

УДК 546.47

МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИЕ КООРДИНАЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРЫ Cd(II) НА ОСНОВЕ ИОДЗАМЕЩЕННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТЕРЕФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ И 1,1'-(1,4-БУТАНДИИЛ)-БИС-ИМИДАЗОЛА

© 2024 г. М. А. Бондаренко^{1,2}, А. С. Загузин^{1,2}, П. А. Абрамов¹, И. В. Корольков¹,
Д. А. Жеребцов², В. П. Федин¹, С. А. Адонин^{1,2,3,*}

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

²Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

³Институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН, Иркутск, Россия

*e-mail: adonin@niic.nsc.ru

Поступила в редакцию 25.04.2023 г.

После доработки 23.05.2023 г.

Принята к публикации 24.05.2023 г.

Получены два металл-органических координационных полимера на основе Cd(II), 2-иод (2-I-Bdc) и 2,5-ди-иод-(2,5-I-Bdc)терефталата – {[Cd(2-I-Bdc)(Bbi)]} (I) и {[Cd₂(2,5-I-Bdc)₂(DMF)₂(Bbi)]} (II) (Bbi = 1,1'-(1,4-бутандиил)бис(имидазол)). Строение обоих комплексов установлено методом PCA (CCDC № 2258217 (I) и 2257566 (II)).

Ключевые слова: кадмий, координационные полимеры, карбоксилаты, рентгеноструктурный анализ

DOI: 10.31857/S0132344X24020059 **EDN:** ORJUFU

Металл-органические координационные полимеры (МОКП, MOF) активно изучаются на протяжении последних двух десятилетий [1–7]. Это обуславливается широким спектром их применения в различных сферах как химии, так и материаловедения; вот лишь некоторые из них – селективное разделение газов [8–10], люминесцентные сенсоры [14–16] и др. Очень большую долю МОКП составляют карбоксилаты металлов (особенно часто ароматические) [17–19]. Ключевое значение имеет дизайн линкерных лигандов, поскольку именно они в значительной степени обеспечивают появление разных видов нековалентных взаимодействий с гостевыми молекулами в порах и, вследствие этого, селективность (сорбции, распознавания и т.д.). Наиболее важную роль в этих процессах играет водородная связь [20]. Тем не менее можно отметить, что в последнее время появляются работы, в которых описываются МОКП, содержащие строительные блоки, способные образовывать и иные супрамолекулярные контакты. К ним относятся, в частности, галогенная связь (ГС) [21–29]. Хотя число статей, посвященных ГС в МОКП, пока что не очень велико [30, 31], мы предполагаем, что это направление имеет большой потенциал развития.

В рамках данной работы нами было получено два МОКП на основе Cd(II) и иодзамещенных производных терефталевой кислоты, а именно {[Cd(2-I-Bdc)(Bbi)]} (I) и {[Cd₂(2,5-I-Bdc)₂(DMF)₂(Bbi)]} (II) (2-I-Bdc = 2-иодтерефталат, 2,5-I-Bdc = 2,5-диодтерефталат, Bbi = 1,1'-(1,4-бутандиил)бис(имидазол)), строение которых определено методом PCA.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исходные реагенты получали из коммерческих источников. 2-Иод [32] и 2,5-диодтерефталевую [33] кислоты, а также 1,1'-(1,4-бутандиил)-бис(имидазол) [34] получали согласно литературным методикам.

Синтез {[Cd(2-I-Bdc)(Bbi)]} (I). 31 мг Cd(NO₃)₂ · 4H₂O, 29 мг 2-иодтерефталевой кислоты (H₂(2-I-Bdc)), 19 мг Bbi и 7.5 мл ДМФА помещали в ампулу, которую запаивали, подвергали ультразвуковой обработке (10 мин) и выдерживали при 125°C в течение 48 ч с последующим медленным охлаждением. На стенках ампулы образуются бесцветные кристаллы I. Выход – 85%.

