

УДК 546.7

КОМПЛЕКСЫ ЦИМАНТРЕНАТОВ ЦИНКА, НИКЕЛЯ(II) И КОБАЛЬТА(II) С ПИРАЗОЛОМ И 3,5-ДИМЕТИЛПИРАЗОЛОМ: СИНТЕЗ И ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ

© 2022 г. М. А. Уварова¹, *, С. Е. Нефедов¹

¹Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия

*e-mail: yak_marin@mail.ru

Поступила в редакцию 10.03.2022 г.

После доработки 18.03.2022 г.

Принята к публикации 21.03.2022 г.

Показано, что взаимодействие цимантренатов $M[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(MeOH)_4$ ($M = Zn, Co(II), Ni(II)$) с пиразолом (HPz) приводит к замене лабильных молекул метилового спирта на гетероциклический лиганд, образуя моноядерные комплексы $Zn[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(HPz)_2$ (I), $Ni[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(HPz)_4$ (II) и $Co[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(HPz)_4$ (III). Аналогичная реакция цимантрената кобальта с более основным и стерически объемным 3,5-диметилпиразолом (HDmpz) приводит к образованию комплекса $Co[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(HDmpz)_2$ (IV). Соединения I–IV охарактеризованы методами РСА (CCDC № 2157671 (I), 2157672 (II), 2157669 (III), 2157670 (IV)), ИК-спектроскопии и элементного анализа.

Ключевые слова: цимантренаты, рентгеноструктурный анализ, кобальт, никель, цинк, пиразол, гетерометаллические комплексы

DOI: 10.31857/S0132344X22090092

Поиск синтетических подходов к получению гетерометаллических соединений продолжает оставаться актуальной задачей современной координационной химии [1–3]. Комбинирование фрагментов с различной природой металлоцентров позволяет создавать материалы, обладающие уникальными физико-химическими свойствами [4–10]. Существует несколько подходов к сборке гетерометаллических комплексов, одним из которых является получение карбоксилатов переходных металлов, содержащих атом гетерометалла в карбоксилат-анионе (циментрен, хромоцен, ферроцен) [11–20]. Также немалую роль в сборке гетерометаллических соединений играет дополнительный лиганд, например пиразол.

Пиразол при взаимодействии с карбоксилатами переходных металлов может координироваться монодентатно или депротонироваться и формировать пиразолат-мостиковые комплексы вплоть до координационных полимеров [21–28]. Особенности реакции, состав и строение образующихся продуктов зависят от природы переходного металла, заместителя R в карбоксилат-анионе и заместителей в молекуле пиразола [29–33]. В частности, реакции цимантренатов марганца(II) с пиразолом и 3,5-диметилпиразолом не приводят к его депротонированию [19–30], а карбоксилаты кобальта(II)

и цинка (пивалаты, ацетаты, бензоаты) дают пиразолат-мостиковые комплексы [34–36].

Ранее были получены комплексы цимантренатов кобальта, цинка, никеля и марганца с четырьмя координированными молекулами метанола $M[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(MeOH)_4$ ($M = Zn, Co(II), Ni(II), Mn(II)$) [37–40]. В настоящей работе сообщается о синтезе и строении продуктов реакций цимантренатов цинка, никеля и кобальта с пиразолом и 3,5-диметилпиразолом.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали растворители: метанол, ацетонитрил, хлороформ, гептан (Химмед), пиразол и 3,5-диметилпиразол фирмы ACROS. Исходные комплексы $M[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(MeOH)_4$ ($M = Zn, Co(II), Ni(II)$) синтезировали по методикам [37–40], цимантрен-карбоновую кислоту синтезировали согласно методике, приведенной в [41].

Синтез $Zn[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(HPz)_2$ (I). К раствору 0.1 г (0.15 ммоль) $Zn[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(MeOH)_4$ в 10 мл хлороформа добавляли 0.04 г (0.6 ммоль) пиразола и кипятили 1 ч. К полученному раствору добавляли 2 мл гексана и оставляли в холодильнике (5°C) на сутки. Образовавшие

еся белые кристаллы отделяли от маточного раствора декантацией и сушили в токе аргона. Выход 0.1 г (80%).

Найдено, %: C 41.25; H 2.48; N 8.12.

Для $C_{24}H_{16}Mn_2N_4O_{10}Zn$

вычислено, %: C 41.43; H 2.32; N 8.05.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 2961 сл, 2854 сл, 2021 с, 1928 с., 1580 ср, 1482 ср, 1390 с, 1362 с, 1259 с, 1189 ср, 1067 с, 1013 с, 954 сл, 864 сл, 793 с, 746 с, 703 сл, 665 ср, 629 с, 538 ср, 464 ср, 430 сл, 421 сл, 411 ср.

