Научная статья
УДК 546.87+547.53.024+547.56
DOI: 10.14529/chem250111

СТРОЕНИЕ ДИКАРБОКСИЛАТОВ ТРИ(*ПАРА*-ТОЛИЛ)ВИСМУТА *p*-$Tol_3Bi[OC(O)CH_2Cl]_2$ и *p*-$Tol_3Bi[OC(O)C_6H_3F_2\text{-}2,5]_2 \cdot TolH$

В.В. Шарутин*✉, *В.С. Сенчурин
Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия
✉ *sharutin50@mail.ru*

Аннотация. Взаимодействием три(*пара*-толил)висмута с хлоруксусной и 2,5-дифторбензойной кислотами в эфире в присутствии *трет*-бутилгидропероксида синтезированы и структурно охарактеризованы дикарбоксилаты три(*пара*-толил)висмута, которые после перекристаллизации из толуола выделены в виде *p*-$Tol_3Bi[OC(O)CH_2Cl]_2$ (**1**) и сольвата *p*-$Tol_3Bi[OC(O)C_6H_3F_2\text{-}2,5]_2 \cdot TolH$ (**2**). Кристаллографические характеристики **1** [$C_{25}H_{25}O_4Cl_2Bi$, M = 669,33; триклинная сингония, пр. гр. P-1; параметры ячейки: a = 10,370(6) Å, b = 11,731(4) Å, c = 12,746(6) Å; α = 106,77(2)°, β = 103,90(2)°, γ = 108,764(18)°, V = 1307,5(10) Å^3, Z = 2; $\rho_{выч}$ = 1,700 г/см^3; μ = 6,973 мм$^{-1}$; F(000) = 648,0; обл. сбора по 2θ: 6,34–71,62°; $-17 \le h \le 17$, $-19 \le k \le 19$, $-20 \le l \le 20$; всего отражений 83762; независимых отражений 12095 (R_{int} = 0,0546); $GOOF$ = 1,035; R-фактор = 0,0353], **2** [$C_{42}H_{35}BiF_4O_4$, M = 888,68; триклинная сингония, пр. гр. P–1; параметры ячейки: a = 9,403(4) Å, b = 11,009(6) Å, c = 18,757(8) Å; α = 78,80(2)°, β = 88,918(17)°, γ = 66,61(2)°, V = 1744,5(15) Å^3, Z = 2; $\rho_{выч}$ = 1,692 г/см^3; μ = 5,118 мм$^{-1}$; F(000) = 876,0; обл. сбора по 2θ: 6,22–54,362°; $-12 \le h \le 12$, $-14 \le k \le 14$, $-24 \le l \le 24$; всего отражений 40062; независимых отражений 7698 (R_{int} = 0,0337); $GOOF$ = 1,054; R-фактор = 0,0268]. Из данных РСА следует, что атомы висмута в **1** и **2** имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с атомами кислорода карбоксигрупп в аксиальных положениях (OBiO 170,91(6)° и 170,49(15)° соответственно; Bi–O 2,2875(19) Å, 2,292(2) Å для **1** и 2,262(3) Å, 2,317(3) Å для **2**) и экваториальными толильными лигандами (Bi–C 2,188(3)–2,210(2) Å для **1** и 2,198(4)–2,219(4) Å для **2**). Присутствие координационной связи центрального атома металла с карбонильным атомом кислорода [Bi···O=C 2,991(3) Å, 2,997(3) Å в **1** и 2,879(3) Å, 2,922(3) Å в **2**] позволяет говорить об увеличении координационного числа атома висмута до 7. В структурах **1** и **2** максимальный экваториальный угол со стороны контакта Bi···O=C (139,21(9)° и 142,18(15)°) значительно больше двух других экваториальных углов. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов соединений **1** и **2** депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC 1913595 и 2051942; deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk).

