

---



---

**КООРДИНАЦИОННЫЕ  
СОЕДИНЕНИЯ**


---



---

УДК 546.7

**СТРОЕНИЕ КООРДИНАЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ ТРИФТОРАЦЕТАТОВ  
ЦИНКА, КОБАЛЬТА(II) И МАРГАНЦА(II) С 4,4'-ДИПИРИДИЛОМ**
© 2021 г. М. А. Уварова<sup>а</sup>, С. Е. Нефедов<sup>а, \*</sup><sup>а</sup>Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,  
Ленинский пр-т, 31, Москва, 119991 Россия

\*e-mail: snef@igic.ras.ru

Поступила в редакцию 17.05.2021 г.

После доработки 16.07.2021 г.

Принята к публикации 30.07.2021 г.

Установлено, что термическое нагревание в вакууме (180°C) кристаллов  $[Zn_3(\mu-OH)_2(\mu-OOCF_3)_4(OOCF_3)_2(OH)_2][\mu-O(CH_2CH_2)_2O]$ ,  $Co_3(\mu-OOCF_3)_4(\mu-OH)_2(OOCF_3)_2[O(CH_2CH_2)_2O]_2(OH)_2$  и  $[Mn_2(\mu-OOCF_3)_3(OOCF_3)(OH)_2][\mu-O(CH_2CH_2)_2O]_2$  приводит к образованию порошков, растворение которых в ТГФ с последующей медленной диффузией раствора 4,4'-дипиридила (dipy) в ТГФ приводит к образованию координационных полимеров 1D  $[Zn(OOCF_3)_2(dipy) \cdot 0.5THF]_n$  с геометрией “зигзаг” и 3D  $\{Co[(OOCF_3)(dipy)]_2\}_n$  и  $\{Mn[(OOCF_3)(dipy)]_2 \cdot 3THF\}_n$ , причем последний содержит в порах сольватные молекулы ТГФ. Полученные соединения исследованы методами химического анализа, ИК-спектроскопии и РСА.

**Ключевые слова:** трифторметилацетаты цинка, кобальта, марганца, координационные полимеры, 1D-, 3D-полимеры, геометрия “зигзаг”, четырехъядерная металлобабочка, синтез, рентгеноструктурный анализ

DOI: 10.31857/S0044457X21120205

**ВВЕДЕНИЕ**

Размерность и геометрия простейших координационных полимеров (КП) с 4,4'-дипиридилем (dipy), который является сильным основанием Льюиса, формирующихся за счет донорно-акцепторных взаимодействий, во многом определяется природой металла, аниона, донорного сшивающего реагента, а также условиями синтеза [1–5].

Так, установлено, что в случае 3d-металлов из водных ацетатов в основном образуются димеры  $[(\eta^2-OOCMe)M(\mu-OOCMe)]_2$ , в которых каждый атом металла связан с двумя молекулами dipy с формированием 1D-линейного КП с геометрией “обычная лестница” (M = Zn [6, 7], Ni [8], Co [9], Mn [10, 11]).

Подобные полимеры, охарактеризованные данными РСА, получены для бензоатов 3d-металлов (M = Co, Mn), они отличаются количеством сольватов и температурой съёмки [12–15]. В то же время для бензоатов обнаружен другой тип КП, когда атомы металлов располагаются в 1D-линию за счет мостиковых карбоксилат-анионов и каждый из них связан с двумя дипиридилами, что приводит к формированию 2D-полимера  $[M_2(\mu-OOCPh)_2dipy_2]_n$  (M = Co, Mn) [16, 17].

В 1D-КП  $\{[Zn_2(\mu-OOCMe)_3(\mu,\eta^2-OOCMe)dipy]\}_n$ , полученном испарением в течение 5 сут совместного раствора в метаноле дипиридила и ацетата цинка, димеры связаны dipy, а сам полимер зазгаобразный [18].

Единственный известный ацетат, формирующий за счет моноядерного металлофрагмента, — комплекс  $[Co(OH)_2(OOCMe)_2dipy]$  [12] — представляет собой 1D-КП с геометрией “прямая линия”.

Для менее электронодонорных и более стерически нагруженных бензоат-анионов по сравнению с ацетат-анионами геометрия соединений значительно разнообразнее. Так, были получены полимеры dipy с центральными фрагментами ZnPhOH (зигзаг) [14],  $Zn(\eta^2-OOCPh)(OOCPh)$  (ступенчатый) [17],  $M(OOCPh)_2L_2$ , где M = Ni, Co; L = H<sub>2</sub>O, MeOH: зигзаг и спираль соответственно [17, 18].

Необычный биядерный комплекс  $dipy(H_2O)_2Ni(\mu-dipy)Ni(OH)_2dipy$  образуется при выдерживании в автоклаве в течение 3 сут при 180°C смеси dipy, нитрата никеля и бензойной кислоты в присутствии NH<sub>4</sub>OH [19].

Необходимо отметить, что специальные реакции пивалатов с dipy не проводили, однако были

получены 2D-КП на основе трехъядерных кластеров  $[M^{II}(\mu_3-O)Fe^{III}(OOCBu^t)_6(dipy)]_n$  ( $M = Co, Ni$ ) и изучены их сорбционные свойства [20, 21].

Таким образом, для анионов относительно слабых кислот, несмотря на присутствие сильно-донорного дипиридила, атомы кислорода в ходе реакций стремятся собрать катионы металлов в полиядерные комплексы или димеры.

