

СИНТЕЗ И ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ АРИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ СУРЬМЫ: $[3\text{-CF}_3\text{C}_6\text{H}_4]_3\text{Sb}[\text{OC}_6\text{F}_5]_2$, $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{F}_5]_2$

В.В. Шарутин¹, **А.Н. Ефремов¹**, **В.С. Сенчурин¹**, **О.К. Шарутина¹**,
М.В. Кудряшов², **Н.В. Сомов²**

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Нижегородский государственный университет, Нижний Новгород, Россия

✉ sharutin50@mail.ru

Аннотация. Окислением триарилсурьмы *tert*-бутилгидропероксидом в присутствии пентафторфенола или пентафторбензойной кислоты в диэтиловом эфире получены *bis*(пентафторфеноксид)[*tris*(3-трифторметилфенил)сурьма] $[3\text{-CF}_3\text{C}_6\text{H}_4]_3\text{Sb}[\text{OC}_6\text{F}_5]_2$ (**1**), *bis*(пентафторбензоато)трифенилсурьма $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{F}_5]_2$ (**2**). Соединения **1** и **2**, выделенные после перекристаллизации из смеси бензол – октан в виде монокристаллов, охарактеризованы методами ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа (РСА). По данным РСА, кристаллы **1** и **2** принадлежат триклинной сингонии, группа симметрии *P*-1. Факторы недостоверности уточнения структурных данных составляют $R_1 = 0,0272$ (**1**), $R_1 = 0,0196$ (**2**). В тригонально-бипирамидальных молекулах с электроотрицательными лигандами в аксиальных положениях расстояния Sb–C составляют для **1** 2,1059(15)–2,1079(14) Å, для **2** 2,1000(12)–2,1084(11) Å; валентные углы OSbO принимают значения 176,79(4)° (**1**) и 175,42(3)° (**2**). Расстояния Sb–O в **1** [2,0571(11) и 2,0679(11) Å] короче, чем в **2** [2,1219(8) и 2,1543(8) Å], в которой атом сурьмы координирует карбонильные атомы кислорода со стороны максимального экваториального угла (138,04(4)°), при этом внутримолекулярные контакты Sb⋯O=C составляют 2,9083(12) и 3,1885(13) Å. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов для структур депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2518894 (**1**), № 2518899 (**2**), deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk).

Ключевые слова: *tris*(3-трифторметилфенил)сурьма, трифенилсурьма, пентафторфенол, пентафторбензойная кислота, *tert*-бутилгидропероксид, синтез, *bis*(пентафторфеноксид)[*tris*(3-трифторметилфенил)сурьма], *bis*(пентафторбензоато)трифенилсурьма, рентгеноструктурный анализ.

Благодарности. Рентгеноструктурные исследования выполнены в рамках госзадания № FSWR-2026-0004 Министерства науки и высшего образования РФ.

Для цитирования: Синтез и особенности строения арильных производных сурьмы: $[3\text{-CF}_3\text{C}_6\text{H}_4]_3\text{Sb}[\text{OC}_6\text{F}_5]_2$, $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{F}_5]_2$ / В.В. Шарутин, А.Н. Ефремов, В.С. Сенчурин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2026. Т. 18, № 1. С. 189–195. DOI: 10.14529/chem260117

Brief report
DOI: 10.14529/chem260117

SYNTHESIS AND STRUCTURAL FEATURES OF ARYL DERIVATIVES OF ANTIMONY: $[3\text{-CF}_3\text{C}_6\text{H}_4]_3\text{Sb}[\text{OC}_6\text{F}_5]_2$, $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{F}_5]_2$

V.V. Sharutin¹, **A.N. Efremov¹**, **V.S. Senchurin¹**, **O.K. Sharutina¹**,
M.V. Kudryashov², **N.V. Somov²**

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Nizhny Novgorod State University, Nizhny Novgorod, Russia

