

УДК 541.138.3

**А. О. Зульфiгаров<sup>1</sup>, О. О. Андрiйко<sup>1</sup>, О. М. Фесенко<sup>2</sup>, А. Г. Гребенюк<sup>3</sup>,  
В. А. Потаскалов<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,  
пр. Перемоги 37, корп. 4, м. Київ, 03057, Україна; E-mail: sars2007@ukr.net<sup>2</sup>Інститут Фізики НАН України, пр. Науки 46, м. Київ, 03680, Україна<sup>3</sup>Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України, вул. Генерала Наумова 17,  
м. Київ, 03164, Україна

### СПЕКТРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ СПОЛУК КОБАЛЬТУ(III)-НІКЕЛЮ(II) З ДІЕТАНОЛАМІНОМ

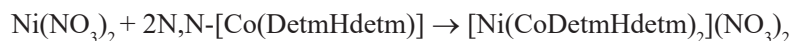
Методами ІЧ-спектроскопії і електронних спектрів поглинання в УФ та видимій областях спектру досліджено процеси утворення внутрішньокмплесної сполуки кобальту(III) з діетаноламіном та гетероядерного комплексу 2Co-Ni з діетаноламіном. Встановлено ймовірність проходження реакцій комплексоутворення та збереження координаційного оточення кобальту  $\text{CoO}_4\text{N}_2$  у внутрішньокмплесній сполуці кобальту(III) та поліядерній координаційній сполуці  $[\text{Ni}(\text{CoDetmHdetm})_2](\text{NO}_3)_2$ .

**Ключові слова:** діетаноламін, ІЧ-спектроскопія, метод електронних спектрів поглинання, координаційні сполуки.

Поліядерні комплексні сполуки 3d-металів з аміноспиртовими лігандами розглядалися як ефективні модифікатори поверхні вуглецевих матеріалів в попередніх дослідженнях [1, 2]. Зокрема триядерний комплекс 2Co-Ni з діетаноламіновим лігандом є одним з прекурсорів для отримання ефективних електрокаталізаторів процесу інтеркаляції літію в графіт з органічних апротонних електролітів, що відбувається літій-іонних джерелах струму [3, 4]. Наймовірніше, для такого типу комплексних сполук реалізується координаційне оточення кобальту(III) типу  $\text{CoO}_4\text{N}_2$  і вірогідне існування їх геометричних ізомерів типу транс-N,N або цис-N,N [5]. Матеріали досліджень [6] дають можливість стверджувати про збереження координаційного оточення  $\text{CoO}_4\text{N}_2$  при транс-розташуванні атомів нітрогену у складі іона, який виступає у ролі складного комплексного ліганду при утворенні місткового зв'язку  $\text{Co}^{3+} \dots \text{O} \dots \text{Ni}^{2+}$ . Такі припущення були зроблені на основі квантово-хімічних розрахунків та експериментальних досліджень термічного розкладу  $[\text{Ni}(\text{CoDetmHdetm})_2](\text{NO}_3)_2$ . Тому цікавим є вивчення процесів, що відбуваються внаслідок синтезу внутрішньокмплесної сполуки Co(III) та триядерного комплексу 2Co-Ni з діетаноламіновими лігандами в метанольних розчинах за допомогою спектроскопії у видимому та ультрафіолетовому діапазонах спектру, а також зразків твердої фази синтезованих координаційних сполук методом ІЧ-спектроскопії з метою підтвердження теоретично розрахованої будови отриманих координаційних сполук за допомогою непрямих фізико-хімічних методів досліджень.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

В якості вихідних речовин для отримання комплексних сполук використовували нітрати кобальту(II) та нікелю(II) марки «х.ч.», КОН марки «х.ч.», діетаноламін марки «ч» та метанол марки «х.ч.». Синтез поліядерного комплексу 2Co-Ni з діетаноламіном (ДЕА) проводився у дві стадії. Спершу отримували внутрішньоконкомплексну сполуку (ВКС) Co(III) з ДЕА за методикою [7], після чого синтезували поліядерний комплекс 2Co-Ni з діетаноламіном. Для цього розчинили нітрат нікелю(II) в метанолі та додавали його до розчину раніше приготованої внутрішньоконкомплексної сполуки при постійному перемішуванні. Отриману суміш залишали для протікання процесу утворення поліядерного комплексу на 3 дні. Хімічна реакція утворення триядерної комплексної сполуки з діетаноламіном (де H<sub>2</sub>detm – HN(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH)<sub>2</sub>) наведена нижче:



Кількість реагентів для синтезу розраховували згідно стехіометрії без надлишку та з врахуванням вмісту хімічних сполук згідно марки реактивів. Комплексні сполуки у твердому вигляді вдавалося отримати у вигляді густої, смолоподібної маси, що не піддавалася кристалізації.

Спектроскопічне дослідження виконувалося на спектрофотометрі UV/VIS Sperecord 210 Plus з товщиною кювети 1см.

Елементний аналіз на С, N, H визначали газохроматографічним способом на приладі Carlo Erba Elemental Analyzer 1106.

Визначення кобальту та нікелю виконували методом індуктивно зв'язаної плазми на спектрофотометрі Jobin Yvon-Horiba 180 Ultrase.

Спектральні дослідження в інфрачервоній області спектру виконувалися за допомогою ІЧ-Фур'є спектрометру Shimadzu IRTracer-100 в таблетках з KBr.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Склад синтезованих комплексів визначено за допомогою елементного аналізу, результати якого наведені у табл. 1:

Таблиця 1

Склад та результати елементного аналізу синтезованих комплексних сполук

|  | C, %  |       | N, %  |       | H, %  |       | Co, % |       | Ni, % |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | Теор. | Експ. | Теор. | Експ. | Теор. | Експ. | Теор. | Експ. | Теор. | Експ. |
| Co(DetmHdetm)  | 36,09 | 36,15 | 10,53 | 10,45 | 7,14  | 7,23  | 22,18 | 22,25 | -     | -     |
| {Ni[Co(DetmHdetm)] <sub>2</sub> }(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | 26,74 | 26,69 | 11,7  | 11,8  | 5,29  | 5,33  | 16,44 | 16,57 | 8,22  | 8,31  |

Метод електронної спектроскопії був застосований для вивчення процесів, що відбуваються при отриманні внутрішньоконкомплексної сполуки кобальту(III) з діетаноламіновим лігандом. На рис. 1 наведені електронні спектри поглинання вищевказаного ВКС кобальту (III) у порівнянні з електронними спектрами поглинання (ЕСП) спиртових розчинів нітрату кобальту (II) та діетаноламіну, що використовувалися як прекурсори в процесі синтезу Co(DetmHdetm).

Представленi спектри отриманi в iнтервалi довжин хвиль вiд 250 до 750 нм. Згiдно отриманих даних, спостерiгається батохромне змiщення максимуму d-d смуги поглинання, притаманної спектру  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  на спектрі ВКС  $\text{Co}(\text{III})$  514 нм до 586 нм, що, ймовiрно, вiдповiдає електронному переходу  ${}^1\text{T}_{1g} \rightarrow {}^1\text{A}_{1g}$  у системi термiв кобальту(III) (параметри наведенi в табл.2).