Синтез {[Cd₂(2,5-I-Bdc)₂(DMF)₂(Bbi)]} (II) выполняли аналогично I, используя 42 мг 2,5-ди-

Таблица 1. Кристаллографические данные и детали уточнения структур комплексов I, II

Параметр	Значение		Параметр	Значение	
	I	II		I	II
Брутто-формула	$C_{36}H_{34}N_8O_{18}I_2Cd_2$	$C_{32}H_{32}N_6O_{10}I_4Cd_2$	Число рефлексов c	3617	3540
M	1185.31	1393.03	$(I > 2\sigma(I))$		
Сингония	Триклинная	Триклинная	R_{int}	0.025	0.020
Пространственная группа	$P\bar{1}$	$P\bar{1}$	$(\sin \theta/\lambda)_{max}, \text{\AA}^{-1}$	0.610	0.610
$a, \text{\AA}$	9.1371(2)	9.7866(2)	Диапазоны индексов h, k, l	$-11 \leq h \leq 11,$ $-12 \leq k \leq 11,$ $-14 \leq l \leq 14$	$-11 \leq h \leq 11,$ $-12 \leq k \leq 12,$ $-15 \leq l \leq 15$
$b, \text{\AA}$	9.8545(2)	10.0262(2)	$R[F^2 > 2\sigma(F^2)],$ $wR(F^2), S$	0.072, 0.186, 1.17	0.050, 0.148, 1.09
$c, \text{\AA}$	11.9888(3)	12.3614(3)	Остаточная электронная плотность (max/min), $e \text{\AA}^{-3}$	1.11 / -2.51	2.31 / -2.88
$\alpha, \text{град}$	77.148(1)	75.222(1)			
$\beta, \text{град}$	68.926(1)	67.237(1)			
$\gamma, \text{град}$	84.510(1)	66.939(1)			
$V, \text{\AA}^3$	981.91 (4)	1021.39 (4)			
Z	1	1			
$\mu, \text{мм}^{-1}$	2.72	4.12			

иодтерефталевой кислоты. Образуются бесцветные кристаллы II.

РСА комплексов I и II проведен на дифрактометре Bruker D8 Venture (MoK_{α} -излучение, $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$) при 150 К. Интенсивности отражений измерены методом ω - и ϕ -сканирования узких (0.5°) фреймов. Поглощение учтено эмпирически с использованием SADABS. Структуры расшифрованы с помощью SHELXT [35] и уточнены полноматричным МНК в анизотропном для неводородных атомов приближении по алгоритму SHELXL 2017-1 [36] в программе ShelXle [37]. Кристаллографические данные и результаты уточнения структур приведены в табл. 1.

Координаты атомов и другие параметры рентгеноструктурных экспериментов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC № 2258217 (I) и 2257566 (II); deposit@ccdc.cam.ac.uk или http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Соединения I и II получены сольвентотермальным методом, широко используемым в химии МОКП [38–42]. Согласно данным РФА (рис. 1), комплекс 1 образуется в однофазном виде, в то время как все попытки получить однофазный образец 2 оказались безуспешными (проводились дополнительные эксперименты с варьированием температуры, объема растворителя и т.д.).

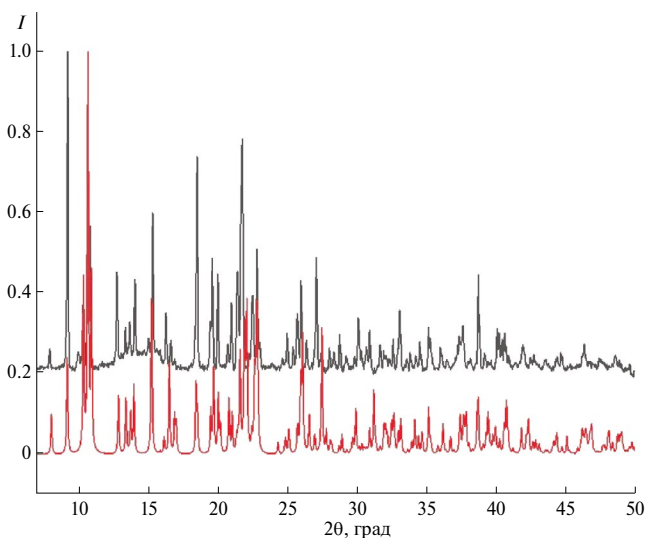


Рис. 1. Экспериментальная (вверху) и рассчитанная по данным РСА (внизу) порошковые дифрактограммы для I.

