

СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ БИС(2,3-ДИФТОРБЕНЗОАТА) ТРИФЕНИЛВИСМУТА

А.Н. Ефремов[✉], В.В. Шарутин

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

[✉] efremov_an94@mail.ru

Аннотация. Дикарбоксилат трифенилвисмута $\text{Ph}_3\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_3\text{F}_2\text{-2,3}]_2$ синтезирован по реакции окислительного присоединения между трифенилвисмутом и 2,3-дифторбензойной кислотой в присутствии *tert*-бутилгидропероксида в диэтиловом эфире. Соединение идентифицировано методами ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа (РСА). По данным РСА, атомы висмута в кристаллах соединения $[\text{C}_{32}\text{H}_{21}\text{O}_4\text{F}_4\text{Bi}]$, M 754,47; сингония триклинная, группа симметрии $P\bar{1}$; параметры ячейки: $a = 9,023(4)$, $b = 11,208(4)$, $c = 14,784(6)$ Å; $\alpha = 70,166(13)$, $\beta = 86,68(3)$, $\gamma = 82,698(14)$ град.; $V = 1394,9(10)$ Å³; размер кристалла $0,36 \times 0,14 \times 0,09$ мм; интервалы индексов отражений $-15 \leq h \leq 15$, $-18 \leq k \leq 19$, $-25 \leq l \leq 25$; всего отражений 91795; независимых отражений 14244; R_{int} 0,0426; $GOOF$ 1,010; $R_1 = 0,0315$, $wR_2 = 0,0613$; остаточная электронная плотность $1,12/-0,91$ е/Å³ имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с атомами кислорода карбоксилатных лигандов в аксиальных положениях (аксиальный угол составляет $172,19(6)^\circ$). Сумма валентных углов Sb-C в экваториальной плоскости составляет $359,92(9)^\circ$. Расстояния Bi-O составляют $2,291(2)$ и $2,250(2)$ Å, длины связей Bi-C изменяются в интервале $2,193(3)$ – $2,216(2)$ Å. Атом висмута выходит из экваториальной плоскости [C_3] на $0,033$ Å. В структуре соединения наблюдаются внутримолекулярные контакты $\text{Bi}\cdots\text{O}(=\text{C})$, что значительно меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов Bi и O ($3,9$ Å). Формирование пространственной структуры кристаллов соединения обусловлено наличием водородных связей типа $\text{H}\cdots\text{O}(=\text{C})$, $\text{H}\cdots\text{F}$ и $\text{C-H}\cdots\pi$ -взаимодействий. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1981641; deposit@ccdc.cam.ac.uk; <https://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Ключевые слова: трифенилвисмут, 2,3-дифторбензойная кислота, бис(2,3-дифторбензоат) трифенилвисмута, *tert*-бутилгидропероксид, окислительный синтез, строение, рентгеноструктурный анализ

Для цитирования: Ефремов А.Н., Шарутин В.В. Синтез и строение бис(2,3-дифторбензоата) трифенилвисмута // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 3. С. 105–110. DOI: 10.14529/chem240304

Original article
DOI: 10.14529/chem240304

SYNTHESIS AND STRUCTURE OF TRIPHENYLBISMUTH BIS(2,3-DIFLUOROBENZOATE)

A.N. Efremov[✉], V.V. Sharutin

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

[✉] efremov_an94@mail.ru

Abstract. Triphenylbismuth dicarboxylate $\text{Ph}_3\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_3\text{F}_2\text{-2,3}]_2$ was synthesized by an oxidative addition reaction between triphenylbismuth and 2,3-difluorobenzoic acid in the presence of *tert*-butyl hydroperoxide in diethyl ether. The compound was identified by IR spectroscopy and X-ray diffraction analysis (XRD). According to the X-ray diffraction data, the bismuth atoms in the compound crystals $[\text{C}_{32}\text{H}_{21}\text{O}_4\text{F}_4\text{Bi}]$, M 754.47; triclinic system, space group $P\bar{1}$; cell parameters: $a = 9.023(4)$, $b = 11.208(4)$, $c = 14.784(6)$ Å; $\alpha = 70.166(13)$, $\beta = 86.68(3)$, $\gamma = 82.698(14)$ deg.; $V = 1394.9(10)$ Å³; crystal size $0.36 \times 0.14 \times 0.09$ mm; index ranges $-15 \leq h \leq 15$, $-18 \leq k \leq 19$, $-25 \leq l \leq 25$; total reflections