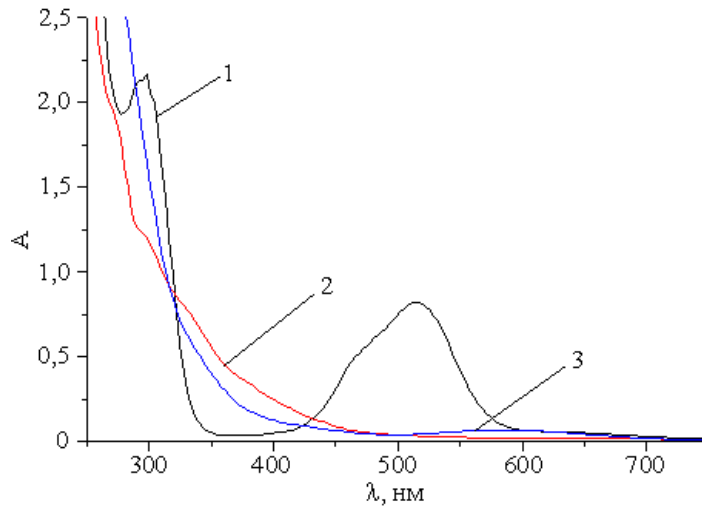


Рис. 1. Електронні спектри поглинання спиртових розчинів  $\text{Co}(\text{DetmHdetm})$  та прекурсорів отриманні ВКС кобальту(III) (1 – метанольний розчин нітрату кобальту(II) ( $C(\text{Co}(\text{II})) = 1 \cdot 10^{-2}$  моль/л); 2 – метанольний розчин діетаноламіну ( $C(\text{HEtm}) = 2 \cdot 10^{-2}$  моль/л); 3 – метанольний розчин ВКС  $\text{Co}(\text{III})$  ( $C(\text{Co}(\text{DetmHdetm})) = 2 \cdot 10^{-2}$  моль/л))

Таблиця 2

**Параметри d-d смуг поглинання ВКС кобальту(III) та триядерного комплексу 2Co-Ni з діетаноламіном**

| Синтезована сполука   | $\lambda$ , нм | $\epsilon$ |
|---|----------------|------------|
| $\text{Co}(\text{DetmHdetm})$                                 | 586            | 5,32       |
| $\{\text{Ni}[\text{Co}(\text{DetmHdetm})]_2\}(\text{NO}_3)_2$ | 604            | 5,82       |

Крім того на спектрі ВКС зникає смуга з максимумом 298 нм, що була присутня на спектрі нітрату  $\text{Co}(\text{II})$ . Водночас помітне значне зменшення інтенсивності смуг наведених переходів та відмінність характеру спектральної кривої у порівнянні з кривими прекурсорів.

Для отримання додаткової інформації про досліджувані зразки, виконано спектроскопічне визначення в більш вузькій частині УФ діапазону (iнтервал довжин хвиль 200 – 350 нм) з розчинами меншої концентрації внаслідок великої різниці між інтенсивностями поглинання в ультрафіолетовій та видимій частинах спектру, результати якого наведені на рис. 2.

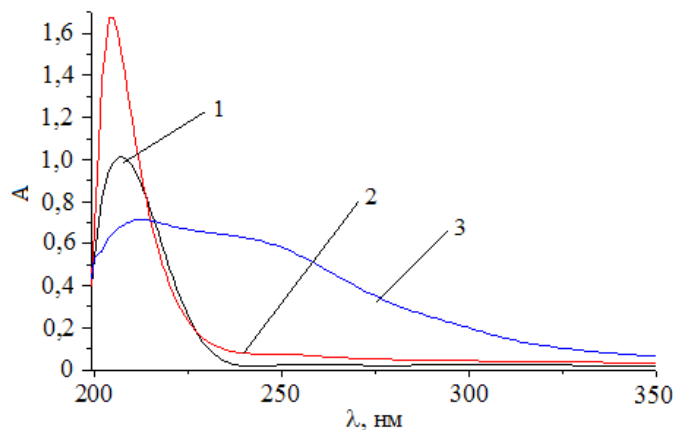


Рис. 2. Електронні спектри поглинання спиртових розчинів Co(DetmHdetm) та прекурсорів отриманні ВКС кобальту(III) в УФ діапазоні (1 – метанольний розчин нітрату кобальту(II) ( $C(\text{Co(II)}) = 1 \cdot 10^{-3}$  моль/л); 2 – метанольний розчин діетаноламіну ( $C(\text{HEtm}) = 4 \cdot 10^{-3}$  моль/л); 3 – метанольний розчин Co(DetmHdetm) ( $C(\text{Co(III)}) = 1,3 \cdot 10^{-2}$  моль/л).)

В ультрафіолетовій області, аналогічно до видимої частини спектрального діапазону, спостерігається поступове батохромне зміщення в область менших енергій максимумів діетаноламіну (смуга при 205 нм) та нітрату кобальту(II) (смуга при 207 нм) до 212 нм на кривій ВКС Co(III). Водночас вигляд кривої Co(DetmHdetm) видозмінюється з утворенням ділянки у вигляді «плеча» в інтервалі довжин хвиль між 230 та 340 нм, що може бути обумовлене смугами перенесення заряду і внутрішньолігандними переходами.

