

УДК 546.47-386;546.711-386

СИНТЕЗ И СТРУКТУРА СОЛИ ДИАНИЛИНГЛИОКСИМА И ЕГО БИЯДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ Zn(II) И Mn(II) С 1,3-БЕНЗОЛДИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТОЙ

© 2019 г. Д. Уреке^{1,2}, И. Булхак¹, А. Риж¹, Э. Корочану^{1,2}, П. Боурош^{2,3,*}

¹Институт химии, Кишинев, Республика Молдова

²Тираспольский государственный университет, Кишинев, Республика Молдова

³Институт прикладной физики, Кишинев, Республика Молдова

*e-mail: bourosh.xray@phys.asm.md

Поступила в редакцию 08.04.2019 г.

После доработки 03.07.2019 г.

Принята к публикации 08.07.2019 г.

Получены монокристаллы дианилинглиоксима (DAnH₂) в виде гидратных солей [DAnH₃](ClO₄) · H₂O (I), [DAnH₃](ClO₄) · 1.25H₂O (II). Синтезированы три биядерных соединения цинка(II) и марганца(II) с дианилинглиоксимом и 1,3-бензолдикарбонической кислотой (1,3-H₂Bdc): [Zn₂(DAnH₂)₂(1,3-Bdc)₂(DMF)₄] · 2DMF · MeOH · 1.5H₂O (III), [Mn₂(DAnH₂)₂(1,3-Bdc)₂(DMF)₄] · 2DMF (IV) и {[Mn₂(DAnH₂)₂(1,3-Bdc)₂(DMF)₂(CH₃OH)₂] [Mn₂(DAnH₂)₂(1,3-Bdc)₂(DMF)₄] · 2CH₃OH} (V). Состав и строение соединений I–V подтверждены методами ИК-спектроскопии и PCA (CIF files CCDC № 1906360 (I), 1906362 (II), 1906361 (III), 1906363 (IV), 1906364 (V)). Последним показано, что DAnH₂ координируется к ионам металлов хелатно-бидентатным способом, а (1,3-Bdc)²⁻ – бидентатно-мостиковым, образуя биядерные структуры. К каждому атому металла координируется один нейтральный DAnH₂, как и большинство α-диоксимов, через два атома азота, и два аниона (1,3-Bdc)²⁻ – каждый через один атом кислорода. Координационные полиэдры металлов в III–V построены атомами кислорода DMF и CH₃OH.

Ключевые слова: координационные соединения марганца и цинка, дианилинглиоксим, 1,3-бензолдикарбоническая кислота, ИК-спектры, рентгеноструктурный анализ

DOI: 10.1134/S0132344X19120089

α-Диоксими широко используются в качестве хелатирующих агентов в координационной химии с начала 1900-х гг. [1–3]. Из-за двух оксимных групп в этих лигандах при получении координационных соединений необходимо было учитывать три геометрических изомера: *анти-/цис-* (*E,E*), *амфи-* (*E,Z*) и *син-/транс-* (*Z,Z*) [4, 5]. Структурные результаты из Кембриджского банка структурных данных (КБСД) [6] подтвердили, что в диоксиматных соединениях чаще всего для координации этих лигандов используется N,N-хелатирующий способ, стабилизирующий (*E,E*) *анти-*форму.

Структура диоксиматов переходных металлов определяется многими факторами: природа и степень окисления комплексообразователя, свойства самого диоксима, pH среды и др. Известны диоксиматы никеля(II), палладия(II) и платины(II) с квадратной координацией [7], биядерные меди(II) с квадратно-пирамидальным [8], железа(II) [9], железа(III) [10], кобальта(II) [5], кобальта(III) [11, 12], никеля(III) [13] с октаэдрическим строением. Во всех упомянутых комплексах два оксимных

лиганда координируются как моноанионы, расположенные примерно в одной плоскости с образованием достаточно сильных внутримолекулярных водородных связей (BC) O–H...O. Описаны также комплексы железа(II) [14], никеля(II), кобальта(II), меди(II) [15–17] и меди(I) [18], полученные в сильно-кислой среде, в которых молекулы диоксима не депротонируются и координируются без образования подобных водородных связей с различной ориентацией OH-групп. Описаны одноядерные диоксиматы Zn(II) и Cd(II) [19], двухядерные комплексы Co(III), Cu(II), Zn(II) и Cd(II) с использованием дополнительных бидентатных пиридиновых лигандов [20–22], а также координационные полимеры [23]. Известны также комплексы переходных металлов би- и полиядерного типа Zn(II), Cd(II), Mn(II), Co(III) и Cu(II) со смешанными лигандами, включающие диоксими, а также ди- или трикарбонические кислоты [24, 25]. Однако координационные соединения марганца(II) и цинка(II) биядерного типа с диоксимами, в том числе с дианилинглиоксимом, изуче-

ны в меньшей степени. Такие комплексы представляют интерес с точки зрения их биологической активности, например, их антибактериальных и фунгицидных свойств [26–28].

Настоящая работа посвящена синтезу и кристаллической структуре биядерных координационных соединений марганца(II) и цинка(II) на основе дианилинглиоксима (**DAnH₂**) и 1,3-бензолдикарбоновой кислотой (**1,3-H₂Bdc**).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для синтеза использовали коммерческие реактивы и растворители “х. ч.” без дополнительной очистки.

Дианилинглиоксим получали конденсацией дихлорглиоксима с анилином по методике [26].

ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3370 ср, 3057 с, 3039 пл, 2977 о. сл, 2903 ср, 2833 пл, 2780 с, 2087 сл. ш, 1939 сл, 1871 сл. ш, 1794 сл, 1744 сл. ш, 1637 о.с, 1596 о. с, 1494 о. с, 1475 пл, 1432 о. с, 1354 с, 1292 ср, 1272 с, 1218 ср, 1183 сл, 1110 о. сл, 1074 ср, 1026 сл, 1004 сл, 971 о. с, 909 ср, 884 ср, 804 сл. ш, 752 с, 733 ср, 711 сл, 689 о. с, 619 о. сл, 605 ср, 588 ср, 508 пл, 503 ср, 487 ср, 441 ср, 425 пл, 407 ср.

Получить монокристаллы дианилинглиоксима с параметрами, пригодными для РСА, не удалось. Однако при попытке синтезировать комплексы кадмия с дианилинглиоксимом получили два типа бесцветных кристаллов состава [DAnH₃]ClO₄ · H₂O (I) и [DAnH₃]ClO₄ · 1.25H₂O (II), различающиеся лишь соотношением катион : анион : количество молекул воды.

Синтез [Zn₂(DAnH₂)₂(1,3-Bdc)₂(DMF)₄] · 2DMF · MeOH · 1.5H₂O (III). Смесь из 0.054 г (0.2 ммоль) DAnH₂ и 0.022 г (0.1 ммоль) Zn(CH₃COO)₂ · 2H₂O растворяли в 12 мл смеси диметилформамид–метанол в объемном соотношении 1 : 1. К полученному раствору при постоянном перемешивании добавляли раствор 0.034 г (0.2 ммоль) 1,3-H₂Bdc в 3 мл метанола. Реакционную смесь светло-желтой окраски перемешивали еще 10–15 мин, после чего раствор фильтровали и фильтрат оставляли при комнатной температуре для кристаллизации. Через 30 сут образовывались блочные бесцветные кристаллы. Продукт растворим в DMSO, нерастворим в DMF, метаноле, воде, диэтиловом эфире.

Найдено, %: C 51.04; H 5.77; N 13.34; Zn 8.89.

Для C₆₃H₈₅N₁₄O_{20.5}Zn₂

вычислено, %: C 50.53; H 5.72; N 13.11; Zn 8.74.

ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3317 ср, 3068 сл, 3045 о. сл, 2930 ср, 2807 о. сл, 2310 ср. ш, 1869 ср. ш, 1672 пл, 1649 о.с, 1599 с, 1540 ср, 1497 с, 1470 ср, 1458 ср, 1435 ср, 1374 о.с, 1315 сл, 1297 ср, 1253 ср, 1179 сл,

1155 сл, 1104 ср, 1087 ср, 1080 пл, 1062 сл, 994 с, 949 ср, 911 ср, 892 ср, 868 сл, 837 сл, 805 ср, 749 с, 707 с, 699 с, 677 ср, 658 ср, 633 ср, 602 ср, 553 о. сл, 518 ср, 493 ср, 451 ср, 413 сл.