В структуре I Cd(II) образует биядерные строительные блоки (рис. 2). Координационное окружение каждого из атомов Cd состоит из двух атомов азота линкеров Bbi ($Cd-N = 2.245-2.340 \text{ \AA}$), а также трех карбоксилатных групп 2-иодтерефталатных лигандов. Один из них координируется по псевдобидентатному типу: расстояния $Cd-O$ составляют 2.233 и 2.690 $\text{\AA}$, последнее, наиболее вероятно, соответствует семикоординации. Второй и третий 2-иодтерефталатные лиганды выступают в роли мостиковых: один атом O связывается лишь с одним Cd ($Cd-O = 2.369 \text{ \AA}$), второй же является μ_2 -мостиковым ($Cd-O = 2.448-2.523 \text{ \AA}$). Атомы I 2-иодтерефталатных линкеров

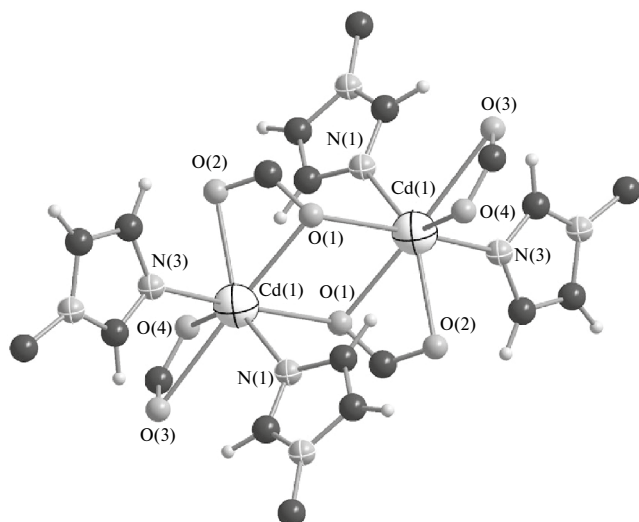


Рис. 2. Строение биядерных строительных блоков в структуре I.

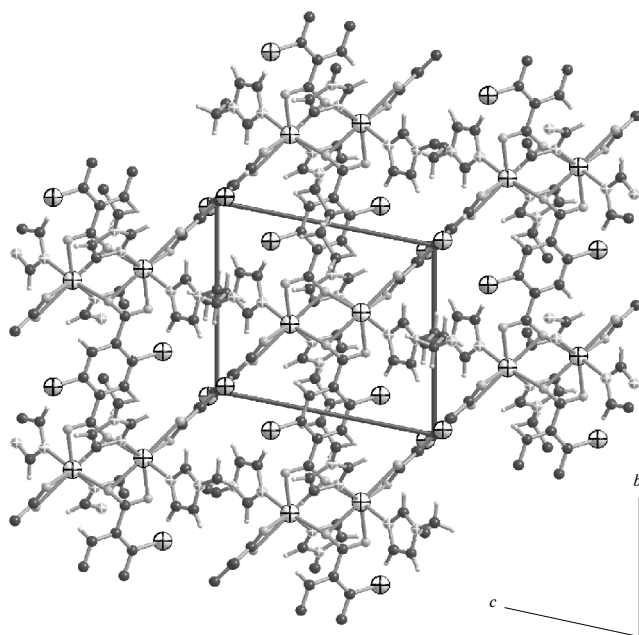


Рис. 3. Трехмерная структура I.

разупорядочены по двум позициям с равной заселенностью. Трехмерная структура I показана на рис. 3.

Строение II существенно отличается от I. Хотя строительные блоки в II также являются биядерными (рис. 4), в координационной сфере каждого из атомов Cd присутствует лишь один Bbi-лиганд ($\text{Cd}-\text{N} = 2.241 \text{ \AA}$). Каждый из метиленовых фрагментов Bbi-лигандов разупорядочен по двум позициям с заселенностью 0.6: 0.4. Мотив связывания карбоксилатных линкеров

