

КООРДИНАЦИОННЫЕ
СОЕДИНЕНИЯ

УДК 541.67;546.36;546.732;548.3

ВЛИЯНИЕ ИСХОДНЫХ СОЛЕЙ Co^{II} НА СОСТАВ
И СТРОЕНИЕ ДИМЕТИЛМАЛОНАТОВ Cs-Co^{II}

© 2021 г. Е. Н. Зорина-Тихонова^а, *, А. К. Матюхина^а, Г. Г. Александров^а,
М. А. Кискин^а, А. А. Сидоров^а, И. Л. Еременко^а

^аИнститут общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Ленинский пр-т, 31, Москва, 119991 Россия

*e-mail: ezorinatikhonova@gmail.com

Поступила в редакцию 07.05.2020 г.

После доработки 18.05.2020 г.

Принята к публикации 27.05.2020 г.

При варьировании исходной соли кобальта(II) ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Co}(\text{OAc})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) в реакции с диметилмалонатом цезия (соотношение реагентов 1 : 2) получены координационные соединения кобальта(II) $\{[\text{Cs}_2\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{Me}_2\text{Mal})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}\}_n$ (1) и $\{[\text{Cs}_8\text{Co}_{36}(\text{H}_2\text{O})_{34}(\text{OH})_{20}(\text{Me}_2\text{Mal})_{30}] \cdot 40\text{H}_2\text{O}\}_n$ (2) ($\text{Me}_2\text{Mal}^{2-}$ – дианион диметилмалоновой кислоты) соответственно. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что кристалл комплекса 1 образован анионными слоями диметилмалоната кобальта(II) и аквагидратированными катионами цезия между ними, а кристалл 2 состоит из 36-ядерных сферических анионов с атомами кобальта(II), катионов цезия и сольватированных и координированных молекул воды.

Ключевые слова: кобальт(II), цезий, диметилмалоновая кислота, карбоксилатные комплексы, рентгеноструктурный анализ

DOI: 10.31857/S0044457X21020227

ВВЕДЕНИЕ

Гетерометаллические координационные соединения малоновой кислоты и ее замещенных аналогов в отсутствие дополнительных органических лигандов в основном представлены координационными полимерами различного строения [1–26]. Примеры островных соединений малочисленны [27–30]. В основе строения большинства представленных соединений лежит моноядерный бис-хелатный фрагмент $\{\text{M}^{\text{II}}(\text{R}^1\text{R}^2\text{mal})_2\}^{2-}$ (M^{II} – атом 3d-металла, R^1 и $\text{R}^2 = \text{H}$ или соответствующий углеводородный заместитель), в котором два дианиона кислоты образуют два шестичленных хелатных цикла с одним атомом переходного металла. Особняком стоят соединения Co^{II} с анионами диметилмалоновой кислоты ($\text{Me}_2\text{Mal}^{2-}$). Образование бис-хелатного фрагмента $\{\text{M}(\text{Me}_2\text{Mal})_2\}^{2-}$ для Co^{II} наблюдается только в соединении полимерного строения с барием [20], с литием и калием образуются полимерные комплексы, не содержащие шестичленных хелатных циклов с атомом Co^{II} [31, 32]. Однако для системы K-Co^{II} наблюдается образование двух соединений слоистого строения: $\{[\text{K}_2\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{Me}_2\text{Mal})_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}\}_n$, в котором шестичленные хелатные циклы отсутствуют, и $\{[\text{K}_6\text{Co}_{36}(\text{H}_2\text{O})_{28}(\text{OH})_{20}(\text{HMe}_2\text{Mal})_2(\text{Me}_2\text{Mal})_{28}] \cdot 58\text{H}_2\text{O}\}_n$, в котором основным структурным

фрагментом является 36-ядерный гидроксокарбоксилатный полианион $\{\text{Co}_{36}\}$ [32]. Использование органических катионов (тетрабутиламмония, триэтиламмония) приводит к образованию островных соединений с фрагментом $\{\text{Co}_{36}\}$ [33, 34].

В настоящей работе описаны синтез и особенности строения диметилмалонатов Co^{II} с катионом Cs^+ – $\{[\text{Cs}_2\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{Me}_2\text{Mal})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}\}_n$ (1) и $\{[\text{Cs}_8\text{Co}_{36}(\text{H}_2\text{O})_{34}(\text{OH})_{20}(\text{Me}_2\text{Mal})_{30}] \cdot 40\text{H}_2\text{O}\}_n$ (2). Показано влияние исходной соли Co^{II} на продукт реакции. На сегодняшний день описано четыре малонатных соединения, содержащих атомы цезия. Все они получены с анионами незамещенной малоновой кислоты: гомометаллический комплекс цезия [35], соединение цезия-уранила [36] и два полимера Cs-Cu^{II} [5, 6]. Малонатные соединения, содержащие одновременно атомы Cs^+ и Co^{II} , ранее описаны не были.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез комплексов 1 и 2 проводили на воздухе с использованием дистиллированной воды и коммерчески доступных этанола (96%), $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (х. ч.), $\text{Co}(\text{OAc})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (ChemPur, 99%), $\text{CsOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (х. ч.), диметилмалоновой кислоты (98%, Aldrich). ИК-

спектры комплексов регистрировали на приборе Perkin Elmer Spectrum 65 методом НПВО в интервале частот 4000–400 см^{-1} . Элементный анализ полученных соединений выполнен на автоматическом CHNS-анализаторе EA-3000 (EuroVector).