Цель настоящей работы – синтез и изучение строения координационных полимеров на основе анионов сильной трифторуксусной кислоты с катионами цинка, кобальта(II), марганца(II) и дипу.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исходные комплексы  $[Zn_3(\mu-OH_2)_2(\mu-OOCF_3)_4(OOCF_3)_2(OH_2)_2][\mu-O(CH_2CH_2)_2O]$ ,  $Co_3(\mu-OOCF_3)_4(\mu-OH_2)_2(OOCF_3)_2[O(CH_2CH_2)_2O]_2(OH_2)_2$  и  $[Mn_2(\mu-OOCF_3)_3(OOCF_3)(OH_2)_2][\mu-O(CH_2CH_2)_2O]_2$  получали согласно [22, 23].

#### Синтез комплексов

**Синтез  $[Zn(OOCF_3)_2(dipy) \cdot 0.5THF]_n$  (1).** Навеску 0.4 г (0.3 ммоль) монокристаллов  $[Zn_3(\mu-OH_2)_2(\mu-OOCF_3)_4(OOCF_3)_2(OH_2)_2][\mu-O(CH_2CH_2)_2O]$  выдерживали в течение 2 ч в вакууме водоструйного насоса при нагревании до 180°C до получения порошка, который растворяли в 10 мл ТГФ и переносили в пробирку (1 × 15 см) со шлифом. К полученному раствору аккуратно приливали раствор 0.3 г (2 ммоль) 4,4'-дипиридила в 10 мл ТГФ, плотно закрывали пробкой и оставляли под тягой на 2 нед. Образовавшиеся при этом крупные бесцветные кристаллы отделяли от раствора декантацией, промывали бензолом, гексаном. Выход составил 21% (0.09 г).

	С	Н	N
Найдено (порошок), %:	38.10;	2.18;	6.02.
Для $C_{14}H_8F_6N_2O_4Zn$			
вычислено, %:	37.57;	1.80;	6.26.

ИК-спектр ( $\nu, \text{см}^{-1}$ ): 3029 сл., 2877 сл., 1684 с., 1614 с., 1589 сл., 1539 ср., 1499 сл., 1422 с. 1389 сл., 1336 сл., 1176 с., 1129 с., 1075 ср., 1050 ср., 1016 ср., 909 сл., 846 ср., 817 с., 792 с., 726 с., 648 ср., 606 сл., 574 сл., 518 сл., 476 сл.

**Синтез  $\{Co[(OOCF_3)(dipy)]_2\}_n$  (2).** Навеску 0.4 г (0.36 ммоль) монокристаллов комплекса  $Co_3(\mu-OOCF_3)_4(\mu-OH_2)_2(OOCF_3)_2[O(CH_2CH_2)_2O]_2(OH_2)_2$  выдерживали в вакууме водоструйного насоса при нагревании до 180°C в течение 2 ч до получения порошка, который растворяли в 10 мл ТГФ и переносили в пробирку (1 × 15 см) со шлифом. К

полученному раствору аккуратно приливали раствор 0.3 г (2 ммоль) 4,4'-дипиридила в 10 мл ТГФ, плотно закрывали пробкой и оставляли под тягой на 2 нед. Образовавшиеся при этом крупные синие кристаллы отделяли от раствора декантацией, промывали бензолом, гексаном. Выход 17% (0.1 г).

	С	Н	N
Найдено (порошок), %:	48.54;	2.14;	8.94.
Для $C_{24}H_{16}CoF_6N_4O_4$			
вычислено, %:	48.26;	2.70;	9.38.

ИК-спектр ( $\nu, \text{см}^{-1}$ ): 3079 сл., 2979 сл., 2875 сл., 1770 сл., 1683 с., 1607 с., 1536 ср., 1492 сл., 1417 с., 1389 сл., 1320 сл., 1196 с., 1177 с., 1123 с., 1065 с., 1009 ср., 991 сл., 909 сл., 830 ср., 816 с., 791 ср., 733 сл., 716 с., 631 с., 601 сл., 576 ср., 515 ср., 478 сл.

**Синтез  $\{Mn[(OOCF_3)(dipy)]_2 \cdot 3THF\}_n$  (3).** Навеску 0.4 г (0.5 ммоль) монокристаллов  $[Mn_2(\mu-OOCF_3)_3(OOCF_3)(OH_2)_2][\mu-O(CH_2CH_2)_2O]_2$  выдерживали в вакууме водоструйного насоса при нагревании до 180°C в течение 2 ч до получения порошка. Полученный порошок растворяли в 10 мл ТГФ и переносили в пробирку (1 × 15 см) со шлифом. К раствору аккуратно приливали раствор 0.3 г (2 ммоль) 4,4'-дипиридила в 10 мл ТГФ, плотно закрывали пробкой и оставляли под тягой на 2 нед. Образовавшиеся при этом крайне неустойчивые крупные бледно-розовые кристаллы отделяли от раствора декантацией, промывали последовательно бензолом и гексаном.

Выход 24% (0.19 г).

	С	Н	N
Найдено (порошок), %:	49.15;	3.11;	9.12.
Для $C_{24}H_{16}F_6MnN_4O_4$			
вычислено, %:	48.58;	2.72;	9.44.

ИК-спектр ( $\nu, \text{см}^{-1}$ ): 2979 сл., 2855 сл., 1681 с., 1606 с., 1536 ср., 1492 сл., 1492 сл., 1421 с., 1389 сл., 1323 сл., 1198 с., 1178 с., 1123 с., 1066 с., 1046 ср., 1007 ср., 909 сл., 860 сл., 831 ср., 817 с., 793 ср., 735 сл., 717 с., 628 с., 600 сл., 574 ср., 514 ср., 486 сл.

**ИК-спектры** соединений регистрировали на ИК-спектрофотометре Perkin-Elmer Spectrum 65 с Фурье-преобразованием методом нарушенного полного внутреннего отражения в интервале частот 400–4000  $\text{см}^{-1}$ .