91795; independent reflections 14244; R_{int} 0.0426; $GOOF$ 1.010; $R_1 = 0.0315$, $wR_2 = 0.0613$; residual electron density 1.12/−0.91 e/Å³] have a distorted trigonal bipyramidal coordination with the oxygen atoms of the carboxylate ligands in axial positions (the axial angle is 172.19(6)°). The sum of the CBiC bond angles in the equatorial plane is 359.92(9)°. The Bi–O distances are 2.291(2) and 2.250(2) Å, the Bi–C bond lengths vary in the range 2.193(3)–2.216(2) Å. The bismuth atom deviates from of the equatorial plane [C₃] by 0.033 Å. In the structure of the compound, Bi⋯O(=C) intramolecular contacts are observed, which is significantly less than the sum of the van der Waals radii of Bi and O atoms (3.9 Å). The formation of the spatial crystal structure of the compound is due to the presence of hydrogen bonds such as H⋯O(=C), H⋯F and CH⋯π interactions. Complete tables of atomic coordinates, bond lengths and bond angles have been deposited in the Cambridge Crystallographic Data Center (No. 1981641; deposit@ccdc.cam.ac.uk; <https://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Keywords: triphenylbismuth, 2,3-difluorobenzoic acid, triphenylbismuth bis(2,3-difluorobenzoate), *tert*-butylhydroperoxide, oxidative synthesis, structure, X-ray diffraction analysis

For citation: Efremov A.N., Sharutin V.V. Synthesis and structure of triphenylbismuth bis(2,3-difluorobenzoate). *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2024;16(3):105–110. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem240304

Введение

Наличие вакантных *d*-орбиталей у атома висмута в арильных соединениях пятивалентного металла позволяет образовывать дополнительные координационные связи с лигандами, в которых присутствуют пространственно доступные атомы с неподеленными электронными парами. Такое взаимодействие приводит к повышению координационного числа атома висмута и, как правило, влияет на реакционную способность соединений. Известны арильные производные висмута с такими координационными центрами в лигандах, как атомы фосфора [1, 2], кислорода [3–6], азота [7–15] и серы [16, 17]. Производные пятивалентного висмута общей формулы Ar₃BiX₂, где X – остаток карбоновой кислоты, являются биологически активными соединениями, оказывающими антилейшманиозное действие [18–21], обладают фотохимической активностью [22]. Поэтому синтез и исследование свойств дикарбоксилатов триарилвисмута является актуальной задачей.

В настоящей работе по реакции окислительного присоединения из трифенилвисмута, 2,3-дифторбензойной кислоты в присутствии органического окислителя получен бис(2,3-дифторбензоат) трифенилвисмута Ph₃Bi[OC(O)C₆H₃F₂-2,3]₂ (**1**) и установлены особенности его строения методом рентгеноструктурного анализа.

Экспериментальная часть

Синтез бис(2,3-дифторбензоата) трифенилвисмута Ph₃Bi[OC(O)C₆H₃F₂-2,3]₂ (1**).** К раствору 100 мг (0,227 ммоль) трифенилвисмута и 72 мг (0,454 ммоль) 2,3-дифторбензойной кислоты в 30 мл диэтилового эфира прибавляли 29 мг (0,227 ммоль) 70%-ного водного раствора *трет*-бутилгидропероксида и выдерживали 24 ч при 20 °С. После испарения растворителя остаток перекристаллизовывали из смеси растворителей бензол–*n*-октан (2:1 объемн.). Получили 139 мг (81 %) неокрашенных кристаллов соединения **1** с т. пл. 143 °С.