$\{[\text{Cs}_2\text{Co}(\mu\text{-H}_2\text{O})_2(\text{H}_2\text{O-кO})_2(\mu_7\text{-Me}_2\text{Mal})(\mu_6\text{-Me}_2\text{Mal})] \cdot \text{H}_2\text{O}\}_n$ (**1**). К раствору диметилмалоната цезия (получен из 0.85 г (5.04 ммоль) $\text{CsOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ и 0.33 г (2.52 ммоль) диметилмалоновой кислоты) в этаноле (25 мл) добавляли 0.30 г (1.26 ммоль) $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Реакционную смесь перемешивали при нагревании ($t = 50^\circ\text{C}$) в течение 1 ч, выпавший фиолетовый осадок отфильтровывали, промывали этанолом, затем растворяли в 30 мл воды. Полученный раствор малинового цвета выдерживали на воздухе при температуре 20°C . Образовавшиеся при медленном испарении воды через 2.5 мес фиолетовые кристаллы **1**, пригодные для РСА, отфильтровывали и высушивали на воздухе при $t = 20^\circ\text{C}$. Выход **1** составил 0.13 г (15% в расчете на исходное количество $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

	С	Н
Найдено, %:	17.93;	3.53.
Для $\text{C}_{10}\text{H}_{22}\text{CoCs}_2\text{O}_{13}$		
вычислено, %:	17.79;	3.28.

ИК-спектр (НПВО, ν , см^{-1}): 3423 ср. ш, 2980 ср, 2936 ср, 2875 ср, 1599 с, 1568 с, 1465 ср, 1417 с, 1356 с, 1323 с, 1201 ср, 1172 ср, 1050 сл, 1016 сл, 964 сл, 948 сл, 889 ср, 837 сл, 800 сл, 696 ср, 586 ср, 405 сл.

$\{[\text{Cs}_8\text{Co}_{36}(\text{H}_2\text{O-кO})_{17}(\mu_3\text{-H}_2\text{O})_2(\mu\text{-H}_2\text{O})_{15}(\mu_3\text{-OH})_{20}(\mu_6\text{-Me}_2\text{Mal-к}^2\text{O, O}')_4(\mu_5\text{-Me}_2\text{Mal-к}^2\text{O, O}')_{12}(\mu_4\text{-Me}_2\text{Mal-к}^2\text{O, O}')_8(\mu_4\text{-Me}_2\text{Mal})_6] \cdot 40\text{H}_2\text{O}\}_n$ (**2**). Синтез осуществляли по методике, используемой для синтеза соединения **1**. Реагенты: ацетат кобальта(II) (0.30 г, 1.20 ммоль), гидроксид цезия (0.81 г, 4.80 ммоль), диметилмалоновая кислота (0.32 г, 2.40 ммоль). Цвет водного раствора и кристаллов малиновый. Кристаллы, пригодные для РСА, образовывались через 3 мес. Выход **2** составил 0.038 г (13% в расчете на исходное количество $\text{Co}(\text{OAc})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$).

	С	Н
Найдено, %:	20.81;	4.18.
Для $\text{C}_{150}\text{H}_{348}\text{Co}_{36}\text{Cs}_8\text{O}_{214}$		
вычислено, %:	20.56;	4.00.

ИК-спектр (НПВО, ν , см^{-1}): 3530 ср, 3400 ср. ш, 2982 сл, 2939 сл, 2877 сл, 1587 с, 1531 с, 1458 ср, 1423 ср, 1343 с, 1187 ср, 1140 ср, 967 сл, 936 сл, 888 ср, 808 ср, 788 ср, 723 с, 653 ср, 606 с, 553 ср, 477 ср, 431 ср.

Рентгеноструктурный анализ монокристаллов комплексов **1** и **2** выполнен на дифрактометре

Bruker Apex II (CCD-детектор, MoK_α -излучение, $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор) [37]. Для обоих соединений введена полуэмпирическая поправка на поглощение по программе SADABS [38]. Структуры расшифрованы прямым методом и уточнены в полноматричном анизотропном приближении для всех неводородных атомов. Атомы водорода при атомах углерода органических лигандов генерированы геометрически и уточнены в модели “наездника”. Расчеты проводили с использованием комплекса программ SHELX-97 [39]. Кристаллографические параметры **1** и **2** приведены в табл. 1. Полный набор рентгеноструктурных данных депонирован в Кембриджском банке структурных данных (№ 1999996 (**1**), 1999997 (**2**); deposit@ccdc.cam.ac.uk или http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что взаимодействие $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ с диметилмалонатом цезия $\text{Cs}_2\text{Me}_2\text{Mal}$ (получен *in situ* взаимодействием $\text{CsOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $\text{H}_2\text{Me}_2\text{Mal}$) в этаноле приводит к образованию фиолетового осадка, последующей перекристаллизацией которого в воде получено соединение $\{[\text{Cs}_2\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{Me}_2\text{Mal})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}\}_n$ (**1**). Замена исходной соли – хлорида кобальта(II) – на ацетат кобальта(II) в аналогичных условиях приводит к образованию соединения $\{[\text{Cs}_8\text{Co}_{36}(\text{H}_2\text{O})_{34}(\text{OH})_{20}(\text{Me}_2\text{Mal})_{30}] \cdot 40\text{H}_2\text{O}\}_n$ (**2**). Следует отметить, что подобное влияние природы исходной соли Co^{II} наблюдалось нами ранее в случае диметилмалонатов кобальта(II) и калия [32]. Отметим, что для получения соединений **1** и **2** в кристаллическом виде требуется длительная выдержка водных растворов этих веществ (2.5–3 мес) при комнатной температуре, что, вероятно, связано с установлением определенного равновесия, необходимого для формирования кристаллической фазы и роста кристаллов. Кроме того, можно полагать, что наличие в реакционной среде анионов уксусной кислоты в случае формирования **2** создает благоприятные условия для гидролиза и образования гидроксокомплексов.