✉ sharutin50@mail.ru

Abstract. By oxidation of triarylantimony with *tert*-butyl hydroperoxide in the presence of pentafluorophenol or pentafluorobenzoic acid in diethyl ether, *bis*(pentafluorophenoxy)[*tris*(3-trifluoromethylphenyl)antimony] $[3\text{-CF}_3\text{C}_6\text{H}_4]_3\text{Sb}[\text{OC}_6\text{F}_5]_2$ (**1**), *bis*(pentafluorobenzoato)-triphenylantimony $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{F}_5]_2$ (**2**) were obtained. Compounds **1** and **2** isolated after recrystallization from a benzene-

octane mixture in the form of single crystals, were characterized by IR spectroscopy and X-ray diffraction analysis (XRD). According to XRD data, crystals **1** and **2** belong to the triclinic syngony, symmetry group $P\bar{1}$. The uncertainty factors for the refinement of structural data are $R_1 = 0,0272$ (**1**), $R_1 = 0,0196$ (**2**). In trigonal-bipyramidal molecules with electronegative ligands in axial positions, the Sb–C distances are 2,1059(15)–2,1079(14) Å for **1**, and 2,1000(12)–2,1084(11) Å for **2**; the OSbO bond angles take the values of 176,79(4)° (**1**) and 175,42(3)° (**2**). The Sb–O distances in **1** [2,0571(11) and 2,0679(11) Å] and are shorter than in **2** [2,1219(8) and 2,1543(8) Å]. The antimony atom in **2** coordinates the carbonyl oxygen atoms from the side of the maximum equatorial angle (138,04(4)°), while the intramolecular Sb⋯O=C contacts are 2,9083(12) and 3,1885(13) Å. Complete tables of atomic coordinates, bond lengths and bond angles for the structures have been deposited with the Cambridge Crystallographic Data Centre (No. 2518894 (**1**), No. 2518899 (**2**), deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Keywords: tris(3-trifluoromethylphenyl)antimony, triphenylantimony, tert-butyl hydroperoxide, pentafluorophenol, pentafluorobenzoic acid, synthesis, bis(pentafluorophenoxy)-[tris(3-trifluoromethylphenyl)antimony], bis(pentafluorobenzoato)triphenylantimony, X-ray diffraction analysis

Acknowledgments. X-ray structural studies were carried out within the context of state assignment No. FSWR-2026-0004 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation: Sharutin V.V., Efremov A.N., Senchurin V.S., Sharutina O.K., Kudryashov M.V., Sotomov N.V. Synthesis and structural features of aryl derivatives of antimony: [3-CF₃C₆H₄]₃Sb(OC₆F₅)₂, Ph₃Sb[OC(O)C₆F₅]₂. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2026;18(1):189–195. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem260117

Введение

В литературе описаны практически важные свойства органических соединений сурьмы, которые применяются в различных областях. Так, например, установлена способность дикарбоксилатов триарилсурьмы выступать арилирующими агентами в реакциях *кросс*-сочетания, катализируемых палладием, для образования новых углерод-углеродных связей [1–7] и противоопухолевая [8] или антилейшманиозная активность арильных производных сурьмы [9]. Опубликованы примеры использования сурьмасодержащих органических производных непредельных карбоновых кислот, способных к полимеризации, в фотолитографии в качестве высокочувствительных УФ-резистов [10] и для получения прозрачных металлосодержащих органических стекол и полимеров [11]. Исследована возможность использования дикарбоксилатов триарилсурьмы в качестве фотокатализаторов при разложении красителей [12].

В литературе описаны особенности строения дикарбоксилатов триорганилсурьмы [13–23]; в большей мере, безусловно, это касается фенильных производных с карбоксилатными лигандами разнообразного строения. Тем не менее, из имеющихся публикаций следует, что искажение тригонально-бипирамидальной конфигурации молекул дикарбоксилатов в значительной степени определяется природой карбоксилатных остатков и заместителей в арильных группах [24–29]. В меньшей степени особенности синтеза и строения подобных соединений описаны для сурьмаорганических производных оксимов, фенолов и органосульфоновых кислот [30–33].

