

УДК 546.733+546.47+548.73

СИНТЕЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА АКВАКОМПЛЕКСОВ ЦИНКА И КОБАЛЬТА С КУКУРБИТ[6]УРИЛОМ

© 2019 г. И. В. Андриенко¹, Е. А. Коваленко^{1, *}, И. Е. Кармадонова^{1, 2},
П. Е. Плюснин^{1, 2}, Д. Г. Самсоненко^{1, 2}, В. П. Федин^{1, 2}

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

*e-mail: e.a.kovalenko@niic.nsc.ru

Поступила в редакцию 19.10.2018 г.

После доработки 28.01.2019 г.

Принята к публикации 30.01.2019 г.

Супрамолекулярные комплексы $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{C}_{36}\text{H}_{36}\text{N}_{24}\text{O}_{12})](\text{NO}_3)_2 \cdot 6.5\text{H}_2\text{O}$ (I), $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{C}_{36}\text{H}_{36}\text{N}_{24}\text{O}_{12})](\text{NO}_3)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (II) и $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{C}_{36}\text{H}_{36}\text{N}_{24}\text{O}_{12})](\text{NO}_3)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (III) получены при медленном (для I и III) и быстром (для II) охлаждении после кипячения водных растворов смеси солей соответствующих металлов и кукурбит[6]урилла. По данным РСА (CIF files CCDC № 1862494 (I), 1862495 (II), 1862496 (III)) супрамолекулярные комплексы являются первыми примерами, где осуществляется прямая координация атомов цинка и кобальта к молекуле кукурбит[6]урилла. Соединения I–III охарактеризованы методами РСА, ТГА, ИК-спектроскопии, элементного анализа.

Ключевые слова: комплексы цинка, комплексы кобальта, кукурбит[6]урил, рентгеноструктурный анализ, супрамолекулярная химия, кристаллическая структура

DOI: 10.1134/S0132344X1906001X

Интерес к комплексам металлов с макроциклическими кавитандами (каликсаренами, циклодекстринами, кукурбит[*n*]уриллами) обусловлен возможностью создания на их основе высокоорганизованных супрамолекулярных ансамблей, сочетающих органические и неорганические строительные блоки [1, 2].

Способность кукурбит[6]урилла (СВ[6]) в водных растворах связывать ионы металлов была обнаружена Берендом еще в 1905 г. [3]. Наличие у СВ[6] карбонильных групп, более поляризованных по сравнению со связями С–О в краун-эфирах или криптахандах, приводит к более сильным взаимодействиям между кукурбитурилом и катионами металлов, чем с этими органическими макроциклами [4–11]. Молекула СВ[6] построена из шести гликольурильных фрагментов, соединенных метиленовыми мостиками, и по форме напоминает бочку, в плоскости дна и крышки которой находятся атомы кислорода поляризованных карбонильных групп (порталы), способные или координировать ион металла, или образовывать водородные связи с аквакомплексами металлов. Комплексы металлов координируются атомами кислорода, расположенными в плоскости порталов СВ[6], а не включаются в полость кавитанда. Таким образом, уникальное строение СВ[6] позволяет, наряду со включением во внут-

римолекулярную полость органических молекул, образовывать супрамолекулярные аддукты или комплексы с широким рядом *s*-, *p*-, *d*- и *f*-элементов.

Несмотря на выполненные исследования в области взаимодействия СВ[*n*] с комплексами переходных металлов, в этой химии остается много “белых пятен”. В частности, это относится к соединениям СВ[*n*] с Zn(II). Известен ряд супрамолекулярных архитектур, в которых тетраэдры $[\text{ZnCl}_4]^{2-}$ занимают узлы при формировании упаковки так называемых “сотовых структур” [12–23]. В этих комплексах отсутствует прямое взаимодействие атомов цинка и кислорода порталов кукурбитурилов. Есть несколько примеров прямой координации атомов цинка к СВ[5] [24, 25] и к замещенным СВ[6] [26, 27]. Для незамещенных СВ[6] таких примеров нет. Еще менее изучено взаимодействие СВ[*n*] с солями Co(II). Описаны две структуры, где комплексы кобальта занимают полости, образованные различными соединениями кукурбит[*n*]урилла с редкоземельными элементами [28–30]. Кроме того, известны примеры образования полиротаксанов на основе комплексов кобальта, органических лигандов и СВ[*n*] [31, 32], имеющих цепочечное строение. Для СВ[8] получены соединения включения комплексов Co(II) с полиаминными лигандами [33–35].