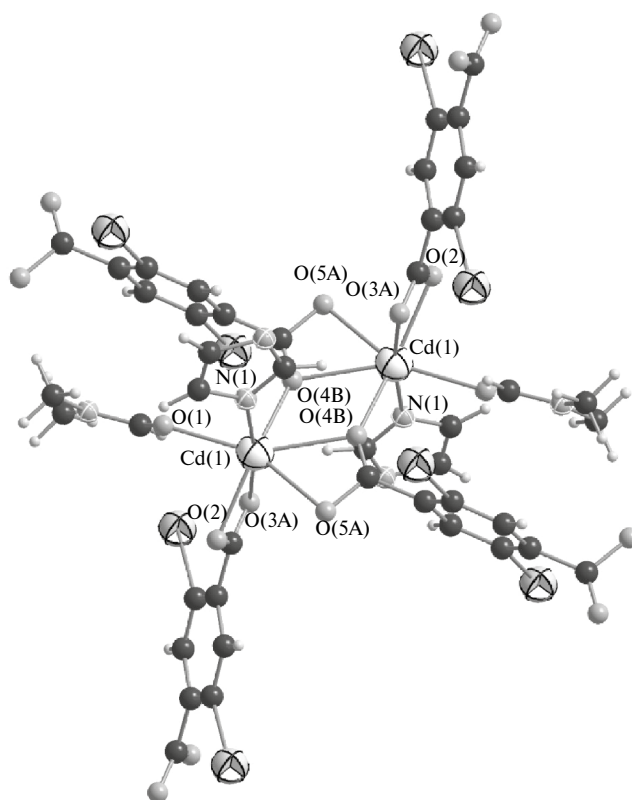


Рис. 4. Строение биядерного строительного блока $\{\text{Cd}_2(2,5\text{-I-Bdc})\text{Bbi}(\text{DMF})_2\}$ в кристаллической структуре комплекса II.

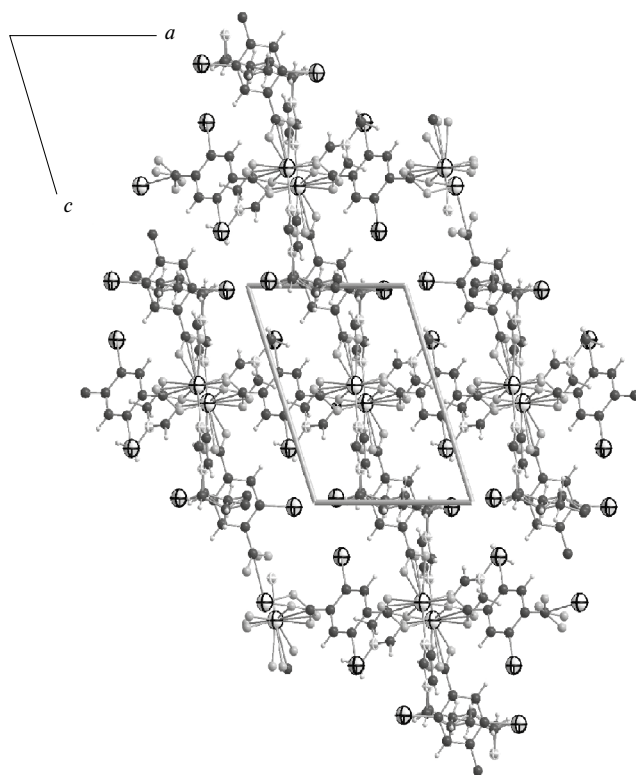


Рис. 5. Кристаллическая упаковка комплекса II.

идентичен таковому в I, однако они частично разупорядочены ($\text{Cd}-\text{O} = 2.265-2.52 \text{ \AA}$). Помимо этого, каждый из Cd связан с одним DMF ($\text{Cd}-\text{O} = 2.347 \text{ \AA}$). Упаковка в кристалле II показана на рис. 5.

