

СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НОВЫХ КАРБОКСИЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕТАЛЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ ГЛИКОЛЬУРИЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

© 2023 г. В. В. Баранов¹, Н. И. Викрищук^{2,*}, А. А. Зубенко³, И. А. Эстрин⁴,
Е. С. Липатов^{5,6}, А. Е. Святогорова³

¹ Институт органической химии имени Н. Д. Зелинского Российской академии наук, Москва, 119991 Россия

² Южный федеральный университет, ул. Зорге 7, Ростов-на-Дону, 344090 Россия

³ Северо-Кавказский зональный исследовательский ветеринарный институт, Новочеркасск, 346406 Россия

⁴ Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, 344038 Россия

⁵ Институт элементоорганических соединений имени А. Н. Несмеянова Российской академии наук,
Москва, 119334 Россия

⁶ Высший химический колледж Российской академии наук, Российский химико-технологический университет
имени Д. И. Менделеева, Москва, 125047 Россия

*e-mail: natvi2004@mail.ru

Поступило в редакцию 21 марта 2023 г.

После доработки 4 апреля 2023 г.

Принято к печати 7 апреля 2023 г.

Впервые получены карбоксилаты Cu(II), Ni(II), Zn(II), Co(II), Fe(II), Mn(II), содержащие фармакофорный гликольурильный фрагмент. Предполагаемое строение комплексов установлено с применением элементного анализа, спектральных методов, магнетохимии. Структура одного из комплексов меди(II) доказана методом рентгеноструктурного анализа. Изучена антибактериальная и фунгицидная активность полученных соединений. Показано, что исходные кислоты неактивны, тогда как некоторые комплексы проявляют антибактериальную активность.

Ключевые слова: карбоксилаты, гликольурил, металлокомплекс, магнетохимия, биологическая активность

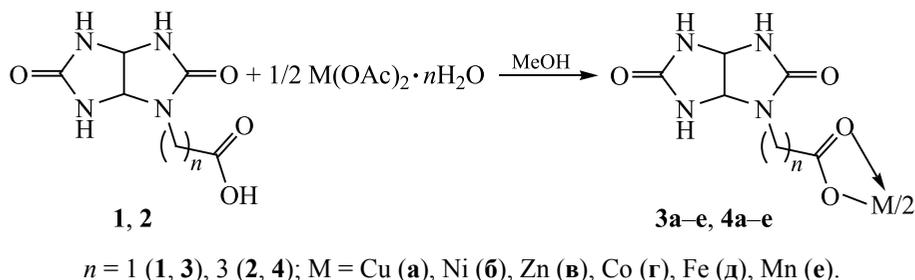
DOI: 10.31857/S0044460X23040121, **EDN:** AVNFXB

Карбоксилаты металлов занимают важное место в современной координационной и бионеорганической химии благодаря наличию у них ряда практически полезных свойств – каталитических [1, 2], магнитных [3–7], фотоактивных [8–10], кроме того, они проявляют биологически активные свойства [11]. Многие карбоксилаты используются как прекурсоры для получения металлорганических полимеров, которые, в свою очередь, являются составными блоками металлорганических каркасных структур [12, 13].

В настоящей работе в качестве лиганда выбраны кислоты, содержащие гликольурильный фрагмент, поскольку подобные производные широко применяются в качестве биологически активных агентов [14–17]. Несмотря на то, что карбоксилаты металлов изучены довольно подробно, данные о карбоксилатах, содержащих гликольурильный фрагмент, практически отсутствуют.

Синтез исходных лигандных систем **1**, **2** осуществляли по известной реакции α -уреидоалкилирования уреидокислот 4,5-дигидроксиимидазоли-

Схема 1.



дин-2-оном [18, 19]. В спектрах ЯМР лигандов **1**, **2** присутствуют сигналы метиленовых групп CH_2 в области 1.67–4.00 м. д. и групп CH при 5.19–5.29 м. д. Сигналы NH протонов проявляются в области 7.24–7.50 м. д., сигналы карбоксильной группы регистрируются при 12.06–12.72 м. д. В ИК спектрах соединений **1**, **2** наблюдаются уширенные полосы поглощения в области 2500–3250 cm^{-1} , отнесенные нами к валентным колебаниям групп NH и OH , связанных водородной связью. В области 1640–1700 cm^{-1} наблюдаются высокоинтенсивные валентные асимметричные сигналы карбонильных групп. В области 1500 cm^{-1} регистрируются сигналы средней интенсивности симметричных колебаний COO -фрагмента.