В настоящей работе сообщается о синтезе, РСА и физико-химических свойствах трех новых супрамолекулярных комплексов кукурбит[6]ури-ла с Zn(II) и Co(II) состава $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{C}_{36}\text{H}_{36}\text{N}_{24}\text{O}_{12})](\text{NO}_3)_2 \cdot 6.5\text{H}_2\text{O}$ (I), $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{C}_{36}\text{H}_{36}\text{N}_{24}\text{O}_{12})](\text{NO}_3)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (II) и $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{C}_{36}\text{H}_{36}\text{N}_{24}\text{O}_{12})](\text{NO}_3)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (III).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали реагенты $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ марки “ч”. Кукурбит[6]урил синтезировали по описанной методике [36]. Синтезы проводили в стеклянных флаконах с завинчивающимися крышками. Анализы на С, Н, N выполняли в аналитической лаборатории ИНХ СО РАН на приборе Euro EA 3000. ИК-спектры регистрировали на спектрофотометре Scimitar FTS 2000 (таблетки с KBr). Термогравиметрические (ТГ) измерения в атмосфере гелия проводили с использованием микротермовесов TG 209 F1 Iris® фирмы NETZSCH. Масса навески 10 мг, Al тигель, скорость потока газа 60 мл/мин, скорость нагрева 10 град/мин в интервале температур 20–400°C. Результаты экспериментов обрабатывали с использованием стандартного пакета программного обеспечения ProteusAnalysis [37].

Синтез I и II. 2 мл 1 М водного раствора цинка азотнокислого и 0.020 г декагидрата кукурбит[6]ури-ла ($\text{C}_{36}\text{H}_{36}\text{N}_{24}\text{O}_{12} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, СВ[6] · 10Н₂О, 0.018 ммоль) нагревали до 100°C и выдерживали при этой температуре 48 ч. Объемные бесцветные кристаллы I в виде полиэдров получали при медленном охлаждении реакционной смеси до комнатной температуры в течение 2 сут. Выход 0.020 г (83% в расчете на СВ[6] · 10Н₂О). При быстром охлаждении реакционной смеси до комнатной температуры в течение 2 ч получали бесцветные кристаллы II в форме палочек. Выход 0.010 г (42% в расчете на СВ[6] · 10Н₂О). При извлечении из маточного раствора кристаллы соединений I и II трескаются и теряют кристалличность. Выполненные элементный анализ и ТГА, а также данные ИК-спектров для высушенных на воздухе образцов I и II совпадают.

Найдено, %: С 30.7; Н 4.2; N 25.7.

Для $\text{C}_{36}\text{H}_{62}\text{N}_{26}\text{O}_{31}\text{Zn}$ (в расчете на $9\text{H}_2\text{O}_{\text{кристал}}$)

вычислено, %: С 30.4; Н 4.4; N 25.6.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3442, 3003, 2955, 2388, 2289, 1740, 1610, 1480, 1416, 1378, 1327, 1299, 1260, 1236, 1191, 1148, 1029, 967, 821, 800, 760, 675, 633, 455.

ТГА: потеря массы 8% при нагревании до 90°C соответствует удалению шести молекул кристаллизационной воды, на второй ступени потеря

массы 10% при нагревании до 160°C – удалению трех молекул кристаллизационной и четырех молекул координационной воды.