**Рентгеноструктурный анализ** полимеров 1–3 выполнен по стандартной методике на автоматическом дифрактометре Bruker SMART Apex II, оборудованном CCD-детектором ( $\lambda\text{Mo}$ , графитовый монохроматор,  $\omega$ -сканирование). Уточнение структур проведено с использованием комплекса

Таблица 1. Кристаллографические параметры и детали уточнения структур комплексов 1–3

Параметр	1	2	3
CCDC	2072350	2072351	2072352
Брутто-формула	C <sub>16</sub> H <sub>12</sub> F <sub>6</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4.5</sub> Zn	C <sub>24</sub> H <sub>16</sub> CoF <sub>6</sub> N <sub>4</sub> O <sub>4</sub>	C <sub>36</sub> H <sub>40</sub> F <sub>6</sub> MnN <sub>4</sub> O <sub>7</sub>
М. м.	483.64	597.34	809.66
Цвет	Бесцветный	Синий	Бледно-розовый
T, К	100(2)	100(2)	100(2)
Сингония	Моноклинная	Тетрагональная	Тетрагональная
Пр. гр.	C2/c	I4 <sub>1</sub> /acd	P4 <sub>2</sub>
a, Å	16.3515(5)	29.5651(12)	21.2320(7)
b, Å	13.6052(5)	29.5651(12)	21.2320(7)
c, Å	17.6181(5)	17.5881(8)	9.1098(4)
α, град	90	90	90
β, град	112.2390(10)	90	90
γ, град	90	90	90
V, Å <sup>3</sup>	3627.9(2)	15373.7(14)	4106.7(3)
Z	4	16	4
d <sub>расч.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	1.771	1.032	1.357
μ, мм <sup>-1</sup>	1.443	0.501	0.400
F(000)	1936	4816	1740
Размеры кристалла, мм	0.26 × 0.24 × 0.22	0.24 × 0.22 × 0.20	0.24 × 0.22 × 0.20
θ-область сканирования, град	2.50–30.00	2.69–24.99	2.14–28.00
Интервалы индексов отражений	–22 ≤ h ≤ 22, –19 ≤ k ≤ 19, –20 ≤ l ≤ 24	–35 ≤ h ≤ 35, –29 ≤ k ≤ 35, –20 ≤ l ≤ 20	–27 ≤ h ≤ 27, –27 ≤ k ≤ 27, –11 ≤ l ≤ 10
Число отражений	20702	47149	41194
Число независимых отражений	5094 [R <sub>int</sub> = 0.0382]	3365 [R <sub>int</sub> = 0.1339]	6680 [R <sub>int</sub> = 0.0849]
GOOF	1.042	1.373	1.014
R[I > 2σ(I)]	R1 = 0.0410, wR2 = 0.0856	R1 = 0.1076, wR2 = 0.3127	R1 = 0.0855, wR2 = 0.2098
R (по всем рефлексам)	R1 = 0.0577, wR2 = 0.0915	R1 = 0.1447, wR2 = 0.3331	R1 = 0.1089, wR2 = 0.2248
max/min пики электронной плотности, e Å <sup>-3</sup>	0.821 и –0.536	1.121 и –0.642	1.294 и –0.897

программ SHELXTL PLUS (PC-версия) [24–27]. Кристаллографические данные и детали уточнения структур 1–3 приведены в табл. 1, длины связей и валентные углы – в табл. 2–4. В комплексе 1 атомы фтора разупорядочены с кратностью 0.5 и уточнены изотропно.

Структурные данные для комплексов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC 2072350, 2072351, 2072352 для ком-

плексов 1, 2, 3 соответственно) и доступны по ссылке <http://www.ccdc.cam.ac.uk/>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обнаружено, что растворение порошка, полученного в результате деградации кристаллов комплекса [Zn<sub>3</sub>(μ-OH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>(μ-OCCF<sub>3</sub>)<sub>4</sub>(OCCF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>][μ-O(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>O)] при 180°C, в ТГФ и медленная

**Таблица 2.** Основные длины связей и валентные углы в комплексе **1**

Связь	<i>d</i> , Å	Связь	<i>d</i> , Å
Zn(1)–O(1)	1.9614(16)	Zn(1)–O(3)	1.9629(16)
Zn(1)–N(1)	1.9996(18)	Zn(1)–N(2)	2.0352(18)
Zn(1)–O(1)	1.9614(16)	Zn(1)–O(3)	1.9629(16)
Угол	ω, град	Угол	ω, град
O(1)Zn(1)O(3)	112.05(7)	O(1)Zn(1)N(1)	107.05(7)
O(3)Zn(1)N(1)	121.99(7)	O(1)Zn(1)N(2)	98.12(7)
O(3)Zn(1)N(2)	103.75(7)	N(1)Zn(1)N(2)	111.29(7)
O(1)Zn(1)N(1)	107.05(7)	C(6)N(1)Zn(1)	117.94(15)
C(5)N(1)Zn(1)	123.97(15)	C(11)N(2)Zn(1)	123.18(15)
C(7)N(2)Zn(1)	118.24(15)	C(1)O(1)Zn(1)	111.37(14)
C(3)O(3)Zn(1)	108.63(14)	O(1)Zn(1)O(3)	112.05(7)

диффузия 2 молей *dipy* в ТГФ в течение 2 нед. приводят к образованию монокристаллов 1D-КП  $[\text{Zn}(\text{OOCFF}_3)_2(\text{dipy}) \cdot 0.5\text{THF}]_n$  (**1**). В полимере, по данным РСА (табл. 1, 2, рис. 1), атом металла имеет искаженное тетраэдрическое окружение двумя атомами кислорода анионов и двумя атомами

азота дипиридила (Zn–O 1.9614(16), 1.9629(16) Å; Zn–N 1.9996(18), 2.0352(18) Å). В полученном КП с геометрией “зигзаг” атомы металла располагаются на расстоянии 7.594 Å с углом 62.3°, при этом плоскости координированных молекул *dipy* находятся под углом 64.2° (рис. 2). В кристаллической ячейке присутствует также сольватная молекула ТГФ.