Синтез [Mn₂(DAnH₂)₂(1,3-Bdc)₂(DMF)₄] · 2DMF (IV). В 12 мл смеси растворителей диметилформамид–этанол в объемном соотношении 1 : 1 растворяли 0.054 г (0.2 ммоль) DAnH₂ и 0.024 г (0.1 ммоль) Mn(CH₃COO)₂ · 4H₂O. К раствору слабо-желтого цвета прибавляли при комнатной температуре 0.034 г (0.2 ммоль) 1,3-H₂Bdc, растворенного в 3 мл этилового спирта, после чего цвет менялся на светло-коричневый. Раствор перемешивали в течение 20 мин при комнатной температуре. Образовавшийся осадок желтого цвета отфильтровывали, фильтрат оставляли при комнатной температуре для кристаллизации. Через три недели в фильтрате образовывались кристаллы желтого цвета в виде призм, пригодные для РСА. Продукт растворим в DMSO, нерастворим в DMF, метаноле, воде, диэтиловом эфире.

Найдено, %: C 52.77; H 5.38; N 13.88; Mn 7.81.

Для C₆₂H₇₈N₁₄O₁₈Mn₂

вычислено, %: C 52.54; H 5.55; N 13.84; Mn 7.75.

ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3622 сл, 3296 ср, 3078 о. сл, 2932 сл, 2540 ср. ш, 2331 ср. ш, 1877 сл. ш, 1649 с, 1628 пл, 1599 с, 1539 ср, 1497 ср, 1472 ср, 1453 сл, 1436 ср, 1419 сл, 1376 о.с, 1309 сл, 1295 сл, 1178 сл, 1157 сл, 1112 ср, 1096 сл, 1078 ср, 994 с, 1112 пл, 949 ср, 909 ср, 893 сл, 835 сл, 807 сл, 802 сл, 752 с, 708 с, 696 с, 679 ср, 633 сл, 603 сл, 546 сл, 513 ср, 490 ср, 443 ср.

Синтез {[Mn₂(DAnH₂)₂(1,3-Bdc)₂(DMF)₂(CH₃OH)₂]-[Mn₂(DAnH₂)₂(1,3-Bdc)₂(DMF)₄] · 2CH₃OH} (V). DAnH₂ массой 0.054 г (0.2 ммоль) и Mn(CH₃COO)₂ · 4H₂O массой 0.024 г (0.1 ммоль) растворяли в 12 мл смеси диметилформамид–метанол в объемном соотношении 1 : 1. К полученному раствору желтого цвета при комнатной температуре и постоянном перемешивании прибавляли раствор 0.034 г (0.2 ммоль) 1,3-H₂Bdc в 3 мл метанола. При перемешивании реакционной массы в течение 10–15 мин наблюдали образование осадка слабо-желтого цвета, который отделяли путем фильтрования, а фильтрат оставляли для кристаллизации при комнатной температуре. Через 26 сут в фильтрате образовывались кристаллы того же цвета в виде призм, пригодные для РСА. Продукт растворим в DMSO, нерастворим в DMF, метаноле, воде, диэтиловом эфире.

Найдено, %: C 52.63; H 5.17; N 12.54; Mn 8.73.

Для C₁₁₀H₁₃₀N₂₂O₃₄Mn₄

вычислено, %: C 52.34; H 5.19; N 12.21; Mn 8.71.

ИК-спектр (ν , см^{-1}): 3617 сл, 3400 сл. ш, 3302 ср, 3063 о. сл, 2937 сл. ш, 2479 сл. ш, 1840 ср. ш, 1649 о.с, 1628 пл, 1598 ср, 1539 ср, 1497 ср, 1472 ср, 1436 ср, 1419 сл, 1376 о.с, 1295 ср, 1281 сл, 1254 сл, 1177 сл, 1156 сл, 1114 ср, 1095 сл, 1078 ср, 1027 пл, 1007 пл, 999 с, 949 ср, 920 сл, 906 ср, 892 ср, 832 сл. ш, 812 сл, 805 сл, 751 о.с, 735 пл, 708 о.с, 698 с, 680 ср, 666 ср, 659 пл, 634 ср, 603 ср, 552 сл, 514 ср, 490 ср, 477 ср, 442 ср, 432 пл.

ИК-спектры регистрировали на спектрометре Perkin-Elmer 100 FT-IR в диапазоне 4000–400 см^{-1} (суспензии в вазелиновом масле) и АТР в диапазоне 4000–650 см^{-1} .

РСА. Экспериментальные данные для I–V получены при комнатной температуре 293(2) К на дифрактометре Xcalibur E (MoK $_{\alpha}$ -излучение, графитовый монохроматор). Параметры элементарной ячейки, уточненные по всему массиву, и остальные экспериментальные данные получены, используя комплекс программ CrysAlis Oxford Diffraction [29]. Структура соединений решена прямыми методами и уточнена методом наименьших квадратов в анизотропном полноматричном варианте для неводородных атомов (SHELX-97) [30]. Позиции атомов водорода сольватных молекул воды определены из разностного Фурье синтеза, остальных атомов Н рассчитаны геометрически. Все атомы Н уточнены изотропно в модели “жесткого тела” с $U_{\text{эфф}} = 1.2 U_{\text{экр}}$ или $1.5 U_{\text{экр}}$ соответствующих атомов О, N и С. Характеристики эксперимента и уточнения структуры соединений I–V приведены в табл. 1, некоторые межатомные расстояния и валентные углы – в табл. 2 и 3, геометрические параметры ВС – в табл. 4.

Позиционные и тепловые параметры атомов соединений I–V депонированы в КБСД (CIF files CCDC № 1906360 (I), 1906362 (II), 1906361 (III), 1906363 (IV), 1906364 (V)); deposit@ccdc.cam.ac.uk или http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

ИК-спектры исследуемых соединений сложные, однако они несут ценную информацию о составе комплексов, о способе координации лигандов к иону металла, о взаимодействии лигандов, об образовании ВС и др. В спектре DAnH $_2$ проявляется довольно узкая полоса поглощения средней интенсивности при 3370 см^{-1} , которую можно отнести к колебаниям $\nu(\text{NH})$ [31]. Интенсивные полосы поглощения при 3057 и 2780 см^{-1} , вероятно, относятся к $\nu(\text{OH})$ оксимных групп, участвующих в образовании различных ВС в DAnH $_2$ в твердом состоянии. В области 2000–1667 см^{-1} наблюдаются четыре полосы поглощения слабой интенсивности при 1941, 1865, 1791 и 1737 см^{-1} (обертон и результирующие составные

полосы основных частот внеплоскостных колебаний СН ароматического кольца, лежащие в интервале 1000–700 см^{-1}). Интенсивные полосы поглощения при 752 и 689 см^{-1} , обусловленные колебаниями $\delta(\text{CH}_{\text{внепл}})$, характерны для монозамещенного бензольного кольца [31, 32]. Идентификация плоскостных деформационных колебаний $\delta(\text{CH})$ ароматического кольца затруднена, так как в данной области проявляются и другие полосы поглощения. К колебаниям $\nu(\text{C}=\text{N})$ и $\nu(\text{N}=\text{O})$ оксимных групп можно отнести интенсивные полосы поглощения при 1637 и 971 см^{-1} соответственно [32]. Плоскостные колебания скелета $\text{C}=\text{C}$ проявляются полосами поглощения при 1595, 1493 и 1432 см^{-1} [33].

Контуры спектров комплексов III–V имеют много общего. Во всех присутствуют полосы поглощения $\nu(\text{NH})$ в интервале 3317–3296 см^{-1} и отсутствуют полосы поглощения $\nu(\text{OH})$ оксимных групп в обычной для спектров оксимов области. Вероятно, две широкие и достаточно интенсивные полосы поглощения в областях 2700–2200 и 2000–1700 см^{-1} относятся к $\nu(\text{OH})$ оксимных групп, участвовавших в образовании достаточно сильных и отличающихся по длине ВС [34, 35].

Асимметричная часть элементарной ячейки I содержит органический катион [DAnH $_3$] $^+$, анион ClO_4^- и одну молекулу воды. Молекулярная структура I показана на рис. 1а. Катион [DAnH $_3$] $^+$ имеет форму бабочки, в которой две центральные части ONCN составляют двугранный угол 54.4°, а оксимные группы имеют *анти* (*E,E*) конформацию. Межатомные расстояния O–N и N–C в оксимных фрагментах отличаются несущественно от подобных в нейтральных модифицированных диоксидах VI, VII, содержащих аминогруппу [36, 37]. Например, в I межатомные расстояния O–N равны 1.383(4) и 1.408(4) (табл. 3), в VI – 1.434, в VII – 1.422 Å.

В кристалле I катионы [DAnH $_3$] $^+$ объединены межмолекулярными ВС O–H \cdots N в центросимметричный димер (рис. 1б, табл. 4), а катионы с анионами – межмолекулярными ВС O–H \cdots O или вовлекают молекулу воды межмолекулярными ВС N–H \cdots O и O–H \cdots O (рис. 1а, табл. 4). При этом анионы ClO_4^- и молекулы воды связаны в цепочки (рис. 1в, табл. 4), на которые нанизываются катионы [DAnH $_3$] $^+$ (рис. 1г, табл. 4).