***Ключевые слова**:* дикарбоксилат три(*пара*-толил)висмута, особенности строения

Для цитирования: Шарутин В.В., Сенчурин В.С. Строение дикарбоксилатов три(*пара*-толил)висмута *p*-$Tol_3Bi[OC(O)CH_2Cl]_2$ и *p*-$Tol_3Bi[OC(O)C_6H_3F_2\text{-}2,5]_2 \cdot TolH$ // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2025. Т. 17, № 1. С. 126–132. DOI: 10.14529/chem250111

Original article
DOI: 10.14529/chem250111

STRUCTURE OF TRI(*PARA*-TOLYL)BISMUTH DICARBOXYLATES *p*-$Tol_3Bi[OC(O)CH_2Cl]_2$ AND *p*-$Tol_3Bi[OC(O)C_6H_3F_2\text{-}2,5]_2 \cdot TolH$

V.V. Sharutin*✉, *V.S. Senchurin
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia
✉ *sharutin50@mail.ru*

Abstract. By reacting tri(*para*-tolyl)bismuth with chloroacetic and 2,5-difluorobenzoic acids in ether in the presence of *tert*-butyl hydroperoxide, tri(para-tolyl)bismuth dicarboxylates were synthesized. After recrystallization from toluene, they were isolated as *p*-$Tol_3Bi[OC(O)CH_2Cl]_2$ (**1**) and sol-

© Шарутин В.В., Сенчурин В.С., 2025.

vate *p*-Tol$_3$Bi[OC(O)C$_6$H$_3$F$_2$-2,5]$_2$ · TolH (**2**), the structure of which was proven by X-ray diffraction analysis (XRD). Crystallographic characteristics of **1** [$C_{25}H_{25}O_4Cl_2Bi$, M = 669,33; triclinic syngony, space group P-1; cell parameters: a = 10,370(6) Å, b = 11,731(4) Å, c = 12,746(6) Å; α = 106,77(2)°, β = 103,90(2)°, γ = 108,764(18)°, V = 1307,5(10) Å^3, Z = 2; ρ_{calc} = 1,700 g/cm^3; μ = 6,973 mm^{-1}; F(000) = 648,0; region collection at 2θ: 6,34–71,62°; $-17 \le h \le 17$, $-19 \le k \le 19$, $-20 \le l \le 20$; total reflections 83762; independent reflections 12095 (R_{int} = 0,0546); *GOOF* = 1,035; *R*-factor = 0,0353], **2** [$C_{42}H_{35}BiF_4O_4$, M = 888,68; triclinic syngony, space group P–1; cell parameters: a = 9,403(4) Å, b = 11,009(6) Å, c = 18,757(8) Å; α = 78,80(2)°, β = 88,918(17)°, γ = 66,61(2)°, V = 1744,5(15) Å^3, Z = 2; ρ_{calc} = 1,692 g/cm^3; μ = 5,118 mm^{-1}; F(000) = 876,0; collection area by 2θ: 6,22–54,362°; $-12 \le h \le 12$, $-14 \le k \le 14$, $-24 \le l \le 24$; total reflections 40062; independent reflections 7698 (R_{int} = 0,0337); *GOOF* = 1,054; [*R*-factor = 0,0268]. From the X-ray diffraction data it follows that the bismuth atoms in **1** and **2** have a distorted trigonal-bipyramidal coordination with the oxygen atoms of the carboxyl groups in the axial positions (OBiO 170,91(6)° and 170,49(15)°, respectively; Bi–O 2,2875(19) Å, 2,292(2) Å for **1** and 2,262(3) Å, 2,317(3) Å for **2**) and equatorial tolyl ligands (Bi–C 2,188(3)–2,210(2) Å for **1** and 2,198(4)–2,219(4) Å for **2**). The presence of a coordination bond between the central metal atom and the carbonyl oxygen atom [Bi···O=C 2,991(3) Å, 2,997(3) Å in **1** and 2,879(3) Å, 2,922(3) Å in **2**] allows us to speak about an increase in the coordination number of the bismuth atom to 7. In structures **1** and **2**, the maximum equatorial angle on the side of the Bi···O=C contact (139,21(9)° and 142,18(15)°) is significantly larger than the other two equatorial angles. Complete tables of atomic coordinates, bond lengths and bond angles for compounds **1** and **2** have been deposited with the Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC 1913595 and 2051942; deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk).