ИК-спектр, (ν , см^{−1}): 3088, 3064, 3049, 1961, 1892, 1695, 1624, 1587, 1573, 1556, 1479, 1436, 1350, 1327, 1273, 1226, 1193, 1151, 1093, 1068, 1008, 987, 954, 947, 921, 910, 835, 815, 785, 758, 731, 702, 682, 650, 626, 599, 503, 489, 449, 439, 416.

Найдено, %: С 51,08; Н 2,87. C₃₂H₂₁O₄F₄Bi. Вычислено, %: С 50,94; Н 2,81.

Элементный анализ на С и Н выполнен на элементном анализаторе Carlo Erba CHNS-O EA 1108. Температуры плавления измерены на синхронном термоанализаторе Netzsch 449C Jupiter.

ИК-спектр соединения **1** записывали на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IR Affinity-1S в таблетке KBr в области 4000–400 см^{−1}.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) кристалла соединения **1** проведен на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (Mo K α -излучение, $\lambda = 0,71073$ Å, графитовый монохроматор) при 293 К. Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены с помощью программ SMART и SAINT-Plus [23]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены с помощью про-

грамм *SHELXL/PC* [24] и *OLEX2* [25]. Структура определена прямым методом и уточнена методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Положение атомов водорода уточняли по модели наездника ($U_{\text{изо}}(\text{H}) = 1,2U_{\text{экв}}(\text{C})$). Кристаллографические данные и результаты уточнения структуры приведены в табл. 1, геометрические характеристики координационного полиэдра атома висмута – в табл. 2. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1981641 (1); deposit@ccdc.cam.ac.uk или http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif).

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структуры 1

Параметр	1
Формула	$\text{C}_{32}\text{H}_{21}\text{O}_4\text{F}_4\text{Bi}$
<i>M</i>	754,47
Сингония	триклинная
Пр. группа	$P\bar{1}$
<i>a</i> , Å	9,023(4)
<i>b</i> , Å	11,208(4)
<i>c</i> , Å	14,784(6)
α , °	70,166(13)
β , °	86,68(3)
γ , °	82,698(14)
<i>V</i> , Å ³	1394,9(10)
<i>Z</i>	2
ρ (выч.), г/см ³	1,796
μ , мм ⁻¹	6,383
<i>F</i> (000)	728,0
Размер кристалла, мм	0,36 × 0,14 × 0,09
Область сбора данных по 2 θ , град	5,86–74,3
Интервалы индексов отражений	$-15 \leq h \leq 15, -18 \leq k \leq 19, -25 \leq l \leq 25$
Измерено отражений	91795
Независимых отражений	14244
<i>R</i> _{int}	0,0426
Переменных уточнения	370
GOOF	1,010
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0,0315, wR_2 = 0,0613$
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0,0599, wR_2 = 0,0680$
Остаточная электронная плотность (max/min), е/Å ³	1,12/–0,91

Таблица 2

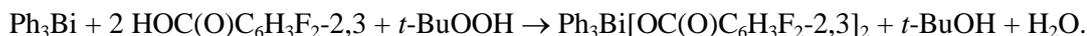
Длины связей и валентные углы в молекуле соединения 1

Связь	<i>d</i> , Å	Угол	ω , град.
Bi(1)–O(3)	2,291(2)	O(1)Bi(1)O(3)	172,19(6)
Bi(1)–O(1)	2,250(2)	C(1)Bi(1)O(3)	87,54(8)
Bi(1)–C(1)	2,193(3)	C(1)Bi(1)O(1)	91,54(8)
Bi(1)–C(21)	2,216(2)	C(1)Bi(1)C(21)	112,81(9)
Bi(1)–C(11)	2,194(2)	C(1)Bi(1)C(11)	141,73(9)
O(3)–C(47)	1,291(3)	C(11)Bi(1)C(21)	105,38(9)
O(4)–C(47)	1,230(3)	C(21)Bi(1)O(3)	86,67(7)
O(1)–C(37)	1,289(3)	C(21)Bi(1)O(1)	86,54(8)
O(2)–C(37)	1,217(3)	C(11)Bi(1)O(3)	92,45(8)
Bi(1)⋯O(2)	3,059(2)	C(11)Bi(1)O(1)	93,06(8)
Bi(1)⋯O(4)	2,944(2)	C(47)O(3)Bi(1)	109,38(13)