Синтез $Ni[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(HPz)_4$ (II). К раствору 0.1 г (0.15 ммоль) $Ni[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(MeOH)_4$ в 10 мл хлороформа добавляли 0.04 г (0.6 ммоль) пиразола и кипятили 1 ч. К полученному раствору добавляли 5 мл гептана и оставляли в холодильнике ($5^\circ C$) на сутки. Образовавшиеся кристаллы салатового цвета отделяли от маточного раствора декантацией и сушили в токе аргона. Выход 76% (0.095 г).

Найдено, %: C 43.35; H 2.98; N 13.18.

Для $C_{30}H_{24}N_8O_{10}Mn_2Ni$

вычислено, %: C 43.66; H 2.93; N 13.58.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3134 сл, 2893 сл, 2013 с, 1924 с, 1570 ср, 1536 ср, 1474 с, 1390 с, 1355 с, 1264 ср, 1211 сл, 1167 сл, 1136 ср, 1047 с, 1059 с, 1028 ср, 934 ср, 854 сл, 840 ср, 815 ср, 755 с, 663 ср, 630 с, 604 с, 540 с, 488 ср, 459 ср, 441 сл.

Синтез $Co[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(HPz)_4$ (III). К раствору 0.1 г (0.15 ммоль) $Co[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(MeOH)_4$ в 10 мл хлороформа добавляли 0.04 г (0.6 ммоль) пиразола и кипятили 1 ч. К полученному раствору добавляли 5 мл гептана и оставляли при комнатной температуре на сутки. Образовавшиеся фиолетовые кристаллы отделяли от маточного раствора декантацией и сушили в токе аргона. Выход 89% (0.11 г).

Найдено, %: C 43.98; H 2.95; N 13.77.

Для $C_{30}H_{24}N_8O_{10}Mn_2Co$

вычислено, %: C 43.66; H 2.93; N 13.58.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3210 сл, 2965 сл, 2022 с, 1930 с, 1588 сл, 1563 ср, 1483 ср, 1416 сл, 1393 ср, 1355 с, 1298 сл, 1258 с, 1159 ср, 1124 с, 1054 ср, 1024 с, 988 сл, 910 сл, 836 сл, 826 ср, 797 с, 717 сл, 665 ср, 625 с, 565 ср, 531 с, 475 ср, 428 сл.

Синтез $Co[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(HDmpz)_2$ (IV). К раствору 0.1 г (0.15 ммоль) $Co[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(MeOH)_4$ в 10 мл хлороформа добавляли 0.028 г (0.3 ммоль) 3,5-диметилпиразола и кипятили 1 ч. К полученному раствору добавляли

5 мл гептана и оставляли при комнатной температуре на сутки. Образовавшиеся кристаллы синего цвета отделяли от маточного раствора декантацией и сушили в токе аргона. Выход 85% (0.095 г).

Найдено, %: C 44.58; H 3.42; N 7.62.

Для $C_{28}H_{24}N_4O_{10}Mn_2Co$

вычислено, %: C 45.12; H 3.25; N 7.51.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3181 сл, 2863 сл, 2017 с, 1932 с, 1919 с, 1553 с, 1536 ср, 1472 ср, 1393 с, 1356 с, 1393 с, 1292 ср, 1193 сл, 1027 с, 1027 с, 930 ср, 815 ср, 792 с, 662 ср, 630 с, 537 с, 509 сл, 449 ср, 418 сл.

Элементный анализ выполняли на автоматическом C,H,N-анализаторе Carlo Erba EA 1108. ИК-спектры соединения регистрировали на ИК-спектрофотометре с Фурье-преобразованием Perkin-Elmer Spectrum 65 методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) в интервале частот 400–4000 cm^{-1} .

Монокристаллы комплексов для проведения РСА извлекали непосредственно из маточного раствора и быстро переносили в ток испаряющегося жидкого азота.

РСА I–IV выполнен по стандартной методике на автоматическом дифрактометре Bruker SMART Apex II, оборудованном CCD-детектором (MoK_α -излучение, $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор, ω -сканирование). Уточнение структур проводили с использованием комплекса программ SHELXTL PLUS (PC версия) [42–46]. Кристаллографические данные и детали уточнения структур I–IV приведены в табл. 1, длины связей и валентные углы – в табл. 2, 3.