***Keywords**:* tri(*para*-tolyl)bismuth dicarboxylate, structural features

For citation: Sharutin V.V., Senchurin V.S. Structure of tri(*para*-tolyl)bismuth dicarboxylates *p*-Tol$_3$Bi[OC(O)CH$_2$Cl]$_2$ and *p*-Tol$_3$Bi[OC(O)C$_6$H$_3$F$_2$-2,5]$_2$ · TolH. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem*. 2025;17(1):126–132. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem250111

Введение

Дикарбоксилаты триарилвисмута Ar$_3$Bi[OC(O)R]$_2$ являются биологически активными соединениями, оказывающими антилейшманиозное действие [1–4] и обладающими фотохимической активностью [5], поэтому синтез и исследование свойств дикарбоксилатов триарилвисмута является актуальной задачей. Синтез указанных производных, как правило, осуществляют по реакции окислительного присоединения триарилвисмута с карбоновыми кислотами в присутствии пероксида [6–24], причем выход дикарбоксилатов триарилвисмута, получаемых по этой схеме, достигал 95 %.

$$Ar_3Bi + 2\,RC(O)OH + H_2O_2 \rightarrow Ar_3Bi[OC(O)R]_2 + 2\,H_2O$$

Понижение электроотрицательности карбоксилатного заместителя путем введения в его состав электронодонорных групп не изменяло направления реакции окислительного присоединения.

В настоящей работе по реакции окислительного присоединения из три(*пара*-толил) висмута, хлоруксусной и 2,5-дифторбензойной кислоты в присутствии *трет*-бутилгидропероксида в эфире получены дикарбоксилаты три(*пара*-толил)висмута, которые после перекристаллизации из толуола выделены в виде *p*-Tol$_3$Bi[OC(O)CH$_2$Cl]$_2$ (**1**) и сольвата *p*-Tol$_3$Bi[OC(O)C$_6$H$_3$F$_2$-2,5]$_2$ · TolH (**2**).

Экспериментальная часть

Исходный реагент – три(*пара*-толил)висмут – получали по известной методике [25]. В работе также использовали хлоруксусную и 2,5-дифторбензойную кислоты (Alfa Aesar). В качестве растворителя использовали эфир и толуол квалификации «х. ч.». Синтез дикарбоксилатов три(*пара*-толил)висмута осуществляли путем прибавления к смеси порошкообразного три(*пара*-толил)висмута и карбоновой кислоты в эфире 70%-ного водного раствора *трет*-бутилгидропероксида (мольное соотношение 1:2:1 соответственно). После упаривания эфира твердый остаток перекристаллизовывали из толуола. Получали бесцветные кристаллы, структура которых установлена методом рентгеноструктурного анализа (РСА).

***Бис*(хлорацетат) три(*пара*-толил)висмута *p*-$Tol_3Bi[OC(O)CH_2Cl]_2$ (1).** Бесцветные кристаллы, $t_{пл}$ = 172 °C, выход 83 %. ИК-спектр (ν, $см^{-1}$): 3045, 3032, 2957, 2920, 2866, 1647, 1611, 1485, 1393, 1373, 1341, 1254, 1229, 1207, 1196, 1184, 1055, 999, 935, 793, 691, 675, 577, 474. Найдено, %: C 44,78; H 3,79. $C_{25}H_{25}O_4Cl_2Bi$. Вычислено, %: C 44,82; H 3,74.

Сольват *бис*(2,5-дфторбензоата) три(*пара*-толил)висмута *p*-$Tol_3Bi[OC(O)C_6H_3F_2$-2,5$]_2$ · TolH (2). Бесцветные кристаллы, $t_{пл}$ = 145 °C, выход 65 %. ИК-спектр (ν, $см^{-1}$): 3088, 3057, 2922, 2868, 1718, 1626, 1616, 1578, 1481, 1389, 1356, 1271, 1227, 1206, 1186, 1153, 1067, 999, 957, 835, 795, 785, 758, 627, 476, 440. Найдено, %: C 56,68; H 3,96. $C_{42}H_{35}O_4F_4Bi$. Вычислено, %: C 56,71; H 3,94.