Несмотря на то что оба соединения имеют трехмерную структуру, согласно расчетам, в них отсутствует свободный объем, доступный для вхождения гостевых молекул.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Центр коллективного пользования СПбГУ за помощь в проведении первичных экспериментов РСА (дополнительные эксперименты проводились в ИНХ СО РАН).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 21-73-20019) и (частично) при поддержке Минобрнауки России (структурная характеристика образцов – № 121031700313-8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cheplakova A.M., Gusarov V.S., Samsonenko D.G. et al. // J. Struct. Chem. 2022. V. 63. № 6. P. 895. <https://doi.org/10.1134/S0022476622060063>
2. Andreichenko A.A., Burlak P.V., Kovalenko K.A. et al. // J. Struct. Chem. 2022. V. 63. № 3. P. 378. <https://doi.org/10.1134/S0022476622030052>
3. Dubskikh V.A., Lysova A.A., Samsonenko D.G. et al. // J. Struct. Chem. 2022. V. 63. № 2. P. 227. <https://doi.org/10.1134/S0022476622020032>
4. Kiraev S.R., Nikolaevskii S.A., Kiskin M.A. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2018. V. 477. P. 15. <https://doi.org/10.1016/J.ICA.2018.02.011>
5. Primakov P.V., Denisov G.L., Novikov V.V. et al. // Mendeleev Commun. 2022. V. 32. № 1. P. 105. <https://doi.org/10.1016/j.mencom.2022.01.034>
6. Li G.-L., Yin W.-D., Zhang J.-Y. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2022. V. 67. № 11. P. 1745. <https://doi.org/10.1134/S0036023622600800>
7. Guo L.-D., Zhao X.-H., Liu Y.-Y. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2022. V. 67. № 13. P. 2140. <https://doi.org/10.1134/S0036023622700097>
8. Sopianik A.A., Dudko E.R., Kovalenko K.A. et al. // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2021. V. 13. № 12. P. 14768. <https://doi.org/10.1021/acsami.1c02812>
9. Zhan C.-H., Huang D.-P., Wang Y. et al. // CrystEngComm. 2021. V. 23. № 15. P. 2788. <https://doi.org/10.1039/d1ce00235j>
10. Wang X., Zou Y., Zhang Y. et al. // J. Colloid Interface Sci. 2022. V. 626. P. 836. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.07.008>
11. Sopianik A.A., Kovalenko K.A., Samsonenko D.G. et al. // Chem. Commun. 2020. V. 56. № 59. P. 8241. <https://doi.org/10.1039/d0cc03227a>
12. Ye C.-R., Wang W.-J., Chen W. et al. // Angew. Chem. Int. Ed. 2021. V. 60. № 44. P. 23590. <https://doi.org/10.1002/anie.202109964>
13. Mukherjee S., Sensharma D., Qazvini O. T. et al. // Coord. Chem. Rev. 2021. V. 437. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.213852>
14. Pavlov D.I., Sukhikh T.S., Ryadun A.A. et al. // J. Mater. Chem. C. 2022. V. 10. № 14. P. 5567. <https://doi.org/10.1039/d1tc05488k>
15. Yang Z., Zhang W., Yin Y. et al. // Food Control. 2022. V. 133. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108684>
16. Cook T.R., Zheng Y.-R., Stang P.J. // Chem. Rev. 2013. V. 113. № 1. P. 734. <https://doi.org/10.1021/cr300282a>
17. Zorina-Tikhonova E.N., Yambulatov D.S., Kiskin M.A. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2020. V. 46. № 2. P. 75. <https://doi.org/10.1134/S1070328420020104>
18. Yashkova K.A., Mel'nikov S.N., Nikolaevskii S.A. et al. // J. Struct. Chem. 2021. V. 62. № 9. P. 1378. <https://doi.org/10.1134/S0022476621090067>
19. Kolokolov F.A., Kulyasov A.N., Magomadova M.A. et al. // Russ. J. Gen. Chem. 2016. V. 86. № 5. P. 1209. <https://doi.org/10.1134/S1070363216050418>
20. Ahmed I., Jung S.H. // Chem. Eng. J. 2017. V. 310. P. 197. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.10.115>
21. Bartashevich E., Tsirelson V. // J. Comput. Chem. 2018. V. 39. № 10. P. 573. <https://doi.org/10.1002/jcc.25112>
22. Yushina I.D., Masunov A.E., Lopez D. et al. // Cryst. Growth Des. 2018. V. 18. № 9. P. 5069. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.8b00529>
23. Eliseeva A.A., Ivanov D.M., Novikov A.S. et al. // CrystEngComm. 2019. V. 21. № 4. P. 616. <https://doi.org/10.1039/c8ce01851k>
24. Eliseeva A.A., Ivanov D.M., Novikov A.S. et al. // Dalton Trans. 2020. V. 49. № 2. P. 356. <https://doi.org/10.1039/c9dt04221k>
25. Aliyarova I.S., Tupikina E.Y., Soldatova N.S. et al. // Inorg. Chem. 2022. V. 61. № 39. P. 15398. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.2c01858>
26. Soldatova N.S., Postnikov P.S., Suslonov V.V. et al. // Org. Chem. Front. 2020. V. 7. № 16. P. 2230. <https://doi.org/10.1039/d0qo00678e>
27. Aliyarova I.S., Ivanov D.M., Soldatova N.S. et al. //

