

# СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ С ПРОДУКТОМ КОНДЕНСАЦИИ 2-(7-БРОМ-2-ОКСО-5- ФЕНИЛ-3*H*-1,4-БЕНЗОДИАЗЕПИН-1-ИЛ)- АЦЕТОГИДРАЗИДА И 1*H*-ИНДОЛ-2,3-ДИОНА

© 2020 И. И. Сейфуллина<sup>a</sup>, Л. С. Скороход<sup>a,\*</sup>, А. В. Пуля<sup>a</sup>, В. Г. Власенко<sup>b</sup>,  
А. Л. Тригуб<sup>c</sup>, И. М. Ракипов<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова, ул. Дворянская 2, Одесса, 65082 Украина

<sup>b</sup> Научно-исследовательский институт физики Южного федерального университета,  
Ростов-на-Дону, 344090 Россия

<sup>c</sup> Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, 123182 Россия

<sup>d</sup> Одесский национальный политехнический университет, Одесса, 650044 Украина

\*e-mail: lborn@ukr.net

Поступило в Редакцию 5 февраля 2020 г.

После доработки 5 февраля 2020 г.

Принято к печати 16 февраля 2020 г.

В системах  $\text{M}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ -2-(7-бром-2-оксо-5-фенил-3*H*-1,4-бензодиазепин-1-ил)ацетогидразид (Hydr)-1*H*-индол-2,3-дион (Hlz)-пропан-2-диол ( $\text{M} = \text{Co}, \text{Ni}$ ) образуются комплексы  $[\text{Co}(\text{HydrHlz})_2]$  и  $[\text{Ni}(\text{HydrHlz})_2]$ , выделенные и охарактеризованные методами элементного анализа, термогравиметрии, ИК спектроскопии и масс-спектрометрии. Определены их электропроводность и магнитная восприимчивость. Локальное атомное строение координационных центров установлено методом рентгеновской спектроскопии поглощения.

**Ключевые слова:** координационные соединения, кобальт(II), никель(II), 2-(7-бром-2-оксо-5-фенил-3*H*-1,4-бензодиазепин-1-ил)ацетогидразид, изатин

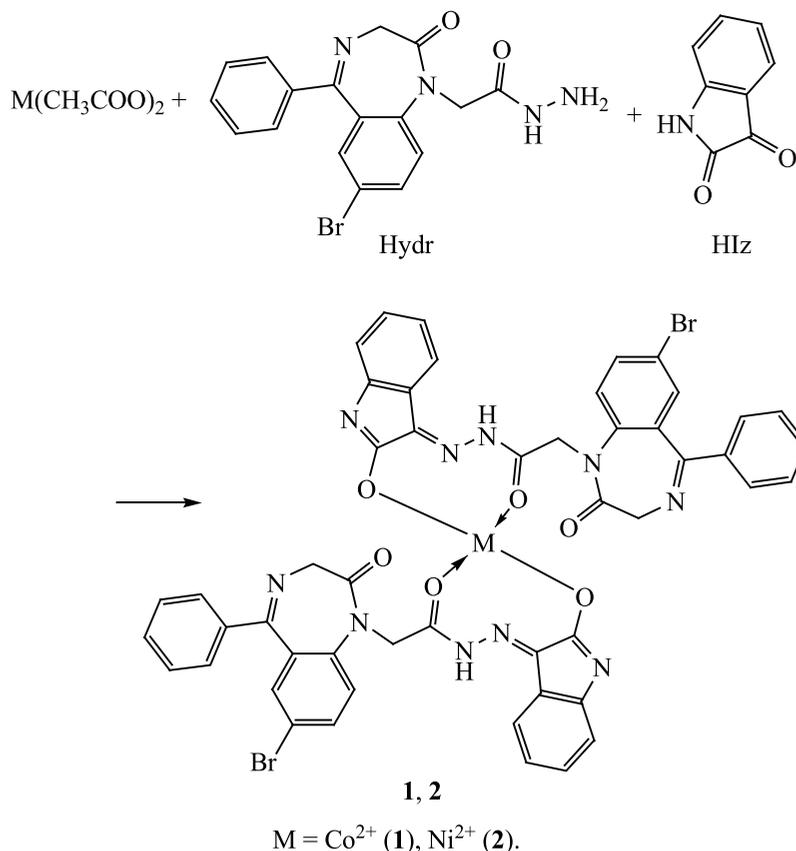
**DOI:** 10.31857/S0044460X20070161

Одно из важных направлений исследований в бионеорганической химии – синтез комплексов жизненно важных *3d*-металлов (марганец, кобальт, никель, медь, цинк) с биологически активными полициклическими лигандами. Среди них особое место занимают соединения, полученные на основе азотсодержащих гетероциклов. Они принимают участие в синтезе нуклеиновых кислот, процессах иммунитета и регенерации и, обладая минимальным спектром побочного действия, проявляют клиническую эффективность при онкологических, психоневрологических заболеваниях, а также при различных травматических состояниях [1–3].