По данным РСА, соединение $\{[\text{Cs}_2\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{Me}_2\text{Mal})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}\}_n$ (**1**) кристаллизуется в моноклинной сингонии (пр. гр. $C2/c$) в виде гидрата с одной молекулой воды (табл. 1). Все атомы Co^{II} в соединении **1** являются структурно-эквивалентными и находятся в искаженном тетраэдрическом окружении (хромофор CoO_4 , углы OCoO лежат в диапазоне $92.9(3)^\circ\text{--}126.7(3)^\circ$), сформированном исключительно атомами О дианионов кислоты ($\text{Co}\text{--}\text{O}(\text{Me}_2\text{Mal}^{2-})$ 1.977(10)–2.000(7) \AA). Каждый атом Co^{II} связан с тремя другими атомами Co^{II} : с двумя атомами через один

Таблица 1. Основные кристаллографические параметры и результаты уточнения структур **1** и **2**

Соединение	1	2
Брутто-формула	$C_{10}H_{22}CoCs_2O_{13}$	$C_{150}H_{348}Co_{36}Cs_8O_{214}$
M , г/моль	675.03	8761.04
Размер кристалла, мм	$0.35 \times 0.35 \times 0.1$	$0.14 \times 0.1 \times 0.1$
Сингония	Моноклиная	
Пр. гр.	$C2/c$	
a , Å	21.831(4)	27.1048(11)
b , Å	10.409(2)	28.2424(11)
c , Å	17.880(3)	40.0381(16)
β , град	99.037(3)	91.1540(10)
V , Å ³	4012.5(13)	30643(2)
ρ , г/см ³	2.235	1.899
T , К	160(2)	173(2)
T_{\min}/T_{\max}	0.3025/0.6623	0.5921/0.7456
μ , мм ⁻¹	4.490	2.938
Z	8	4
$F(000)$	2584	17488
$2\theta_{\min}-2\theta_{\max}$, град	2.17–27.48	1.15–27.52
Число измеренных рефлексов	9528	97263
Число рефлексов с $I > 2\sigma(I)$	4482	35164
Число уточняемых параметров	236	1860
R_{iso}	0.0385	0.0635
$wR_2 (I > 2\sigma(I))$	0.3865	0.2342
$R_1 (I > 2\sigma(I))$	0.1156	0.0760
$GOOF$	1.418	0.985
ρ_{\min}/ρ_{\max} , e/Å ³	-8.997/5.537	-4.805/1.814

дианион Me_2Mal^{2-} (Co...Co 6.572(2) Å) и еще с одним атомом металла через два дианиона Me_2Mal^{2-} (Co...Co 5.525(2) Å) (рис. 1а).

Атомы цезия в **1** занимают две структурно-неэквивалентные позиции: Cs1 и Cs2 (рис. 1б, 1в). В обоих случаях окружение атома щелочного металла сформировано атомами O дианионов кислоты и молекул воды (Cs–O(Me_2Mal^{2-}) 2.994(9)–3.594(10) Å, Cs–O(H₂O–кO) 3.22(2)–3.528(17) Å, Cs–O(μ -H₂O) 3.303(17)–3.597(17) Å). Координационное окружение Cs1 (CsO₁₁) может быть описано как одношапочная пентагональная призма, а Cs2 (CsO₈) – как квадратная антипризма (анализ геометрии окружения атомов цезия выполнен с помощью программы SHAPE 2.1 [40, 41]). В одном структурном фрагменте (рис. 1б) атомы Cs1 и Cs2 связаны между собой через три диметилмалонат-дианиона, в разных структурных фрагментах – через два дианиона и мостиковую молекулу воды. Два атома Cs1 двух разных слоев связаны через μ -

мостиковый атом кислорода O3w, что приводит к образованию каркасной структуры (рис. 2а, 2б). В кристаллической структуре также присутствуют водородные связи между молекулами воды (координированными и сольватными) и атомами кислорода дианионов Me_2Mal^{2-} (атомы водорода не были локализованы из эксперимента, Н-связи были оценены исходя из взаимного расположения соответствующих атомов O и расстояния между ними ~2.7–3.2 Å).

Дианионы кислоты проявляют μ_7 - и μ_6 -хелатно-мостиковый тип координации, не образуя хелатных циклов с атомами Co^{II}, однако они образуют хелатные циклы с атомами цезия. Так μ_6 -хелатно-мостиковый анион участвует в формировании шестичленного хелатного цикла с атомом Cs1, а на атоме Cs2 наблюдается образование *трис*-хелатного фрагмента (хелаты O1C–C₃–O4C, O5E–C₃–O7E и O5C–C₃–O8C; рис. 1б). При этом μ_7 -анион образует одновременно два хелатных цикла как с Cs2, так и с Cs1 (O1C–C₃–O3C). Заметим,