- Cryst. Growth Des. 2021. V. 21. № 2. P. 1136.
<https://doi.org/10.1021/acs.cgd.0c01463>
28. Rozhkov A.V., Novikov A.S., Ivanov D.M. et al. // Cryst. Growth Des. 2018. V. 18. № 6. P. 3626.
<https://doi.org/10.1021/acs.cgd.8b00408>
 29. Melekhova A.A., Novikov A.S., Dubovtsev A.Y. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2019. V. 484. P. 69.
<https://doi.org/10.1016/j.ica.2018.09.024>
 30. Kalaj M., Momeni M.R., Bentz K.C. et al. // Chem. Commun. 2019. V. 55. № 24. P. 3481.
<https://doi.org/10.1039/C9CC00642G>
 31. Li B., Dong M.-M., Fan H.-T. et al. // Cryst. Growth Des. 2014. V. 14. № 12. P. 6325.
<https://doi.org/10.1021/cg501073e>
 32. Christine T., Tabey A., Cornilleau T. et al. // Tetrahedron. 2019. V. 75. № 52. P. 170765. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2019.130765>
 33. Perry R.J., Wilson B.D., Turner S.R. et al. // Macromolecules. 1995. V. 28. № 10. P. 3509. <https://doi.org/10.1021/ma00114a003>
 34. Barsukova M.O., Samsonenko D.G., Goncharova T.V. et al. // Russ. Chem. Bull. 2016. V. 65. № 12. P. 2914.
<https://doi.org/10.1007/s11172-016-1677-4>
 35. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. A. 2008. V. 64. № 1. P. 112.
<https://doi.org/10.1107/S0108767307043930>
 36. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. C. 2015. V. 71. № 1. P. 3.
<https://doi.org/10.1107/S2053229614024218>
 37. Hübschle C.B., Sheldrick G.M., Dittrich B. // J. Appl. Crystallogr. 2011. V. 44. № 6. P. 1281.
<https://doi.org/10.1107/S0021889811043202>
 38. Dubskikh V.A., Lysova A.A., Samsonenko D.G. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2021. V. 47. № 10. P. 664.
<https://doi.org/10.1134/S107032842110002X>
 39. Dubskikh V.A., Lysova A.A., Samsonenko D.G. et al. // J. Struct. Chem. 2020. V. 61. № 11. P. 1800.
<https://doi.org/10.1134/S002247662011013X>
 40. Ghosh S., Steinke F., Rana A. et al. // Inorg. Chem. Front. 2022. V. 9. № 5. P. 859.
<https://doi.org/10.1039/d1qi01190a>
 41. Rana A., Nandi S., Biswas S. // New J. Chem. 2022. V. 46. № 21. P. 10477.
<https://doi.org/10.1039/d2nj01068b>
 42. Ghosh S., Steinke F., Rana A. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2021. V. 2021. № 37. P. 3846.
<https://doi.org/10.1002/ejic.202100568>

Cadmium(II) Metal-Organic Frameworks Based on Iodine-Substituted Terephthalic Acid Derivatives and 1,1'-(1,4-Butanediyl)-bis-imidazole

M.A. Bondarenko^{1,2}, A.S. Zaguzin^{1,2}, P.A. Abramov¹, I.V. Korol'kov¹,
 D.A. Zharebtsov², V.P. Fedin¹ and S.A. Adonin^{1, 2, 3, *}

¹Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

²South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

³Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

*e-mail: adonin@niic.nsc.ru

Two metal-organic frameworks based on Cd(II) and 2-iodo-(2-I-Bdc) and 2,5-diiodo-(2,5-I-Bdc)terephthalate were obtained: {[Cd(2-I-Bdc)(Bbi)]} (I) and {[Cd₂(2,5-I-Bdc)₂(DMF)₂(Bbi)]} (II) (Bbi = 1,1'-(1,4-butanediyl)bis(imidazole)). The structures of both complexes were established by X-ray diffraction (CCDC no. 2258217 (I) and 2257566 (II)).