Дополнительная кристаллографическая информация для структур I–IV представлена в Кембриджском банке структурных данных (CCDC № 2157671 (I), 2157672 (II), 2157669 (III), 2157670 (IV); <http://www.ccdc.cam.ac.uk/>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Реакция моноядерного комплекса $Zn[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(MeOH)_4$ с избытком пиразола (HPz) при кипячении в хлороформе приводит к образованию моноядерного комплекса $Zn[(OOC_5H_4)Mn(CO)_3]_2(HPz)_2$ (I) (выход 80%).

По данным РСА, в I в результате удаления четырех лабильных молекул метанола, атом цинка оказывается в тетраэдрическом окружении двух атомов кислорода, принадлежащих цимантренат-анионам ($Zn-O$ 1.938(6)–1.971(6) \AA) и двух атомов азота, принадлежащих координированным молекулам пиразола ($Zn-N$ 1.984(7)–2.009(8) \AA) (рис. 1). В кристаллической ячейке молекулы комплекса I оказываются связанными в линейный полимер за счет межмолекулярных водород-

Таблица 1. Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур I–IV

Параметр	Значение			
	I	II	III	IV
Брутто-формула	$C_{24}H_{16}N_4O_{10}ZnMn_2$	$C_{30}H_{24}N_8O_{10}Mn_2Ni$	$C_{30}H_{24}N_8O_{10}Mn_2Co$	$C_{28}H_{24}N_4O_{10}Mn_2Co$
<i>M</i>	695.68	825.16	825.38	745.32
Температура, К	150(2)			
Цвет	Бесцветный	Салатовый	Розовый	Розовый
Сингония	Триклинная			
Пр. группа	$P\bar{1}$			
<i>a</i> , Å	10.212(3)	8.0100(8)	14.394(4)	11.2348(5)
<i>b</i> , Å	12.222(3)	14.2896	15.846(5)	11.4078(5)
<i>c</i> , Å	22.747(6)	15.8650(16)	17.549(8)	13.0979(5)
α , град	98.947(4)	108.285(2)	99.890(6)	97.4780(10)
β , град	99.111(4)	93.491(2)	107.245(6)	103.9410(10)
γ , град	90.153(4)	95.334(2)	111.063(4)	102.8800(10)
<i>V</i> , Å ³	2768.06(120)	1708.9(3)	3389(2)	1557.97(11)
<i>Z</i>	4	2	4	2
ρ (выч.), мг/м ³	1.66918	1.604	1.618	1.589
μ , мм ⁻¹	1.819	1.340	1.286	1.385
<i>F</i> (000)	1392	836	1668	754
Размеры кристалла, мм	0.22 × 0.2 × 0.18	0.2 × 0.18 × 0.16	0.24 × 0.22 × 0.2	0.24 × 0.22 × 0.2
Область сканирования θ , град	3.38–53.994	2.716–59.994	2.558–59.998	5.418–59.998
Интервалы индексов отражений	$-14 \leq h \leq 14$, $-17 \leq k \leq 17$, $-32 \leq l \leq 32$	$-11 \leq h \leq 11$, $-19 \leq k \leq 18$, $0 \leq l \leq 22$	$-20 \leq h \leq 20$, $-22 \leq k \leq 22$, $-24 \leq l \leq 24$	$-15 \leq h \leq 15$, $-15 \leq k \leq 16$, $-18 \leq l \leq 18$
Число измеренных отражений	26012	20372	30905	18422
Число независимых отражений (<i>R</i> _{int})	12008 (0.0610)	9903 (0.0765)	18536 (0.0700)	8999 (0.0171)
GOOF	1.043	0.789	0.759	1.027
<i>R</i> (<i>I</i> > 2σ(<i>I</i>))	$R_1 = 0.0834$, $wR_2 = 0.2173$	$R_1 = 0.0434$, $wR_2 = 0.0710$	$R_1 = 0.0501$, $wR_2 = 0.0692$	$R_1 = 0.0293$, $wR_2 = 0.0783$
<i>R</i> (по всем рефлексам)	$R_1 = 0.1164$, $wR_2 = 0.2475$	$R_1 = 0.0777$, $wR_2 = 0.0783$	$R_1 = 0.1410$, $wR_2 = 0.0822$	$R_1 = 0.0356$, $wR_2 = 0.0820$
Электронная плотность (max/min), e Å ⁻³	2.77/–1.41	0.69/–0.64	0.61/–0.82	0.50/–0.34

ных связей атомов кислорода цимантренат-анионов с атомами водорода фрагментов NH координированного гетероцикла (N...O 2.735–2.957 Å).