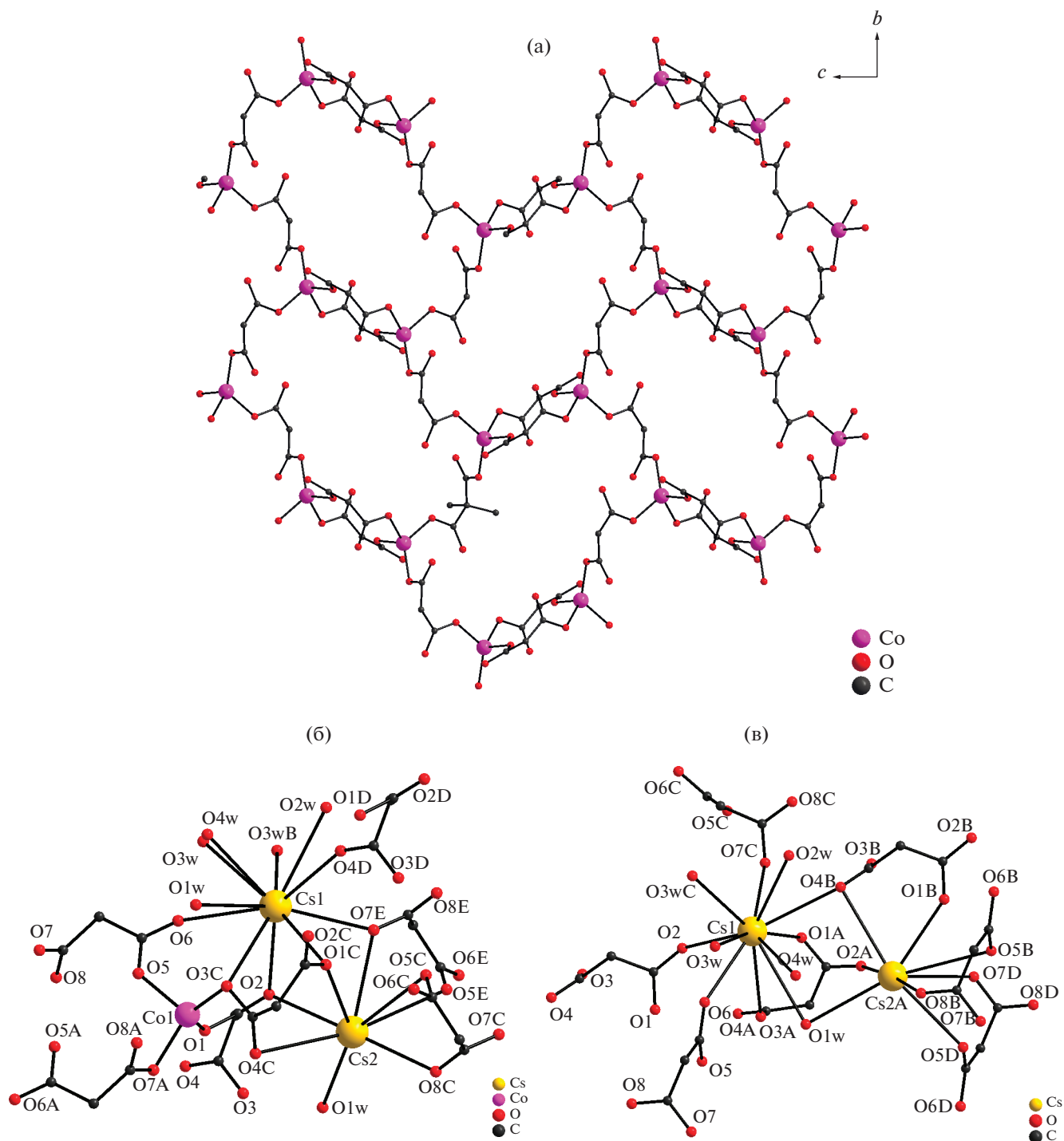


Рис. 1. Фрагмент слоя, состоящий из атомов Co^{II} и мостиковых лигандов (а); основной структурный фрагмент (б), индексы: А – $3/2 - x, 1/2 - y, 1 - z$, В – $1 - x, y, 1/2 - z$, С – $3/2 - x, 1/2 + y, 1/2 - z$, D – $x, 1 + y, z$, E – $x, 1 - y, -1/2 + z$; окружение атомов Cs1 и Cs2 разных структурных фрагментов (в), индексы: А – $3/2 - x, 1/2 + y, 1/2 - z$, В – $x, 1 + y, z$, С – $1 - x, y, 1/2 - z$, D – $3/2 - x, 3/2 - y, 1 - z$ в **1** (атомы водорода и метильные заместители в дианионах не показаны).

что в данной архитектуре наблюдается образование хелатных циклов дианионов $\text{Me}_2\text{Mal}^{2-}$ с атомами щелочного металла, а не переходного, что ранее нами наблюдалось в комплексе $[\text{Li}_2\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{Me}_2\text{Mal})_2]_n$ [31].

Соединение $\{[\text{Cs}_8\text{Co}_{36}(\text{H}_2\text{O})_{34}(\text{OH})_{20}(\text{Me}_2\text{Mal})_{30}] \cdot 40\text{H}_2\text{O}\}_n$ (2) кристаллизуется в моноклинной сингонии (пр. гр. $C2/c$) в виде гидрата (табл. 1). Основной структурный фрагмент соединения представляет собой полиани-