К настоящему времени исследованы в основном соединения пиридина, его аналоги и коор-

динационные соединения  $\text{Co}(\text{II})$ ,  $\text{Ni}(\text{II})$ ,  $\text{Cu}(\text{II})$ . Однако практически отсутствуют сведения о производных бензодиазепина, к которым относится дневной транквилизатор гизадепам – 2-(7-бром-2-оксо-5-фенил-3*H*-1,4-бензодиазепин-1-ил)ацетогидразид (Hydr). В молекуле гизадепама, в отличие от других производных бензодиазепина, наряду с несколькими донорными центрами (N и O) присутствует гидразидная группировка, которая как аналог пептидной группы  $\text{C}(\text{O})\text{NH}$ , по мнению многих исследователей, обуславливает биологическую активность этого соединения [4–7]. В системе  $\text{M}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ -Hydr-Hlz-пропан-2-диол [ $\text{M} = \text{Co}(\text{II}), \text{Ni}(\text{II})$ ] образуются координационные соединения металлов с продуктом конденсации

Схема 1.



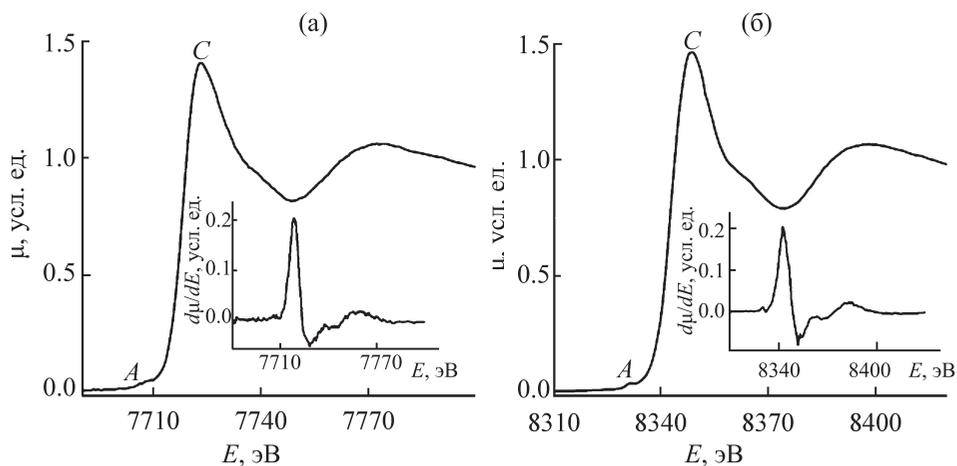
соединений Hydr и Hz (HydrHz) – лигандом бензодиазепингидразонного типа. Полученные комплексы способны проявлять синергизм действия биологически активных составляющих [8–16].

Ранее из системы  $Zn(CH_3COO)_2$ –Hydr–Hz был выделен комплекс  $[Zn(HydrHz)_2]$  [17], охарактеризованный совокупностью физико-химических методов. В продолжение этого исследования нами из системы  $M(CH_3COO)_2$ –Hydr–Hz ( $M = Co, Ni$ ) выделены комплексы  $[Co(HydrHz)_2]$  (1),  $[Ni(HydrHz)_2]$  (2). Комплексы 1 и 2 – мелкокристаллические вещества, нерастворимые в спиртах, хлороформе, ацетонитриле, растворимые в ДМСО и ДМФА. Из результатов измерения электропроводности  $1 \times 10^{-3}$  M. растворов в ДМСО следует, что они являются неэлектролитами, молярная электропроводность составляет 10.8 (1) и 6.2 Ом<sup>-1</sup>·см<sup>2</sup>·моль<sup>-1</sup> (2).