При взаимодействии кислот **1**, **2** с ацетатами Cu(II) , Ni(II) , Zn(II) , Co(II) , Fe(II) , Mn(II) в метаноле были выделены, согласно данным элементного анализа, комплексные соединения состава ML_2 , где L – монодепротонированная форма лиганда. Синтез соединений **3**, **4** проводили в соответствии со схемой 1.

Строение комплексов **3**, **4** было установлено на основании данных ИК спектроскопии. В ИК спектрах комплексов **3**, **4** наблюдаются следующие особенности: сохранение полос валентных колебаний NH -групп в области 3084–3240 cm^{-1} и исчезновение колебаний OH -групп карбоксильного фрагмента в области 2520–3048 cm^{-1} .

В спектрах ЯМР ^1H комплексов Zn(II) **3в**, **4в** по сравнению со спектрами исходных кислот исчезают сигналы протонов OH -групп в области 12.07–12.72 м. д., а сигналы протонов групп CH_2 и NH смещаются в область более слабого поля (1.65–3.97 и 7.04–7.16 м. д. соответственно). Протоны CH -групп резонируют в области 5.20–5.31 м. д.

Комплексы Cu(II) **3а**, **4а** также имеют состав ML_2 . Строение комплекса **3а** ($n = 1$) было однозначно установлено методом РСА. По данным рентгеноструктурного исследования (табл. 1, рис. 1), комплекс **3а** кристаллизуется в моноклинной пространственной группе $P2_1/c$ с двумя сольватными молекулами воды на одну молекулу комплекса, занимающую в кристалле частное по-

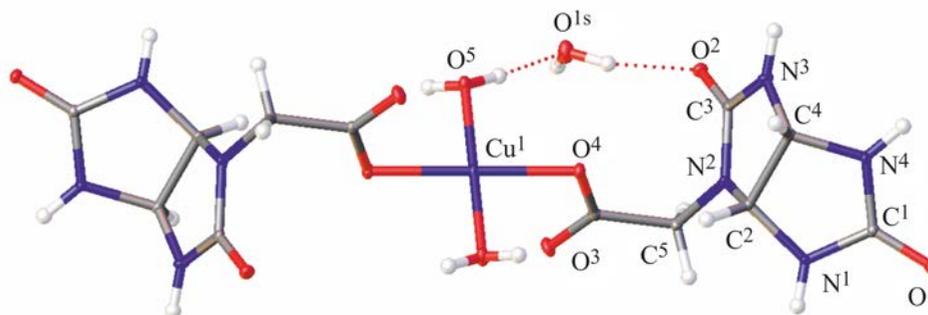


Рис. 1. Общий вид молекулы комплекса **3а**. Атомы представлены в виде эллипсоидов тепловых колебаний (p 50%), нумерация приведена для симметрически независимой части молекулы. Штриховыми линиями показаны водородные связи.

Таблица 1. Кристаллографические параметры и детали уточнения структуры **3a**

Параметр	Значение
Брутто формула	C ₁₂ H ₂₂ CuN ₈ O ₁₂
<i>M</i>	533.91
<i>T</i> , К	100
Сингония	Моноклинная
Пространственная группа	<i>P2</i> ₁ / <i>c</i>
<i>Z</i>	2
<i>a</i> , Å	9.2310(2)
<i>b</i> , Å	7.9326(2)
<i>c</i> , Å	13.5085(3)
α , град	90
β , град	91.8420(10)
γ , град	90
<i>V</i> , Å ³	988.66(4)
<i>d</i> _{выч.} , г/см ³	1.794
μ , см ⁻¹	11.89
<i>F</i> (000)	550
2 θ _{max} , град	58
Число измеренных отражений	12695
Число независимых отражений	2630
Число отражений с <i>I</i> > 3 σ (<i>I</i>)	2381
Количество уточняемых параметров	151
<i>R</i> ₁	0.0282
<i>wR</i> ₂	0.0794
GOOF	1.100
Остаточная электронная плотность (max/min), e/Å ³	0.480/–0.381

ложение (центр инверсии). Катион меди(II) находится в искаженном плоскоквадратном координационном окружении, образованном двумя атомами кислорода двух лигандов L [Cu–O 1.9307(11) Å] и двумя симметрически-эквивалентными молекулами воды [Cu–O 1.9500(12) Å] с углом O⁴Cu¹O⁵, равным 91.43(5)°. Пятичленные циклы в лиганде L принимают конформацию *конверт* с выходом атома C⁴ или C² из среднеквадратичной плоскости остальных атомов цикла на 0.213(3) или 0.263(3) Å соответственно. Угол между этими двумя плоскостями, которые повернуты на 42.06(8) и 77.37(8)° относительно плоского фрагмента C⁵C⁶O₂, составляет 54.36(8)°.