В монокристаллах полимера **2**, полученного по аналогичной методике, по данным РСА (табл. 1, 3, рис. 3), атом кобальта(II) находится в искаженном октаэдрическом окружении атомов кислорода двух анионов (Co–O 2.065(4), 2.065(4) Å) и четырех атомов азота четырех координированных молекул *dipy* (Co–N 2.142(5)–2.152(5) Å), что обеспечивает формирование 3D-КП. Элементарный фрагмент такого полимера – искаженный четырехугольник с геометрией металлобабочки (угол между крыльями 61.5°) и расстояниями металл–металл (или длиной сторон) 11.342 Å (рис. 4, 5).

Аналогичное строение имеет и полимер марганца **3** (табл. 1, 4, рис. 6): искаженное октаэдрическое окружение атома металла (Mn–O 2.146(5), 2.149(5) Å, Mn–N 2.242(6)–2.286(5) Å) и элементарный тетраэдрический фрагмент с геометрией металлобабочки и сторонами 11.561 и 11.599 Å и углом между крыльями 58.8°.

Пустоты полимера занимают три сольватные молекулы ТГФ (рис. 7, 8).

**Таблица 3.** Основные длины связей и валентные углы в комплексе **2**

Связь	<i>d</i> , Å	Связь	<i>d</i> , Å
Co(1)–O(1)	2.065(4)	Co(1)–N(1)	2.142(5)
Co(1)–O(1)#1	2.065(4)	Co(1)–N(1)#1	2.142(5)
Co(1)–N(2)#2	2.152(5)	Co(1)–N(2)#3	2.152(5)
Угол	ω, град	Угол	ω, град
O(1)Co(1)N(1)	87.88(18)	Co(1)#4 N(2)C(1)	120.1(4)
O(1)Co(1)O(1)#1	173.24(19)	O(1)Co(1)N(1)#1	87.41(18)
O(1)Co(1)N(2)#2	91.73(18)	O(1)Co(1)N(2)#3	92.99(18)
O(1)#1 Co(1)N(1)	87.41(18)	N(1)Co(1)N(1)#1	91.63(19)
N(1)Co(1)N(2)#2	88.48(18)	N(1)Co(1)N(2)#3	179.13(19)
O(1)#1 Co(1)N(1)#1	87.88(18)	O(1)#1 Co(1)N(2)#2	92.99(18)
O(1)#1 Co(1)N(2)#3	91.73(18)	N(1)#1 Co(1)N(2)#2	179.1(2)
N(1)#1 Co(1)N(2)#3	88.48(18)	N(2)#2 Co(1)N(2)#3	91.44(18)

Симметрические преобразования, использованные для генерации эквивалентных атомов: #1 *x*, –*y*, ½ – *z*; #2 ¼ + *y*, ¾ – *x*, 1/4 – *z*; #3 ¾ + *y*, –3/4 + *x*, 1/4 + *z*; #4 ¾ – *y*, –1/4 + *x*, ¼ – *z*.

**Таблица 4.** Основные длины связей и валентные углы в комплексе **3**

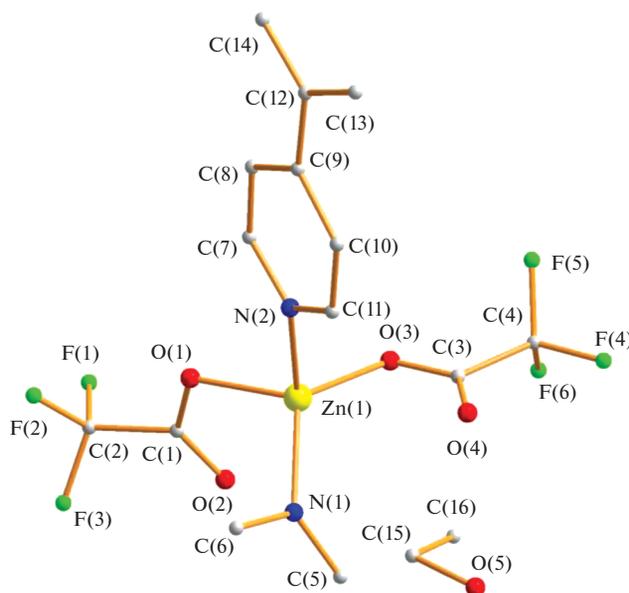
Связь	$d, \text{Å}$	Связь	$d, \text{Å}$
Mn(1)–O(1)	2.141(6)	Mn(1)–O(3)	2.150(6)
Mn(1)–N(3)	2.240(7)	Mn(1)–N(2)#1	2.276(6)
Mn(1)–N(1)	2.274(7)	Mn(1)–N(4)#2	2.283(7)
N(4)–Mn(1)#4	2.283(7)		
Угол	$\omega, \text{град}$	Угол	$\omega, \text{град}$
O(1)Mn(1)O(3)	178.14(19)	O(1)Mn(1)N(3)	91.6(2)
O(3)Mn(1)N(3)	87.4(2)	O(1)Mn(1)N(2)#1	89.4(2)
O(3)Mn(1)N(2)#1	91.7(2)	N(3)Mn(1)N(2)#1	177.6(2)
O(1)Mn(1)N(1)	89.0(2)	O(3)Mn(1)N(1)	89.5(2)
N(3)Mn(1)N(1)	91.7(2)	N(2)#1Mn(1)N(1)	90.5(2)
O(1)Mn(1)N(4)#2	93.67(19)	O(3)Mn(1)N(4)#2	87.88(19)
N(3)Mn(1)N(4)#2	91.3(2)	N(2)#1Mn(1)N(4)#2	86.5(2)
N(1)Mn(1)N(4)#2	175.9(2)	C(1)O(1)Mn(1)	153.8(5)

Симметрические преобразования, использованные для генерации эквивалентных атомов: #1  $-y + 1, x + 1, z + \frac{1}{2}$ ; #2  $y, -x + 1, z + \frac{1}{2}$ ; #3  $y - 1, -x + 1, z - \frac{1}{2}$ ; #4  $-y + 1, x, z - \frac{1}{2}$ .