Асимметричная часть элементарной ячейки кристалла II содержит четыре независимых органических катиона [DAnH $_3$] $^+$ (A–D), четыре аниона ClO_4^- (A–D) и пять молекул воды, две из которых разупорядочены по двум позициям. Молекулярная структура катиона A из II показана на рис. 2а, строение всех компонентов – на рис. 2б. Катионы

Таблица 1. Кристаллографические данные и характеристики эксперимента для структуры I–V

Параметры	Значение				
	I	II	III	IV	V
Эмпирическая формула	$C_{14}H_{17}N_4O_7Cl$	$C_{36}H_{70}N_{16}O_{28.4}Cl_4$	$C_{63}H_{85}N_{14}O_{20.5}Zn_2$	$C_{62}H_{78}N_{14}O_{18}Mn_2$	$C_{110}H_{130}N_{22}O_{34}Mn_4$
<i>M</i>	388.77	1563.48	1497.19	1417.26	2524.12
Сингония	Моноклиная	Триклиная	Моноклиная	Моноклиная	Триклиная
Пр. гр.	$P2_1/c$	$P\bar{1}$	$P2_1/n$	$P2_1/n$	$P\bar{1}$
Параметры элементарной ячейки					
<i>a</i> , Å	12.2803(7)	10.7746(7)	14.1178(5)	9.4953(5)	13.9891(9)
<i>b</i> , Å	10.6201(7)	12.8312(8)	9.1592(4)	13.7464(5)	14.6400(8)
<i>c</i> , Å	14.2762(6)	26.7126(16)	28.4951(9)	26.9683(13)	16.2122(9)
α , град	90	89.810(5)	90	90	93.752(4)
β , град	92.367(5)	84.983(5)	90.826(3)	93.122(5)	113.819(6)
γ , град	90	85.435(5)	90	90	94.536(5)
<i>V</i> , Å ³	1860.27(18)	3667.2(4)	3684.3(2)	3514.8(3)	3010.6(3)
<i>Z</i>	4	2	2	2	1
ρ (выч.), г/см ³	1.388	1.416	1.350	1.339	1.392
μ , мм ⁻¹	0.248	0.253	0.729	0.436	0.497
<i>F</i> (000)	808	1626	1570	1484	1316
Размеры кристалла, мм	$0.35 \times 0.18 \times 0.01$	$0.35 \times 0.15 \times 0.08$	$0.42 \times 0.36 \times 0.22$	$0.35 \times 0.2 \times 0.08$	$0.2 \times 0.18 \times 0.06$
Область θ , град	2.94–25.50	2.92–25.50	3.00–25.05	2.96–25.05	2.97–25.05
Интервалы индексов отражений	$-14 \leq h \leq 14$, $-12 \leq k \leq 12$, $-17 \leq l \leq 11$	$-11 \leq h \leq 13$, $-15 \leq k \leq 15$, $-20 \leq l \leq 32$	$-16 \leq h \leq 16$, $-10 \leq k \leq 9$, $-33 \leq l \leq 25$	$-11 \leq h \leq 6$, $-16 \leq k \leq 16$, $-32 \leq l \leq 28$	$-15 \leq h \leq 16$, $-17 \leq k \leq 16$, $-19 \leq l \leq 14$
Число измеренных/независимых рефлексов (R_{int})	6375/3446 (0.0370)	20663/13525 (0.0442)	11720/6486 (0.0378)	13487/6204 (0.0583)	16374/10611 (0.0413)
Число рефлексов с $I > 2\sigma(I)$	1907	6545	4493	3230	6024
Заполнение, %	99.4 ($\theta = 25.50^\circ$)	99.1 ($\theta = 25.50^\circ$)	99.5 ($\theta = 25.05^\circ$)	99.7 ($\theta = 25.05^\circ$)	99.5 ($\theta = 25.05^\circ$)
Число уточняемых параметров	235	955	470	440	757
GOOF	1.005	1.000	1.003	1.005	1.000
<i>R</i> факторы ($I > 2\sigma(I)$)	$R_1 = 0.0619$, $wR_2 = 0.1542$	$R_1 = 0.0818$, $wR_2 = 0.1921$	$R_1 = 0.0648$, $wR_2 = 0.1670$	$R_1 = 0.0713$, $wR_2 = 0.1330$	$R_1 = 0.0722$, $wR_2 = 0.1413$
<i>R</i> факторы (по всему масиву)	$R_1 = 0.1306$, $wR_2 = 0.1817$	$R_1 = 0.1656$, $wR_2 = 0.2386$	$R_1 = 0.0991$, $wR_2 = 0.1911$	$R_1 = 0.1440$, $wR_2 = 0.1669$	$R_1 = 0.1367$, $wR_2 = 0.1714$
$\Delta\rho_{max}/\Delta\rho_{min}$, $e \text{ \AA}^{-3}$	0.260/–0.236	0.529/–0.406	0.589/–0.447	0.452/–0.393	0.697*–0.506

Таблица 2. Межатомные расстояния (d) и валентные углы (ω) в координационных полиэдрах структуры III–V

Связь	$d, \text{Å}$			
	III (M = Zn(1))	IV (M = Mn(1))	V (M = Mn(1)/Mn(2))	
			A	B
M–N(1)	2.168(3)	2.310(3)	2.320(3)	2.306(3)
M–N(2)	2.302(2)	2.371(3)	2.322(4)	2.347(4)
M–O(3)	2.122(4)	2.172(4)	2.131(4)	2.173(4)
M–O(4)	2.207(5)	2.189(4)	2.251(4)	2.184(4)
M–O(5)	2.014(3)	2.086(3)	2.152(4)	2.110(3)
M–O(7) ^{#1}	2.035(3)	2.102(3)	2.106(3)	2.126(3)
Угол	$\omega, \text{град}$			
	III (M = Zn(1))	IV (M = Mn(1))	V (M = Mn(1)/Mn(2))	
			A	B
N(1)MN(2)	71.6(1)	69.0(1)	69.9(1)	68.7(1)
N(1)MO(3)	91.7(1)	85.3(2)	90.4(1)	91.4(1)
N(1)MO(4)	85.0(2)	85.4(2)	89.4(1)	89.6(2)
N(1)MO(5)	169.0(1)	166.3(1)	96.8(1)	161.8(1)
N(1)MO(7) ^{#1/#2}	100.9(1)	99.3(1)	168.7(2)	97.3(1)
N(2)MO(3)	90.9(2)	91.3(2)	96.4(2)	87.9(1)
N(2)MO(4)	86.3(2)	86.2(1)	84.6(1)	99.4(1)
N(2)MO(5)	97.7(1)	97.3(1)	163.8(1)	93.5(1)
N(2)MO(7) ^{#1/#2}	172.5(1)	168.0(1)	99.1(1)	165.1(1)
O(3)MO(4)	176.0(2)	170.7(2)	178.9(2)	172.5(2)
O(3)MO(5)	91.0(2)	96.8(2)	92.7(1)	91.4(1)
O(3)MO(7) ^{#1/#2}	90.2(2)	90.5(2)	93.3(1)	87.5(1)
O(4)MO(5)	91.9(2)	92.4(2)	86.2(2)	90.0(2)
O(4)MO(7) ^{#1/#2}	92.3(2)	90.1(2)	87.0(1)	84.9(1)
O(5)MO(7) ^{#1/#2}	89.7(1)	94.2(1)	93.7(1)	100.8(1)

* Коды симметрии: ^{#1} $-x + 2, -y + 1, -z + 1$ (III); ^{#1} $-x + 1, -y + 2, -z + 1$ (IV); ^{#1} $-x + 2, -y + 2, -z + 1$; ^{#2} $-x, -y + 1, -z$ (V).

$[\text{DAnH}_3]^+$ в II подобны найденным в I. Оксимные группы имеют *анти* (E, E) конформацию, а двугранные углы между центральными фрагментами ONCN в четырех независимых катионах принимают значения от 47.3° до 58.4° . Межатомные расстояния O–N и N–C в оксимных фрагментах незначительно отличаются от подобных, найденных в I (табл. 3).

В кристалле II анионы ClO_4^- и молекулы воды связаны в различные синтоны (рис. 2в, 2г; табл. 4), а катионы $[\text{DAnH}_3]^+$ объединены между собой и с

анионами разветвленной системой межмолекулярных ВС O–H \cdots O (рис. 3, табл. 4).

Попытки получения комплексов различных металлов со смешанными лигандами, 1,3- H_2Bdc и синтезированный DAnH_2 , привели к получению одного комплекса Zn(II) (III) и двух комплексов Mn(II) (IV, V).