Соединения пятивалентной сурьмы, содержащие в арильных лигандах при атоме металла различные функциональные группы, изучены в меньшей степени, хотя именно в строении этих соединений чаще всего встречаются интересные особенности [27–29, 34, 35].

Целями настоящей работы являлись синтез и установление особенностей строения диароксида триарилсурьмы [3-CF₃C₆H₄]₃Sb[OC₆F₅]₂ (**1**) и дикарбоксилата трифенилсурьмы Ph₃Sb[OC(O)C₆F₅]₂ (**2**).

Экспериментальная часть

Синтез соединений **1** и **2** осуществляли по методике, описанной в [29].

Бис(пентафторфенокси)трис(3-трифторметилфенил)сурьма [3-CF₃C₆H₄]₃Sb[OC₆F₅]₂ (**1**). Т. пл. 125 °С, 86 %, ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3084, 2924, 1630, 1601, 1495, 1433, 1396, 1323, 1296, 1171, 1136, 1076, 1053, 1011, 824, 768, 685, 594, 494, 407. Найдено, %: С 42,87; Н 1,34. С₃₃Н₁₂Ф₁₉О₂Sb. Вычислено, %: С 42,90; Н 1,30).

Бис(пентафторбензоато)трифенилсурьма Ph₃Sb[OC(O)C₆F₅]₂ (**2**). Т. пл. 200 °С, 75 %, ИК-спектр, ν , см⁻¹: 3068, 1670, 1624, 1577, 1521, 1492, 1483, 1436, 1413, 1367, 1350, 1336, 1303, 1273, 1259, 1253, 1197, 1188, 1161, 1111, 1099, 1068, 1035, 1024, 997, 914, 887, 875, 848, 812, 792, 763,

738, 711, 688, 623, 607, 584, 547, 526, 518, 484, 459, 451. Найдено, %: С 50,43; Н 2,01. $C_{32}H_{15}F_9O_4Sb$. Вычислено, %: С 50,62; Н 1,98.

Элементный анализ проводили на анализаторе Euro EA3028-НТ.

Рентгеноструктурный анализ проводили на автоматическом дифрактометре Rigaku XtaLab при 100 К. Первичные фрагменты структур найдены методом двойного пространства в программных комплексах *SHELX* [36] и *ShelXle* [37]. Параметры остальных атомов, включая атомы водорода, определены по разностному синтезу электронной плотности и уточнены по $|F|^2$ методом наименьших квадратов. Положения водородных атомов уточнялись в основном цикле метода наименьших квадратов в изотропном приближении. Кристаллографические данные и результаты уточнения структур приведены в табл. 1, длины связей и валентные углы – в табл. 2.

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур 1 и 2

Параметр	1	2
Формула	$C_{33}H_{12}F_{19}O_2Sb$	$C_{32}H_{15}F_{9.12}O_4Sb$
<i>M</i>	923,19	758,56
Сингония	Триклинная	Триклинная
Пр. группа	<i>P</i> -1	<i>P</i> -1
<i>a</i> , Å	11,6176(2)	11,7645(1)
<i>b</i> , Å	12,1682(3)	11,9494(1)
<i>c</i> , Å	12,2478(3)	12,7154(2)
α , град.	67,677(2)	108,410(1)
β , град.	89,336(2)	98,896(1)
γ , град.	80,335(2)	117,780(1)
<i>V</i> , Å ³	1576,34(7)	1400,20(3)
<i>Z</i>	2	2
$\rho_{\text{выч}}$, г/см ³	1,945	1,799
μ , мм ⁻¹	1,021	1,085
<i>F</i> (000)	896,0	744,0
Размер кристалла (мм)	0,360×0,190×0,130	0,610×0,470×0,200
Область сбора данных по θ , град.	2,543–33,042	2,223–33,218
Интервалы индексов отражений	$-17 \leq h \leq 17, -17 \leq k \leq 18, -18 \leq l \leq 18$	$-17 \leq h \leq 17, -17 \leq k \leq 17, -19 \leq l \leq 19$
Измерено отражений	67233	60361
Независимых отражений	10788	9651
Переменных уточнения	532	466
<i>GOOF</i>	1,042	1,061
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0,0272, wR_2 = 0,0625$	$R_1 = 0,0196, wR_2 = 0,0498$
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0,0339, wR_2 = 0,0643$	$R_1 = 0,0207, wR_2 = 0,0504$
Остаточная электронная плотность (min/max), e/Å ³	-0,555/0,733	-0,472/0,632