Наступним типом поліядерних комплексних сполук кобальту(III)-нікелю(II), що досліджувалися методом електронної спектроскопії, став триядерний комплекс 2Co-Ni з діетаноламіновим лігандом. На рис. 3 наведені електронні спектри поглинання  $\{\text{Ni}[\text{Co}(\text{DetmHdetm})_2]\}(\text{NO}_3)_2$  в порівнянні з електронними спектрами внутрішньо комплексної сполуки кобальту(III) з діетаноламіном та нітрату нікелю(II), що використовувалися при синтезі гетероядерного комплексу кобальту(III)-нікелю(II).

На отриманих ЕСП поліядерного комплексу кобальту(III)-нікелю(II) відсутні смуги d-d переходів з максимумами при 298 нм і 397 нм, що характерні для нітрату нікелю(II). Одночасно, аналізуючи спектральну криву  $\{\text{Ni}[\text{Co}(\text{DetmHdetm})_2]\}(\text{NO}_3)_2$ , помітне батохромне зміщення в область менших енергій смуги з максимумом 586 нм до 604 нм (параметри наведені в табл.2), що була наявна у спектрі ВКС кобальту(III). Крім того відбувається зміна характеру спектральної кривої внутрішньокмлексної сполуки кобальту(III) у порівнянні з кривою триядерного комплексу 2Co-Ni з діетаноламіном. Це обумовлено внеском іона  $\text{Ni}^{2+}$  в електронну будову комплексу, що є доказом протікання процесу комплексоутворення. Таким чином, гетерометалічний комплекс 2Co-Ni з діетаноламіном є низькоспіновою діаманітною сполукою, в якій координаційне число  $\text{Ni}^{2+} = 4$ , що відповідає плоско-квадратній конфігурації координаційного вузла [8].

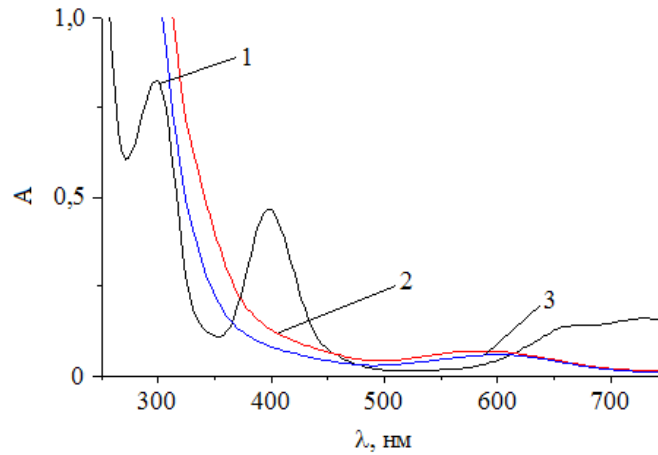


Рис. 3. Електронні спектри поглинання спиртових розчинів  $\{Ni[Co(DetmHdetm)]_2\}(NO_3)_2$  та прекурсорів отриманні триядерного комплексу 2Co-Ni з діетаноламіном (1 – метанольний розчин нітрату нікелю(II) ( $C(Ni(II)) = 5 \cdot 10^{-3}$  моль/л); 2 – метанольний розчин  $Co(DetmHdetm)$  ( $C(Co(III)) = 1,3 \cdot 10^{-2}$  моль/л); 3 – метанольний розчин  $\{Ni[Co(DetmHdetm)]_2\}(NO_3)_2$  ( $C(Co(III)) = 1 \cdot 10^{-2}$  моль/л,  $C(Ni(II)) = 5 \cdot 10^{-3}$  моль/л).

Подальший аналіз спектральних даних, отриманих в більш вузькій частині ультрафіолетового спектру в діапазоні хвиль між 200 та 350 нм (рис. 4), дає можливість спостерігати чітку відмінність характеру спектральної кривої  $\{Ni[Co(DetmHdetm)]_2\}(NO_3)_2$  від спектру внутрішньокмлексної сполуки  $Co(III)$  з діетаноламіном, зокрема більш виразним стає «плече» в діапазоні довжин хвиль від 220 до 325 нм, що можна пояснити як і для ВКС  $Co(III)$  смугами перенесення заряду.