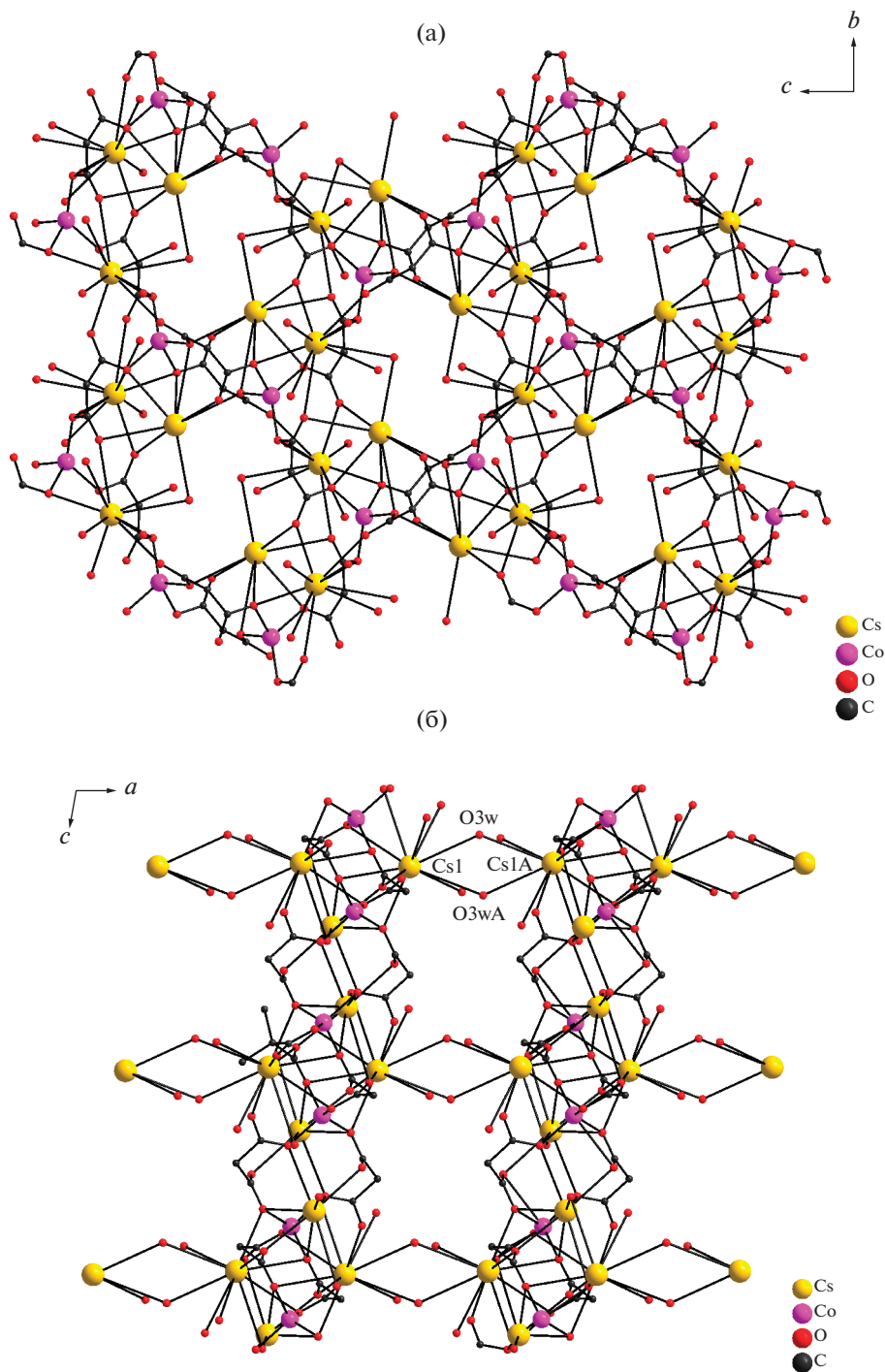


Рис. 2. Фрагмент слоя в соединении **1** (а); фрагмент каркаса в соединении **1** (б), индекс А – $1 - x, y, 1/2 - z$ (атомы водорода и метильные заместители в дианионах не показаны).

он, состоящий из 36 атомов Co^{II} , связанных вместе тридцатью дианионами кислоты и двадцатью гидроксогруппами $\{\text{Co}_{36}(\text{H}_2\text{O})_{12}(\text{OH})_{20}(\text{Me}_2\text{Mal})_{30}\}^{8-}$ ($\{\text{Co}_{36}\}$, рис. 3а). Ранее нами описаны соединения, в основе строения которых лежит подобный 36-ядерный фрагмент [26, 32–34, 42]. В случае использо-

вания органических катионов (тетрабутиламмоний, триэтиламмоний) наблюдалось образование островных соединений, а катионы калия связывали фрагменты $\{\text{Co}_{36}\}$ в слой [32] или в цепь [42]. Оказалось, что в кристалле **2** атомы Cs связывают фрагменты $\{\text{Co}_{36}\}$ в трехмерный каркас.