Синтез III. 2 мл 1 М водного раствора кобальта азотнокислого и 0.020 г СВ[6] · 10Н₂О (0.018 ммоль) нагревали до 100°C и выдерживали при этой температуре 48 ч. Объемные розовые кристаллы III получали при охлаждении реакционной смеси до комнатной температуры в течение 2 сут. При извлечении из маточного раствора кристаллы трескаются и теряют кристалличность. Выход 0.010 г (42% в расчете на СВ[6] · 10Н₂О)

Найдено, %: С 31.1; Н 4.1; N 25.9.

Для $\text{C}_{36}\text{H}_{60}\text{N}_{26}\text{O}_{30}\text{Co}$ (в расчете на $8\text{H}_2\text{O}_{\text{кристал}}$)

вычислено, %: С 31.0; Н 4.3; N 26.1.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 3420, 3003, 2956, 2388, 2290, 1740, 1610, 1482, 1417, 1378, 1327, 1300, 1260, 1236, 1191, 1149, 1029, 970, 821, 800, 759, 676, 633, 454.

ТГА: потеря массы 5% при нагревании до 90°C соответствует удалению четырех молекул кристаллизационной воды, на второй ступени потеря массы 10% при нагревании до 160°C – удалению четырех молекул кристаллизационной и четырех молекул координационной воды.

РСА. Дифракционные данные для монокристаллов соединений I–III получены при 130 К на автоматическом дифрактометре Agilent Xcalibur, оснащенном двухкоординатным детектором AtlasS2 (графитовый монохроматор, $\lambda(\text{MoK}\alpha) = 0.71073 \text{ \AA}$, ω -сканирование). Интегрирование, учет поглощения, определение параметров элементарной ячейки проведены с использованием пакета программ CrysAlisPro [38]. Кристаллические структуры расшифрованы по программе SHELXT [39] и уточнены полноматричным МНК в анизотропном (за исключением атомов водорода) приближении (SHELXL) [40]. Позиции атомов водорода органических лигандов рассчитаны геометрически и уточнены по модели “наездника”. Катионы Zn(II) в структуре I разупорядочены по трем позициям (Zn(1), Zn(2) и Zn(3)) с относительными весами 0.79/0.12/0.09. Координационное окружение катионов Zn(II), располагающихся в минорных положениях (Zn(2) и Zn(3)), установить не удалось ввиду малой заселенности данных позиций. Катионы Zn^{2+} и Co^{2+} в структурах II и III разупорядочены каждый по четырем равновероятным позициям. Часть координационного окружения катионов Zn^{2+} и Co^{2+} также разупорядочена. Кристаллографические данные и детали дифракционных экспериментов I–III приведены в табл. 1.

Полные таблицы межатомных расстояний и валентных углов, координаты атомов и парамет-

Таблица 1. Основные кристаллографические данные и параметры уточнения структур I–III

Параметр	Значение		
	I	II	III
Брутто-формула	$C_{36}H_{57}N_{26}O_{28.5}Zn$	$C_{36}H_{58}N_{26}O_{29}Zn$	$C_{36}H_{58}N_{26}O_{29}Co$
M , г/моль	1375.44	1384.45	1378.01
Сингония	Ромбическая	Ромбическая	Ромбическая
Пр. гр.	$P2_12_12_1$	$Pnmm$	$Pnmm$
a , Å	11.5609(2)	11.5797(3)	11.5454(3)
b , Å	16.1024(3)	16.0615(4)	16.0936(5)
c , Å	29.5339(6)	14.8855(4)	14.7975(4)
V , Å ³	5497.98(18)	2768.51(12)	2749.48(13)
Z	4	2	2
ρ (выч.), г/см ³	1.662	1.661	1.664
μ , мм ⁻¹	0.564	0.561	0.430
$F(000)$	2852	1436	1430
Размер кристалла, мм	0.24 × 0.12 × 0.09	0.32 × 0.26 × 0.19	0.24 × 0.20 × 0.19
Область сканирования по θ , град	3.27–25.68	3.38–25.68	3.38–29.06
Диапазон индексов hkl	$-14 \leq h \leq 15$, $-18 \leq k \leq 20$, $-37 \leq l \leq 32$	$-15 \leq h \leq 14$, $-15 \leq k \leq 20$, $-13 \leq l \leq 19$	$-12 \leq h \leq 15$, $-16 \leq k \leq 22$, $-19 \leq l \leq 21$
N_{hkl} измеренных/независимых	22779/10368	7426/2738	11001/3302
R_{int}	0.0246	0.0142	0.0176
N_{hkl} с $I > 2\sigma(I)$	9253	2385	2808
GOOF по F^2	1.046	1.069	1.063
R -факторы ($I > 2\sigma(I)$)	$R_1 = 0.0587$, $wR_2 = 0.1597$	$R_1 = 0.0820$, $wR_2 = 0.2390$	$R_1 = 0.0742$, $wR_2 = 0.2157$
R -факторы (по всем отражениям)	$R_1 = 0.0671$, $wR_2 = 0.1666$	$R_1 = 0.0894$, $wR_2 = 0.2482$	$R_1 = 0.0827$, $wR_2 = 0.2250$
Остаточная электронная плотность (max/min), $e/\text{Å}^3$	1.339/–0.395	0.702/–0.841	1.469/–0.646