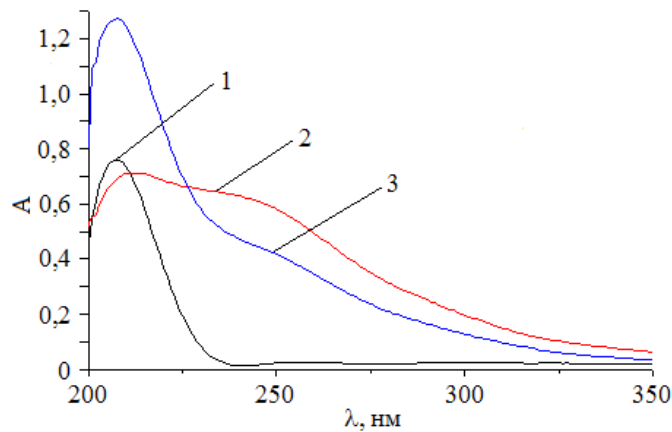


Рис. 4. Електронні спектри поглинання спиртових розчинів  $\{Ni[Co(DetmHdetm)]_2\}(NO_3)_2$  та прекурсорів отриманні триядерного комплексу 2Co-Ni з діетаноламіном в УФ діапазоні (1 – метанольний розчин нітрату нікелю(II) ( $C(Ni(II)) = 5 \cdot 10^{-4}$  моль/л); 2 – метанольний розчин  $Co(DetmHdetm)$  ( $C(Co(III)) = 1,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л); 3 – метанольний розчин  $\{Ni[Co(DetmHdetm)]_2\}(NO_3)_2$  ( $C(Co(III)) = 1 \cdot 10^{-3}$  моль/л,  $C(Ni(II)) = 5 \cdot 10^{-4}$  моль/л).

Отож, підсумовуючи проведенні дослідження методом електронних спектрів поглинання, можна стверджувати про утворення у спиртовому розчині комплексу  $\{\text{Ni}[\text{Co}(\text{DetmHdetm})_2]\}(\text{NO}_3)_2$  плоскочватратної будови.

Подальші дослідження методом спектроскопії в ІЧ області спектру проводилися з твердими зразками синтезованих комплексних сполук. На рис. 5 представлені ІЧ-спектри ВКС кобальту(III) та гетероядерного комплексу 2Co-Ni з діетаноламіновими лігандами.

Високочастотна область спектру поглинання характеризується смугами поглинання при 3350 і 3250  $\text{cm}^{-1}$ , зумовлених відповідно валентними коливаннями ОН групи, антисиметричними і симетричними валентними коливаннями N-H зв'язків. Крім того, для спектру характерні смуги поглинання в області частот 2935, 2840, 1655, 1600, 1359 і 1070  $\text{cm}^{-1}$ , що відносяться відповідно валентних асиметричних та симетричних коливань  $\text{CH}_2$ , просторових деформаційних коливань ОН та NH, плоских деформаційних коливань ОН та частотних коливань  $\nu(\text{C-O})$  і  $\nu(\text{CN})$ .