Несимметричная часть элементарной ячейки соединения III содержит один кристаллографически независимый катион Zn^{2+} , с которым координированы один нейтральный лиганд DAnH_2 , бидепротонированный карбоксилат $(1,3\text{-Bdc})^{2-}$,

Таблица 3. Межатомные расстояния (*d*) и валентные углы (ω) в фрагментах органических катионов I, II и координированных лигандов III–V

Связь	<i>d</i> , Å								
	I	II				III	IV	V	
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>			<i>A</i>	<i>B</i>
N(1)–C(1)	1.299(4)	1.293(5)	1.287(5)	1.289(6)	1.281(6)	1.288(5)	1.293(5)	1.286(6)	1.284(5)
N(1)–O(1)	1.383(4)	1.413(4)	1.402(4)	1.380(4)	1.414(4)	1.397(4)	1.396(4)	1.398(4)	1.394(4)
N(2)–C(2)	1.290(5)	1.302(5)	1.305(5)	1.292(5)	1.316(5)	1.289(5)	1.294(5)	1.292(5)	1.289(5)
N(2)–O(2)	1.408(4)	1.392(4)	1.381(4)	1.416(4)	1.380(4)	1.396(4)	1.399(4)	1.401(4)	1.400(4)
C(1)–C(2)	1.492(5)	1.509(6)	1.487(6)	1.502(6)	1.473(6)	1.502(5)	1.489(5)	1.488(6)	1.481(6)
Угол	ω , град								
	I	II				III	IV	V	
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>			<i>A</i>	<i>B</i>
C(1)N(1)O(1)	117.4(3)	107.8(3)	108.4(3)	117.2(4)	109.8(4)	112.0(3)	111.4(3)	110.6(3)	111.3(3)
C(2)N(2)O(2)	109.5(3)	117.1(3)	117.9(4)	109.5(3)	116.9(4)	111.1(3)	110.5(3)	111.2(4)	110.3(4)
N(1)C(1)C(2)	114.1(3)	113.4(4)	113.6(4)	114.2(5)	113.9(5)	113.1(3)	112.9(4)	113.9(4)	113.7(4)
N(2)C(2)C(1)	113.4(3)	113.7(4)	115.3(4)	113.2(4)	115.1(4)	111.8(4)	113.0(4)	112.9(4)	113.3(4)

две молекулы DMF и кристаллизационные молекулы DMF, MeOH и H₂O в соотношении 2 : 1 : 1.5 соответственно. В результате в кристалле находятся центросимметричные биядерные молекулярные комплексы, два атома металла которых связаны мостиковыми бидентатными карбоксилатными лигандами (рис. 4). Атом металла координирует хелатно через два атома азота лиганд DAnH₂, монодентатно через один атом кислорода два лиганда (1,3-Bdc)²⁻, а достраивают его окружение два атома кислорода двух монодентатных лигандов DMF. Координационный полиэдр атома Zn(II) – октаэдр N₂O₄. Межатомные расстояния Zn–N(оксим) в экваториальной плоскости координационного полиэдра металла 2.167(3) и 2.300(4), Zn–O(Bdc) 2.013(3) и 2.037(3) Å, аксиальные расстояния Zn–O(DMF) 2.123(4) и 2.205(5) Å (табл. 2), что согласуются с данными комплекса Zn(II) с диоксимом [38]. В комплексе соединения III каждый нейтральный лиганд DAnH₂ образует две внутримолекулярные ВС O–H...O с двумя (1,3-Bdc)²⁻ (O...O 2.508(4) и 2.521(4) Å, табл. 4, рис. 4). Анализ КБСД [6] выявил биядерный комплекс Zn(II) с диоксимом, в котором

мостиновый лиганд – бипиридин [22]. Для соединений Zn(II) со смешанными лигандами, диоксимом и карбоксилатами, получены как моноядерные соединения [38], так и полимерные [39].

В кристалле III биядерные комплексы связаны в слои, параллельные плоскости *ac*, межмолекулярными ВС N–H...O, где в качестве доноров протонов выступают функциональные NH-группы, акцепторов – атомы кислорода оксимных лигандов. Слои дополнительно стабилизированы более слабыми ВС C–H...O: C(4)–H...O(8) ($x + 1/2, -y + 1, z - 1/2$), H...O 2.47, C...O 3.380 Å, угол CHO 166°; C(14)–H...O(6) ($-x + 3/2, y, -z + 1/2$) – H...O 2.57, C...O 3.489 Å, угол CHO 170° (рис. 5). Кристаллизационные молекулы связаны с комплексами слабыми ВС O–H...O и C–H...O (C(5)–H...O9 ($x + 1, y, z - 1$), H...O 2.71, C...O 3.415 Å, угол CHO 133°.

Соединение Mn(II) с этими же лигандами IV содержит в несимметричной части элементарной ячейки один кристаллографически независимый катион металла (к нему координированы нейтральный лиганд DAnH₂, бидепротонированный карбоксилат (1,3-Bdc)²⁻, две молекулы DMF) и

Таблица 4. Геометрические параметры внутри- и межмолекулярных водородных связей в структуре I–V

Контакт D–H...A	Расстояние, Å			Угол DHA, град	Координаты атомов A
	D–H	H...A	D...A		
I					
N(1)–H...O(1w)	0.89	1.79	2.677(4)	174	x, y, z
N(3)–H...O(5)	0.86	2.26	3.082(4)	161	–x + 1, –y + 2, –z + 1
N(4)–H...O(5)	0.86	2.22	3.027(4)	157	–x + 1, y – 1/2, –z + 3/2
O(1)–H...N(2)	0.82	1.87	2.684(4)	175	–x + 1, –y + 2, –z + 1
O(2)–H...O(3)	0.82	2.09	2.895(5)	168	x, y, z
O(1w)–H(1)...O(4)	0.82	2.03	2.812(4)	159	x, y, z
O(1w)–H(2)...O(6)	0.92	2.17	3.016(4)	153	x, –y + 3/2, z – 1/2
O(1w)–H(2)...O(3)	0.92	2.40	3.144(4)	138	x, –y + 3/2, z – 1/2
II					
N(2A)–H...O(1w)	1.06	1.70	2.716(5)	159	x, y, z
N(3A)–H...O(5B)	0.86	2.34	3.105(6)	148	x, y, z
N(4A)–H...O(6B)	0.86	2.10	2.860(5)	146	x + 1, y, z
N(2B)–H...O(3w)	0.74	2.04	2.743(5)	158	x, y, z
N(3B)–H...O(5A)	0.86	2.39	3.089(5)	139	x – 1, y, z
N(3B)–H...O(6w)	0.86	2.37	3.07(2)	138	x – 1, y, z
N(4B)–H...O(6A)	0.86	2.40	3.102(5)	139	x, y, z
N(4B)–H...O(4A)	0.86	2.41	3.189(6)	151	x, y, z
N(1C)–H...O(4w)	0.91	1.74	2.648(6)	175	x, y, z
N(2D)–H...O(2w)	0.84	1.83	2.662(5)	168	–x + 1, –y + 1, –z
N(4D)–H...O(6C)	0.86	2.47	3.101(7)	131	x – 1, y, z
N(4D)–H...O(4C)	0.86	2.37	3.157(6)	153	x – 1, y, z
O(1A)–H...N(1D)	0.82	1.97	2.791(5)	175	–x + 1, –y + 1, –z
O(2A)–H...N(1A)	0.82	1.86	2.677(4)	180	–x + 2, –y + 2, –z
O(1B)–H...O(5w)	0.82	1.83	2.653(5)	177	x – 1, y, z
O(2B)–H...O(4A)	0.82	1.91	2.722(6)	170	–x + 1, –y + 2, –z + 1
O(1C)–H...N(2C)	0.82	1.83	2.651(5)	175	–x + 1, –y + 1, –z + 1
O(2C)–H...N(1B)	0.81	1.93	2.744(5)	177	–x + 1, –y + 1, –z + 1
O(1D)–H...O(1A)	0.82	2.36	3.089(4)	149	x, y – 1, z
O(2D)–H...O(4C)	0.82	1.86	2.675(7)	174	–x + 1, –y + 1, –z
O(1w)–H(1)...O(5C)	0.85	2.32	3.078(9)	149	x, y + 1, z
O(1w)–H(2)...O(2B)	0.85	2.26	3.108(7)	179	–x + 1, –y + 2, –z
O(2w)–H(2)...O(3B)	0.82	2.07	2.870(6)	167	x, y, z
O(3w)–H(1)...O(5A)	0.89	2.16	3.047(7)	175	–x + 1, –y + 2, –z + 1
O(3w)–H(2)...O(2C)	0.85	2.19	3.040(6)	179	–x + 1, –y + 1, –z + 1
O(4w)–H(1)...O(5w)	0.88	1.91	2.764(5)	164	x, y, z
O(4w)–H(2)...O(3A)	0.85	2.26	3.115(7)	180	x, y, z
O(5w)–H(1)...O(5D)	1.06	2.01	3.06(1)	170	–x + 1, –y + 1, –z + 1
O(5w)–H(2)...N(2C)	0.88	2.41	3.286(6)	171	x, y, z
O(5w)–H(2)...O(2C)	0.88	2.20	2.952(6)	142	x, y, z
O(6w)–H(1)...O(4D)	0.91	2.01	2.92(2)	176	x + 1, y, z
O(6w)–H(2)...O(5A)	0.77	2.03	2.80(2)	178	x, y, z
III					
N(3)–H...O(1)	0.86	2.33	3.159(5)	162	–x + 5/2, y, –z + 1/2