Обсуждение результатов

Синтез бис(2,3-дифторбензоата) трифенилвисмута $\text{Ph}_3\text{Bi}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_3\text{F}_2-2,3]_2$ (1) осуществлен по реакции окислительного присоединения между трифенилвисмутом и 2,3-дифторбензойной

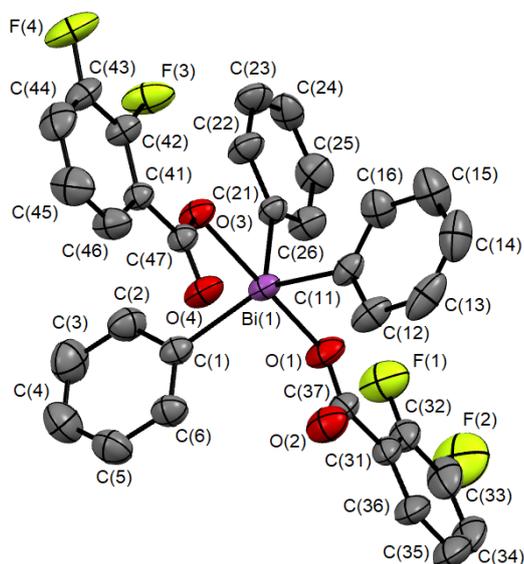
кислотой в присутствии окислителя – *трет*-бутилгидропероксида – при мольном соотношении реагентов 1:2:1 в диэтиловом эфире с выходом 81 %. Аналогичным образом ранее нами были получены с высоким выходом *бис*(2,3-дифторбензоаты) *трис*(*пара*-толил)- и *трис*(*мета*-толил)висмута [26].



После перекристаллизации твердого остатка из смеси растворителей *n*-октан–бензол (1:2 объемн.) получены кристаллы соединения (**1**), пригодные для рентгеноструктурного анализа (РСА).

В ИК-спектре соединения **1** наблюдается интенсивная полоса поглощения валентных колебаний фрагмента BiC_3 при 439 см^{-1} . Валентным колебаниям карбонильной группы соответствует интенсивная полоса поглощения при 1624 см^{-1} . Полосы поглощения при 1587 , 1479 , 1436 см^{-1} характеризуют валентные колебания углеродного скелета ароматических фрагментов. Колебаниям $\nu(\text{C}_{\text{Ar}}\text{-H})$ отвечают полосы поглощения средней интенсивности при 3088 , 3064 и 3049 см^{-1} , а колебаниям $\delta(\text{C}_{\text{Ar}}\text{-H})$ – высокоинтенсивная полоса при 758 см^{-1} [27–29].

По данным РСА, атом висмута имеет искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с атомами кислорода карбоксилатных лигандов в аксиальных положениях (см. рисунок).



Строение соединения **1** (атомы водорода не приведены)