Водородные связи N–H \cdots O между аминогруппами и карбоксильными/карбонильными атомами кислорода лигандов L [N \cdots O 2.8056(16)–2.8829(17) Å, NHO 166.0(1)–173.85(10)°]

объединяют молекулы комплекса в водородно-связанные гофрированные слои параллельно кристаллографической плоскости *a0c*. Эти слои дополнительно стабилизированы водородными связями, которые образуют координированные к иону металла молекулы воды (рис. 2) с атомами кислорода групп C=O лигандов L [O \cdots O 2.7198(17) Å, OHO 169.36(10)°] и сольватными молекулами воды [O \cdots O 2.6255(18) Å, OHO 175.23(10)°]. Последние, в свою очередь, связывают карбонильную [O \cdots O 2.7546(17) Å, OHO 165.47(9)°] и карбоксильную [O \cdots O 2.8518(18) Å, OHO 169.05(10)°] группы лигандов L, принадлежащих молекулам комплекса **3a** из соседних водородно-связанных слоев.

Хорошо известно, что карбоксилаты меди имеют, как правило, димерное строение подобное «китайскому фонарику». В нашем случае получены мономерные металлокомплексы. Вероятно, это об-

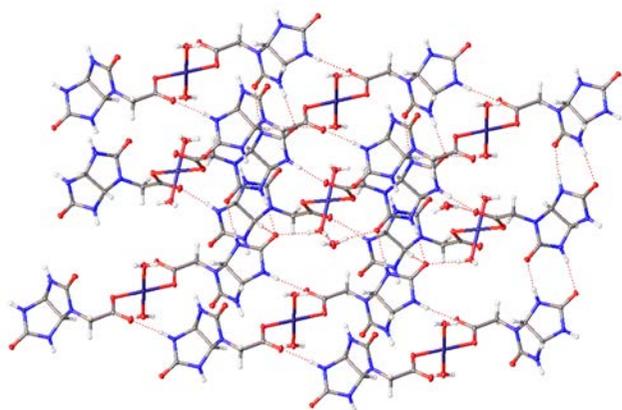


Рис. 2. Фрагмент кристаллической упаковки комплекса **3а**, иллюстрирующий образование водородно-связанного слоя.

условлено наличием объемного гликольурильного фрагмента, который препятствует димеризации. Подтверждением этого довода служат магнетохимические исследования. Так, величины магнит-

ных моментов комплексов Cu(II) лежат в пределах 1.78–1.8 М. Б. и практически не изменяются при понижении температуры до 77 К, что свидетельствует об отсутствии обменных взаимодействий. Комплексы Ni(II) **3б**, **4б** также оказались парамагнитны, что исключает низкоспиновое состояние иона никеля и свидетельствует о неплоской структуре хелатного узла. Величины их эффективных магнитных моментов лежат в интервале 3.5–3.6 М. Б. и соответствуют тетраэдрической конфигурации центрального иона. Изучение парамагнитных комплексов Co(II) **3г**, **4г** позволило получить следующие данные: величины $\mu_{\text{эф}}$ лежат в интервале 4.8–5.0 М. Б., что, с учетом спинорбитальной составляющей, говорит о тетраэдрической высокоспиновой структуре комплексов. Величины $\mu_{\text{эф}}$ комплексов Fe(II) **3д**, **4д** составляют 5.21–5.27 М. Б. с учетом спинорбитального взаимодействия, а для комплексов Mn(II) **3е**, **4е** – лежат в области 6.00 и 6.10 М. Б. Такие значения $\mu_{\text{эф}}$, вероятно, соответствуют высокоспиновому характеру их и, предпо-