Контакт D—H...A	Расстояние, Å			Угол DHA, град	Координаты атомов A
	D—H	H...A	D...A		
N(4)—H...O(2)	0.86	2.25	3.087(5)	164	$-x + 3/2, y, -z + 1/2$
O(1)—H...O(8)	0.82	1.71	2.508(4)	163	$-x + 2, -y + 1, -z + 1$
O(2)—H...O(6)	0.82	1.74	2.523(4)	158	x, y, z
O(1M)—H...O(1)	0.85	2.39	3.19(3)	178	$x - 1, y, z$
O(1w)—H(1)...O(1w)	0.96	2.56	3.39(6)	144	$-x + 1/2, y, -z + 1/2$
O(3w)—H(1)...O(3w)	0.98	1.82	2.75(8)	158	$-x + 1/2, y, -z + 1/2$
IV					
O(2)—H...O(6)	0.82	1.73	2.539(4)	171	x, y, z
O(1)—H...O(8)	0.82	1.72	2.522(4)	166	$-x + 1, -y + 2, -z + 1$
N(4)—H...O(1)	0.86	2.14	2.960(4)	159	$-x + 1/2, y - 1/2, -z + 3/2$
N(3)—H...O(2)	0.86	2.34	3.179(4)	167	$-x + 1/2, y + 1/2, -z + 3/2$
V					
N(3A)—H...O(8B)	0.86	2.24	3.007(5)	148	$-x, -y + 1, -z$
N(4A)—H...O(2B)	0.86	2.22	3.044(5)	162	$x, y + 1, z$
N(3B)—H...O(6A)	0.86	2.41	3.258(5)	171	x, y, z
N(4B)—H...O(2A)	0.86	2.27	3.085(5)	158	$x, y - 1, z$
O(1A)—H...O(6A)	0.82	1.81	2.626(5)	172	x, y, z
O(2A)—H...O(8A)	0.82	1.71	2.524(4)	170	$-x + 2, -y + 2, -z + 1$
O(4A)—H...O(1M)	0.93	1.78	2.689(6)	164	x, y, z
O(1B)—H...O(8B)	0.82	1.73	2.549(4)	173	$-x, -y + 1, -z$
O(2B)—H...O(6B)	0.82	1.67	2.481(5)	171	x, y, z
O(1M)—H...O(5A)	0.79	2.04	2.823(6)	176	x, y, z

одну внешнесферную молекулу DMF. В результате в кристалле IV образованы centrosymmetric биядерные молекулярные комплексы Mn(II) (рис. 6), подобные найденным в III. Координационные полиэдры атомов металла – октаэдры, образованные набором донорных атомов N₂O₄, принадлежащих хелатно координирующему DAnH₂, двум лигандам (1,3-Bdc)²⁻ и двум координированным молекулам DMF. Межатомные расстояния Mn—N(оксим) (2.310(3) и 2.371(4) Å, табл. 2) согласуются с данными для комплексов Mn(II) с диоксимом [40–42], а Mn—O(Bdc), равные 2.086(3) и 2.102(3) Å, соответствуют данным комплекса Mn(II) с (1,3-Bdc)²⁻ с подобным способом координирования в полимерах Mn(II) [43, 44]. Длины связей Mn—O(DMF) равны 2.172(4) и 2.189(4) Å. В КБСД [6] представлены три трехъядерных комплекса Mn(II) с диоксимами, координированными хелатно (N, O) к одному атому металла, другим атомом кислорода к другому атому металла [45, 46]. В комплексе IV каждый нейтральный лиганд DAnH₂ образует две внутримолекулярные ВС O—H...O с двумя (1,3-Bdc)²⁻ (O...O 2.539(4) и 2.522(4) Å, табл. 4, рис. 6). В кристалле IV (рис. 7) биядерные комплексы связаны между собой межмолекулярными ВС N—H...O и

C—H...O в слое (подобные таковым в III), параллельные плоскости bc. Внешнесферные молекулы DMF связаны с комплексами слабыми ВС (C(13)—H...O(9) ($x - 1/2, -y + 3/2, z + 1/2$): H...O 2.63, C...O 3.412 Å, угол CHO 142°.

В соединении Mn(II) с этими же лигандами V несимметричная часть элементарной ячейки содержит два кристаллографически независимых катиона Mn²⁺, два нейтральных лиганда DAnH₂, два бидепротонированных карбоксилата (1,3-Bdc)²⁻, три молекулы DMF и две метанола, координированные к атомам металла, а также кристаллизационную молекулу метанола. В результате в кристалле V находятся два centrosymmetric биядерных молекулярных комплекса (A и B), различающихся аксиальными лигандами. В одном комплексе к атому Mn(1) монодентатно координируются в *транс*-положениях нейтральные молекулы метанола и DMF, а к атому Mn(2) координируются две молекулы DMF (рис. 8). Октаэдрические координационные полиэдры атомов Mn(1) и Mn(2) образованы тем же набором донорных атомов N₂O₄, как и в IV. В экваториальных плоскостях координационных полиэдров атомов металла расположены четыре атома N₂O₂: два атома азота одного

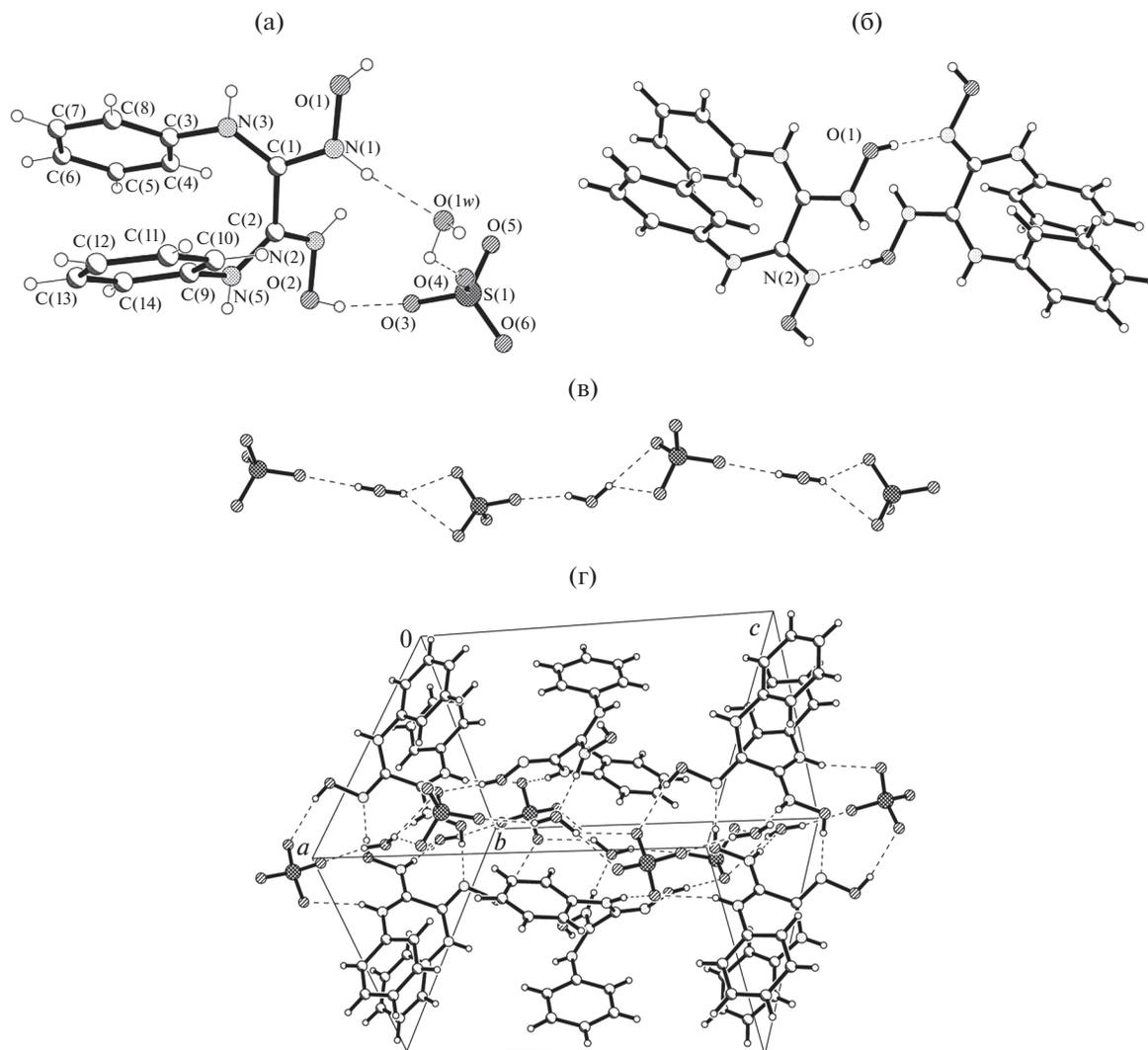


Рис. 1. Структура соединения I (а), центросимметричные димеры из катионов $[\text{DAnH}_3]^+$, связанные между собой межмолекулярными ВС $\text{O}-\text{H}\cdots\text{N}$ (б), цепочки из анионов ClO_4^- и молекул воды (в), фрагмент упаковки компонентов в I (г).