ры атомных смещений для комплексов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1862494 (I), 1862495 (II), 1862496 (III)); <http://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/>), а также могут быть получены у авторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Соединения I–III получены при нагревании до 100°C смеси 1 М раствора нитрата цинка или кобальта с СВ[6] в течение 48 ч. При медленном охлаждении реакционной смеси в течение 48 ч (синтезы I и III) получены монокристаллы в виде полиэдров, по данным РСА имеющие состав $[Zn(H_2O)_4(C_{36}H_{36}N_{24}O_{12})](NO_3)_2 \cdot 6.5H_2O$ и $[Co(H_2O)_4(C_{36}H_{36}N_{24}O_{12})](NO_3)_2 \cdot 7H_2O$ соответственно. При быстром охлаждении реакционной смеси в течение 2 ч (синтез II) образуются моно-

кристаллы в виде палочек, которые, по данным РСА, кристаллизуются в пр. гр. $Pnmm$ (в отличие от $P2_12_12_1$ для I) и имеют состав $[Zn(H_2O)_4(C_{36}H_{36}N_{24}O_{12})](NO_3)_2 \cdot 7H_2O$. Разный режим охлаждения реакционной смеси в случае соединений I и II с цинком приводит к образованию кристаллов разной формы. При медленном охлаждении кристаллизуется более упорядоченная фаза, в которой симметрия ниже. Быстрое охлаждение приводит к кристаллизации более разупорядоченной фазы, в которой симметрия выше.

При извлечении из маточного раствора кристаллы соединений I–III трескаются и теряют кристалличность. Кристаллы соединений I–III нерастворимы в воде, метаноле, спирте. По данным ТГА, проведенного на свежеприготовлен-