Таблица 2. Биологическая активность соединений **3**, **4**

Соединение	Рона задержки роста <i>Penicillium italicum</i> , мм ^а	с, мкг/мл ^б	Зона задержки роста, мм ^в	
			<i>St. aureus</i>	<i>E. coli</i>
1	0	>500	0	0
3а	0	15.6±0.12	7±0.04	12±0.11
3б	0	>500	0	0
3в	0	>500	7±0.06	7±0.05
3г	0	31.25±0.28	15±0.14	8±0.06
3д	0	>500	0	0
3е	0	>500	0	7±0.06
2	0	>500	0	0
4а	10±0.11	>500	13±0.12	8±0.08
4б	0	125±1.12	7±0.08	8±0.06
4в	10±0.09	>500	12±0.10	8±0.07
4г	0	250±2.46	7±0.06	7±0.04
4д	0	500±4.8	7±0.05	10±0.08
4е	0	>500	7±0.08	14±0.11
Ципрофлоксацин	–	–	36±0.34	29±0.22
Фуразолидон	–	–	21±0.19	17±0.14
Хлорохин	–	15.6±0.152	–	–
Фундазол	42±0.42	–	–	–
Толтразурил	–	62.5±0.58	–	–

^а Фунгистатическая активность.

^б Протистоцидная активность в отношении *Colpoda steinii*.

^в Бактериостатическая активность.

ложительно, тетраэдрической конфигурации координационного узла [конфигурация d^5 для Mn(II) и d^6 для Fe(II)] [20].

Как указывалось ранее, соединения, включающие гликольурильный фрагмент, обладают биологической активностью. Полученные соединения были испытаны на антибактериальную, протистоцидную и фунгистатическую активность (табл. 2). Как видно из таблицы, протистоцидная активность высокого уровня выявлена у соединений **3а**, **г**, умеренный уровень – у соединения **4б**, и незначительный – у комплексов **4г**, **д**. Фунгистатическую активность проявили комплексы **4а**, **в** (23% от уровня активности фундазола). Бактериостатическую активность в отношении грамположительных бактерий обнаружили у 8 соединений: **3а**, **в** и **4в–е**, у соединений **3г** и **4в** активность составила 41% от уровня ципрофлоксацина. В отношении грамотрицательных бактерий активность проявили соединения **3а**, **в–е** и **4а–е**, причем у комплексов **3а**, **4д**, **е** активность составила 70, 58, и 82% соответственно от уровня активности препарата сравнения фуразолидона.

Таким образом, получены новые комплексные соединения Cu(II), Ni(II), Zn(II), Co(II), Fe(II), Mn(II) с кислотами, содержащими гликольурильный фрагмент, состава 1:2. изучено их строение и биологическая активность. Ряд полученных соединений проявляет выраженную антибактериальную активность.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Элементный анализ выполнен на приборе PerkinElmer 240С. Спектры ЯМР ^1H зарегистрированы на спектрометрах Bruker DPX-250, Bruker DRX-600 при 25°C, в качестве растворителя использовали ДМСО- d_6 . ИК спектры сняты на приборе Varian 3100 FT-IR. Магнитная восприимчивость определена относительным методом Фарадея в температурном интервале 78–300 К на установке, изготовленной на кафедре физической и коллоидной химии химического факультета Южного федерального университета. В качестве эталона для калибровки использован $\text{Hg}[\text{Co}(\text{CNS})_4]$.

Рентгеноструктурное исследование монокристаллов комплекса **3а** проведено на дифрактометре Bruker Quest D8 (MoK_α -излучение, графитовый

монохроматор, ω -сканирование) при 100 К. Структура расшифрована с использованием программы ShelXT [21] и уточнена полноматричным МНК с помощью программы Olex2 [22] в анизотропном приближении по F_{hkl}^2 . Положения атомов водорода NH-групп и молекул воды локализованы из разностного Фурье-синтеза, положения остальных атомов рассчитаны геометрически, и все они уточнены в изотропном приближении по модели *наездника*. Основные кристаллографические данные комплекса **3а** представлены в табл. 1. Полный набор рентгеноструктурных параметров депонирован в Кембриджском банке структурных данных (CCDC 2243337).

Методика испытаний на биологическую активность в модификации Северо-Кавказского зонального исследовательского ветеринарного института описана в работах [23, 24]. Изучение фунгистатической активности новых веществ проводили на культуре грибов рода *Penicillium*, вида *Penicillium italicum* Wehmer (1894), референтный штамм ВКМ F-1279. Препаратом сравнения служил фундазол. Протистоцидную активность изучали на простейших вида *Colpoda steinii* (полевой изолят) (коллекция лаборатории паразитологии Северо-Кавказского зонального исследовательского ветеринарного института), методом серийных разведений по методике [25]. Препараты сравнения – толтразурил и хлорохин (делагил).