РСА кристаллов **1** и **2** проведен на дифрактометре D8 Quest фирмы Bruker (Mo*K*α-излучение, λ = 0,71073 Å, графитовый монохроматор) при 296(2) K. Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены по программам SMART и SAINT-*Plus* [26]. Все расчеты по определению и уточнению структуры выполнены по программам SHELXL/PC [27] и OLEX2 [28].

Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Кристаллографические данные и результаты уточнения структур приведены в табл. 1, геометрические характеристики координационного полиэдра атома сурьмы – в табл. 2. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC 1913595 и 2051942; deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk).

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур 1 и 2

Параметр	**1**	**2**
Формула	$C_{25}H_{25}O_4Cl_2Bi$	$C_{42}H_{35}F_4O_4Bi$
M	669,33	888,68
Сингония	Триклинная	Триклинная
Пр. группа	*P*–1	*P*–1
a, Å	10,370(6)	9,403(4)
b, Å	11,731(4)	11,009(6)
c, Å	12,746(6)	18,757(8)
α, град.	106,77(2)	78,80(2)
β, град.	103,90(2)	88,918(17)
γ, град.	108,764(18)	66,61(2)
V, $Å^3$	1307,5(10)	1744,5(15)
Z	2	2
$\rho_{выч}$, $г/см^3$	1,700	1,692
μ, $мм^{-1}$	6,973	5,118
F(000)	648,0	876,0
Размер кристалла, мм	0,2 × 0,12 × 0,07	0,21 × 0,21 × 0,12
Область сбора данных по 2θ, град.	6,34–71,62	6,22–54,362
Интервалы индексов отражений	$-17 \le h \le 16$, $-19 \le k \le 19$, $-20 \le l \le 20$	$-12 \le h \le 12$, $-14 \le k \le 14$, $-24 \le l \le 24$
Измерено отражений	83762	40062
Независимых отражений	12095	7698
R_{int}	0,0546	0,0337
Переменных уточнения	292	526
GOOF	1,035	1,054
R-факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	R_1 = 0,0353, wR_2 = 0,0550	R_1 = 0,0268, wR_2 = 0,0679
Остаточная электронная плотность (min/max), $e/Å^3$	0,70/–1,12	1,07/–1,17

Таблица 2

Длины связей и валентные углы в структурах 1 и 2

Связь *d*, Å		Угол *ω*, град	
1			
Bi(1)–O(1)	2,2875(19)	O(1)Bi(1)O(3)	170,91(6)
Bi(1)–O(3)	2,293(2)	C(11)Bi(1)C(1)	108,66(9)
Bi(1)–C(1)	2,210(2)	C(11)Bi(1)C(21)	139,31(9)
Bi(1)–C(11)	2,188(3)	C(21)Bi(1)C(1)	112,12(9)
Bi(1)–C(21)	2,201(3)	C(8)O(1)Bi(1)	109,93(16)
Bi(1)···O(2)	2,991(4)	C(18)O(3)Bi(1)	110,21(17)
Bi(1)···O(4)	2,997(4)	C(11)Bi(1)O(1)	91,69(9)
2			
Bi(1)–O(1)	2,317(3)	O(1)Bi(1)O(3)	170,50(10)
Bi(1)–O(3)	2,262(3)	C(1)Bi(1)C(21)	110,57(15)
Bi(1)–C(21)	2,219(4)	C(11)Bi(1)C(21)	107,22(15)
Bi(1)–C(1)	2,203(4)	C(11)Bi(1)C(1)	142,18(15)
Bi(1)–C(11)	2,198(4)	C(37)O(1)Bi(1)	107,4(2)
Bi(1)···O(2)	2,879(14)	C(47)O(3)Bi(1)	109,6(2)
Bi(1)···O(4)	2,922(15)	O(4)C(47)O(3)	122,7(3)