Реакции метанолсодержащих цимантренатов никеля и кобальта $M[(OOC-C_5H_4)-Mn(CO)_3]_2(MeOH)_4$ (*M* = Co(II), Ni(II)) с PzH при кипячении в хлороформе приводят к изоструктурным моноядерным комплексам $Ni[(OOC-C_5H_4)Mn(CO)_3]_2(HPz)_4$ (II) (выход 76%) и

$Co[(OOC-C_5H_4)Mn(CO)_3]_2(HPz)_4$ (III) (выход 89%), в которых все четыре лабильные молекулы метилового спирта заменяются на четыре молекулы пиразола. В соединении II, по данным РСА, центральный атом металла сохраняет характерное для Ni(II) октаэдрическое окружение четырех атомов азота пиразола (Ni–N 2.091(3)–2.119(2) Å) и двух атомов кислорода карбоксилат-анионов (Ni–O 2.091(2) Å) (рис. 2).

Таблица 2. Основные длины связей и валентные углы в комплексах I, II

Связь	$d, \text{Å}$	Связь	$d, \text{Å}$
I			
Zn(1)–O(3)	1.940	Zn(1)–N(3)	1.972
Zn(1)–O(1)	1.970	Zn(1)–N(1)	2.017
II			
Ni(1)–O(1)	2.0910	Ni(1)–O(1A)	2.0910
Ni(1)–N(3)	2.0915	Ni(1)–N(3A)	2.0915
Ni(1)–N(1)	2.1191	Ni(1)–N(1A)	2.1191
Угол	$\omega, \text{град}$	Угол	$\omega, \text{град}$
I			
Zn(1)O(3)O(1)	98.263	Zn(1)O(1)N(3)	113.067
Zn(1)O(3)N(3)	111.798	Zn(1)O(1)N(1)	101.639
Zn(1)O(3)N(1)	113.862	Zn(1)N(3)N(1)	116.308
II			
Ni(1)O(1)O(1A)	180.000	Ni(1)N(3A)N(3)	180.000
Ni(1)O(1)N(3)	94.244	Ni(1)N(3)N(1)	91.142
Ni(1)O(1)N(3A)	85.756	Ni(1)N(3A)N(1)	88.858
Ni(1)O(1)N(1)	95.851	Ni(1)N(1A)N(1)	180.000
Ni(1)O(1A)N(1)	84.149	Ni(1)N(3)N(1A)	91.142

В центросимметричном комплексе $\text{Co}[(\text{OOC}-\text{C}_5\text{H}_4)\text{Mn}(\text{CO})_3]_2(\text{HPz})_4$ (III), по данным РСА (рис. 3), атом кобальта также имеет октаэдрическое окружение четырех атомов азота, принадлежащих координированным молекулам пиразола ($\text{Co}-\text{N}$ 2.102(4)–2.134(5) Å) и двух атомов кислорода цимантенат-анионов ($\text{Co}-\text{O}$ 2.161(3) Å). В кристаллах комплексов II и III наблюдаются внутримолекулярные водородные связи между атомами кислорода карбоксилат-аниона и атомами водорода координированных молекул пиразола ($\text{NH}\dots\text{O}$ 2.751–2.833 Å).

При взаимодействии метанольного цимантрена кобальта(II) с 3,5-диметилпиразолом в тех

же условиях образуется мооядерный комплекс $\text{Co}[(\text{OOC}\text{C}_5\text{H}_4)\text{Mn}(\text{CO})_3]_2(\text{HDmpz})_2$ (IV) (рис. 4). Введение в положения 3 и 5 гетероцикла донорных метильных заместителей приводит к увеличению основности пиридинового атома азота по сравнению с пиразолом и, соответственно, к уменьшению кислотности атомов водорода пиррольных фрагментов. Это существенно сказывается на упаковке молекул в кристалле, в котором наблю-

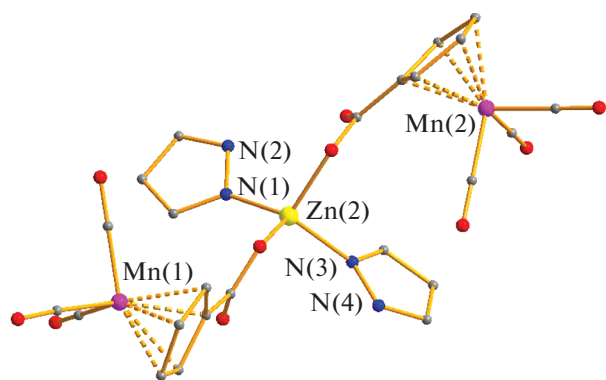


Рис. 1. Независимая часть комплекса I.