Исходные кислоты **1**, **2** получены по методике, описанной в работах [18, 19].

Общая методика получения комплексов **3**, **4**.

К горячему раствору 0.25 ммоль соответствующей кислоты **1** или **2** в 3 мл метанола добавляли раствор 0.125 ммоль ацетата соответствующего металла в 4 мл метанола. Полученную суспензию кипятили 2 ч. Выпавший осадок отфильтровывали, промывали горячим метанолом и сушили в вакууме.

Комплекс меди(II) (3а). Выход 55%, голубой аморфный порошок, т. пл. 231°C. ИК спектр, ν , см^{-1} : 458, 493, 570, 633, 679, 712, 774, 881, 956, 1105, 1136, 1253, 1329, 1353, 1383, 1426, 1495, 1581, 1681, 1697, 1711, 3220, 3420. Найдено, %: С 31.10; Н 3.20; Cu 13.80; N 24.30. $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{CuN}_8\text{O}_8$. Вычислено, %: С 31.19; Н 3.03; Cu 13.76; N 24.27.

Комплекс никеля(II) (3б). Выход 62%, светло-зеленый аморфный порошок, т. пл. >250°C. ИК

спектр, ν , см^{-1} : 450, 447, 570, 603, 728, 767, 820, 885, 961, 1040, 1101, 1134, 1249, 1321, 1395, 1427, 1493, 1597, 1730, 3240, 3300. Найдено, %: C 31.20; H 3.70; Ni 12.70; N 24.20. $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_8\text{NiO}_8$. Вычислено, %: C 31.53; H 3.65; Ni 12.85; N 24.52.

Комплекс цинка(II) (3в). Выход 70%, светло-желтый аморфный порошок, т. пл. 249°C . ИК спектр, ν , см^{-1} : 474, 525, 562, 601, 727, 768, 819, 885, 989, 1099, 1134, 1231, 1250, 1305, 1341, 1398, 1494, 1594, 1659, 1681, 1710, 3241, 3310. Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6), δ , м. д. (J , Гц): 3.58 д (1H, CH_2 , J 17.5), 3.93 д (1H, CH_2 , J 17.5), 5.26 д (1H, CH, J 7.5), 5.31 д (1H, CH, J 7.5), 7.09 с (1H, NH), 7.16 с (1H, NH), 7.28 с (1H, NH). Найдено, %: C 31.12; H 3.13; N 24.22; Zn 14.03. $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_8\text{O}_8\text{Zn}$. Вычислено, %: C 31.08; H 3.08; N 24.17; Zn 14.11.

Комплекс кобальта(II) (3г). Выход 57%, светло-розовый аморфный порошок, т. пл. $>250^\circ\text{C}$. ИК спектр, ν , см^{-1} : 459, 502, 531, 600, 727, 767, 819, 885, 960, 1041, 1100, 1134, 1250, 1323, 1396, 1427, 1492, 1591, 1672, 1731, 3240, 3307. Найдено, %: C 31.23; H 3.21; Co 12.84; N 24.31. $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{CoN}_8\text{O}_8$. Вычислено, %: C 31.15; H 3.06; Co 12.89; N 24.51.

Комплекс железа(II) (3д). Выход 53%, светло-коричневый аморфный порошок, т. пл. $>250^\circ\text{C}$. ИК спектр, ν , см^{-1} : 456, 505, 569, 606, 657, 694, 731, 761, 818, 883, 960, 1030, 1101, 1247, 1321, 1390, 1433, 1481, 1566, 1673, 1728, 3239, 3300. Найдено, %: C 31.83; H 3.22; Fe 12.39; N 24.57. $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{FeN}_8\text{O}_8$. Вычислено, %: C 31.73; H 3.08; Fe 12.31; N 24.68.

Комплекс марганца(II) (3е). Выход 64%, светло-желтый аморфный порошок, т. пл. $>250^\circ\text{C}$. ИК спектр, ν , см^{-1} : 417, 486, 566, 614, 670, 701, 447, 777, 813, 888, 957, 1000, 1053, 1115, 1143, 1254, 1300, 1319, 1386, 1414, 1493, 1591, 1681, 1735, 3211, 3260. Найдено, %: C 31.80; H 3.10; Mn 12.30; N 24.40. $\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{MnN}_8\text{O}_8$. Вычислено, %: C 31.79; H 3.04; Mn 12.13; N 24.72.