Термическое разложение комплексов 1 и 2 протекает однотипно. На термограммах отсутствуют низкотемпературные эффекты, соответствующие удалению молекул растворителя.

Соединения устойчивы до 300°C, затем на термограммах при 310 (1) и 330°C (2) наблюдается эндоэффект, сопровождающийся значительной потерей массы. При дальнейшем нагревании образцов комплексов 1 и 2 происходит окислительная термодеструкция органической части молекул, на что указывает ряд высокотемпературных экзоэффектов. Конечный продукт термораспада – CoO (1) или NiO (2), что согласуется с потерей массы на кривой термогравиметрии.

В условиях масс-спектрометрии с бомбардировкой быстрыми атомами исследуемые комплексы мало летучи, о чем свидетельствует низкая интенсивность комплексных и осколочных ионов на фоне интенсивных пиков матрицы. В спектре соединений наблюдаются пики молекулярных ионов  $[M + 2L]^+$ , где  $M = Co(II), Ni(II)$ ,  $L = HydrHz$ , подтверждающие присутствие в составе комплексов 1 и 2 нового лиганда HydrHz, образующегося в результате темплатной реакции на матрице ионов  $Co^{2+}$  и  $Ni^{2+}$  (схема 1).



**Рис. 1.** Нормированные спектры XANES Co (а) и Ni (б) *K*-краев поглощения (соответствующие первые производные  $d\mu/dE$  на вставках) комплексов **1** и **2**.

Способ координации лиганда в комплексах определяли методом ИК спектроскопии, сравнивая основные полосы поглощения исходных соединений (Hudr и Hlz) и комплексов **1**, **2**. Интерпретация ИК спектров в области поглощения валентных колебаний  $\nu(\text{C}=\text{O})$  вызвала определенные трудности из-за наличия карбонильных групп как в молекуле Hudr, так и Hlz. Поэтому анализ ИК спектров был проведен, исходя из того, что масс-спектрометрическое исследование подтвердило наличие в комплексах **1** и **2** нового лиганда (Hudrlz). Прежде всего, было обращено внимание на то, что полоса  $\nu(\text{NH}_2) = 3429 \text{ см}^{-1}$ , наблюдающаяся в ИК спектре гидазапама, отсутствует в спектрах комплексов **1** и **2**. Появляются новые полосы поглощения  $\nu(\text{C}=\text{N})$  при  $1613$  (**1**),  $1615 \text{ см}^{-1}$  (**2**), а также  $\nu(\text{M}-\text{N})$  при  $460$  (**1**) и  $470 \text{ см}^{-1}$  (**2**), что подтверждает участие в конденсации аминогруппы Hudr и карбонильной Hlz, а также вовлечение образующейся связи  $\text{C}=\text{N}$  в координацию к комплексообразователю. При этом в ИК спектрах комплексов **1** и **2** в отличие от исходных лигандов Hudr и Hlz появляются полосы  $\nu(\text{C}-\text{O})$   $1186$  (**1**),  $1187 \text{ см}^{-1}$  (**2**) и  $\nu(\text{M}-\text{O})$   $549$  (**1**),  $550 \text{ см}^{-1}$  (**2**). Такие изменения, с учетом молекулярного состава комплексов (отсутствие аниона), позволили заключить, что в результате комплексобразования Hudrlz перешел с кетонной в енольную форму и через кислород связался с ионом  $\text{M}^{2+}$ . С учетом уже имеющейся связи  $\text{M}-\text{N}$  произошло замыкание пятичленного металлоцикла. Такое заключение коррелирует с исчезновением в ИК спектрах комплексов **1** и **2** интенсивной полосы  $\nu(\text{C}=\text{O})$  при

$1728 \text{ см}^{-1}$  с плечом  $1748 \text{ см}^{-1}$ , характерной для исходного лиганда Hlz. В области колебаний  $\nu(\text{C}=\text{O})$  в ИК спектрах комплексов **1** и **2** наблюдаются по две полосы  $1682$  (**1**),  $1678 \text{ см}^{-1}$  (**2**) и  $1660$  (**1**),  $1663 \text{ см}^{-1}$  (**2**), которые, вероятнее всего, обусловлены наличием в молекулах одной свободной карбонильной группы и одной координированной. Такое предложение вполне логично, если учесть, что при этом должно произойти энергетически выгодное замыкание второго металлоцикла.