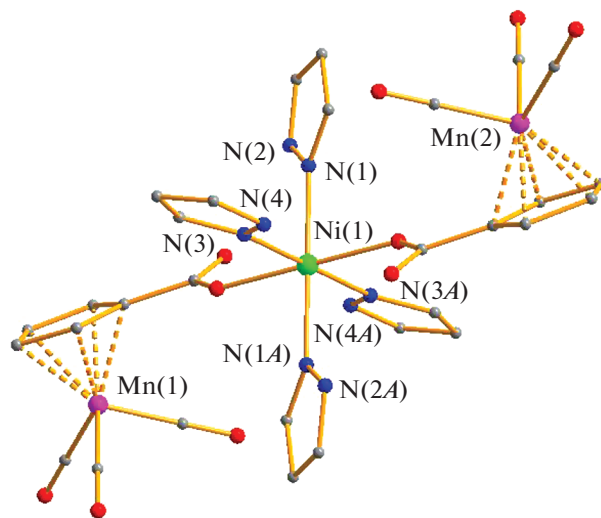


Рис. 2. Строение комплекса II.

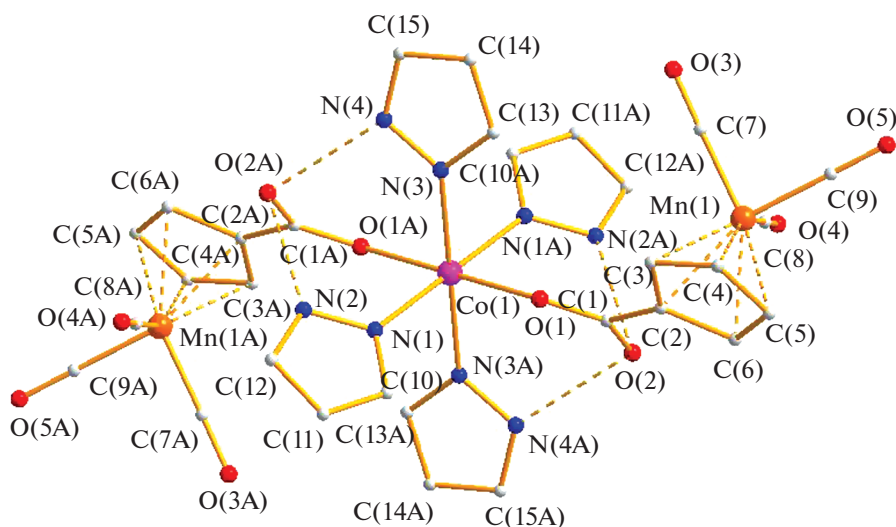
Таблица 3. Основные длины связей и валентные углы в комплексах III, IV

Связь	$d, \text{Å}$	Связь	$d, \text{Å}$
III			
Co(1)–N(1)	2.1029	Co(1)–N(3A)	2.1342
Co(1)–N(1A)	2.1029	Co(1)–O(1)	2.1601
Co(1)–N(3)	2.1342	Co(1)–O(1A)	2.1601
IV			
Co(1)–O(1)	1.9324	Co(1)–N(3)	2.0053
Co(1)–O(3)	1.9420	Co(1)–N(1)	2.0176
Угол	$\omega, \text{град}$	Угол	$\omega, \text{град}$
III			
Co(1)N(1)N(1A)	180.000	Co(1)N(1A)O(1)	88.870
Co(1)N(1)N(3)	93.357	Co(1)N(1A)O(1A)	91.130
Co(1)N(1A)N(3)	86.643	Co(1)N(3)N(3A)	180.000
Co(1)N(1)O(1)	91.130	Co(1)N(3)O(1)	94.844
Co(1)N(1)O(1A)	88.870	Co(1)N(3)O(1A)	85.156
Co(1)N(1)N(3A)	86.643	Co(1)N(3A)O(1)	85.156
Co(1)N(1)N(3A)	93.357	Co(1)O(1)O(1A)	180.000
IV			
Co(1)O(1)O(3)	110.147	Co(1)O(3)N(1)	102.681
Co(1)O(1)N(3)	107.927	Co(1)N(3)N(1)	108.727
Co(1)N(1)O(1)	112.142	Co(1)O(1)O(3)	110.147
Co(1)O(3)N(3)	115.233		

даются внутримолекулярные водородные связи NH...O, а кристалл формируется за счет необычных π - π -контактов.