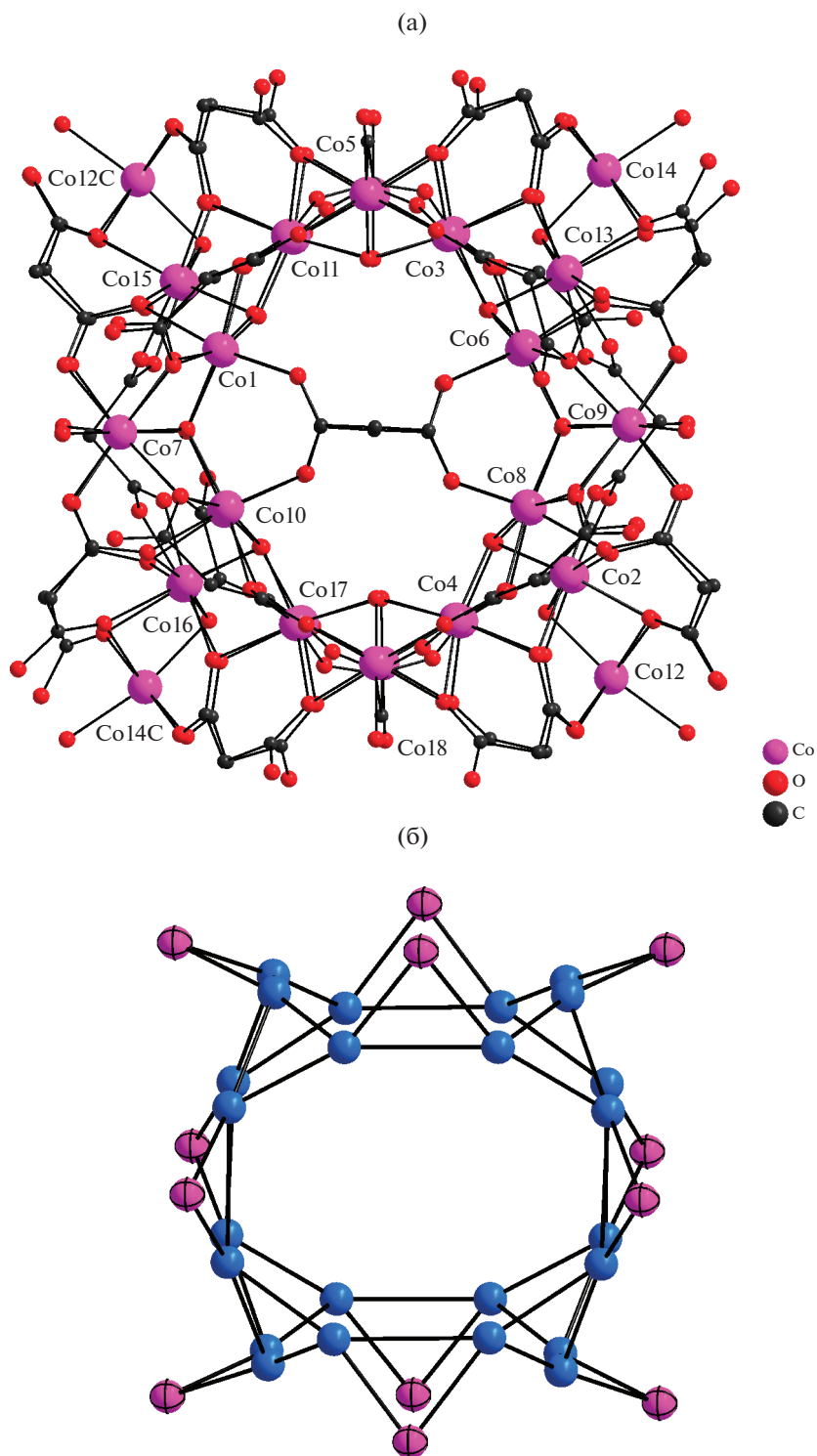


Рис. 3. Строение фрагмента $\{\text{Co}_{36}\}$ (а); металлоостов (б); строение фрагмента $\{\text{Co}_{36}\}$ и его ближайшего окружения из атомов Cs и координированных молекул воды (в) в **2** (атомы водорода и метильные заместители в дианионах не показаны), индексы: В – $1/2 - x, 1/2 - y, -z$, С – $1 - x, 1 - y, -z$, D – $1/2 - x, 3/2 - y, -z$, E – $1/2 + x, 1/2 + y, z$, F – $1 - x, y, 1/2 - z$, G – $x, 1 - y, -1/2 + z$, H – $1/2 + x, -1/2 + y, z$, J – $3/2 - x, 1/2 - y, -z$.

Каждый фрагмент $\{\text{Co}_{36}\}$ содержит 30 дианионов диметилмалоновой кислоты и 36 атомов Co^{II} , (24 атома первого типа и 12 атомов второго типа) (рис. 3б). Шесть дианионов проявляют тип координации μ_4 , при котором каждый такой ани-

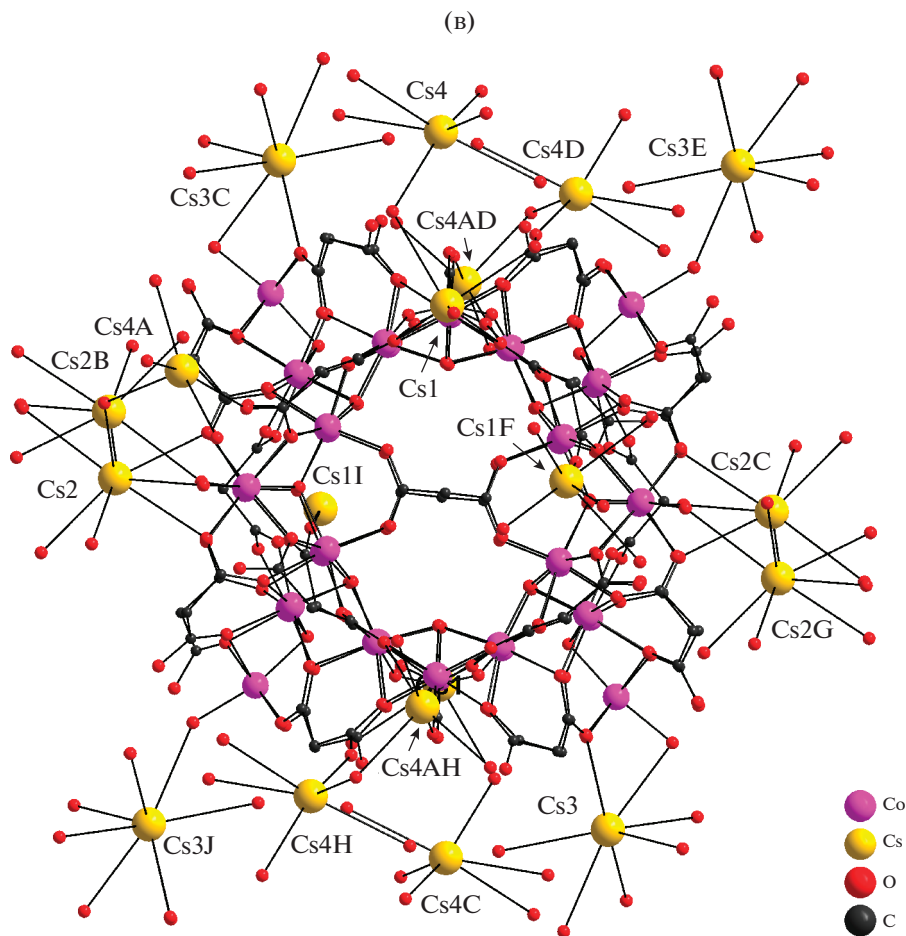


Рис. 3. Окончание

он связывает четыре разных атома Co^{II} первого типа. Остальные 24 дианиона образуют шестичленные хелатные циклы с атомами Co^{II} первого типа. При координации к 12 атомам Co^{II} второго типа диметилмалонат-анионы проявляют исключительно мостиковую функцию. Все атомы Co^{II} находятся в октаэдрическом окружении (CoO_6), которое в случае первого типа атомов сформировано атомами O диметилмалонат-анионов (2.025(7)–2.190(6) Å) и μ_3 -гидроксогрупп (2.021(6)–2.063(6) Å), а в случае атомов Co^{II} второго типа – атомами кислорода дианионов (2.069(7)–2.218(7) Å), μ_3 -гидроксогрупп (2.052(6)–2.094(6) Å) и молекул воды (2.080(8)–2.101(7) Å).