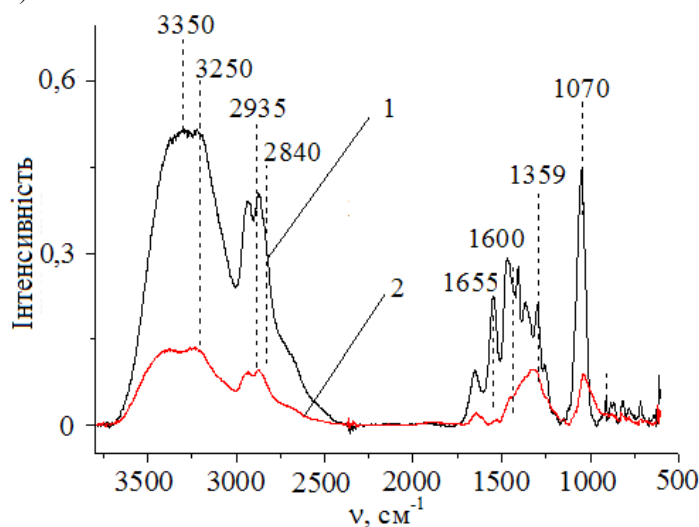


Рис. 5. ІЧ спектри поглинання спиртових розчинів  $\{\text{Ni}[\text{Co}(\text{DetmHdetm})_2]\}(\text{NO}_3)_2$  та прекурсорів отриманні триядерного комплексу 2Co-Ni з діетаноламіном (1 – спектр ВКС Co(III) з діетаноламіном; 2 – спектр полядерного комплексу 2Co-Ni з діетаноламіном)

Область поглинання  $\nu(\text{CO})$  при 1070 – 1010  $\text{cm}^{-1}$  може вказувати на координацію лігандів через атом кисню. Також спектрах комплексних сполук появляються смуги в області 500 – 750  $\text{cm}^{-1}$ , які можна віднести до смуг валентних коливань зв'язків M-O та M-C.

Смуги поглинання деформаційних коливань  $\delta_{\text{as}}(\text{CH})$  чутливі до комплексоутворення. У лініях ВКС кобальту(III) та  $\{\text{Ni}[\text{Co}(\text{DetmHdetm})_2]\}(\text{NO}_3)_2$  спостерігається однаковий характер поглинання цих смуг в області їх коливань, що може вказувати про однакову координацію  $\text{CH}_2$ -груп в цих комплексах.

На рис. 6 наведений теоретичний IЧ-спектр внутрiшньокомплексної сполуки кобальту(III) з дiетаноламіном, розрахований за допомогою програми Gaussian 9.

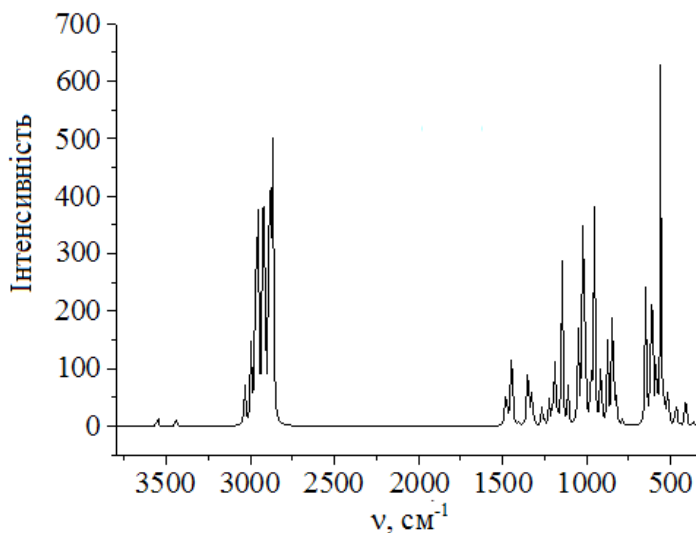


Рис. 6. Теоретичний IЧ-спектр ВКС Co(III) з дiетаноламіном

Порiвнюючи розрахований та експериментальний IЧ-спектри внутрiшньокомплексної сполуки кобальту(III) з дiетаноламіном, можна помітити задовiльне співпадіння смуг поглинання функціональних груп, що дає можливість додатково стверджувати про справедливiсть теоретичних квантово-хімічних розрахунків структури вищенаведеної комплексної сполуки, що розглядалися у попередніх дослідженнях [6]  $\text{CoO}_4\text{N}_2$ .