Комплекс меди(II) (4а). Выход 62%, светло-голубой аморфный порошок, т. пл. 225°C . ИК спектр, ν , см^{-1} : 493, 539, 592, 688, 735, 884, 993, 1002, 1133, 1248, 1322, 1357, 1430, 1490, 1596, 1676, 1730, 3262, 3310. Найдено, %: C 30.91; H 4.69; Cu 13.80; N 23.88. $\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{CuN}_8\text{O}_8$. Вычислено, %: C 30.69; H 4.68; Cu 13.53; N 23.85.

Комплекс никеля(II) (4б). Выход 65%, светло-зеленый аморфный порошок, т. пл. $>250^\circ\text{C}$. ИК

спектр, ν , см^{-1} : 438, 493, 524, 585, 661, 731, 763, 885, 1104, 1129, 1248, 1349, 1412, 1494, 1563, 1671, 1728, 3251, 3303. Найдено, %: C 31.21; H 4.70; Ni 12.80; N 23.91. $\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{NiN}_8\text{O}_8$. Вычислено, %: C 31.10; H 4.73; Ni 12.68; N 24.09.

Комплекс цинка(II) (4в). Выход 61%, светло-желтый аморфный порошок, т. пл. 238°C . ИК спектр, ν , см^{-1} : 441, 495, 520, 612, 661, 736, 755, 886, 1005, 1066, 1115, 1250, 1325, 1376, 1422, 1456, 1504, 1536, 1694, 1740, 3219, 3250. Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6), δ , м. д. (J , Гц): 1.65–1.74 м (2H, CCH_2C), 2.09 т (2H, CH_2CO , J 7.5), 2.94–3.02 м (1H, NCH_2), 3.16–3.24 м (1H, NCH_2), 5.20 д (1H, CH, J 7.5), 5.28 д (1H, CH, J 7.5), 7.04 с (1H, NH), 7.06 с (1H, NH), 7.28 с (1H, NH). Найдено, %: C 30.62; H 4.70; Zn 13.80; N 23.90. $\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{ZnN}_8\text{O}_8$. Вычислено, %: C 30.57; H 4.67; Zn 13.86; N 23.75.

Комплекс кобальта(II) (4г). Выход 53%, светло-розовый аморфный порошок, т. пл. $>250^\circ\text{C}$. ИК спектр, ν , см^{-1} : 407, 457, 496, 536, 585, 635, 670, 761, 790, 886, 1001, 1052, 1108, 1137, 1250, 1300, 1345, 1407, 1428, 1497, 1549, 1671, 1731, 3206, 3315. Найдено, %: C 31.10; H 4.60; Co 12.70; N 24.00. $\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{CoN}_8\text{O}_8$. Вычислено, %: C 30.99; H 4.73; Co 12.67; N 24.08

Комплекс железа(II) (4д). Выход 53%, светло-коричневый аморфный порошок, т. пл. $>250^\circ\text{C}$. ИК спектр, ν , см^{-1} : 442, 495, 621, 743, 762, 795, 884, 910, 1099, 1100, 1246, 1300, 1348, 1424, 1487, 1549, 1668, 1735, 3252, 3275. Найдено, %: C 31.21; H 4.70; Fe 12.80; N 23.91. $\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{FeN}_8\text{O}_8$. Вычислено, %: C 31.19; H 4.76; Fe 12.09; N 24.24.

Комплекс марганца(II) (4е). Выход 64%, светло-желтый аморфный порошок, т. пл. 248°C . ИК спектр, ν , см^{-1} : 432, 499, 555, 582, 636, 731, 762, 795, 884, 910, 1049, 1101, 1128, 1246, 1348, 1408, 1495, 1554, 1690, 1737, 3243, 3300. Найдено, %: C 31.50; H 4.70; Mn 12.50; N 24.50. $\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{MnN}_8\text{O}_8$. Вычислено, %: C 31.26; H 4.77; Mn 11.91; N 24.29.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Баранов Владимир Владимирович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4818-7807>

Викрищук Наталья Игоревна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7263-4262>

Липатов Егор Семенович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4704-5244>

Святогорова Александра Евгеньевна, ORCID:
<https://orcid.org/0000-0003-4233-1740>