В кристалле сферический фрагмент $\{\text{Co}_{36}\}$ окружен атомами цезия и молекулами воды, которые связывают сферические фрагменты в каркасную структуру. Пять структурно-неэквивалентных атомов цезия связаны с $\{\text{Co}_{36}\}$ через атомы O дианионов кислоты (2.928(8)–3.422(9) Å) и молекул воды (2.717(11)–3.536(7) Å) (рис. 3в). Полиэдры атомов Cs построены молекулами воды,

не входящими в состав $\{\text{Co}_{36}\}$, и могут быть описаны как октаэдр в случае Cs1 (CsO_6), одношапочный октаэдр для Cs2 (CsO_7), дважды наращенная треугольная призма для Cs3 (CsO_8) и пентагональная пирамида для Cs4 (CsO_6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что исходная соль Co^{II} влияет на состав и строение Cs^{I} - Co^{II} диметилмалонатных комплексов. Так, исходя из хлорида кобальта(II) получены анионные слои $\{[\text{Co}(\text{Me}_2\text{Mal})_2]^{2-}\}_n$, связанные между собой через катионы цезия и молекулы воды в соединении **1**, в то время как использование ацетата кобальта(II) в аналогичных условиях приводит к формированию сферического гидроксомалонатного октааниона $[\text{Co}_{36}(\text{H}_2\text{O})_{12}(\text{OH})_{20}(\text{Me}_2\text{Mal})_{30}]^{8-}$ в результате частичного гидролиза в процессе формирования комплекса. При этом в кристалле 36-ядерный анион окружен катионами цезия и молекулами воды, которые участвуют в связывании сферических полиядерных фрагментов в трехмерный каркас.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках проекта РНФ (№ 19-73-10181) и государственного задания ИОНХ РАН в области фундаментальных научных исследований.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Muro I.G. de, Insausti M., Lezama L. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 1999. P. 935.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0682\(199906\)1999:6<935::AID-EJIC935>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0682(199906)1999:6<935::AID-EJIC935>3.0.CO;2-M)
- Muro I.G. de, Insausti M., Lezama L. et al. // J. Chem. Soc., Dalton Trans. 2000. P. 3360.
<https://doi.org/10.1039/b005661h>
- Muro I.G. de, Mautner F.A., Insausti M. et al. // Inorg. Chem. 1998. V. 37. P. 3243.
<https://doi.org/10.1021/ic9800132>
- Ruiz-Pérez C., Hernández-Molina M., Sanchiz J. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2000. V. 298. P. 245.
[https://doi.org/10.1016/S0020-1693\(99\)00438-7](https://doi.org/10.1016/S0020-1693(99)00438-7)
- Delgado F.S., Ruiz-Pérez C., Sanchiz J. et al. // Cryst. Eng. Comm. 2006. V. 8. P. 507.
<https://doi.org/10.1039/B603374A>
- Zheng Y.-Q., Ying E.-B. // J. Coord. Chem. 2006. V. 59. № 11. P. 1281.
<https://doi.org/10.1080/00958970500491044>
- Ghoshal D., Maji T.K., Mallah T. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2005. V. 358. P. 1027.
<https://doi.org/10.1016/j.ica.2004.11.029>
- Wang D.-Q. // Acta Crystallogr. 2006. V. E62. P. m1530.
<https://doi.org/10.1107/S1600536806021416>
- Djehri A., Balegroune F., Guehria-Laidoudi A., Toupet L. // Acta Crystallogr. 2006. V. C62. P. m126.
<https://doi.org/10.1107/S0108270106003866>
- Djehri A., Balegroune F., Guehria-Laidoudi A., Toupet L. // J. Chem. Crystallogr. 2005. V. 35. № 8. P. 603.
<https://doi.org/10.1007/s10870-005-3245-x>
- Guo M.-L., Liu L., Lu C.-C. // Acta Crystallogr. 2011. V. E67. P. m19.
<https://doi.org/10.1107/S1600536810049779>
- Guo M.-L., Zhang H.-Y. // Acta Crystallogr. 2008. V. C64. P. m30.
<https://doi.org/10.1107/S0108270107060763>
- Bazhina E.S., Nikiforova M.E., Aleksandrov G.G. et al. // Russ. Chem. Bull. (Int. Ed.). 2011. V. 60. № 5. P. 797.
<https://doi.org/10.1007/s11172-011-0127-6> [Бажина Е.С., Никифорова М.Е., Александров Г.Г. и др. // Изв. АН. Сер. хим. 2011. № 5. С. 779.]
- Zauzolkova N.V., Zorina E.N., Sidorov A.A. et al. // Russ. Chem. Bull. (Int. Ed.). 2012. V. 61. № 7. P. 1419.
<https://doi.org/10.1007/s11172-012-0183-6> [Зазолкова Н.В., Зорина Е.Н., Сидоров А.А. и др. // Изв. АН. Сер. хим. 2012. № 7. С. 1404.]
- Bazhina E.S., Nikiforova M.E., Aleksandrov G.G. et al. // Russ. Chem. Bull. (Int. Ed.). 2012. V. 61. № 6. P. 1084.
<https://doi.org/10.1007/s11172-012-0147-x> [Бажина Е.С., Никифорова М.Е., Александров Г.Г. и др. // Изв. АН. Сер. хим. 2012. № 6. С. 1078.]
- Bazhina E.S., Nikiforova M.E., Aleksandrov G.G. et al. // Russ. Chem. Bull. (Int. Ed.). 2012. V. 61. № 7. P. 1426.
<https://doi.org/10.1007/s11172-012-0184-5> [Бажина Е.С., Никифорова М.Е., Александров Г.Г. и др. // Изв. АН. Сер. хим. 2012. № 7. С. 1412.]
- Zauzolkova N., Dobrokhotova Zh., Lermontov A. et al. // J. Solid State Chem. 2013. V. 197. P. 379.
<https://doi.org/10.1016/j.jssc.2012.09.014>
- Bazhina E.S., Aleksandrov G.G., Kiskin M.A. et al. // Russ. Chem. Bull. 2014. V. 63. № 7. P. 1475. [Бажина Е.С., Александров Г.Г., Кискин М.А. и др. // Изв. АН. Сер. хим. 2014. № 7. С. 1475.]
<https://doi.org/10.1007/s11172-014-0623-6>
- Bazhina E.S., Aleksandrov G.G., Bogomyakov A.S. et al. // Polyhedron. 2014. V. 77. P. 47.
<https://doi.org/10.1016/j.poly.2014.03.059>
- Ryumin M.A., Dobrokhotova Zh.V., Emelina A.L. et al. // Polyhedron. 2015. V. 87. P. 28.
<https://doi.org/10.1016/j.poly.2014.10.031>
- Dobrokhotova Zh.V., Gogoleva N.V., Zorina-Tikhonova E.N. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2015. P. 3116.
<https://doi.org/10.1002/ejic.201500243>
- Bazhina E.S., Aleksandrov G.G., Sidorov A.A., Eremenko I.L. // Russ. J. Coord. Chem. 2015. V. 41. I. 11. P. 730. [Бажина Е.С., Александров Г.Г., Сидоров А.А., Еременко И.Л. // Коорд. химия. 2015. Т. 41. № 11. С. 657.]
<https://doi.org/10.1134/S1070328415110019>
- Bazhina E.S., Aleksandrov G.G., Kiskin M.A. et al. // Russ. Chem. Bull. (Int. Ed.). 2016. V. 65. № 1. P. 249.
<https://doi.org/10.1007/s11172-016-1293-3> [Бажина Е.С., Александров Г.Г., Кискин М.А. и др. // Изв. АН. Сер. хим. 2016. Т. 65. № 1. С. 249.]
- Zorina-Tikhonova E.N., Gogoleva N.V., Aleksandrov E.V. et al. // Russ. Chem. Bull. (Int. Ed.). 2016. V. 65. № 3. P. 759.
<https://doi.org/10.1007/s11172-016-1370-7> [Зорина-Тихонова Е.Н., Гоголева Н.В., Александров Е.В. и др. // Изв. АН. Сер. хим. 2016. № 3. С. 759.]
- Gogoleva N.V., Zorina-Tikhonova E.N., Bogomyakov A.S. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2017. P. 547.
<https://doi.org/10.1002/ejic.201601047>
- Bazhina E.S., Gogoleva N.V., Zorina-Tikhonova E.N. et al. // J. Struct. Chem. 2019. V. 60. № 6. P. 855. [Бажина Е.С., Гоголева Н.В., Зорина-Тихонова Е.Н. и др. // Журн. структур. химии. 2019. Т. 60. № 6. С. 893.]
<https://doi.org/10.1134/S0022476619060015>
- Rodríguez-Martín Y., Sanchiz J., Ruiz-Pérez C. et al. // CrystEngComm. 2002. V. 4. № 107. P. 631.
<https://doi.org/10.1039/b206728e>
- Bazhina E.S., Aleksandrov G.G., Efimov N.N. et al. // Russ. Chem. Bull. (Int. Ed.). 2013. V. 62. № 4. P. 962.
<https://doi.org/10.1007/s11172-013-0125-y> [Бажина Е.С., Александров Г.Г., Ефимов Н.Н. и др. // Изв. АН. Сер. хим. 2013. № 4. С. 962.]
- Bazhina E.S., Aleksandrov G.G., Kiskin M.A. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2018. P. 5075.
<https://doi.org/10.1002/ejic.201801034>