Отметим, что единственный известный КП трифторацетата переходного металла с дипиридиллом был получен в реакции дихлорида кобальта с трифторацетатом серебра в метаноле с последующей медленной диффузией эфира (Co–O 2.066–2.071 Å, Co–N 2.166–2.180 Å) [13].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе проведенных исследований показано, что для анионов относительно слабых кислот (уксусной и бензойной), когда преимущественно образуются биядерные или полиядерные комплексы и геометрия сформиро-

**Рис. 1.** Независимая часть полимера **1**.

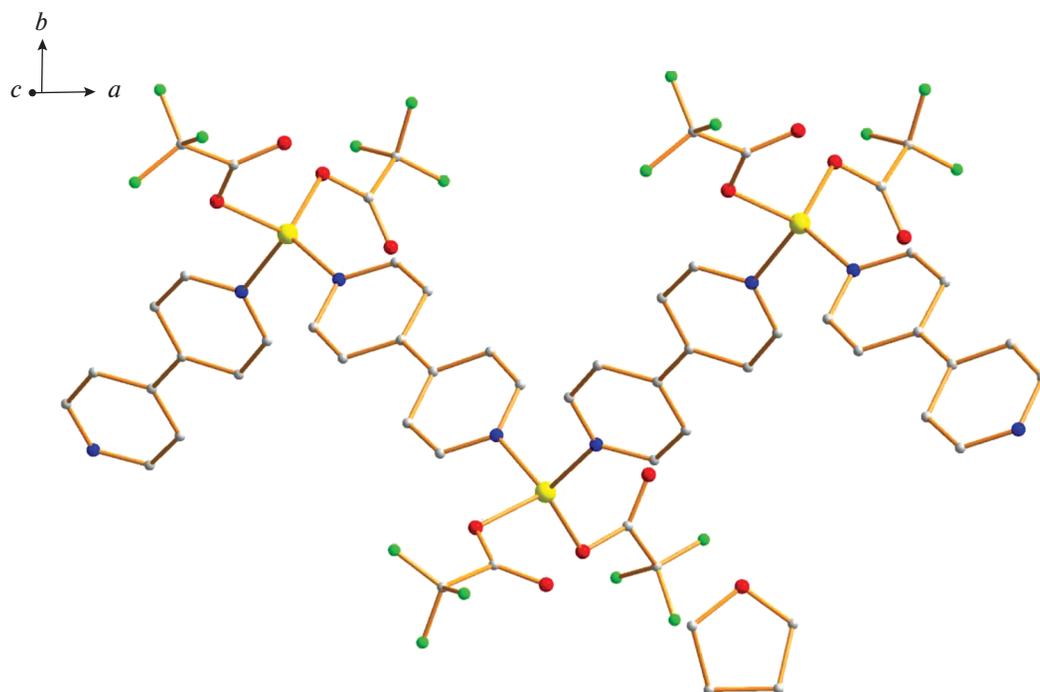


Рис. 2. Строение полимера 1. Цвета атомов: цинк – желтый, фтор – зеленый, азот – синий, кислород – красный.