Обсуждение результатов

Получение соединений висмута общей формулы Ar_3BiX_2 по реакции замещения описано во многих работах. В частности, широко применяется замещение атомов хлора или брома в дигалогенидах триарилвисмута на другую анионную группу Y [25, 29–32]. В 1988 году был предложен эффективный одностадийный метод синтеза диацилатов триарилвисмута, в основе которого лежит реакция окисления триарилвисмута различными пероксидами в присутствии карбоновых кислот [33]. В продолжение развития этого метода нами были проведены реакции три(*пара*-толил)висмута с хлоруксусной и 2,5-дифторбензойной кислотами в присутствии *трет*-бутилгидропероксида в эфире (мольное соотношение 1:2:1). Показано, что схема реакции окислительного присоединения в этом случае не изменяется и конечным продуктом реакции является целевой дикарбоксилат три(*пара*-толил)висмута:

$$(4\text{-MeC}_6\text{H}_4)_3\text{Bi} + 2\ \text{RC(O)OH} + t\text{-BuOOH} \rightarrow (4\text{-MeC}_6\text{H}_4)_3\text{Bi[OC(O)R]}_2 + t\text{-BuOH} + \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{R} = \text{CH}_2\text{Cl}\ (\mathbf{1}),\ \text{C}_6\text{H}_3\text{F}_2\text{-2,5}\ (\mathbf{2})$$

В ИК-спектрах соединений **1** и **2** полосы поглощения при 474 и 476 см$^{-1}$, относятся к валентным колебаниям связей Bi–C. Колебания *ν*(C=O) в карбонильных группах характеризуются частотами 1647 и 1626 см$^{-1}$.

Строение образующихся дикарбоксилатов три(*пара*-толил)висмута, которые после перекристаллизации из толуола выделены в виде *p*-Tol$_3$Bi[OC(O)CH$_2$Cl]$_2$ (**1**) и сольвата *p*-Tol$_3$Bi[OC(O)C$_6$H$_3$F$_2$-2,5]$_2$ · TolH (**2**), доказано методом РСА.

Из данных РСА следует, что атомы висмута в **1** и **2** имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с карбоксильными атомами кислорода карбоксигрупп в аксиальных положениях [OBiO 170,91(6)° и 170,49(15)° соответственно (рис. 1, 2); Bi–O 2,2875(19) Å, 2,292(2) Å для **1** и 2,262(3) Å, 2,317(3) Å для **2**] и экваториальными толильными лигандами (Bi–C 2,188(3)–2,210(2) Å для **1** и 2,198(4)–2,219(4) Å для **2**]. В **1** и **2** наблюдается типичная для дикарбоксилатов трифенилвисмута *цис*-ориентация карбоксилатных лигандов относительно фрагмента Ar_3Bi. Координационная связь центрального атома металла с карбонильным атомом кислорода [Bi···O=C 2,991(3), 2,997(3) Å в **1** и 2,879(3), 2,922(3) Å в **2**] меньше суммы ван-дерваальсовых радиусов атомов висмута и кислорода (3,59 Å) [34], что позволяет говорить об увеличении координационного числа атома висмута до 7. В структурах **1** и **2** максимальный экваториальный угол со стороны контакта Bi···O=C (139,21(9)° и 142,18(15)°) больше двух других экваториальных углов (112,12(9), 108,66(9) (**1**) и 107,22(15), 110,57(15) (**2**)).

Структурная организация в кристаллах **1** и **2** обусловлена слабыми водородными связями типа O···H 2,63–2,71 Å (**1**) и F···H 2,53–2,63 Å (**2**).