В отличие от III, в комплексе IV атом кобальта(II) оказывается в тетраэдрическом окружении

двух атомов кислорода цимантрена-анионов и двух атомов азота координированных гетероциклов. Тетраэдрическое окружение центрального атома искажено несимметричным образом: длина связи Co–O составляют 1.932 и 1.942 Å, тогда как длины связей M–N различаются больше –

**Рис. 3.** Строение комплекса III.

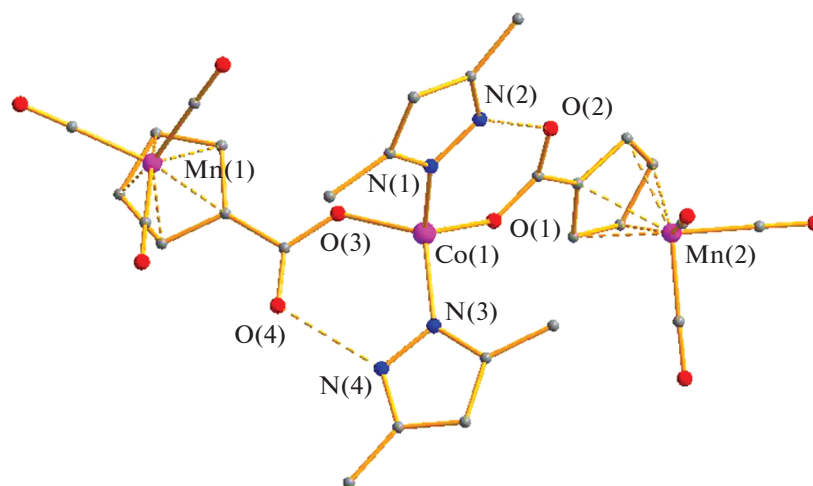


Рис. 4. Независимая часть комплекса IV.

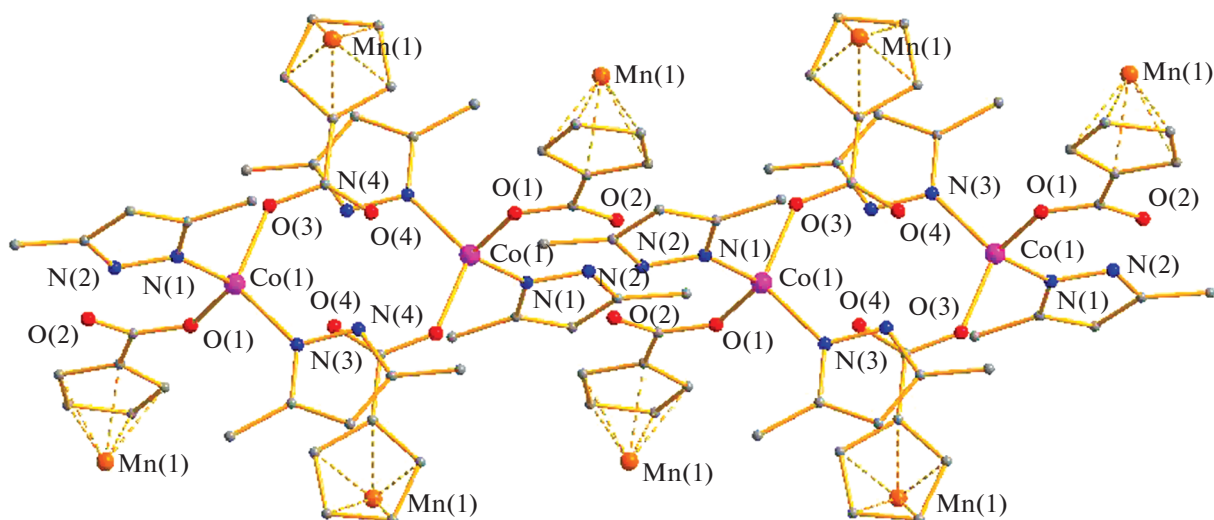


Рис. 5. Фрагмент упаковки комплекса IV в кристалле.

2.018 и 2.005 Å. Среди прочных невалентных взаимодействий необходимо выделить наличие стандартных внутримолекулярных водородных связей N–H...O и прочного межмолекулярного стекинг-взаимодействия молекулы пиразола и циклопентадиенильного кольца аниона цимантренкарбоновой кислоты (C(6)...C(25) ~3.17 Å). Такие стекинг-взаимодействия (два на две молекулы) приводят к образованию centrosymmetrical димеров молекул комплекса в кристалле, причем геометрия последних такова, что атом O(4) одной из молекул комплекса находится над связью другой M–N(1) (соответствующий угол O(4)CoN(1) составляет ~176°, M...O(4) 3.595(1) Å (рис. 5).