БЛАГОДАРНОСТЬ

ИК и ЯМР спектры регистрировали в Центре коллективного пользования «Молекулярная спектроскопия» и Учебно-научной лаборатории резонансной спектроскопии кафедры химии природных и высокомолекулярных соединений Южного федерального университета.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Рентгенодифракционные исследования проведены с использованием научного оборудования Центра исследования строения молекул Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (№ 075-03-2023-642).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wong V.L., Vummaleti S.C., Cavallo L., White A.P., Nolan S.P., Hii K.K. // *Chem. Eur. J.* 2016. N 22. P. 13320. doi 10.1002/chem.201601762
2. Yamaguchi K.I., Koshino S., Akagi F., Suzuki M., Uehara A., Suzuki S. // *J. Am. Chem. Soc.* 1997. Vol. 119. N 24. P. 5752. doi 10.1021/ja963982+
3. Peskov M.V., Miao X.H., Heryadi D., Eppinger J., Schwingenschlögl U. // *J. Phys. Chem. (C)*. 2013. Vol. 117. N 10. P. 5462. doi 10.1021/jp400172s
4. Chen X., Cui A.-L., Liu C.-M., Kou H.-Z. // *Trans. Met. Chem.* 2013. Vol. 38. P. 683.
5. Kalinnikov V.T., Rakitin Yu.V., Hatfield W.E. // *Inorg. Chim. Acta.* 1978. Vol. 31. P. 1. doi 10.1016/S0020-1693(00)94971-5
6. Zeng M., Chen X., Kou H.-Z. // *Magnetochemistry*. 2021. Vol. 7. N 7. P. 105. doi 10.3390/magnetochemistry7070105
7. Попов Л.Д., Бородкин С.А., Кискин М.А., Павлов А.А., Ефимов Н.Н., Уголкина Е.А., Минин В.В., Щербачев И.Н. // *Коорд. хим.* 2022. Т. 48. № 2. С. 1; Popov L.D., Borodkin S.A., Kiskin M.A., Pavlov A.A., Efimov N.N., Ugolokova E.A., Minin V.V., Shcherbakov I.N. // *Russ. J. Coord. Chem.* Vol. 48. N 2. P. 75. doi 10.31857/S0132344X22020062
8. Utochnikova V., Kalyakina A., Kuzmina N. // *Inorg. Chem. Comm.* 2012. N 19. P. 4. doi 10.1016/j.inoche.2011.11.009
9. Kalyakina A., Utochnikova V., Bushmarinov I., Ananyev I., Eremenko I., Volz D., Ronicke F., Schepers U. // *Chem. Eur. J.* 2015. Vol. 21. N 49. P. 17921. doi 10.1002/chem.201501816
10. Калиновская И.В., Попов Л.Д., Задорожная А.Н. // *ЖПХ.* 2022. Т. 95. Вып. 4. С. 468; Kalinovskaya I.V., Popov L.D., Zadorozhnaya A.N. // *Russ. J. Appl. Chem.* 2022. Vol. 95. N 4. P. 529. doi 10.1134/S1070427222040085
11. Rogala P., Czerwonka G., Michalkiewicz S., Hodorowicz M., Barszcz B., Jabłońska-Wawrzycka A. // *Chem. Biodivers.* 2019. Vol. 16. N 11. P. 1 doi 10.1002/cbdv.201900403
12. Liu T.-F., Liu J., Tian C., Cao M., Lin Z., Cao R. // *Inorg. Chem.* 2011. Vol. 50. N 6. P. 2264. doi 10.1021/ic1019229
13. Rao C.N.R., Natarajan S., Vaidhyanathan R. // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2004. Vol. 43. P. 1466. doi 10.1002/anie.200300588
14. Машковский М.Д. Лекарственные средства. М.: Новая волна, 2016. Т. 1. С. 89.
15. Кравченко А.Н., Баранов В.В., Аникина Л.В., Вихарев Ю.Б., Бушмаринов И.С., Нелюбина Ю.В. // *Биоорг. хим.* 2012. Т. 38. Вып. 5. С. 621; Kravchenko A.N., Baranov V.V., Anikina L.V., Vikharev Yu.B., Bushmarinov I.S., Nelyubina Yu.V. // *Russ. J. Bioorg. Chem.* 2012. Vol. 38. N 5. P. 550. doi 10.1134/S106816201205007X
16. Кравченко А.Н., Баранов В.В., Газиева Г.А. // *Усп. хим.* 2018. Т. 87. Вып. 1. С. 89; Kravchenko A.N., Baranov V.V., Gazieva G.A. // *Russ. Chem. Rev.* 2018. Vol. 87. N 1. P. 89. doi 10.1070/RCR4763
17. Anikina L.V., Vikharev Yu.B., Baranov V.V., Malyshchev O.R., Kravchenko A.N. // *Mendeleev Commun.* 2018. Vol. 28. N 3. P. 317. doi 10.1016/j.mencom.2018.05.030
18. Кравченко А.Н., Максарева Е.Ю., Беляков П.А., Сигачев А.С., Чегаев К.Ю., Лысенко К.А., Лебедев О.В., Махова Н.Н. // *Изв. АН. Сер. хим.* 2003. Т. 52. Вып. 1. С. 180; Kravchenko A.N., Maksareva E.Yu., Belyakov P.A., Sigachev A.S., Chegaev K.Yu., Lyssenko K.A., Lebedev O.V., Makhova N.N. // *Russ. Chem. Bull.* 2003. Vol. 52. P. 192. doi 10.1023/A:1022473004714
19. Кравченко А.Н., Лысенко К.А., Чикунов И.Е., Беляков П.А., Ильин М.М., Баранов В.В., Нелюбина Ю.В., Даванков В.А., Пивина Т.С., Махова Н.Н., Антипин М.Ю. // *Изв. АН. Сер. хим.* 2009. Т. 58.