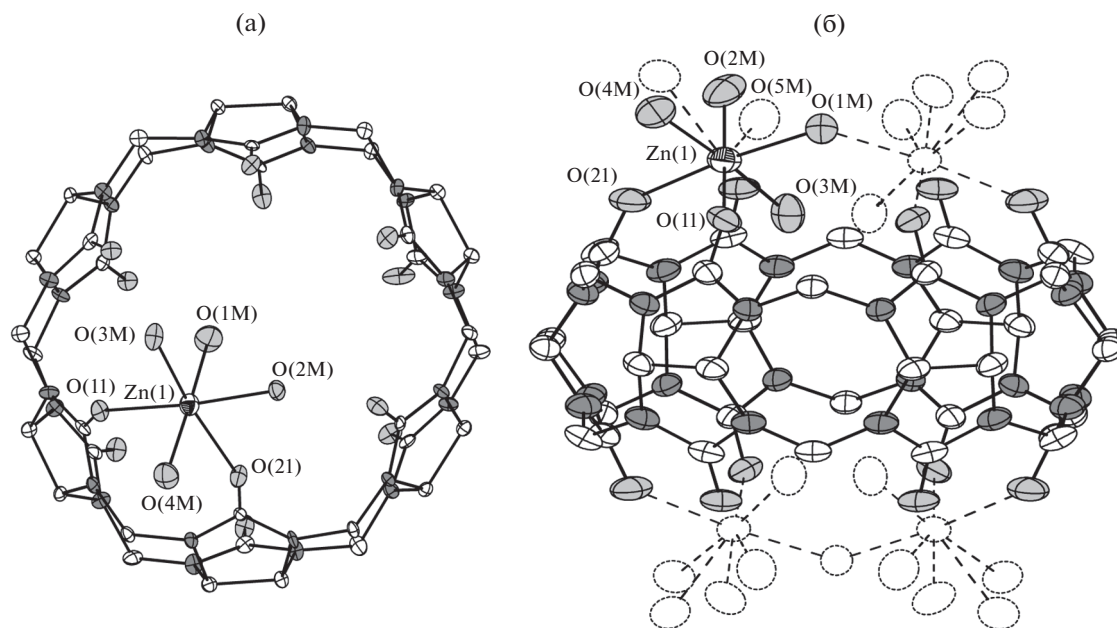


Рис. 1. Координационное окружение катиона Zn(II) в структурах I (а) и II (б). Эллипсоиды 50%-ной вероятности. Атомы водорода не показаны. Для II альтернативные положения катионов Zn(II) и аквалигандов показаны пунктирными линиями.

ных образцах, содержание воды в них выше, чем в образцах, отобранных для РСА.

В структуре комплекса I атом Zn(II) находится в октаэдрическом окружении, состоящем из двух атомов кислорода карбонильных групп молекулы СВ[6] (Zn–O 2.124(5) и 2.200(4) Å) и четырех атомов кислорода аквалигандов (Zn–O 2.026(5)–2.092(5) Å). Таким образом, формируется комплексный катион состава $[Zn(H_2O)_4(SВ[6])]^{2+}$ (рис. 1а).

Кристаллы соединений II и III изоструктурны. Атомы Zn(II) в структуре II и Co(II) в III также находятся в искаженном октаэдрическом координационном окружении, состоящем из двух атомов кислорода карбонильных групп молекулы СВ[6] (Zn–O 2.103(3) и 2.315(3) Å для II; Co–O 2.075(3) и 2.308(3) Å для III) и четырех аквалигандов (Zn–O 1.864(8)–2.113(4) Å; Co–O 1.934(5)–2.097(3) Å). Центр молекулы СВ[6] располагается в частной позиции с симметрией $2/m$, что приводит к разупорядочению катиона Zn^{2+} со своим координационным окружением по четырем равнозаселенным позициям (рис. 1б).

Катионы Zn^{2+} в структуре I разупорядочены по трем позициям (Zn(1), Zn(2) и Zn(3)), в то время как катионы Zn^{2+} и Co^{2+} в II и III соответственно разупорядочены каждый по четырем равновероятным позициям. Описанные выше комплексные катионы $[M(H_2O)_4(SВ[6])]^{2+}$ (M = Zn, Co) в структурах I–III соединены посредством водородных связей между аквалигандами, карбониль-

ными группами молекул СВ[6] и молекулами кристаллизационной воды, образуя цепочки, параллельные кристаллографической оси *a*. Цепочки из соседних слоев смещены относительно друг друга на половину трансляции вдоль оси *a* (рис. 2). В пространстве между цепочками образуются каналы, направленные вдоль оси *a*, в которых располагаются нитрат-анионы. Нитрат-анионы, аквалиганды и молекулы кристаллизационной воды образуют единую разветвленную сетку водородных связей: O...O 2.67–2.98 Å для I, 2.63–3.01 Å для II и 2.54–3.00 Å для III.