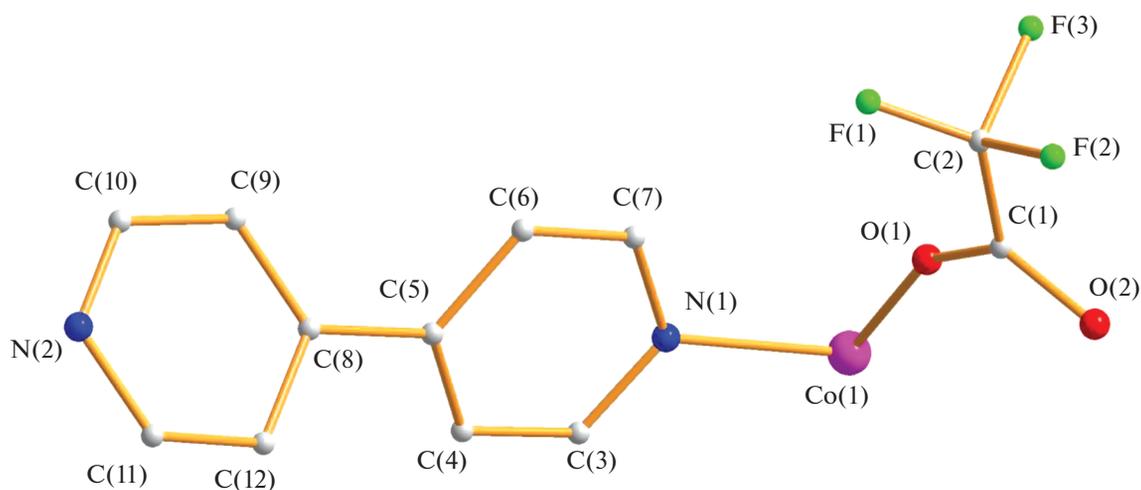
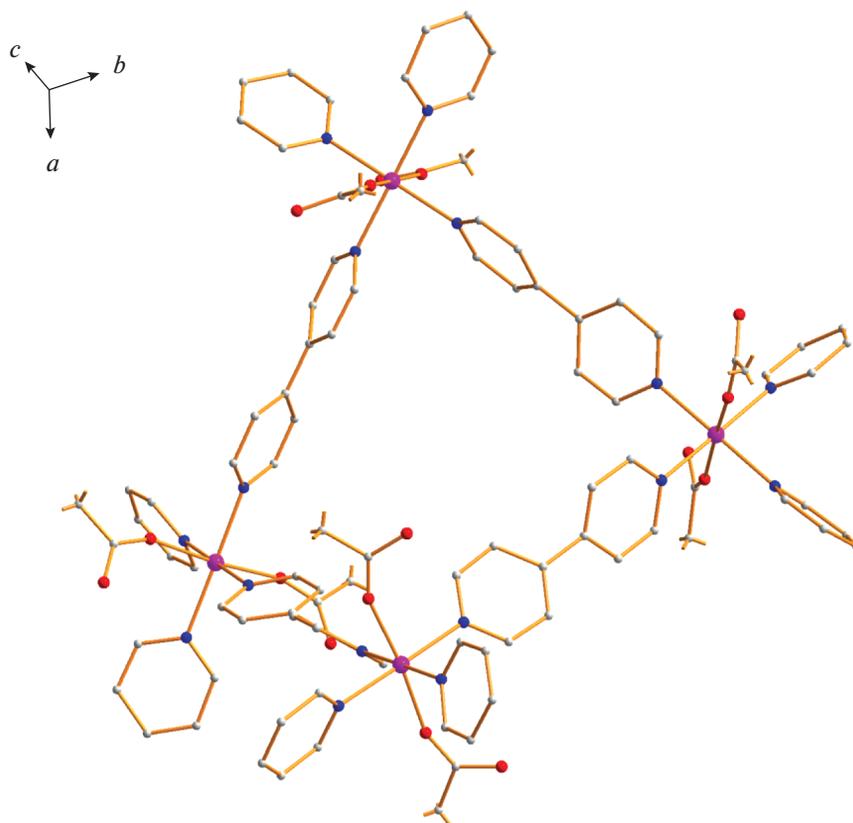


Рис. 3. Независимая часть полимера 2.

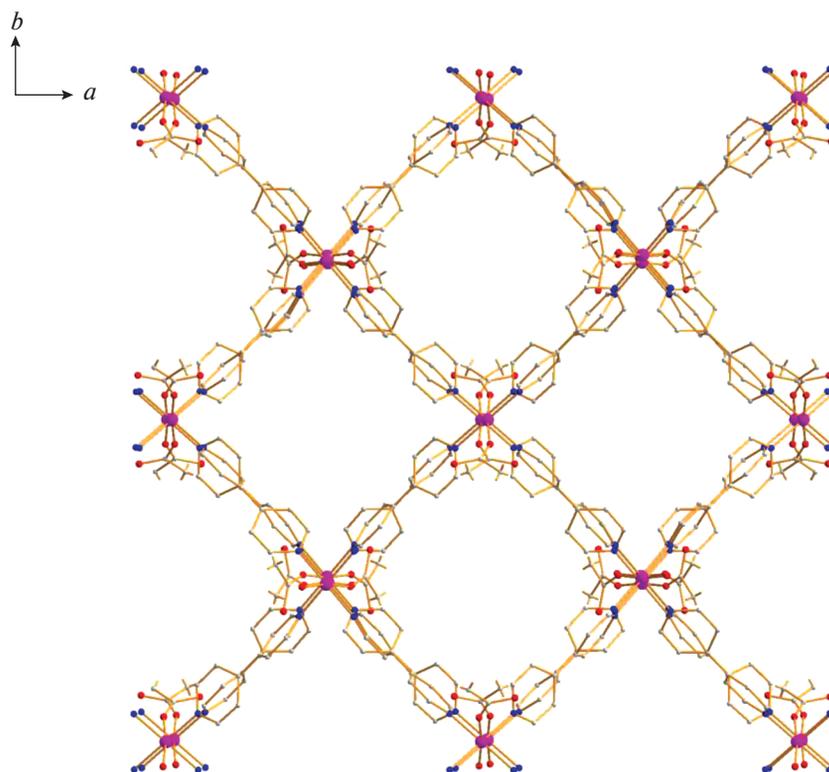
ванных 1D-КП крайне ограничена, для анионов сильных кислот, в частности трифторуксусной, возможно образование координационных полимеров различной размерности (в зависимости от природы металла), в том числе и 3D-КП, содержащих поры, в которые могут входить молекулы растворителя.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

РСА комплексов и ИК-спектральные исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП ФМИ ИОНХ РАН, функционирующего при поддержке государственного задания ИОНХ РАН в области фундаментальных научных исследований.



**Рис. 4.** Четырехъядерный фрагмент-металлобачка полимера **2**. Цвета атомов: кобальт – фиолетовый, азот – синий, кислород – красный, атомы фтора для ясности не показаны.



**Рис. 5.** Строение полимера **2**. Цвета атомов: кобальт – фиолетовый, азот – синий, кислород – красный, атомы фтора для ясности не показаны.