Детальная информация о строении координационных узлов в комплексах **1** и **2** получена при исследовании комплексов методом рентгеновской спектроскопии поглощения (анализ XANES и EXAFS *K*-краев поглощения металлов). Нормированные спектры XANES Co- и Ni *K*-краев поглощения и их первые производные для комплексов **1** и **2** приведены на рис. 1. Спектры XANES Co- и Ni *K*-краев поглощения для комплексов **1**, **2** аналогичны друг другу и состоят из основного максимума поглощения *C* и слабого предкраевого максимума *A*. Природа предкраевого пика *A* определяется степенью *p-d*-смешивания атомных орбиталей металла, и его интенсивность зависит от симметрии окружения координационного центра, являясь минимальной при октаэдрическом окружении. При октаэдрическом окружении ионов металлов происходит незначительное расщепление вакантных *p*\*-орбиталей металла, на которые осуществляются электронные переходы с *1s*-АО, приводящие к образованию *K*-спектров поглощения. Форма первых производных *K*-краев ( $d\mu/dE$ ) имеет вид

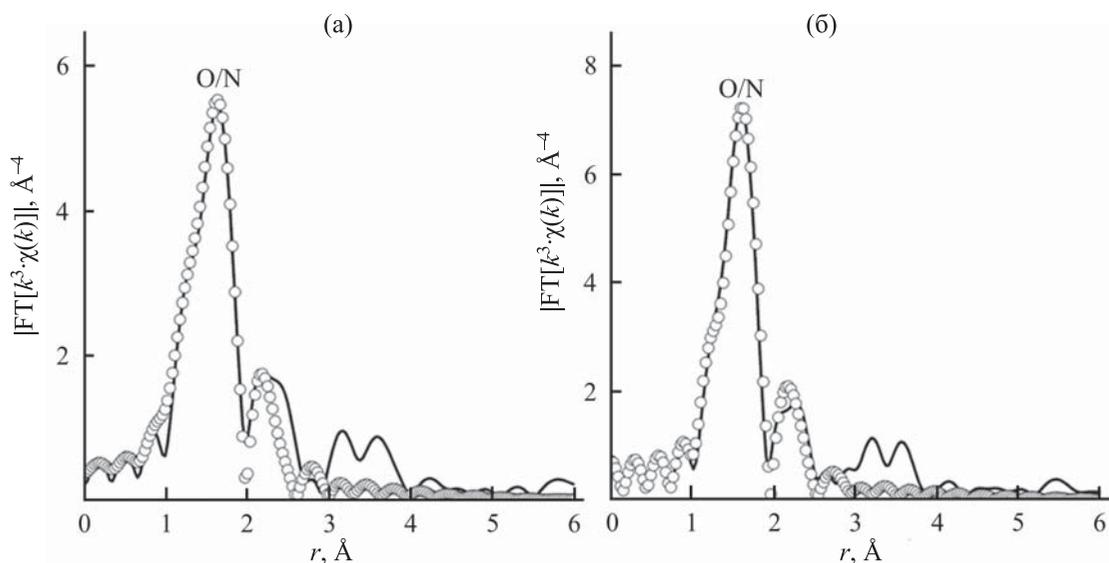


Рис. 2. МФТ EXAFS Co и Ni  $K$ -краев поглощения комплексов **1** (а), **2** (б) (сплошная линия – эксперимент, кружки – теория).

узких одиночных максимумов, что и наблюдается в спектрах комплексов **1** и **2**. Качественный анализ спектров XANES комплексов **1** и **2** позволяет предположить искаженно-октаэдрическое окружение вокруг ионов металлов в этих соединениях.

Локальное атомное строение координационных узлов комплексов **1** и **2** установлено в результате анализа EXAFS соответствующих  $K$ -краев рентгеновских спектров поглощения. Характеристики Модулей Фурье-трансформант (МФТ) комплексов **1** и **2** (рис. 2) близки и содержат основной пик при  $r = 1.60\text{--}1.65$  Å, обусловленный рассеиванием фотоэлектронной волны на ближайшей координационной сфере, состоящей из атомов азота и кислорода лигандов. Последующие малоинтенсивные пики в МФТ комплексов при больших значениях  $r = 2.35\text{--}2.42$  Å связаны с координационными сферами, включающими различные атомы лигандов, в основном атомы углерода.