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рейтер Л.Г., Пірський Ю.К., Потаскалов В.А., Андрiйко О.О., Кублановский В.С. Гетерометалічні етилен-дiетаноламінові комплекси і електрокаталітичні властивості продуктів їх піролізу // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2004. – № 5. – С. 120-126.
2. Андрiйко О.О., Потаскалов В.А., Крюкова Е.А., Рейтер Л.Г., Чмиленко Н.А., Зульфiгаров А.О. Модифікація углеродных материалов отрицательного электрода литиевых аккумуляторов продуктами пиролиза комплексов 3-d металов с этаноламинами // Электрохимическая энергетика. – 2005. – Т.5, № 3. – С. 169-175.
3. Потаскалов В.А., Зульфiгаров А.О., Крюкова О.А., Андрiйко О.О. Гетерометалічні комплексні сполуки кобальту з етаноламінами та каталітичні властивості продуктів їх піролізу. // XVII Українська конференція з неорганічної хімії. – Львів, 2008. – С.49.
4. Патент України на корисну модель № 48383, МПК (2009) H01M 4/00. Спосіб модифікації графіту для використання в літєвих хімічних джерелах струму / Зульфiгаров А.О., Андрiйко О.О., Супрунчук В.І., Потаскалов В.А.; заявник Національний технічний Університет України «Київський політехнічний інститут» – № u200911002; заявл. 30.10.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5.
5. Степаненко О.Н., Потаскалов В.А., Потаскалова Н.И. Геометрическая изомерия в комплексах кобальта(III) с диетаноламином // Укр. хим. журн. – 2003. – Т. 69, № 2. – С. 78-80.
6. Зульфiгаров А.О., Потаскалов В.А., Андрiйко О.О. Будова та термічний розклад триядерних комплексних сполук  $2\text{Co}(+3)\text{-Ni}(+2)$  з етаноламінами // Укр. хим. журн. – 2016. – Т. 82, № 7. – С. 46-53.

7. Удовенко В.В., Танчик В.М. Получение и свойства внутрикомплексного соединения кобальта(III) с диэтаноломином // Журн. неорган. химии. – 1986. – Т. 38, № 3. – С. 534-537.
8. Коттон Ф., Уилкинсон Дж. Современная неорганическая химия. (Ч.2). – М.: Мир. – 1969. – 496 с.

Стаття надійшла до редакції 16.04.2018

**А. О. Зульфигаров<sup>1</sup>, А. А. Андрийко<sup>1</sup>, Е. М. Фесенко<sup>2</sup>, А. Г. Гребенюк<sup>3</sup>,  
В. А. Потаскалов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины «КПИ имени Игоря Сикорского», пр. Победы 37, корп. 4, г. Киев, 03057, Украина; E-mail: sars2007@ukr.net

<sup>2</sup>Институт Физики НАН Украины, пр. Науки 46, г. Киев, 03680, Украина

<sup>3</sup>Институт химии поверхности им. О.О. Чуйко НАН Украины, ул. Генерала Наумова 17, г.Киев, 03164, Украина

## СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОБАЛЬТА(III)- НИКЕЛЯ(II) С ДИЭТАНОЛАМИНОМ

Методами ИК-спектроскопии и электронных спектров поглощения в УФ и видимой областях спектра исследованы процессы образования внутрикомплексного соединения кобальта(III) с диэтаноломином и гетероядерного комплекса 2Co-Ni с диэтаноломином. Установлена вероятность прохождения реакций комплексообразования и сохранение координационного окружения кобальта  $\text{CoO}_4\text{N}_2$  во внутрикомплексном соединении кобальта(III) и полиядерном координационном соединении  $[\text{Ni}(\text{CoDetmHdetm})_2](\text{NO}_3)_2$ .

**Ключевые слова:** диэтанолламин, ИК-спектроскопия, метод электронных спектров поглощения, координационные соединения.

**A. O. Zul'figarov<sup>1</sup>, A. A. Andriiko<sup>1</sup>, E. M. Fesenko<sup>2</sup>, A. G. Grebenjuk<sup>3</sup>,  
V. A. Potaskalov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnical Institute», pr. Peremohy 37, korp. 4, Kyiv, 03057, Ukraine; E-mail: sars2007@ukr.net

<sup>2</sup>Institute of Physics NAS of Ukraine, pr. Nauki 46, Kyiv, 03680, Ukraine

<sup>3</sup>Chuiko Institute of Surface Chemistry NAS of Ukraine, Generala Naumova st. 17, Kyiv, 03164, Ukraine

