res Rev.* 2004; 24: 357-397. doi: 10.1002/med.20002.
- Bunyatyay ND, Bobiev GM. Issledovaniye koordinatsii immunoaktivnykh peptidov s ionami metallov kak osnovy dlya razrabotki innovatsionnykh lekarstvennykh preparatov [Study of coordination of immunoactive peptides with metal ions as a basis for the development of innovative drugs]. *Farmatsiya i Farmakologiya.* 2014; 2(3): 66-75. (in Russian). doi: 10.19163/2307-9266-2014-2-2(3)-66-75.
- Barder TJ, Walton RA, Cotton FA, Powell GL. Tetrabutylammonium octachlorodirhenate(III). In: Angelici RJ, editor. *Inorg Synth.* 1990. doi: 10.1002/9780470132593.ch83.
- Evdokimova OV, Pechishcheva NV, Shunyaev KY. Up-to-date methods for the determination of rhenium. *J Anal Chem.* 2012; 67: 741-753. doi: 10.1134/S1061934812090043.
- Gillebrand VF, Lendel GE, Brayt GA, Gofman DI. *Prakticheskoye rukovodstvo po neorganicheskoye analizu* [A practical guide to inorganic analysis]. Moscow: Khimiya; 1966. 1111 p. (in Russian).
- Palade DM, Gannova YN. Complexation of cobalt(II) with some glycyll dipeptides under inert atmosphere. *Russ J Coord Chem.* 2003; 29: 106-109. doi: 10.1023/A:1022386017609.
- Golichenko AA, Shtemenko AV. Hidroliz kompleksnykh spolkov reniyi(III) [Hydrolysis of rhenium(III) cluster compounds]. *Ukr Chem J.* 2019; 85(3): 27-34. (in Ukrainian). doi: 10.33609/0041-6045.85.3.2019.27-34.
- Shtemenko AV, Collery P, Shtemenko NI, Domasevitch KV, Zabitskaya ED, Golichenko AA. Synthesis, characterization, in vivo antitumor properties of the cluster rhenium compound with GABA ligands and its synergism with cisplatin. *Dalton Trans.* 2009; (26): 5132-5136. doi: 10.1039/B821041A.
- Golichenko AA, Shtemenko AV, Kozhura OV. Novyye metody sinteza izomernykh galogenokarboksilatov direniya(III) [New methods for the synthesis of isomeric direnium(III) halogenocarboxylates]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* 2001; (6): 14-16. (in Russian).
- Nakamoto K. *Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds: part B: applications in coordination, organometallic, and bioinorganic chemistry, sixth edition.* John Wiley & Sons; 2009. 408 p. doi: 10.1002/9780470405888.
- Golichenko AA, Shtemenko AV. Cluster rhenium(III) complexes with adamantanecarboxylic acids: synthesis and properties. *Russ J Coord Chem.* 2006; 32: 242-249. doi: 10.1134/S1070328406040038.
- Ovcharenko AA, Velichko OV, Golichenko AA, Shtemenko AV. Hidroliz kompleksnoyi spolyky dirhenium(III) z β-alaninom [Hydrolysis of the dirhenium(III) complex compound with β-alanine]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* 2020; (4): 115-120. (in Ukrainian). doi: 10.32434/0321-4095-2020-131-4-115-120.
- Sanders VA, Iskhakov D, Abdel-Atti D, Devany M, Neary MC, Czerwinski KR, et al. Synthesis, characterization and biological studies of rhenium, technetium-99m and rhenium-188 pentapeptides. *Nucl Med Biol.* 2019; 68-69: 1-13. doi: 10.1016/j.nucmedbio.2018.11.001.