Keywords: cadmium, metal-organic frameworks, carboxylates, X-ray diffraction analysis

REFERENCES

1. Cheplakova A.M., Gusarov V.S., Samsonenko D.G. et al. // J. Struct. Chem. 2022. V. 63. № 6. P. 895.
<https://doi.org/10.1134/S0022476622060063>
2. Andreichenko A.A., Burlak P.V., Kovalenko K.A. et al. // J. Struct. Chem. 2022. V. 63. № 3. P. 378.
<https://doi.org/10.1134/S0022476622030052>
3. Dubskikh V.A., Lysova A.A., Samsonenko D.G. et al. // J. Struct. Chem. 2022. V. 63. № 2. P. 227.
<https://doi.org/10.1134/S0022476622020032>
4. Kiraev S.R., Nikolaevskii S.A., Kiskin M.A. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2018. V. 477. P. 15.
<https://doi.org/10.1016/J.ICA.2018.02.011>
5. Primakov P.V., Denisov G.L., Novikov V.V. et al. // Mendeleev Commun. 2022. V. 32. № 1. P. 105.
<https://doi.org/10.1016/j.mencom.2022.01.034>
6. Li G.-L., Yin W.-D., Zhang J.-Y. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2022. V. 67. № 11. P. 1745.
<https://doi.org/10.1134/S0036023622600800>
7. Guo L.-D., Zhao X.-H., Liu Y.-Y. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2022. V. 67. № 13. P. 2140.
<https://doi.org/10.1134/S0036023622700097>
8. Sopianik A.A., Dudko E.R., Kovalenko K.A. et al. // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2021. V. 13. № 12. P. 14768.
<https://doi.org/10.1021/acsami.1c02812>