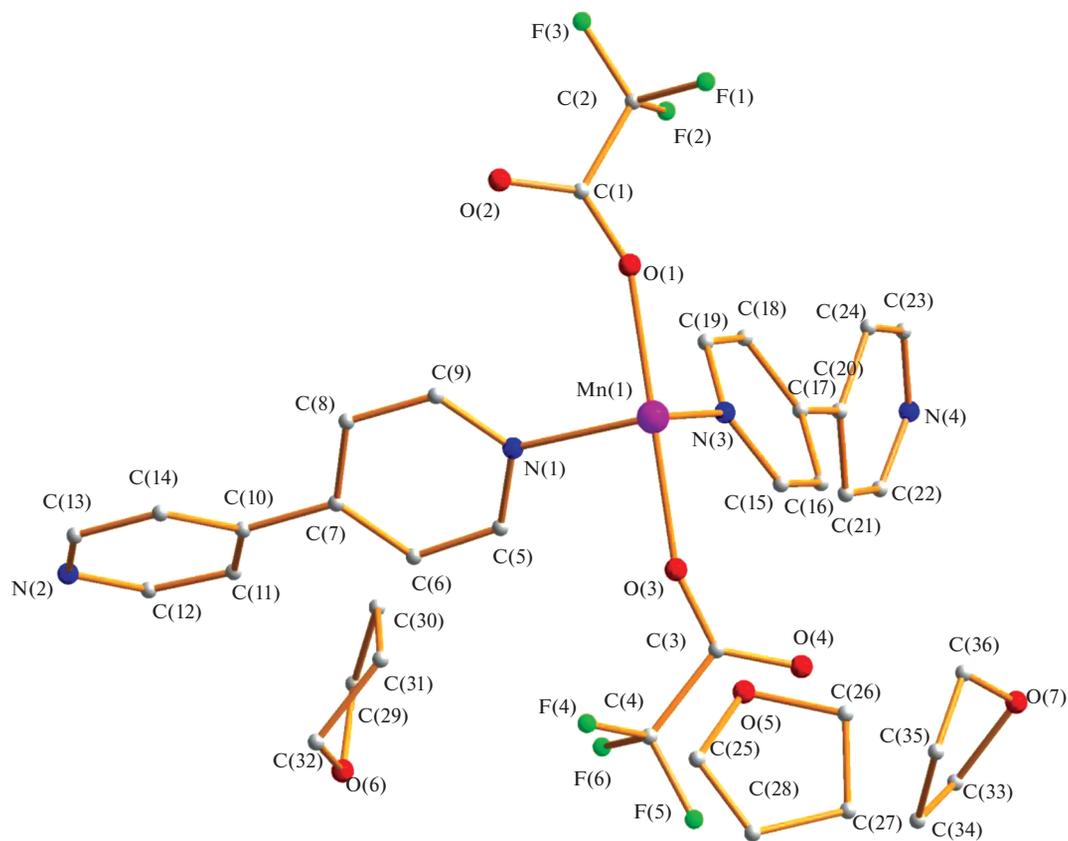


Рис. 6. Независимая часть комплекса 3.

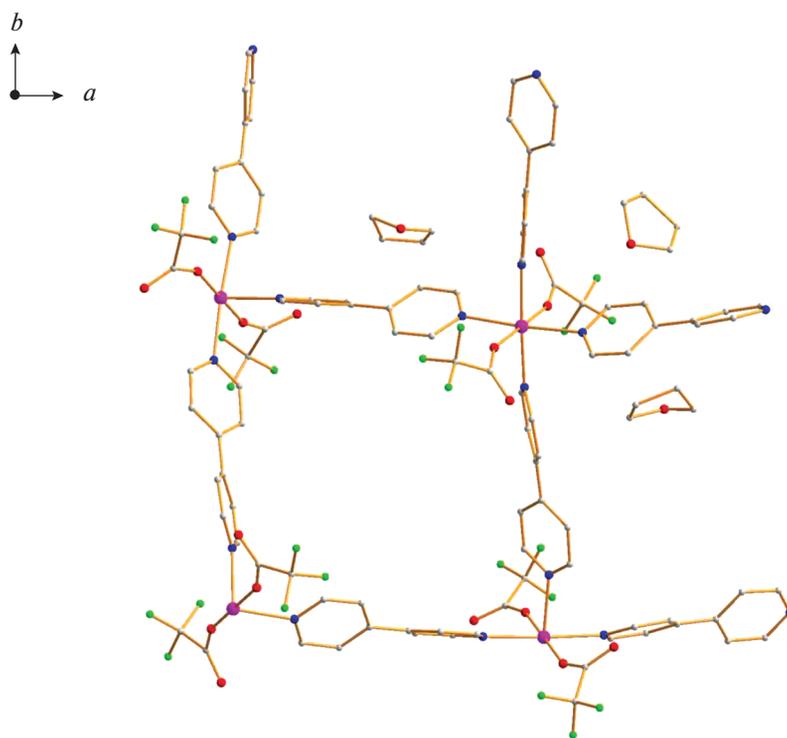


Рис. 7. Тетрамер-металлобензолька, основной фрагмент полимера 3.