Таблица 2

Длины связей и валентные углы в структурах 1 и 2

Связь <i>d</i> , Å		Угол ω , град.	
1			
Sb(1)–O(1)	2,0571(11)	O(1)Sb(1)O(2)	176,79(4)
Sb(1)–O(2)	2,0679(11)	C(1)Sb(1)C(27)	119,90(5)
Sb(1)–C(8)	2,1059(15)	C(8)Sb(1)C(27)	126,76(5)
Sb(1)–C(27)	2,1076(14)	C(8)Sb(1)C(1)	113,34(5)
Sb(1)–C(1)	2,1079(14)	F(17)C(14)F(18)	105,84(16)
O(1)–C(15)	1,3366(19)	F(19)C(14)F(18)	106,66(16)
O(2)–C(21)	1,3327(18)	F(17)C(14)F(19)	106,84(15)
F(1)–C(16)	1,344(2)	F(15)C(33)F(16)	106,09(16)
F(5)–C(20)	1,349(2)	F(14)C(33)F(16)	106,17(16)
F(13)–C(7)	1,318(2)	F(15)C(33)F(14)	107,77(18)

Связь d , Å		Угол ω , град.	
F(16)–C(33)	1,343(2)	F(13)C(7)F(12)	107,18(17)
2			
Sb(1)–O(1)	2,1219(8)	O(1)Sb(1)O(3)	175,42(3)
Sb(1)–O(3)	2,1543(8)	C(13)Sb(1)C(1)	110,25(4)
Sb(1)–C(13)	2,1000(12)	C(7)Sb(1)C(1)	111,67(4)
Sb(1)–C(7)	2,1040(11)	C(13)Sb(1)C(7)	138,04(4)
Sb(1)–C(1)	2,1084(11)	F(1)C(21)C(20)	124,07(12)
F(5)–C(25)	1,2993(16)	F(2)C(22)C(23)	119,38(13)
F(3)–C(23)	1,3321(15)	F(2)C(22)C(21)	119,90(13)
F(1)–C(21)	1,3089(17)	F(3)C(23)C(22)	120,27(14)
Sb(1)⋯O(2)	3,1885(9)	F(3)C(23)C(24)	120,62(13)
Sb(1)⋯O(4)	2,9083(12)	F(5)C(25)C(24)	115,01(11)

Обсуждение результатов

Производные сурьмы общей формулы Ar_3SbX_2 , где X – лиганд, связанный с атомом сурьмы через кислород, получают, как правило, или по реакциям замещения, действуя на дигалогениды или дигидроксиды триарилсурьмы солями HX кислот, или по реакции окислительного присоединения из триарильных соединений сурьмы, HX кислоты и пероксида как окислителя [31–35].

Для синтеза целевых соединений нами был выбран окислительный метод как наиболее эффективный и менее трудоемкий, поскольку протекает в одну стадию и позволяет получить достаточно чистый продукт. В качестве окислителя был использован *трет*-бутилгидропероксид, растворителем служил диэтиловый эфир. Нами получены *бис*(пентафторфенокси)[*трис*(3-трифторметилфенил)сурьма] (**1**) и *бис*(пентафторбензоато)трифенилсурьма (**2**) (схема 1).

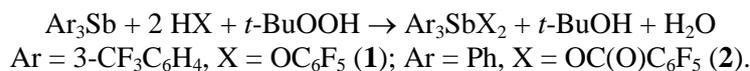


Схема 1

Целевые соединения после перекристаллизации выделяли с выходами до 86 % в виде бесцветных кристаллических веществ, растворимых в ароматических углеводородах.