Строение координационного узла атома металла схоже с ранее описанными *бис*(2,3-дифторбензоатами) *трис*(*пара*-толил)- и *трис*(*мета*-толил)висмута [26]. Сумма валентных углов СВiС в экваториальной плоскости составляет $359,92(9)^\circ$, аксиальный угол ОВiО отклоняется от значения в 180° и составляет $172,19(6)^\circ$. Атом висмута выходит из экваториальной плоскости $[\text{C}_3]$ на $0,033 \text{ \AA}$. Длины связей Bi-C имеют близкие значения ($2,193(3)$, $2,194(2)$, $2,216(2) \text{ \AA}$), а расстояния Bi-O ($2,291(2)$, $2,250(2) \text{ \AA}$) соизмеримы с суммой ковалентных радиусов атомов партнеров ($2,32 \text{ \AA}$ [30]). Плоские арильные кольца повернуты вокруг связей $\text{Bi-C}_{\text{эkv}}$ таким образом, чтобы минимизировать внутри- и межмолекулярные взаимодействия. Двугранные углы между плоскостями бензольных колец арильных лигандов и экваториальной плоскостью составляют $19,16^\circ$ C1-6 , $16,32^\circ$ C11-16 , $87,09^\circ$ C21-26 . Отметим, что в структурах *бис*(2,3-дифторбензоатов) *трис*(*пара*-толил)-, *трис*(*мета*-толил)висмута и **1** одно из арильных колец, расположенное напротив наибольшего экваториального угла, практически перпендикулярно экваториальной плоскости $[\text{C}_3]$ и компланарно плоскостям карбоксильных групп карбоксилатных лигандов. В структуре **1** наблюдаются внутримолекулярные взаимодействия атома металла с карбонильными атомами кислорода. Расстояния $\text{Bi}\cdots\text{O(=C)}$ значительно меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов Bi и O ($3,9 \text{ \AA}$ [31]) и составляют $2,944(2)$ и $3,059(2) \text{ \AA}$.

Как правило, карбоксилатные лиганды в молекулах структурно охарактеризованных дикарбоксилатов триарилвисмута имеют *цис*-ориентацию относительно экваториального фрагмента

C₃Vi и формирование внутримолекулярных контактов Vi...O(=C) происходит внутри одного экваториального угла, значение которого может возрастать до 152,9° [32, 33]. В соединении **1** наблюдается аналогичная ориентация, при этом наибольший экваториальный угол составляет 141,73(9)°.

Формирование пространственной сетки в кристалле соединения **1** обусловлено наличием слабых водородных связей типа C=O...H-C (2,70 Å), C-F...H-C (2,57, 2,62, 2,65 Å) и C-H...π-взаимодействий.

Выводы

Таким образом, взаимодействие трифенилвисмута с 2,3-дифторбензойной кислотой в присутствии *трет*-бутилгидропероксида (1:2:1 мольн.) приводит к образованию бис(2,3-дифторбензоата) трифенилвисмута. По данным РСА, в молекулах соединения атомы висмута имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с атомами кислорода карбоксилатных лигандов в аксиальных положениях. Образование пространственной сетки кристалла обусловлено водородными связями с участием атомов фтора и карбонильных атомов кислорода.