Наилучшая аппроксимация теоретических спектров EXAFS с экспериментом для комплексов **1** и **2** получена для модели с октаэдрическим окружением соответствующего иона металла шестью атомами кислорода/азота в первой координационной сфере. Найденные средние расстояния  $\text{Co}(\text{Ni})\cdots\text{N/O}$  (см. таблицу) оказались практически одинаковыми в пределах ошибки измерений. Полученные из анализа EXAFS параметры локальной атомной структуры координационных узлов для комплексов **1** и **2** подтверждают вывод, сделанный из анализа XANES, об октаэдрическом окружении ионов кобальта и никеля в исследованных соединениях.

Таким образом, результаты исследования локального атомного строения комплексов **1** и **2**, сделанные на основании анализа данных XANES и EXAFS, соответствуют результатам элементного и термогравиметрического анализов, ИК спек-

Параметры локального атомного строения для комплексов **1** и **2**, полученные в результате двухсферной аппроксимации EXAFS<sup>a</sup>

Комплекс	$N$	$R$ , Å	$\sigma^2$ , Å <sup>2</sup>	Атом	$\mathcal{R}^b$ , %
<b>1</b>	2	1.95	0.0045	O/N	1.0
	4	2.08	0.0045	O/N	
<b>2</b>	2	1.97	0.0040	O/N	1.2
	4	2.07	0.0040	O/N	

<sup>a</sup>  $N$  – координационное число,  $R$  – межатомные расстояния,  $\sigma^2$  – фактор Дебая–Уоллера,  $\mathcal{R}$  – функция качества подгонки.

<sup>b</sup> Область аппроксимации в  $r$ -пространстве  $\Delta r = 1.00\text{--}1.9$  Å.

троскопии и масс-спектрометрии. Кроме того, эффективные магнитные моменты [ $\mu_{\text{эф}} = 5.16$  (1), 3.04 (2) М. Б.] типичны для моноядерных октаэдрических комплексов кобальта и никеля, в которых металл координирован с шестью атомами азота и двумя атомами кислорода [19, 20]. Таким образом, совокупностью используемых экспериментальных методов была подтверждена предложенная схема реакции и строение образующихся комплексов.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Термогравиметрическое исследование проводили на Q-дериვაгографе системы Паулик–Паулик–Эрдей. Навеску (60–80 мг) нагревали на воздухе при 20–1000°C со скоростью 10 град/мин. Держатель образца – платиновый тигель без крышки, эталон – прокаленный оксид алюминия. Молярную электропроводность  $1 \times 10^{-3}$  М. растворов комплексов **1** и **2** в ДМСО измеряли с помощью цифрового измерителя Экономикс–эксперт, тип электролита определяли в соответствии с таблицами, приведенными в работе [21]. ИК спектры поглощения (4000–400 см<sup>-1</sup>) комплексов **1** и **2**, таблетированных с KBr, записывали на спектрофотометре PerkinElmer Spectrum BX-II FI-IR и Shimadzu FTIR-8400S. Масс-спектры регистрировали на приборе VG 7070 (VG Analytical, Великобритания). Десорбцию ионов с поверхности жидкой матрицы проводили пучком атомов аргона с энергией 8 кэВ. В качестве матрицы использовали *m*-нитробензиловый спирт. Удельную магнитную восприимчивость комплексов **1** и **2** определяли относительным методом Фарадея в интервале температур 77.4–295 К; в качестве эталона для калибровки использовали Hg[Co(CNS)<sub>2</sub>]. При вычислении молярной магнитной восприимчивости ( $\chi_m$ ) вводили поправку на диамагнетизм атомов по аддитивной схеме Паскаля [22]. Эффективный магнитный момент рассчитывали по формуле (1).

$$\mu_{\text{эф}} = \sqrt{(3k / N\mu_B\chi T) \approx \sqrt{8\chi T}}. \quad (1)$$

$$\mathfrak{R} = \sum_{i=1}^{N_{\text{pts}}} \frac{\{\text{Re}[\chi_{\text{data}}(R_i) - \chi_{\text{th}}(R_i)]\}^2 + \{\text{Im}[\chi_{\text{data}}(R_i) - \chi_{\text{th}}(R_i)]\}^2}{\{\text{Re}[\chi_{\text{data}}(R_i)]\}^2 + \{\text{Im}[\chi_{\text{data}}(R_i)]\}^2}.$$

Здесь  $\chi_{\text{data}}(R_i)$  и  $\chi_{\text{th}}(R_i)$  EXAFS-функции в *R*-пространстве,  $N_{\text{pts}}$  – количество точек в подгоняемой области спектра.