9. Zhan C.-H., Huang D.-P., Wang Y. et al. // CrystEng-Comm. 2021. V. 23. № 15. P. 2788.
<https://doi.org/10.1039/d1ce00235j>
10. Wang X., Zou Y., Zhang Y. et al. // J. Colloid Interface Sci. 2022. V. 626. P. 836.
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.07.008>
11. Sapiyanik A.A., Kovalenko K.A., Samsonenko D.G. et al. // Chem. Commun. 2020. V. 56. № 59. P. 8241.
<https://doi.org/10.1039/d0cc03227a>
12. Ye C.-R., Wang W.-J., Chen W. et al. // Angew. Chem. Int. Ed. 2021. V. 60. № 44. P. 23590.
<https://doi.org/10.1002/anie.202109964>
13. Mukherjee S., Sensharma D., Qazvini O. T. et al. // Coord. Chem. Rev. 2021. V. 437.
<https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.213852>
14. Pavlov D.I., Sukhikh T.S., Ryadun A.A. et al. // J. Mater. Chem. C. 2022. V. 10. № 14. P. 5567.
<https://doi.org/10.1039/d1tc05488k>
15. Yang Z., Zhang W., Yin Y. et al. // Food Control. 2022. V. 133.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108684>
16. Cook T.R., Zheng Y.-R., Stang P.J. // Chem. Rev. 2013. V. 113. № 1. P. 734.
<https://doi.org/10.1021/cr3002824>
17. Zorina-Tikhonova E.N., Yambulatov D.S., Kiskin M.A. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2020. V. 46. № 2. P. 75.
<https://doi.org/10.1134/S1070328420020104>
18. Yashkova K.A., Mel'nikov S.N., Nikolaevskii S.A. et al. // J. Struct. Chem. 2021. V. 62. № 9. P. 1378.
<https://doi.org/10.1134/S0022476621090067>
19. Kolokolov F.A., Kulyasov A.N., Magomadova M.A. et al. // Russ. J. Gen. Chem. 2016. V. 86. № 5. P. 1209.
<https://doi.org/10.1134/S1070363216050418>
20. Ahmed I., Jung S.H. // Chem. Eng. J. 2017. V. 310. P. 197.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.10.115>
21. Bartashevich E., Tsirelson V. // J. Comput. Chem. 2018. V. 39. № 10. P. 573.
<https://doi.org/10.1002/jcc.25112>
22. Yushina I.D., Masunov A.E., Lopez D. et al. // Cryst. Growth Des. 2018. V. 18. № 9. P. 5069.
<https://doi.org/10.1021/acs.cgd.8b00529>
23. Eliseeva A.A., Ivanov D.M., Novikov A.S. et al. // Cryst-EngComm. 2019. V. 21. № 4. P. 616.
<https://doi.org/10.1039/c8ce01851k>
24. Eliseeva A.A., Ivanov D.M., Novikov A.S. et al. // Dalton Trans. 2020. V. 49. № 2. P. 356.
<https://doi.org/10.1039/c9dt04221k>
25. Aliyarova I.S., Tupikina E.Y., Soldatova N.S. et al. // Inorg. Chem. 2022. V. 61. № 39. P. 15398.
<https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.2c01858>
26. Soldatova N.S., Postnikov P.S., Suslonov V.V. et al. // Org. Chem. Front. 2020. V. 7. № 16. P. 2230.
<https://doi.org/10.1039/d0qo00678e>
27. Aliyarova I.S., Ivanov D.M., Soldatova N.S. et al. // Cryst. Growth Des. 2021. V. 21. № 2. P. 1136.
<https://doi.org/10.1021/acs.cgd.0c01463>
28. Rozhkov A.V., Novikov A.S., Ivanov D.M. et al. // Cryst. Growth Des. 2018. V. 18. № 6. P. 3626.
<https://doi.org/10.1021/acs.cgd.8b00408>
29. Melekhova A.A., Novikov A.S., Dubovtsev A.Y. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2019. V. 484. P. 69.
<https://doi.org/10.1016/j.ica.2018.09.024>
30. Kalaj M., Momeni M.R., Bentz K.C. et al. // Chem. Commun. 2019. V. 55. № 24. P. 3481.
<https://doi.org/10.1039/C9CC00642G>
31. Li B., Dong M.-M., Fan H.-T. et al. // Cryst. Growth Des. 2014. V. 14. № 12. P. 6325.
<https://doi.org/10.1021/cg501073e>
32. Christine T., Tabey A., Cornilleau T. et al. // Tetrahedron. 2019. V. 75. № 52. P. 170765.
<https://doi.org/10.1016/j.tet.2019.130765>
33. Perry R.J., Wilson B.D., Turner S.R. et al. // Macromolecules. 1995. V. 28. № 10. P. 3509.
<https://doi.org/10.1021/ma00114a003>
34. Barsukova M.O., Samsonenko D.G., Goncharova T.V. et al. // Russ. Chem. Bull. 2016. V. 65. № 12. P. 2914.
<https://doi.org/10.1007/s11172-016-1677-4>
35. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. A. 2008. V. 64. № 1. P. 112. <https://doi.org/10.1107/S0108767307043930>
36. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. C. 2015. V. 71. № 1. P. 3.
<https://doi.org/10.1107/S2053229614024218>
37. Hübschle C.B., Sheldrick G.M., Dittrich B. // J. Appl. Crystallogr. 2011. V. 44. № 6. P. 1281.
<https://doi.org/10.1107/S0021889811043202>
38. Dubskikh V.A., Lysova A.A., Samsonenko D.G. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2021. V. 47. № 10. P. 664.
<https://doi.org/10.1134/S107032842110002X>
39. Dubskikh V.A., Lysova A.A., Samsonenko D.G. et al. // J. Struct. Chem. 2020. V. 61. № 11. P. 1800.
<https://doi.org/10.1134/S002247662011013X>
40. Ghosh S., Steinke F., Rana A. et al. // Inorg. Chem. Front. 2022. V. 9. № 5. P. 859.
<https://doi.org/10.1039/d1qi01190a>
41. Rana A., Nandi S., Biswas S. // New J. Chem. 2022. V. 46. № 21. P. 10477.
<https://doi.org/10.1039/d2nj01068b>
42. Ghosh S., Steinke F., Rana A. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2021. V. 2021. № 37. P. 3846.
<https://doi.org/10.1002/ejic.202100568>