Список источников

1. Chalmers B.A., Meigh C.B.E., Nejman P.S. et al. // Inorg. Chem. 2016. V. 55. P. 7117. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.6b01079.
2. Tschersich C., Hoof S., Frank N. et al. // Inorg. Chem. 2016. V. 55. P. 1837. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b02740.
3. Lichtenberg C., Pan F., Spaniol T.P. et al. // Angew. Chem., Int. Ed. 2012. V. 51. P. 13011. DOI: 10.1002/anie.201206782.
4. Benjamin S.L., Karagiannidis L., Levason W. et al. // Organometallics. 2011. V. 30. P. 895. DOI: 10.1021/om1010148.
5. Obata T., Matsumura M., Kawahata M. et al. // J. Organomet. Chem. 2016. V. 807. P. 17. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2016.02.008.
6. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Ermakova V.A. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2017. V. 62, P. 1043. DOI: 10.1134/S0036023617100163.
7. Usoltsev A.N., Adonin S.A., Novikov A.S. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2020. V. 46. P. 23. DOI: 10.1134/S107032842001008X.
8. Kindra D.R., Peterson J.K., Ziller J.W. et al. // Organometallics. 2015. V. 34. P. 395. DOI: 10.1021/om5010786.
9. Casely I.J., Ziller J.W., Mincher B.J. et al. // Inorg. Chem. 2011. V. 50. P. 1513. DOI: 10.1021/ic102119y.
10. Urbanova I., Jambor R., Ruzicka A. et al. // Dalton Trans. 2014. V. 43. P. 505. DOI: 10.1039/C3DT51733K.
11. Solyntjes S., Neumann B., Stammer H.-G. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2016. V. 25. P. 3999. DOI: 10.1002/ejic.201600539.
12. Soran A., Breunig H.J., Lippolis V. et al. // J. Organomet. Chem. 2010. V. 695. P. 850. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2010.01.004.
13. Breunig H.J., Nema M.G., Silvestru C. et al. // Z. Anorg. Allg. Chem. 2010. V. 636. P. 2378. DOI: 10.1002/zaac.201000233.
14. Alcantara E., Sharma P., Perez D. et al. // Synth. React. Inorg., Met.-Org., Nano-Met. Chem. 2012. V. 42. P. 1139. DOI: 10.1080/15533174.2012.680162.
15. Benjamin S.L., Karagiannidis L., Levason W. et al. // Organometallics. 2011. V. 30. P. 895. DOI: 10.1021/om1010148.
16. Novikova E.V., Ivanov A.V., Egorova I.V. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2019. V. 45. P. 695. DOI: 10.1134/S1070328419100038.
17. Chen J., Murafuji T., Tsunashima R. // Organometallics. 2011. V. 30. P. 4532. DOI: 10.1021/om200228x.
18. Duffin R.N., Blair V.L., Kedzierski L. et al. // Dalton Trans. 2018. V. 47. P. 971. DOI: 10.1039/C7DT04171C.

19. *Duffin R.N., Blair V.L., Kedzierski L. et al.* // *J. Inorg. Biochem.* 2018. V. 189. P. 151. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2018.08.015.
20. *Ong Y.C., Blair V.L., Kedzierski L. et al.* // *Dalton Trans.* 2014. V. 43. P. 12904. DOI: 10.1039/C4DT00957F.
21. *Ong Y.C., Blair V.L., Kedzierski L. et al.* // *Dalton Trans.* 2015. V. 44. P. 18215. DOI: 10.1039/C5DT03335G.
22. *Zhang X.-Y., Wu R.-X., Bi C.-F. et al.* // *Inorg. Chim. Acta.* 2018. V. 483. P. 129. DOI: 10.1016/j.ica.2018.07.027.
23. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
24. Bruker. SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
25. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al.* // *J. Appl. Cryst.* 2009. V. 42. P. 339. DOI: 10.1107/S0021889808042726.
26. *Efremov A.N., Sharutin V.V., Sharutina O.K.* // *J. Struct. Chem.* 2021. V. 62. P. 1962. DOI: 10.1134/S0022476621120155.
27. *Тарасевич Б.Н.* ИК-спектры основных классов органических соединений. М.: МГУ, 2012. 54 с.
28. *Васильев А.В., Гриненко Е.В., Щукин А.О., Федулina Т.Г.* Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений: учебное пособие. СПб.: СПбГЛТА, 2007. 54 с.
29. Spectral Database for Organic Compounds, SDBS. Release 2021. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. URL: <https://sdb.sdb.aist.go.jp> (дата обращения: 15.01.2024).
30. *Cordero B., Gómez V., Platero-Prats A.E. et al.* // *Dalton Trans.* 2008. V. 21. P. 2832. DOI: 10.1039/B801115J.
31. *Batsanov S.S.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 1991. V. 36. P. 1694.
32. *Hassan A., Wang S.* // *Dalton Trans.* 1997. V. 12. P. 2009. DOI: 10.1039/a700477j 32.
33. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Efremov A.N.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2019. V. 64. P. 190. DOI: 10.1134/S0036023619100139.

Ефремов Андрей Николаевич – старший преподаватель кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: efremov_an94@mail.ru

Шарутин Владимир Викторович – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник Управления научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: sharutin50@mail.ru.

*Статья поступила в редакцию 12 февраля 2024 г.
The article was submitted 12 February 2024.*