Здесь  $k$  – постоянная Больцмана,  $N$  – число Авогадро,  $\mu_B$  – магнетон Бора.

Рентгеновские спектры поглощения комплексов кобальта и никеля в твердом состоянии регистрировали в режиме пропускания на EXAFS-спектрометре на станции Структурного материаловедения в Курчатовском синхротронном центре (Москва) [23]. Энергия электронного пучка, использованного в качестве источника рентгеновского синхротронного излучения, – 2.5 ГэВ при токе 80–120 мА. Для монохроматизации рентгеновского излучения использовали двухкристалльный Si(111) монохроматор. Обработку полученного спектра поглощения проводили стандартными процедурами выделения фона, нормирования на величину скачка *K*-края и выделения атомного поглощения  $\mu_0$ , после чего проводили Фурье-преобразование полученных EXAFS ( $\chi$ )-спектров в интервале волновых векторов фотоэлектронов  $k$  от 2.5 до 13.0 Å<sup>-1</sup> с весовой функцией  $k^3$ . Пороговую энергию ионизации  $E_0$  выбирали по величине максимума первой производной *K*-края и в дальнейшем варьировали при подгонке. Точные значения параметров структуры ближайшего окружения ионов кобальта, никеля в соединениях определяли нелинейной подгонкой параметров соответствующих координационных сфер при сопоставлении рассчитанного EXAFS-сигнала и выделенного из полного EXAFS-спектра методом Фурье-фильтрации МФТ. Нелинейную подгонку производили с использованием пакета программ IFFEFIT-1.2.11 [24]. Необходимые для построения модельного спектра фазы и амплитуды рассеяния фотоэлектронной волны рассчитывали с использованием программы FEFF7 [25] и атомных координат соединений с близкой атомной структурой.

Функцию качества подгонки  $\mathfrak{R}$ , минимизацию которой проводили при нахождении параметров структуры ближайшего окружения, рассчитывали по формуле (2).

Элементный анализ выполняли на CHN анализаторе, содержание брома определяли меркурометрически [26], кобальта и никеля – методом

атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP) на приборе Optima–2100 DV PerkinElmer.

**Бис[*N'*-(2-оксидо-3*H*-индол-3-илиден)-2-(7-бром-2-оксо-5-фенил-3*H*-1,4-бензодиазепин-1-ил)ацетогидразид]кобальт (никель) (1, 2).** К раствору 2 ммоль гидразида (Hydr) в 20 мл пропан-2-ола добавляли 2 ммоль изатина (Hz) в 20 мл пропан-2-ола. Реакционную смесь нагревали 3 ч на водяной бане, затем добавляли 10 мл этанольного раствора кристаллогидрата  $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Мольное соотношение исходных компонентов  $\text{M}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{Hydr} : \text{Hz} = 1:2:2$ . Кипячение продолжали 1 ч. После охлаждения образовавшийся осадок отделяли на фильтре Шотта, промывали изопропиловым спиртом и сушили при 80°C до постоянной массы.

**Комплекс 1.** Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 1089 (7.5)  $[2\text{L} + \text{M}]^+$ , 516 (70.4)  $[\text{L} + \text{H}]^+$ , 575 (14.9)  $[\text{L} + \text{M} + \text{H}]^+$ , 315 (8.2)  $[\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{BrN}_2\text{O} + \text{H}]^+$ , 299 (99.8)  $[\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{BrNO} + \text{H}]^+$ . Найдено, %: С 54.84; Н 3.00; Br 14.26; N 12.52; Co 5.08.  $\text{C}_{50}\text{H}_{34}\text{Br}_2\text{CoN}_{10}\text{O}_6$ . Вычислено, %: С 55.00; Н 3.12; Br 14.69; N 12.86; Co 5.42.

**Комплекс 2.** Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 1088 (8.0)  $[2\text{L} + \text{M}]^+$ , 516 (20.8)  $[\text{L} + \text{H}]^+$ , 575 (10.7)  $[\text{L} + \text{M} + \text{H}]^+$ , 315 (28.0)  $[\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{BrN}_2\text{O} + \text{H}]^+$ , 299 (58.7)  $[\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{BrNO} + \text{H}]^+$ . Найдено, %: С 54.90; Н 3.16; Br 14.32; N 12.36; Ni 5.04.  $\text{C}_{50}\text{H}_{34}\text{Br}_2\text{Ni}_{10}\text{NiO}_6$ . Вычислено, %: С 55.99; Н 3.128; Br 14.69; N 12.86; Ni 5.42.

#### ФОНДОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Рентгеноспектральное исследование выполнено при финансовой поддержке Южного федерального университета (внутренний грант ЮФУ на выполнение научного исследования, проект № ВнГр/2020-01-ИФ).

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коган В.А., Зеленцов В.В., Ларин Г.М., Луков В.В. Комплексы переходных металлов с гидразонами / Под ред. А.Ю. Цивадзе. М.: Наука. 1990. 109 с.
2. Альберт А. Избирательная токсичность. Физико-химические основы терапии. М.: Медицина. 1989. Т. 2. 427 с.
3. Гарновский А.Д., Васильченко И.С., Гарновский Д.А. Современные аспекты синтеза металлокомплексов. Основные лиганды и методы. Ростов-на-Дону: ЛаПО, 2000. 354 с.
4. Karbouj R., El-Dissouky A., Jeragh B., Al-Saleh E. // J. Coord. Chem. 2010. Vol. 63. N 5. P. 868. doi 10.1080/00958971003645946
5. Bai Y., Wang J.-Li, Dang D.-B., Zheng Y.-N. // Spectrochim. Acta (A). 2012. Vol. 97. P. 105. doi 10.1016/j.saa.2012.05.076
6. Singh J.V., Singh N.P. // Bioinorg. Chem. Appl. 2012. P. 1. doi 10.1155/2012/104549
7. Singh N.P., Singh J.V. // E-J. Chem. 2012. Vol. 9. N 4. P. 1835. doi 10.1155/2012/521345
8. Ершов П.В., Мезенцев Ю.В., Яблоков Е.О., Калужский Л.А., Флоринский А.В., Бунеева О.А., Медведев А.Е., Иванов А.С. // Биоорг. хим. 2018. Т. 44. № 2. С. 176; Ershov P.V., Mezentsev Y.V., Yablokov E.O., Kaluzhsky L.A., Florinskaya A.V., Buneeva O.A., Medvedev A.E., Ivanov A.S. // Russ. J. Bioorg. Chem. 2018. Vol. 44. N 2. P. 193. doi 10.1134/S1068162018010053
9. Swathy S.S., Joseyphus R.S., Nisha V.P., Subhadrambika N., Mohanan K. // Arab. J. Chem. 2016. Vol. 9. P. S1847. doi 10.1016/j.arabj.2012.05.004
10. Shebl M., El-ghamry M.A., Khalil S.E., Kishk M.A. // Spectrochim. Acta (A). 2014. Vol. 126. P. 232. doi 10.1016/j.saa.2014.02.014
11. Khan A., Jasinski J.P., Smoleaski V.A., Paul K., Singh G., Sharma R. // Inorg. Chim. Acta. 2016. Vol. 449. P. 119. doi 10.1016/j.ica.2016.05.013
12. Tehrani K.E., Hashemi M., Hassan M., Kobarfard F., Mohebbi Sh. // Chin. Chem. Lett. 2016. Vol. 27. N 2. P. 221. doi 10.1016/j.ccl.2015.10.027
13. Muralisankar M., Sujith S., Bhuvanesh N.S.P., Sreekanth A. // Polyhedron. 2016. Vol. 118. P. 103. doi 10.1016/j.poly.2016.06.017
14. Lian Z.-M., Sun J., Zhu H.-L. // J. Mol. Struct. 2016. Vol. 1117. P. 8. doi 10.1016/j.molstruc.2016.03.036
15. Teng Y.-O., Zhao H.-Y., Wang J., Liu H., Yu P. // Eur. J. Med. Chem. 2016. Vol. 112. P. 145. doi 10.1016/j.ejmech.2015.12.050
16. Sobhani S., Asadi S., Salimi M., Zarifi F. // J. Organomet. Chem. 2016. Vol. 822. P. 154. doi 10.1016/j.jorganchem.2016.08.021
17. Пуля А.В., Сейфуллина И.И., Скороход Л.С., Власенко В.Г., Тригуб А.Л., Ракипов И.М. // ЖОХ. 2018. Т. 88. Вып. 2. С. 294; Pulya A.V., Seifullina I.I., Skorokhod L.S., Vlasenko V.G., Trigub A.L., Rakipov I.M. // Russ.