Таким образом, обнаружено, что молекулы пиразола и 3,5-диметилпиразола не депротонируются цимантренами никеля, цинка и кобальта, а координируются монодентатно, формируя моноядерные комплексы, дополнительно стабилизированные водородными связями.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ

РСА комплексов, ИК-спектральные исследования и элементный анализ выполнены с использованием оборудования ЦКП ФМИ ИОНХ РАН, функционирующего при поддержке государственного задания

ИОНХ РАН в области фундаментальных научных исследований.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ИОНХ РАН в области фундаментальных научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cotton F.A., Wilkincon G., Murillo C.A., Bochmann M. *Advanced Inorganic Chemistry*. John Wiley & Sons Inc., 1999. P. 493.
2. Mehrotra R.C., Bohra R. *Metal Carboxylates*. London: Acad. Press, 1983. P. 396.
3. Cotton F.A., Lin C., Murillo C.A. // *Acc. Chem. Res.* 2001. V. 34. № 10. P. 759.
4. Molenveld P., Engbersen J.F.J., Reinhoudt D.N. // *Chem. Soc. Rev.* 2000. V. 29. P. 75.
5. Meurig J., Thomas B., Johnson F.G. et al. // *Acc. Chem. Res.* 2003. V. 36. P. 20.
6. Bondarenko M.A., Novikov A.S., Sokolov M.N., Adonin S.A. // *Inorg. Chim. Acta.* 2021. V. 524. P. 120436.
7. Yashkova K.A., Mel'nikov S.N., Nikolaevskii S.A. et al. // *J. Struct. Chem.* 2021. V. 62. P. 1378.
8. Adonin S., Petrov M., Abramov P. et al. // *Polyhedron.* 2019. V. 159. P. 171.
9. Adonin S.A., Petrov M.D., Novikov A.S. et al. // *J. Cluster Sci.* 2019. V. 30. P. 857.
10. Lutsenko I., Kiskin M., Nikolaevskii S. et al. // *Chem. Select.* 2019. V. 38. P. 14261.
11. Li H., Marks T. J. // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2006. V. 103. P. 15295.
12. Murugesapandian B., Roesky P.W. // *Z. Anorg. Allg. Chem.* 2011. V. 637. P. 1818.
13. Шаповалов С.С., Пасынский А.А., Скабицкий И.В. и др. // *Коорд. химия.* 2014. Т. 40. № 2. С. 75. (Shapovalov S.S., Pasynskii A.A., Skabitskii I.V. et al. // *Russ. J. Coord. Chem.* 2014. V. 40. P. 77). <https://doi.org/10.1134/S1070328414020092>
14. Pasynskii A.A., Shapovalov S.S., Gordienko A.V. et al. // *Inorg. Chim. Acta.* 2012. V. 384. P. 18.
15. Valyaev D.A., César V., Lugan N. et al. // *Dalton Trans.* 2016. V. 45. P. 11953.
16. Guo Dong, Li Yu-ting, Duan Chun-ying et al. // *Inorg. Chem.* 2003. V. 42. P. 2519.
17. Koroteev P.S., Kiskin M.A., Dobrokhotova Zh.V. et al. // *Polyhedron.* 2011. V. 30. P. 2523.
18. Koroteev P.S., Dobrokhotova Zh.V., Kiskin M.A. et al. // *Polyhedron.* 2012. V. 43. P. 36.
19. Koroteev P.S., Dobrokhotova Z.V., Il'ukhin A.B. et al. // *Polyhedron.* 2015. V. 85. P. 941.
20. Koroteev P.S., Pyukhin A.B., Gavrikov A.V. // *Molecules.* 2022. V. 27. P. 1082.
21. Chandrasekhar V., Nagarajan L. // *Dalton Trans.* 2009. V. 34. P. 6712
22. Перова Е.В., Яковлева М.А., Баранова Е.О. и др. // *Журн. неорган. химии.* 2010. Т. 55. С. 768. (Perova E.V., Yakovleva M.A., Baranova E.O. et al. // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2010. V. 55. P. 714). <https://doi.org/10.1134/S0036023610050104>
23. Амельченкова Э.В., Денисова Т.О., Нефедов С.Е. // *Журн. неорган. химии.* 2006. Т. 51. № 8. С. 1303. (Amel'chenkova E.V., Denisova T.O., Nefedov S.E. // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2006. V. 51. P. 1218). <https://doi.org/10.1134/S0036023606080110>
24. Yoshida J., Kondo S., Yuge H. // *Dalton Trans.* 2013. V. 7. P. 42.
25. Cingolani A., Galli S., Masciocchi N. et al. // *Dalton Trans.* 2006. V. 20. P. 2479.
26. Уварова М.А., Нефедов С.Е. // *Журн. неорган. химии.* 2021. Т. 66. № 11. С. 1538. (Uvarova M.A., Nefedov S.E. // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2021. V. 66. P. 1660). <https://doi.org/10.1134/S0036023621110218>
27. Appavoo D., Otondi B., Guzei I.A. et al. // *Polyhedron.* 2014. V. 69. P. 55.
28. Carlotto S., Casarin M., Lanza A. et al. // *Cryst. Growth Des.* 2015. V. 15. P. 5910.
29. Уварова М.А., Агешина А.А., Голубничая М.А., Нефедов С.Е. // *Журн. неорган. химия.* 2015. Т. 60. № 8. С. 1032. (Uvarova M.A., Ageshina A.A., Golubnichaya M.A., Nefedov S.E. // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2015. V. 60. P. 934). <https://doi.org/10.1134/S0036023615080215>
30. Уварова М.А., Нефедов С.Е. // *Журн. неорган. химии.* 2015. Т. 60. № 11. С. 1473. (Uvarova M.A., Nefedov S.E. // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2015. V. 60. P. 1348). <https://doi.org/10.1134/S0036023615110212>
31. Kaikai Hu, Shouwen Jin, Zuoran Xie et al. // *Polyhedron.* 2018. V. 139. P. 17.
32. Ananyev I.V., Nefedov S.E., Lyssenko K.A. // *Eur. J. Inorg. Chem.* 2013. P. 2736.
33. Deka K., Laskar M., Baruah J.B. // *Polyhedron.* 2006. V. 25. P. 2525.
34. Cingolani A., Galli S., Masciocchi N. et al. // *Dalton Trans.* 2006. V. 20. P. 2479.
35. Ананьев И.В., Яковлева М.А., Перова Е.В., Нефедов С.Е. // *Журн. неорган. химии.* 2010. Т. 55. С. 1127 (Anan'ev I.V., Yakovleva M.A., Perova E.V., Nefedov S.E. // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2010. 55. P. 1057). <https://doi.org/10.1134/S0036023610070119>
36. Уварова М.А., Агешина А.А., Гринева А.А. и др. // *Журн. неорган. химии.* 2015. Т. 60. № 5. С. 633 (Uvarova M.A., Ageshina A.A., Grineva A.A. et al. // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2015. V. 60. P. 566). <https://doi.org/10.1134/S0036023615050186>
37. Уварова М.А., Агешина А.А., Нефедов С.Е. и др. // *Журн. неорган. химии.* 2015. Т. 60. № 10. С. 1326 (Uvarova M.A., Ageshina A.A., Nefedov S.E. et al. // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2015. V. 60. P. 1210). <https://doi.org/10.1134/S0036023615100198>
38. Агешина А.А., Уварова М.А., Нефедов С.Е. // *Журн. неорган. химии.* 2015. Т. 60. № 9. С. 1192 (Ageshina A.A., Uvarova M.A., Nefedov S.E. // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2015. T. 60. № 9. С. 1085). <https://doi.org/10.1134/S0036023615090028>