лиганда DAnH_2 , два атома кислорода – двух лигандов $(1,3\text{-Bdc})^{2-}$. Каждый нейтральный лиганд DAnH_2 координируется хелатно к одному атому металла димера с образованием пятичленных металлоциклов. Каждый дважды депротонированный мостиковый лиганд $(1,3\text{-Bdc})^{2-}$ в V, так же как в III и IV, координируется двумя атомами кислорода двух карбоксильных групп к центральному атому. Значения межатомных расстояний $\text{Mn}-\text{N}(\text{оксим})$ 2.306(3)–2.347(4), $\text{Mn}-\text{O}(\text{Bdc})$ 2.106(3)–2.152(4), $\text{Mn}-\text{O}(\text{DMF})$ – 2.131(4)–2.184(4) Å (табл. 2) согласуются с данными комплексов IV, $\text{Mn}-\text{O}(\text{метанол})$ в V равно 2.251(4). Биядерные комплексы в V стабилизированы так же, как и в III, IV двумя внутримолекулярными ВС $\text{O}-\text{H}\cdots\text{O}$ ($\text{O}\cdots\text{O}$ 2.481(5)–2.625(5) Å, табл. 4, рис. 8). Внешнесферные молекулы метанола также стабилизируют комплексы А, связывая последние межмо-

лекулярными ВС $\text{O}-\text{H}\cdots\text{O}$, в которые они вовлечены в качестве и донора, и акцептора протона ($\text{O}(1M)-\text{H}\cdots\text{O}(5A)$, $\text{O}(4A)-\text{H}\cdots\text{O}(1M)$, табл. 4).

В кристалле V (рис. 9) биядерные чередующиеся комплексы А и В связаны между собой межмолекулярными ВС $\text{N}-\text{H}\cdots\text{O}$ и $\text{C}-\text{H}\cdots\text{O}$ в цепочки (рис. 9а), которые посредством ВС объединены в слой (рис. 9б), подобные образованным в III и IV.

Таким образом, взаимодействие солей цинка(II) и марганца(II) с дианилинглиоксимом и 1,3-бензолдикарбоновой кислотой привело к образованию трех новых биядерных соединений: $[\text{Zn}_2(\text{DAnH}_2)_2(1,3\text{-Bdc})_2(\text{DMF})_4] \cdot 2\text{DMF} \cdot \text{MeOH} \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$, $[\text{Mn}_2(\text{DAnH}_2)_2(1,3\text{-Bdc})_2(\text{DMF})_4] \cdot 2\text{DMF}$ и $\{[\text{Mn}_2(\text{DAnH}_2)_2(1,3\text{-Bdc})_2(\text{DMF})_2(\text{CH}_3\text{OH})_2]-[\text{Mn}_2(\text{DAnH}_2)_2(1,3\text{-Bdc})_2(\text{DMF})_4] \cdot 2\text{CH}_3\text{OH}\}$.

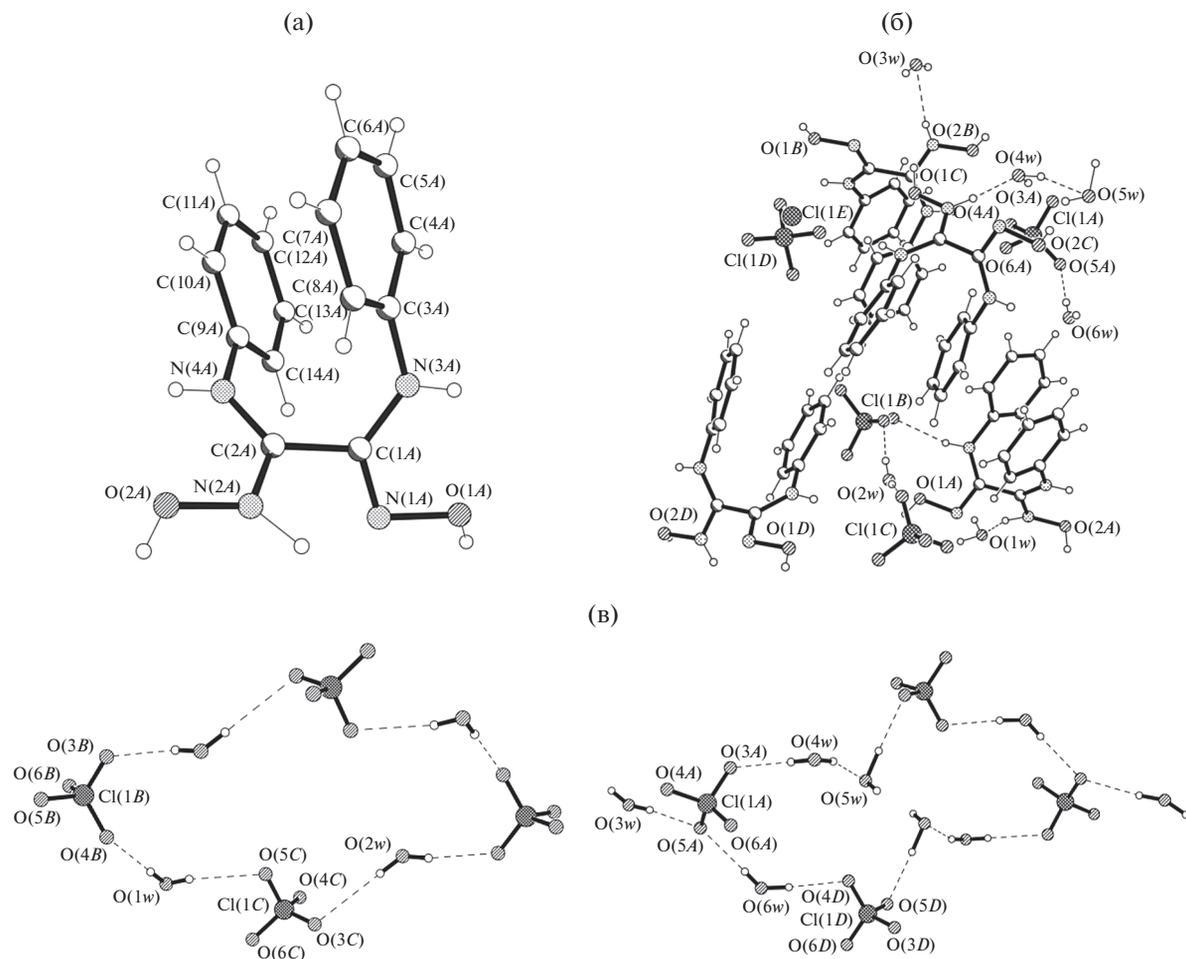


Рис. 2. Строение катиона А в II (а), упаковка компонентов (б), формирование различных синтонов из анионов и молекул воды посредством ВС (в).

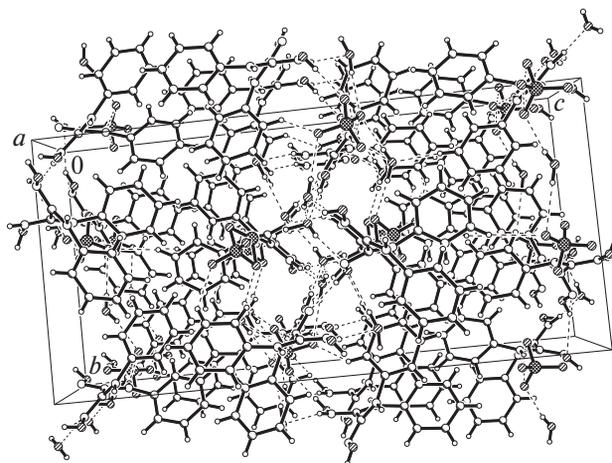


Рис. 3. Фрагмент кристаллической структуры II.