- J. Gen. Chem. 2018. Vol. 88. N 2. P. 277. doi 10.1134/S1070363218020135
18. *Накомото К.* Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1966. С. 258.
19. *Пуля А.В., Сейфуллина И.И., Скороход Л.С., Власенко В.Г., Тригуб А.Л., Зубавичус Я.В., Левченков С.И.* // ЖОХ. 2017. Т. 87. Вып. 1. С. 90; *Pulya A.V., Seifullina I.I., Skorokhod L.S., Vlasenko V.G., Trigub A.L., Zubavichus Y.V., Levchenkov S.I.* // Russ. J. Gen. Chem. 2017. Vol. 87. N 1. P.86. doi 10.1134/S1070363217010145
20. *Пуля А.В., Сейфуллина И.И., Скороход Л.С., Власенко В.Г., Тригуб А.Л., Левченков С.И.* // ЖОХ. 2018. Т. 88. Вып. 7. С.1159; *Pulya A.V., Seifullina I.I., Skorokhod L.S., Vlasenko V.G., Trigub A.L., Levchenkov S.I.* // Russ. J. Gen. Chem. 2018. Vol. 88. N 7. P. 1451. doi 10.1134/S1070363218070162
21. *Geary W.I.* // Coord. Chem. Rev. 1971. Vol. 7. P. 81. doi 10.1016/S 0010-8545(00)80009-0
22. *Ракитин Ю.В., Калинин В.Т.* Современная магнетохимия. СПб: Наука, 1994. 276 с.
23. *Chernyshov A.A., Veligzhanin A.A., Zubavichus Ya.V.* // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. (A). 2009. Vol. 603. P. 95. doi 10.1016/j.nima. 2008 12.167
24. *Newville M.* // J. Synchrotron Rad. 2001. Vol. 8. P. 96. doi 10.1107/S0909049500016290
25. *Zabinski S.I., Rehr J.J., Ankudinov A., Alber R.C.* // Phys. Rev. 1995. Vol. 52. P. 2995. doi 10.1103/PhysRevB.52.2995
26. *Cheng F.W.* // Microchem. J. 1959. Vol. 24. N 6. P. 989. doi 10.1016/0026-265x(59)90085-02

## Synthesis, Structure and Some Properties of $\text{Co}^{2+}$ and $\text{Ni}^{2+}$ Complexes with the Product of Condensation of 2-(7-Bromo-2-oxo-5-phenyl-3*H*-1,4-benzodiazepin-1-yl)-acetohydrazide and 1*H*-Indole-2,3-dione

I. I. Seifullina<sup>a</sup>, L. S. Skorokhod<sup>a,\*</sup>, A. V. Pulya<sup>a</sup>, V. G. Vlasenko<sup>b</sup>,  
A. L. Trigub<sup>c</sup>, and I. M. Rakipow<sup>d</sup>

<sup>a</sup> I.I. Mechnikov Odessa National University, Odessa, 65082 Ukraine

<sup>b</sup> Research Institute of Physics, Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090 Russia

<sup>c</sup> National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, 123182 Russia

<sup>d</sup> Odessa National Polytechnic University, Odessa, 65044 Ukraine

\*e-mail: lborn@ukr.net

Received February 5, 2020; revised February 5, 2020; accepted February 16, 2020

Complexes [Co(HydrHlz)] and [Ni(HydrHlz)]·2H<sub>2</sub>O (M = Co, Ni) were obtained by reacting M(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> with 2-(7-bromo-2-oxo-5-phenyl-3*H*-1,4-benzodiazepin-1-yl)acetohydrazide (Hydr) and 1*H*-indole-2,3-dione (Hlz). Structure and composition of the complexes were confirmed by elemental analysis, thermogravimetry, IR spectroscopy and mass spectrometry data. The electrical conductivities and magnetic susceptibility of the complexes were determined. The local atomic structure of coordination centers was established by X-ray absorption spectroscopy.

**Keywords:** coordination compounds, cobalt(II), nickel(II), 2-(7-bromo-2-oxo-5-phenyl-3*H*-1,4-benzodiazepin-1-yl)acetohydrazide, isatin