Соединения **1** и **2** были охарактеризованы методами ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа.

В ИК-спектрах соединений присутствуют полосы, характеризующие колебания фрагмента SbC₃ (459–440 см⁻¹) и связей Sb–O (575–518 см⁻¹). Установлено, что полосы поглощения при 1323 и 1171 см⁻¹ в ИК-спектре **1** характеризуют валентные колебания фрагмента CF₃–Ar, в ИК-спектре соединения **2** полоса при 1670 см⁻¹ обусловлена валентными колебаниями карбонильной группы.

Найдено, что в молекулах **1** и **2** атомы сурьмы имеют координацию искаженной тригональной бипирамиды, в аксиальных положениях которой находятся ароксидные (в соединении **1**) и карбоксилатные (в соединении **2**) лиганды (рис. 1, 2).

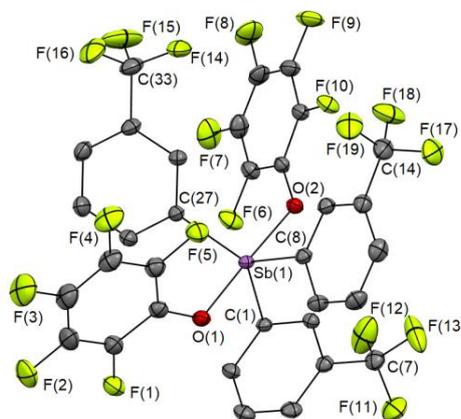


Рис. 1. Строение комплекса [3-CF₃C₆H₄]₃Sb[OC₆F₅]₂ (**1**) (атомы водорода не приведены)

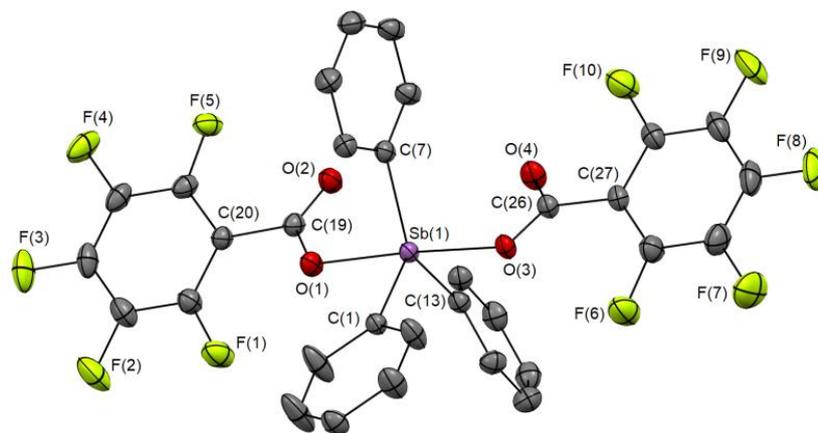


Рис. 2. Строение комплекса $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{F}_5]_2$ (**2**)
(атомы водорода не приведены)

Аксиальные углы OSbO отличаются от линейного угла и составляют $176,79(4)^\circ$ и $175,42(3)^\circ$ в **1** и **2** соответственно. Валентные углы CSbC в экваториальной плоскости изменяются в интервалах $113,34(5)$ – $126,76(5)^\circ$ (**1**), $110,25(4)$ – $138,04(4)^\circ$ (**2**), а их суммы практически равны 360° . Увеличение одного из экваториальных углов в соединении **2** связано с *цис*-ориентацией карбоксильных групп относительно аксиальной связи OSbO и формированием внутримолекулярных контактов $\text{Sb}\cdots\text{O}(\text{=C})$ ($3,1885(9)$ и $2,9083(12)$ Å, что меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов-партнеров ($3,58$ Å)). Выходы атомов сурьмы из экваториальной плоскости характеризуются малыми значениями: $0,003$ Å и $0,023$ Å (в **1** и **2** соответственно). Интервалы изменения углов OSbC между экваториальными и аксиальными связями составляют $85,60(5)$ – $93,53(5)^\circ$ (**1**), $87,60(5)$ – $91,91(5)^\circ$ (**2**). Расположение арильных колец относительно экваториальной плоскости во всех молекулах пропеллерное. Двугранные углы между плоскостями арильных колец и экваториальной плоскостью $[\text{C}_3]$ составляют $38,59^\circ$, $48,49^\circ$, $67,72^\circ$ (**1**), $6,71^\circ$, $30,47^\circ$, $77,29^\circ$ (**2**). Расстояния Sb–C в молекулах **1** и **2** мало отличаются: $2,1059(15)$ – $2,1079(14)$ Å (**1**) и $2,1000(12)$ – $2,1084(11)$ Å (**2**). Аксиальные связи Sb–O в диароксиде триарилсурьмы **1** короче экваториальных и равны $2,0571(11)$ Å и $2,0679(11)$ Å, что характерно для соединений данного класса [24]; в дикарбоксилате трифенилсурьмы – длиннее ($2,1219(8)$ и $2,1543(8)$ Å).