В ИК-спектрах комплексов I–III в области 3700–3100 cm^{-1} наблюдаются полосы валентных колебаний O–H молекул кристаллизационной воды, в областях 3100–2980 cm^{-1} – групп N–H и 2980–2890 cm^{-1} – групп C–H, при 1743–1740 cm^{-1} – колебания групп C=O СВ[6]. Полосы поглощения нитрат-анионов в спектрах комплексов проявляются при 1378 cm^{-1} .

Результаты ТГА соединений I–III показывают, что при скорости нагрева 10°C/мин молекулы воды удаляются в интервале 20–160°C в две стадии, процесс сопровождается эндозффектами. Потеря массы на первой ступени при 90°C составляет 8% для I и II и 5% для III, что соответствует удалению шести и четырех молекул кристаллизационной воды соответственно. Суммарная потеря кристаллизационной и координационной воды на двух ступенях составляет 18 и 15%. Нагревание

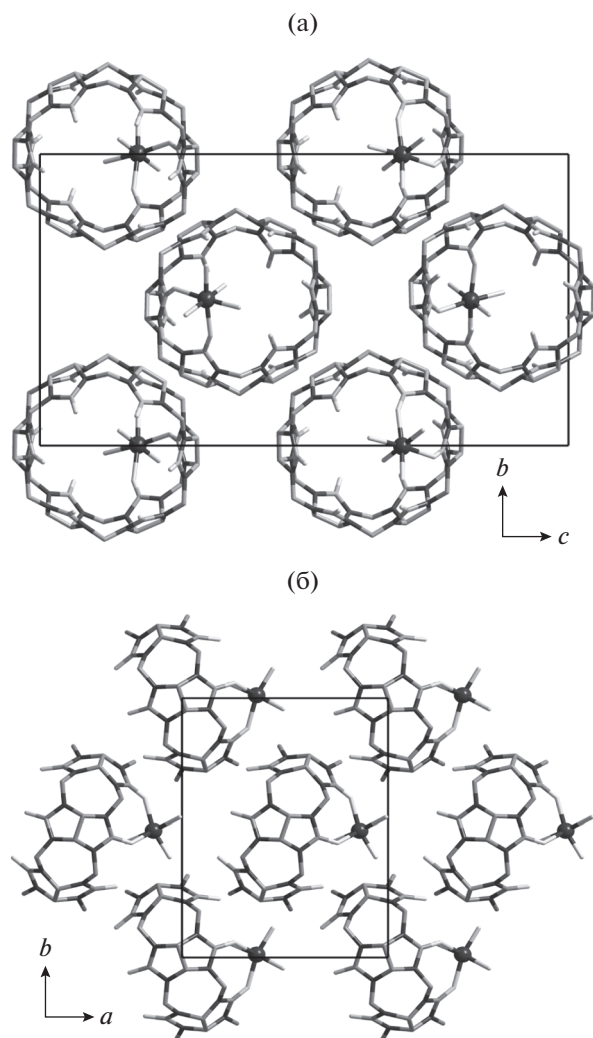


Рис. 2. Кристаллическая упаковка в структурах I (а) и II (б). Атомы водорода не показаны. Позиции катионов Zn(II) показаны темными шарами. Показано только одно из альтернативных положений катионов Zn(II) аквалигандов.

выше 250°C приводит к полному термическому разрушению (рис. 3).

Исходя из данных элементного и термогравиметрических анализов состав поликристаллических образцов можно представить следующими формулами: $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{C}_{36}\text{H}_{36}\text{N}_{24}\text{O}_{12})](\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ для соединений из синтеза I и II и $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{C}_{36}\text{H}_{36}\text{N}_{24}\text{O}_{12})](\text{NO}_3)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ для соединения из синтеза III.