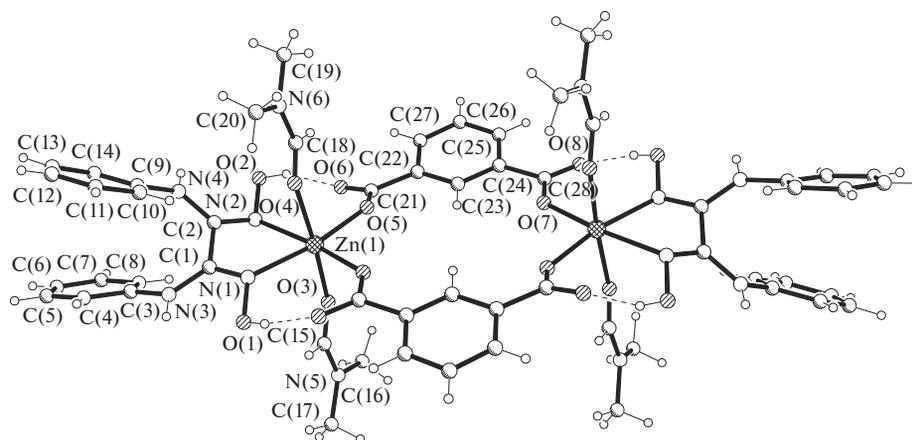


Рис. 4. Строение центросимметричного биядерного комплекса Zn(II) в III.

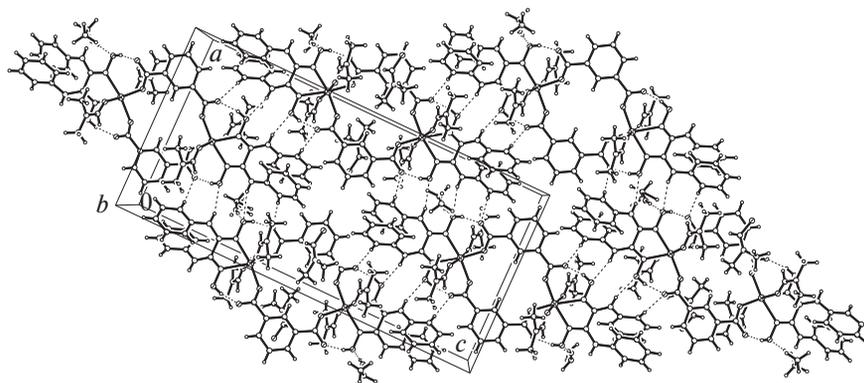


Рис. 5. Формирование слоя из биядерных комплексов Zn(II) в III.

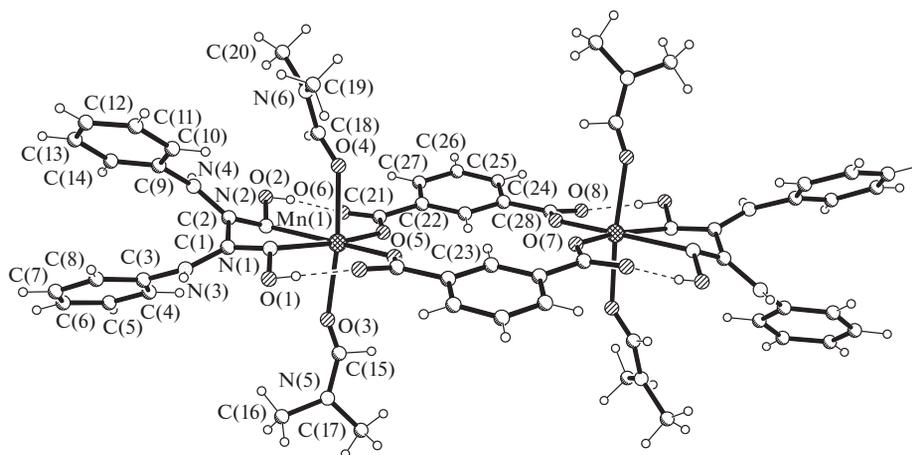


Рис. 6. Строение центросимметричного биядерного комплекса Mn(II) в IV.

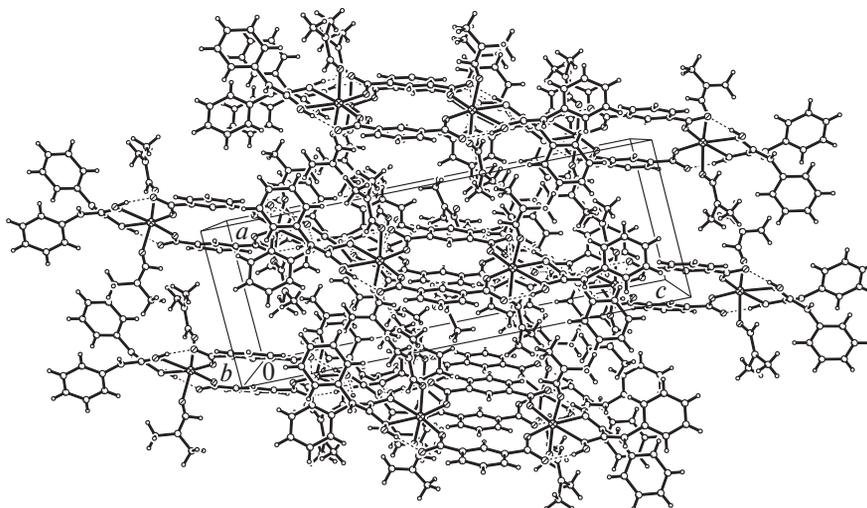


Рис. 7. Фрагмент кристаллической структуры IV; упаковка слоев из биядерных комплексов Mn(II).

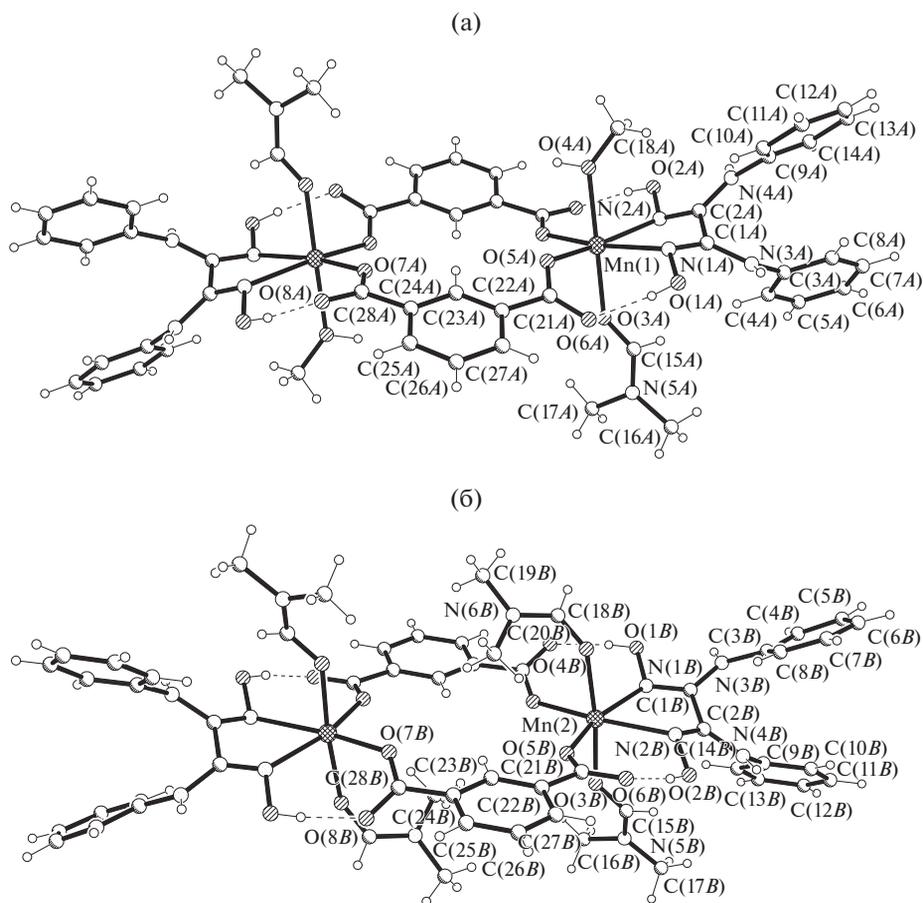


Рис. 8. Строение centrosимметричных биядерных комплексов $[Mn_2(DAnH_2)_2(1,3-Bdc)_2(DMF)_2(CH_3OH)_2]$ и $[Mn_2(DAnH_2)_2(1,3-Bdc)_2(DMF)_4]$ в V.