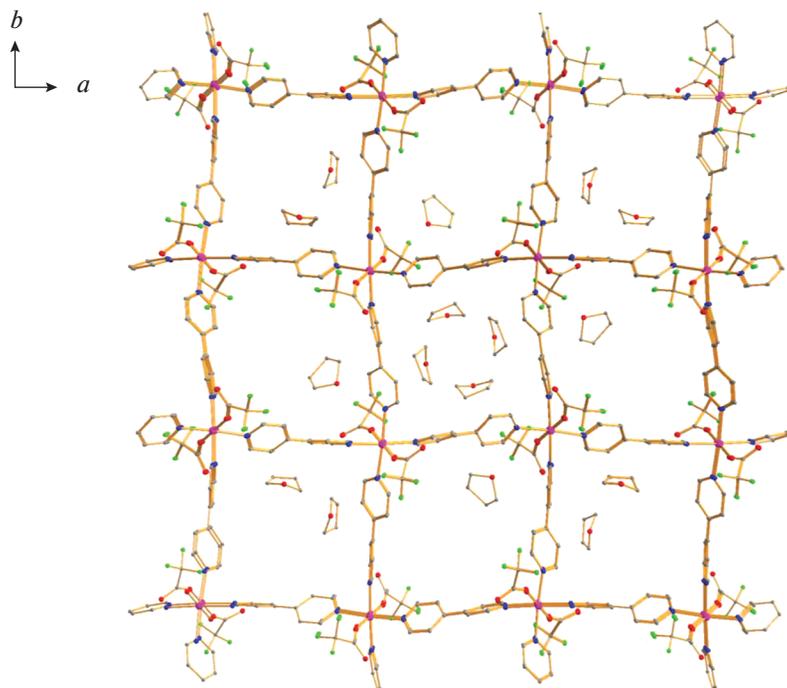


Рис. 8. Строение полимера 3.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОНХ РАН в области фундаментальных научных исследований.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cook T.R., Zheng Y.-R., Stang P.J. // *Chem. Rev.* 2013. V. 113. № 1. P. 734. <https://doi.org/10.1021/cr3002824>
2. Leininger S., Olenyuk B., Stang P.J. // *Chem. Rev.* 2000. V. 100. № 3. P. 53. <https://doi.org/10.1021/cr9601324>
3. Eddaoudi M., Moler D.B., Li H.-L. et al. // *Acc. Chem. Res.* 2001. V. 34. № 4. P. 319. <https://doi.org/10.1021/ar000034b>
4. Li J.-R., Ma Y., McCarthy M.C. et al. // *Coord. Chem. Rev.* 2011. V. 55. № 15–16. P. 1791. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2011.02.012>
5. Kuppler R.J., Timmons D.J., Fang Q.-R. et al. // *Coord. Chem. Rev.* 2009. V. 253. № 23–24. P. 3042. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2009.05.019>
6. Conerney B., Jensen P., Kruger P.E. et al. // *Cryst. Eng. Comm.* 2003. V. 5. № 80. P. 454. <https://doi.org/10.1039/b311278k>
7. Amiri M.G., Morsali A. // *Z. Anorg. Allg. Chem.* 2006. V. 632. № 15. P. 2491. <https://doi.org/10.1002/zaac.200600203>
8. Fu Y.-L., Xu Z.-W., Ren J.-L., Ng S.W. // *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* 2005. V. 61. № 10. P. m1897. <https://doi.org/10.1107/S1600536805027078>
9. Lu J., Yu C., Niu T. et al. // *Inorg. Chem.* 1998. V. 37. № 18. P. 4637. <https://doi.org/10.1021/ic971614g>
10. Fu F., Li D.-Sh., Yang X.-G. et al. // *Synth. React. Inorg., Met.-Org., Nano-Met. Chem.* 2009. V. 39. P. 373. <https://doi.org/10.1080/15533170903129505>
11. Wang G.-H., Li Z.-G., Xu J.-W., Hu N.-H. // *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online* 2007. V. 63. № 1. P. m289. <https://doi.org/10.1107/S1600536806054377>
12. Zhang Y.-Sh., Enright G.D., Breeze S.R., Wang S. // *New J. Chem.* 1999. V. 23. № 6. P. 625. <https://doi.org/10.1039/a900562e>
13. Datchuk R.R., Grineva A.A., Uvarova M.A. et al. // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2019. V. 64. № 10. P. 1220. <https://doi.org/10.1134/S0036023619100036>
14. Song Y.J., Kwak H., Lee Y.M. et al. // *Polyhedron* 2009. V. 28. № 7. P. 1241. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2009.02.014>
15. Zhang Zh.-X., Li Y., Li K.-Ch. et al. // *Inorg. Chem. Commun.* 2007. V. 10. № 11. P. 1276. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2007.08.006>
16. Kar P., Biswas R., Ida Y. et al. // *Cryst. Growth Des.* 2011. V. 11. № 12. P. 5305. <https://doi.org/10.1021/cg2008649>

17. Grineva A.A., Grekhova O.D., Datchuk R.R. *et al.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2019. V. 64. № 8. P. 1014. <https://doi.org/10.1134/S0036023619080047>
18. Lee T.-W., Lau J.P.-K., Wong W.-T. // Polyhedron. 2004. V. 23. № 6. P. 999. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2003.12.020>
19. Yu X.-K., Zhai X.-Sh., Zheng Y.-Q., Zhu H.-L. // Z. Naturforsch., B: Chem. Sci. 2014. V. 69. № 1. P. 62. <https://doi.org/10.5560/ZNB.2014-3242>
20. Polunin R.A., Kolotilov S.V., Kiskin M.A. *et al.* // Chem.-Eur. J. 2011. V. 32. P. 4985. <https://doi.org/10.1002/ejic.201100791>
21. Polunin R.A., Kolotilov S.V., Kiskin M.A. *et al.* // Eur. J. Inorg. Chem. 2010. P. 5055. <https://doi.org/10.1002/ejic.201000929>
22. Uvarova M.A., Nefedov S.E. // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. V. 66. № 6. P. 839. <https://doi.org/10.1134/S0036023621060206>
23. Uvarova M.A., Nefedov S.E. // Russ. J. Coord. Chem. 2020. V. 46. № 9. P. 608. <https://doi.org/10.1134/S1070328420090079>
24. SMART (control) and SAINT (integration) Software. Version 5.0. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1997.
25. SAINT. Area-Detector Integration Software. Madison (WI, USA). Bruker AXS Inc., 2012.
26. Sheldrick G.M. SADABS. Program for Scaling and Correction of Area Detector Data. Göttingen (Germany): Univ. of Göttingen, 1997.
27. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. C. 2015. V. 71. № 1. P. 3. <https://doi.org/10.1107/S2053229614024218>