До настоящей работы был получен и структурно охарактеризован единственный комплекс цинка с производным СВ[6] [26], в котором наблюдается непосредственная координация карбонильных групп макроцикла к катиону Zn^{2+} . Описано несколько соединений Zn(II) с кукурбит[5]урилом [24, 25]. Примеры комплексов с непосредствен-

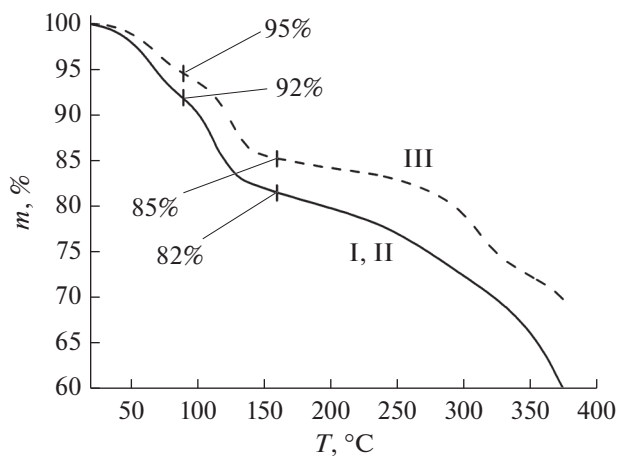


Рис. 3. ТГ-кривые для соединений: для $\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{C}_{36}\text{H}_{36}\text{N}_{24}\text{O}_{12})](\text{NO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (сплошная линия) и $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{C}_{36}\text{H}_{36}\text{N}_{24}\text{O}_{12})](\text{NO}_3)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (пунктирная линия).

ной координацией карбонильных групп кукурбитурилов к катионам Co^{2+} в литературе отсутствуют. Таким образом, соединения, полученные в настоящей работе – первые комплексы цинка(II) и кобальта(II) с нефункционизированным кукурбит[6]урилом.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-73-10213).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lee J.W., Samal S., Selvapalam N. et al. // Acc. Chem. Res. 2003. V. 36. P. 621.
2. Lagona J., Mukhopadhyay P., Chakrabarti S. et al. // Angew. Chem. Int. Ed. 2005. V. 44. P. 4844.
3. Behrend R., Meyer E., Rusche F. // Justus Liebigs Ann. Chem. 1905. V. 339. P. 1.
4. Freeman W.A. // Acta Crystallogr. B. 1984. V. 40. P. 382.
5. Герасько О.А., Самсоненко Д.Г., Федин В.П. // Успехи химии. 2002. Т. 71. С. 741.
6. Gerasko O.A., Sokolov M.N., Fedin V.P. // Pure Appl. Chem. 2004. V. 76. P. 1633.
7. Коваленко Е.А., Наумов Д.Ю., Федин В.П. // Коорд. химия. 2011. Т. 37. С. 139 (Kovalenko E.A., Naumov D.Y., Fedin V.P. // Russ. J. Coord. Chem. 2011. V. 37. P. 137. doi 10.1134/S1070328411010076).
8. Коваленко Е.А., Наумов Д.Ю., Федин В.П. и др. // Коорд. химия. 2012. Т. 38. С. 165 (Kovalenko E.A., Naumov D.Y., Fedin V.P. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2012 V. 38. P. 153. doi 10.1134/S1070328412020054).
9. Коваленко Е.А., Палаткина М.Ю., Самсоненко Д.Г. и др. // Коорд. химия. 2012. Т. 38. С. 395 (Kovalenko E.A., Palatkina M.Y., Samsonenko D.G. et al. //