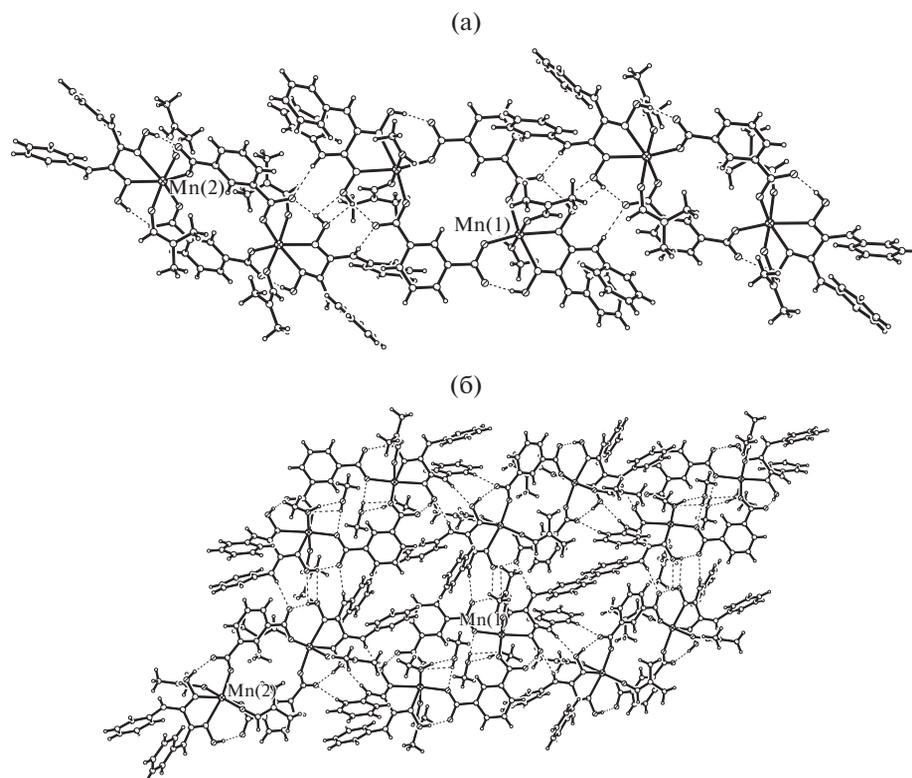


Рис. 9. Фрагмент цепочки, образованной чередованием комплексов А (Mn(1)) и В (Mn(2)) в V (а), объединение цепочек в слои (б).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чугаев Л.А. // Избранные труды Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 639 с.
2. Tschugaeff L. // Chem. Ber. 1907. V. 40. P. 186.
3. Ulpiani C.P. // Gazz. Chim. Ital. 1912. V. 42. № 1. P. 503.
4. Forster M.O. // Dalton Trans. 1903. V. 83. P. 514.
5. Chakravorty A. // Coord. Chem. Rev. 1974. V. 13. P. 1.
6. Allen. F.H. // Acta Crystallogr. B. 2002. V. 58. P. 38.
7. Godycki L.E., Rundle R.E. // Acta Crystallogr. 1953. V. 6. № 6. P. 487.
8. Frasson E., Bardi R., Bezzi S. // Acta Crystallogr. 1959. V. 12. № 3. P. 201.
9. Боурош П., Булхак И., Ковач О. и др. // Коорд. химия. 2018. Т. 44. № 4. С. 255 (Bourosh P., Bulhac I., Kovaci O. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2018. V. 44. no. 8. P. 507).
<https://doi.org/10.1134/S1070328418080018>
10. Дворкин А.А., Симонов Ю.А., Малиновский Т.И. и др. // Докл. АН СССР. 1977. Т. 234. № 6. С. 1372.
11. Боурош П.Н., Коропчану Э.Б., Чилочи А.А. и др. // Коорд. химия. 2013. Т. 39. № 11. С. 669. (Bourosh P.N., Coropceanu E.B., Ciloci A.A. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2013. V. 39. no. 11. P. 777).
<https://doi.org/10.1134/S107032841311002X>
12. Bourosh P., Coropceanu E., Rija A. et al. // J. Mol. Struct. 2011. V. 998. № 1–3. P. 198.
13. Батыр Д.Г., Киструга Л.Я. // Коорд. химия. 1981. Т. 7. № 2. С. 274.
14. Симонов Ю.А., Дворкин А.А., Малиновский Т.И. и др. // Коорд. химия. 1985. Т. 11. № 11. С. 1554.
15. Симонов Ю.А., Ботошанский М.М., Малиновский Т.И. и др. // Докл. АН СССР. 1979. Т. 246. № 3. С. 609.
16. Симонов Ю.А., Ботошанский М.М., Озол Л.Д. и др. // Коорд. химия. 1981. № 4. С. 612.
17. Озол Л.Д., Ботошанский М.М., Булгак И.И. и др. // Журн. неорганической химии. 1980. Т. 25. № 4. С. 1137.
18. Симонов Ю.А., Дворкин А.А., Малиновский Т.И. и др. // Докл. АН СССР. 1982. Т. 263. № 5. С. 1135.
19. Croitor L., Coropceanu E.B., Duca Gh. et al. // Polyhedron. 2017. V. 129. P. 9.
20. Coropceanu E., Rija A., Lozan V. et al. // Cryst. Growth Des. 2016. V. 16. № 2. P. 814.
21. Coropceanu E.B., Croitor L., Botoshansky M.M., Fofnari M.S. // Polyhedron. 2011. V. 30. № 15. P. 2592.
22. Croitor L., Coropceanu E., Jeanneau E. et al. // Cryst. Growth Des. 2009. V. 9. P. 5233.
23. Coropceanu E., Croitor L., Siminel A. et al. // Polyhedron. 2016. V. 109. P. 107.

24. *Margaritis I. M., Winterlich M., Efthymiou C.G. et al.* // Polyhedron. 2018. V. 151. P. 360.
25. *Çolak A.T., Irez G., Mutlu H. et al.* // J. Coord. Chem. 2009. V. 62. № 6. P. 1005.
26. *Rija A., Bulhac I., Coropceanu E. et al.* // Chem. J. Mold. 2011. V. 6. № 2. P. 73.
27. *Mercimek B., Özler M.A., Ira G., Bekaroglu O.* // Synth. React. Inorg. Met.-Org. Chem. 1999. V. 29. № 3. P. 513.
28. *Nogheu L.N., Ghogomu J.N., Mama D.B. et al.* // Comput. Chem. 2016. V. 4. P. 119.
29. CrysAlis RED. O.D.L. Version 1.171.34.76, 2003.
30. *Sheldrick G.M.* // Acta Crystallogr. A. 2008. 64. № 1. P. 112.
31. *Беллами Л.* Инфракрасные спектры сложных молекул. М.: ИЛ, 1963. 590 с.
32. *Гордон А., Форд Р.* Спутник химика. М.: Мир, 1976. 541 с.
33. *Наканиси К.* Инфракрасные спектры и строение органических соединений. М.: Мир, 1965. 216 с.
34. *Накамото К.* ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1991. 536 с.
35. *Накамото К.* Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1966. 411 с.
36. *Durmus M., Ahsen V., Luneau D., Pecaut J.* // Inorg. Chim. Acta. 2004. V. 357. P. 588.
37. *Kakanejadifard A., Amani V.* // Acta Crystallogr. E. 2008. V. 64. P. o1512.
38. *Коропчану Э.Б., Кроитор Л., Чилочи А. и др.* // Коорд. химия. 2017. Т. 43. № 7. С. 399. (*Coropceanu E.B., Croitor L., Ciloci A.A. et al.* // Russ. J. Coord. Chem. 2017. V. 43. № 5. P. 278).
<https://doi.org/10.1134/S1070328417050025>
39. *Croitor L., Coropceanu E., Masunov A. et al.* // J. Phys. Chem. C, 2014. V. 118. P. 9217.
40. *Jurisson S., Francesconi L., Linder K.E. et al.* // Inorg. Chem. 1991. V. 30. P. 1820.
41. *Birkelbach F., Florke U., Haupt H.-J. et al.* // Inorg. Chem. 1998. V. 37. P. 2000.
42. *Hsieh W.-Yu., Liu Sh.* // Inorg. Chem. 2006. V. 45. P. 5034.
43. *Yan Li, Li Ch., Chen X.* // J. Mol. Struct. 2014. V. 1058. P. 277.
44. *Jones L.F., Prescimone A., Evangelisti M., Brechin E.K.* // Chem. Commun. 2009. P. 2023.
45. *Chen Z., Hu Zh., Li Y. et al.* // Dalton Trans. 2016. V. 45. P. 15634.
46. *Chen Z., Jia M., Zhang Zh., Liang F.* // Cryst. Growth Des. 2010. V. 10. P. 4806.