Polynuclear complex compounds of 3d metals with amino alcoholic ligands can be used to obtain effective electrocatalysts for the process of lithium intercalation in graphite from organic aprotic electrolytes, occurring in lithium ion current sources. The processes of formation of the innercomplex compound of cobalt (III) with diethanolamine and the heteronuclear complex 2Co-Ni with diethanolamine have been investigated using IR spectroscopy and electronic spectra of absorption spectra in the UV and visible regions of the spectra. Summing up the study by the method of electronic absorption spectra, one can emphasize the presence in the process of formation of complex compounds of the bathochromic displacement of the maxima of d-d absorption bands of cobalt, which uniquely indicates the process of complex formation of the hetero-metallic compound. The composition of the coordination compounds obtained was determined using chemical analysis, whose results are well correlated with the theoretically calculated content of chemical elements. The probability of passage of complex formation reactions with the preservation of  $\text{CoO}_4\text{N}_2$  cobalt coordination environment in the innercomplex compound of cobalt (III) and the polynuclear coordination compound  $[\text{Ni}(\text{CoDetmHdetm})_2](\text{NO}_3)_2$ , was confirmed, namely by the close assignment of characteristic-deformation-sensitive complexes fluctuations  $\delta_{\text{as}}(\text{CH})$  spectra chelate compounds of



cobalt (III) and threenuclear hetero-metallic complexes. The obtained results confirm the previous quantum-chemical calculations of the coordination node of the quadrgular 2Co-Ni complex with diethanolamine, which resulted in the assumption of the formation of four bridge connections of  $\text{Co}^{3+} \dots \text{O} \dots \text{Ni}^{2+}$  in the formation of a heterometal coordination compound  $[\text{Ni}(\text{CoDetmHdetm})_2](\text{NO}_3)_2$ .

**Key words:** diethanolamine, IR spectroscopy, method of electronic absorption spectra, coordination compounds.

## REFERENCES

1. Rejter L.G., Pirs'kij Ju.K., Potaskalov V.A., Andriiko O.O., Kublanovskij V.S. *Geterometalichni etilendietanolaminovi kompleksi i elektrokatalitichni vlastivosti produktiv ih pirolizu*. Naukovi visti NTUU «KPI», 2004, vol. 5, pp. 120-126. (in Ukrainian)
2. Andriiko O.O., Potaskalov V.A., Krjukova E.A., Rejter L.G., Chmilenko N.A., Zul'figarov A.O. *Modifikacija uglerodnyh materialov otricatel'nogo jelektroda litievyh akkumuljatorov produktami piroliza kompleksov 3-d metalov s jetanolaminami*. Jeletkrohimicheskaja jenergetika., 2005, vol. 5, no 3, pp. 169-175. (in Russian)
3. Potaskalov V.A., Zul'figarov A.O., Krjukova O.A., Andriiko O.O. *Geterometal'ni kompleksni spoluki kobal'tu z etanolaminami ta katalitichni vlastivosti produktiv ih pirolizu*. XVII Ukraїns'ka konferencija z neorganichnoi himii. L'viv, 2008, pp. 49. (in Ukrainian)
4. Zul'figarov A.O., Andriiko O.O., Suprunchuk V.I., Potaskalov V.A. *Sposib modifikacii grafitu dlja vikoristannja v litievih himichnih dzherelah strumu*. Patent UA, no 48383, publ.10.03.2010. (in Ukrainian)
5. Stepanenko O.N., Potaskalov V.A., Potaskalova N.I. *Geometricheskaja izomerija v kompleksah kobal'ta(III) s dietanolaminom* // Ukr. him. zhurn., 2003, vol. 69, no 2, pp. 78-80. (in Russian)
6. Zul'figarov A.O., Potaskalov V.A., Andriiko O.O. *Budova ta termichnij rozklad trijadernih kompleksnih spoluk 2Co(+3)-Ni(+2) z etanolaminami*. Ukr. him. zhurn., 2016, vol. 82, no 7, pp. 46-53. (in Ukrainian)
7. Udovenko V.V., Tanchik V.M. *Poluchenie i svojstva vnutrikompleksnogo soedinenija kobal'ta(III) s dietanolaminom*. Zhurn. neorgan. himii., 1986, vol. 38, no 3, pp. 534-537. (in Russian)
8. Kotton F., Uilkinson Dzh. *Sovremennaya neorganicheskaya himiya*. Ch. 2. Moscow, Mir, 1969, 496 p. (in Russian)