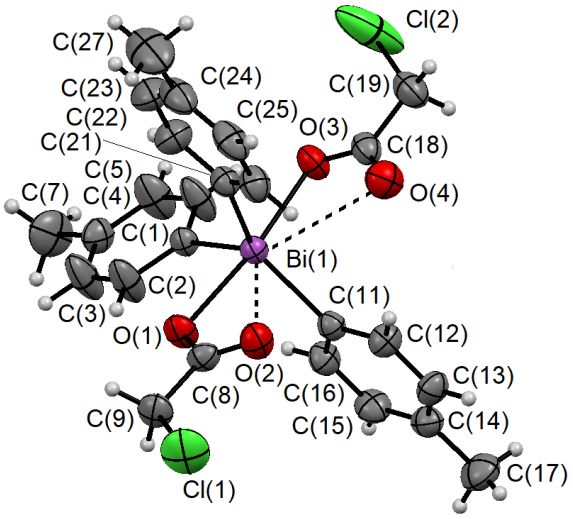

Рис. 1. Строение *бис*(хлорацетата) три(*пара*-толил)висмута (1)

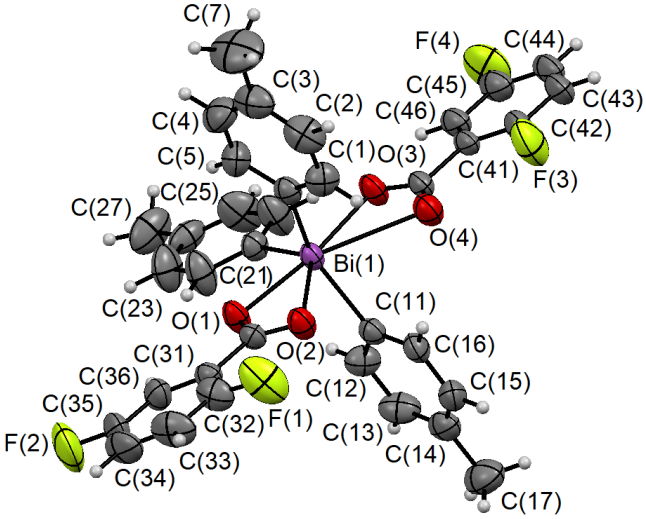

Рис. 2. Строение сольвата *бис*(2,5-дифторбензоата) три(*пара*-толил)висмута с толуолом (2). Молекула сольватного толуола не показана

Заключение

Взаимодействием три(*napa*-толил)висмута с хлоруксусной и 2,5-дифторбензойной кислотами в эфире в присутствии *трет*-бутилгидропероксида синтезированы дикарбоксилаты три(*napa*-толил)висмута, которые после перекристаллизации из толуола выделены в виде *p*-$Tol_3Bi[OC(O)CH_2Cl]_2$ (**1**) и сольвата *p*-$Tol_3Bi[OC(O)C_6H_3F_2\text{-}2,5]_2 \cdot TolH$ (**2**). По данным РСА атомы висмута в **1** и **2** имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с атомами кислорода карбоксигрупп в аксиальных положениях и экваториальными толильными лигандами с максимальными экваториальными углами со стороны контакта Bi···O=C (139,21(9)° и 142,18(15)°). Присутствие координационной связи центрального атома металла с карбонильным атомом кислорода [Bi···O=C 2,991(3), 2,997(3) Å в **1** и 2,879(3), 2,922(3) Å в **2**] свидетельствует об увеличении координационного числа атома висмута до 7.

Список источников

1. *Duffin R.N., Blair V.L., Kedzierski L. et al.* // Dalton Trans. 2018. V. 47. P. 971. DOI: 10.1039/C7DT04171C.

2. *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.

3. *Ong Y.C., Blair V.L., Kedzierski L. et al.* // Dalton Trans. 2014. V. 43. P. 12904. DOI: 10.1039/C4DT00957F.

4. *Ong Y.C., Blair V.L., Kedzierski L. et al.* // Dalton Trans. 2015. V. 44. P. 18215. DOI: 10.1039/C5DT03335G.

5. *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.