39. Агешина А.А., Уварова М.А., Нефедов С.Е. // Журн. неорган. химии. 2015. Т. 60. № 10. Р. 1334 (Ageshina A.A., Uvarova M.A., Nefedov S.E. // Russ. J. Inorg. Chem. 2015. V. 60. P. 1218).
<https://doi.org/10.1134/S0036023615100022>
40. Уварова М.А., Нефедов С.Е. // Журн. неорган. химии. 2015. Т. 60. № 9. Р. 1181 (Uvarova M.A., Nefedov S.E. // Russ. J. Inorg. Chem. 2015. V. 60. P. 1074).
<https://doi.org/10.1134/S003602361509020X>
41. Nesmeyanov A.N., Anisimov K.N., Kolobova, N.E. Markarov Y.V. // Russ. Chem. Bull. 1968. V. 17. P. 672.
42. SMART (control) and SAINT (integration) Software. Version 5.0. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1997.
43. SAINT. Area-Detector Integration Software. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 2012.
44. Sheldrick G.M. SADABS. Program for Scaling and Correction of Area Detector Data. Göttingen (Germany): Univ. of Göttingen, 1997.
45. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. C. 2015. V. 71. P. 3.
<https://doi.org/10.1107/S2053229614024218>
46. Halcrow M.A., Streib W.E., Foltling K., Christou G. // Acta Crystallogr. C. 1995. V. 51. P. 1263.
<https://doi.org/10.1107/S0108270194013764>