- Вып. 2. С. 390; Kravchenko A.N., Lyssenko K.A., Chikunov I.E., Belyakov P.A., Il'in M.M., Baranov V.V., Nelyubina Yu.V., Davankov V.A., Pivina T.S., Makhova N.N., Antipin M.Yu. // Russ. Chem. Bull. 2009. Vol. 58. P. 395. doi 10.1007/s11172-010-0022-6.
20. Figgis B.N. // Nature. 1958. Vol. 182. P. 1568. doi 10.1038/1821568a0
21. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. (A). 2008. Vol. 64. P. 112. doi 10.1107/S0108767307043930.
22. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J., Howard J.A.K., Puschmann H. // J. Appl. Cryst. 2009. Vol. 42. P. 339. doi 10.1107/S0021889808042726
23. Burlov A.S., Vlasenko V.G., Koshchienko Yu.V., Makarova N.I., Zubenko A.A., Drobin Yu.D., Fetisov L.N., Kolodina A.A., Zubavichus Ya.V., Trigub A.L., Levchenkov S.I., Garnovskii D.A. // Polyhedron. 2018. Vol. 144. P. 249. doi 10.1016/j.poly.2018.01.020
24. Burlov A.S., Vlasenko V.G., Koshchienko Yu.V., Makarova N.N., Zubenko A.A., Drobin Yu.D., Borodkin G.S., Metelitsa A.V., Zubavichus Y.V., Garnovskii D.A. // Polyhedron. 2018. Vol. 154. P. 65. doi 10.1016/j.poly.2018.07.034
25. Методы экспериментальной химиотерапии // Под ред. Г.Н. Першина. М.: Медицина, 1971. 502 с.

Synthesis, Structure, and Biological Activity of New Metal Carboxylate Complexes Containing a Glycoluril Fragment

V. V. Baranov^a, N. I. Vikrishchuk^{b,*}, A. A. Zubenko^c, I. A. Estrin^d,
E. S. Lipatov^{e,f}, and A. E. Svyatogorova^c

^a N. D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991 Russia

^b Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090 Russia

^c North-Caucasian Zonal Research Veterinary Institute, Novocherkassk, 346406 Russia

^d Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, 344038 Russia

^e A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119334 Russia

^f Higher Chemical College of the Russian Academy of Sciences,

D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow, 125047 Russia

*e-mail: natvi2004@mail.ru

Received March 21, 2023; revised April 4, 2023; accepted April 7, 2023

Cu(II), Ni(II), Zn(II), Co(II), Fe(II), Mn(II) carboxylates containing a pharmacophoric glycoluril fragment were obtained for the first time. The proposed structure of the complexes was established using elemental analysis, spectral methods, and magnetochemistry. Structure of one of the copper(II) complexes was proved by X-ray diffraction analysis. Antibacterial and fungicidal activity of all the compounds was studied. It was shown that the starting acids are inactive, while some complexes exhibit antibacterial activity.

Keywords: carboxylate, glycoluril, metal complex, magnetochemistry, biological activity