30. *Bazhina E.S., Gogoleva N.V., Aleksandrov G.G. et al.* // Chem. Select. 2018. V. 3. P. 13765.
<https://doi.org/10.1002/slct.201803365>
31. *Zorina-Tikhonova E., Gogoleva N., Sidorov A. et al.* // Eur. J. Inorg. Chem. 2017. P. 1396.
<https://doi.org/10.1002/ejic.201601376>
32. *Zorina E.N., Zauzolkova N.V., Sidorov A.A. et al.* // Inorg. Chim. Acta. 2013. V. 396. P. 108.
<https://doi.org/10.1016/j.ica.2012.10.016>
33. *Zorina-Tikhonova E.N., Gogoleva N.V., Sidorov A.A. et al.* // Polyhedron. 2017. V. 130. P. 67.
<https://doi.org/10.1016/j.poly.2017.03.056>
34. *Vologzhanina A.V., Zorina-Tikhonova E.N., Matyukhina A.K. et al.* // Russ. J. Coord. Chem. 2017. V. 43. № 12. P. 801. [*Вологжанина А.В., Зорина-Тихонова Е.Н., Матюхина А.К. и др.* // Коорд. химия. 2017. Т. 43. № 12. С. 703.]
<https://doi.org/10.1134/S1070328417120107>
35. *Soriano-Garcia M., Toscano R., Villena R. et al.* // J. Crystallogr. Spectrosc. Res. 1988. V. 18. P. 671.
<https://doi.org/10.1007/BF01164287>
36. *Serezhkina L.B., Peresyupkina E.V., Medvedkov Ya.A. et al.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2013. V. 58. № 12. P. 1465. [*Серезькина Л.Б., Пересыпкина Е.В., Медведков Я.А. и др.* // Журн. неорган. химии. 2014. Т. 59. № 1. С. 37.]
<https://doi.org/10.1134/S0036023614010148>
37. SMART (control) and SAINT (integration) Software. Version 5.0. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1997.
38. *Sheldrick G.M.* SADABS v2004/1. 2004
39. *Sheldrick G.M.* // Acta Crystallogr. A. 2008. V. 64. P. 112.
40. *Casanova D., Llunell M., Alemany P., Alvarez S.* // Chem. Eur. J. 2005. V. 11. P. 1479.
<https://doi.org/10.1002/chem.200400799>
41. *Alvarez S., Alemany P., Casanova D. et al.* // Coord. Chem. Rev. 2005. V. 249. P. 1693.
<https://doi.org/10.1016/j.ccr.2005.03.031>
42. *Зорина-Тихонова Е.Н., Гоголева Н.В., Сидоров А.А. и др.* // Изв. АН. Сер. хим. 2015. V. 64. № 3. С. 636. [*Zorina-Tikhonova E.N., Gogoleva N.V., Sidorov A.A. et al.* // Russ. Chem. Bull. Int. Ed. 2015. V. 64. № 3. P. 636.
<https://doi.org/10.1007/s11172-015-0911-9>]