- Russ. J. Coord. Chem. 2012. V. 38. P. 379. doi 10.1134/S1070328412050041).
10. Lü J., Lina J.-X., Cao M.-N. et al. // *Coord. Chem. Rev.* 2013. V. 257. P. 1334.
 11. Герасько О.А., Коваленко Е.А., Федин В.П. // *Успехи химии*. 2016. Т. 85. № 8. С. 795.
 12. Wei L.T., Zhang Y.Q., Zhou K.Zh. et al. // *Inorg. Chim. Acta*. 2016. V. 445. P. 1.
 13. Wei L.T., Zhang Y.Q., Zhou K.Zh. et al. // *Inorg. Chim. Acta*. 2016. V. 445. P. 277.
 14. Zhang Ch., Zhang Y.-Q., Xue S.-F. et al. // *Inorg. Chim. Acta*. 2016. V. 450. P. 258.
 15. Zhao Y., Liang L.-L., Chen K. et al. // *CrystEngComm*. 2013. V. 15. P. 7987.
 16. Qiu Sh.-Ch., Li Q., Zhang J. et al. // *J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem.* 2016. V. 86. P. 1.
 17. Zhang D.-Q., Sun T., Zhang Y.-Q. et al. // *Eur. J. Inorg. Chem.* 2015. V. 318. P. 323.
 18. Qiu Sh.-Ch., Li Q., Chen K. et al. // *Inorg. Chem. Commun.* 2016. V. 72. P. 50.
 19. Li Q., Qiu Sh.-Ch., Zhang Y.-Q. et al. // *RSC Adv*. 2016. V. 6. P. 77805.
 20. Li Q., Zhang Y.-Q., Zhu Q.-J. et al. // *Chem. Asian J.* 2015. V. 10. P. 1159.
 21. Liang L.-L., Zhao Y., Zhang Y.-Q. et al. // *CrystEngComm*. 2013. V. 15. P. 3943.
 22. Ji N.-N., Cheng X.-J., Zhao Yet al. // *Inorg. Chem.* 2014. V. 53. P. 21.
 23. Xiao X., Chen K., Xue S.-F. et al. // *J. Mol. Struct.* 2010. V. 969. P. 216.
 24. Cong H., Chen K., Wang Ch.-Z. et al. // *Wuji Huaxue Xuebao*. 2014. V. 30. P. 2839.
 25. Liu J.-X., Long L.-Sh., Huang R.-B. et al. // *Acta Crystallogr. E*. 2005. V. 61. P. m1021.
 26. Zhang Y.-Q., Zhen L.-M., Yu D.-H. et al. // *J. Mol. Struct.* 2008. V. 875. P. 435.
 27. Qin X., Chen W.-J., Zhang Y.-Q. et al. // *J. Mol. Struct.* 2011. V. 996. P. 12.
 28. Liang Zh.-Y., Chen H.-Y., Shan Ch.-Y. et al. // *Polyhedron*. 2010. V. 110. P. 125.
 29. Liang L.-L., Zhao Y., Chen K. et al. // *Polymers*. 2013. V. 5. P. 418.
 30. Limei Zh., Jiannan Zh., Yunqian Zh. et al. // *Supramolecular Chem.* 2008. V. 20. P. 709.
 31. Wang Zh.-B., Zhao M., Li Y.-Zh. et al. // *Supramolecular Chem.* 2008. V. 20. P. 689.
 32. Yi S., Captain B., Ottaviani M.F. et al. // *Langmuir*. 2011. V. 27. P. 5624.
 33. Коваленко Е.А., Митькина Т.В., Герасько О.А. и др. // *Коорд. химия*. 2011. Т. 37 С. 163 (Kovalenko E.A., Mitkina T.V., Geras'ko O.A. et al. // *Russ. J. Coord. Chem.* 2011. V. 37. P. 161. doi 10.1134/S1070328411020023).
 34. Mitkina T.V., Sokolov M.N., Naumov D.Y. et al. // *Inorg. Chem.* 2006. V. 45. P. 6950.
 35. Mitkina T.V., Zakharchuk N.F., Naumov D.Y. et al. // *Inorg. Chem.* 2008. V. 47. P. 6748.
 36. Freeman W.A., Mock W.L., Shih N.-Y. // *J. Am. Chem. Soc.* 1981. V. 103. P. 7367.
 37. NETZSCH Proteus Thermal Analysis. Vtersion 4.8.1. Bayern (Germany): NETZSCH-Gerätebau, 2005.
 38. CrysAlisPro 1.171.38.41. Rigaku Oxford Diffraction. 2015.
 39. Sheldrick G.M. // *Acta Crystallogr. A*. 2015. V. 71. P. 3.
 40. Sheldrick G.M. // *Acta Crystallogr. C*. 2015. V. 71. P. 3.