6. *Додонов В.А., Гущин А.В., Брилкина Т.Г.* // Журн. общ. химии. 1985. Т. 55, № 1. С. 73. EDN: OIINWJ

7. *Ефремов А.Н., Шарутин В.В., Шарутина О.К.* // Журн. структ. химии. 2021. Т. 62, № 12. С. 2084. EDN: PKEHSW

8. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Кощеева Л.В.* // Журн. неорган. химии. 2021. Т. 66, № 10. С. 1407. EDN: NETQPX

9. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Кощеева Л.В.* // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 5. С. 758. EDN: RIGRFC

10. *Verkhovykh V.A., Kalistratova O.S., Grishina A.I. et al.* // Вест. Южно-Урал. гос. ун-та. Сер. «Химия». 2015. Т. 7, № 3. С. 61. EDN: UATWDZ

11. *Gushchin F.V., Kalistratova O.S., Maleeva A.I. et al.* // Вест. Южно-Урал. гос. ун-та. Сер. «Химия». 2016. Т. 8, № 1. С. 51. EDN: VKFFQR

12. Гущин А.В., Шашкин Д.В., Прыткова Л.К. и др. // Журн. общ. химии. 2011. Т. 81, № 3. С. 397. EDN: NUXVYN

13. *Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К.* // Журн. неорган. химии. 2011. Т. 56, № 10. С. 1644. EDN: OFRLJX

14. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С.* // Журн. неорган. химии. 2014. Т. 59, № 1. С. 42. EDN: RPASDB

15. *Шарутин В.В., Шарутина О.К.* // Журн. неорган. химии. 2014. Т. 59, № 6. С. 734. EDN: SDXGKJ

16. *Гусаковская А.А., Калистратова О.С., Андреев П.В. и др.* // Кристаллография. 2018. Т. 63, № 2. С. 203. DOI: 10.7868/S0023476118020066

17. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н.* // Журн. неорган. химии. 2019. Т. 64, № 2. С. 159. EDN: YWYFJJ

18. *Duffin R.N., Blair V.L., Kedzierski L., Andrews P.C.* // Dalton Trans. 2018. V. 47. P. 971. DOI: 10.1039/C7DT04171C

19. *Duffin R.N., Blair V.L., Kedzierski L., Andrews P.C.* // 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., Andrews P.C.* // 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. *Kumar I., Bhattacharya P., Whitmire K.H.* // Organometallics. 2014. V. 33. P. 2906. DOI: 10.1021/om500337z

23. *Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К.* // Коорд. химия. 2021, Т. 47, № 12, С. 719. DOI: 10.31857/S0132344X21120021

24. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н.* // Коорд. химия. 2021. Т. 47, № 9. С. 568. DOI: 10.31857/S0132344X21070057

25. *Кочешков К.А., Сколдинов А.П., Землянский Н.Н.* Методы элементоорганической химии. Сурьма, висмут. М.: Наука, 1976. 483 с.

26. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.

27. 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.

28. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al.* // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339. DOI: 10.1107/S0021889808042726

29. *Dahlmann J., Winsel K. J.* // J. Prakt. Chem. 1979. V. 321, N. 3. P. 370. DOI: https://doi.org/10.1002/prac.19793210304

30. *Goel R.G., Prassad H.S.* // Can. J. Chem. 1970. V. 48. N. 16. P. 2488. DOI: 10.1139/v70-421

31. *Goel R.G., Prassad H.S.* // J. Organomet. Chem. 1972. V. 36, N. 2. P. 323. DOI: 10.1016/S0022-328X(00)80680-4

32. *Goel R.G., Prassad H.S.* // J. Organomet. Chem. 1973. V. 50, N. 1. P. 129. DOI: 10.1016/S0022-328X(00)95098-8

33. *Додонов В.А., Гущин А.В., Ежова М.Б.* // Журн. общ. химии. 1988. Т. 58, № 9. С. 2170. EDN: ZUIARC

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

Сенчурин Владислав Станиславович – доктор химических наук, доцент, профессор кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: senchurinvs@susu.ru

Статья поступила в редакцию 21 октября 2024 г.
The article was submitted 21 October 2024.