Известно, что карбоксилатные лиганды склонны к бидентатной координации на атом металла [24]. При этом в дикарбоксилатах триарилсурьмы карбоксилатные лиганды, как правило, проявляют анизобидентатный характер связывания с высокой асимметрией координации; лишь в редких случаях два расстояния M–O близки друг другу [24]. В молекуле **2** карбоксилатные лиганды координированы асимметрично (расстояния между атомом сурьмы и атомами кислорода карбонильных групп $\text{Sb}\cdots\text{O}=\text{C}$ составляют $3,1885(9)$ и $2,9083(12)$ Å). Данные расстояния сопоставимы с аналогичными в дикарбоксилатах триарилсурьмы, содержащих электроноакцепторные группы в кислотных остатках [24].

Основными межмолекулярными взаимодействиями в кристаллах являются слабые водородные связи типа C–H \cdots F ($2,43$, $2,53$ и $2,54$ Å) в **1**; C–H \cdots F ($2,54$ Å), C–H \cdots O=C ($2,39$ и $2,64$ Å) и C–H \cdots π взаимодействиями в **2**.

Выводы

Окислением триарилсурьмы *трет*-бутилгидропероксидом в присутствии пентафторфенола или пентафторбензойной кислоты в диэтиловом эфире получены *бис*(пентафторфеноксид)[*трис*(3-трифторметилфенил)сурьма] $[\text{3-CF}_3\text{C}_6\text{H}_4]_3\text{Sb}[\text{OC}_6\text{F}_5]_2$ (**1**), *бис*(пентафторбензоато)трифенилсурьма $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{F}_5]_2$ (**2**), атомы сурьмы в которых имеют тригонально-бипирамидальную конфигурацию. Наличие внутримолекулярных контактов $\text{Sb}\cdots\text{O}(\text{=C})$ в *бис*(пентафторбензоато)трифенилсурьме (**2**) повышает координационное число центрального атома до 7, при этом карбоксилатные лиганды проявляют анизобидентатный характер связывания с атомом металла.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Gushchin A.V., Moiseev D.V., Dodonov V.A.* // Russ. Chem. Bull. Int. Chem. 2001. V. 50. P. 1291. DOI:10.1023/A:1014079428290
2. *Moiseev D.V., Gushchin A.V., Shavirin A.S. et al.* // J. Organomet. Chem. 2003. V. 667. P. 176. DOI:10.1016/S0022-328X(02)02179-4
3. *Moiseev D.V., Morugova V.A., Gushchin A.V. et al.* // J. Organomet. Chem. 2004. V. 689. P. 731. DOI:10.1016/j.jorganchem.2003.11.025
4. *Kang S.K., Ryu H.C., Hong Y.T.* // J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2001. V. 7. P. 736. DOI: 10.1039/B007800J
5. *Yasuike S., Qin W., Sagawara Y. et al.* // Tetrahedron Lett. 2007. V. 48. P. 721. DOI: 10.1016/j.tetlet.2006.10.163
6. *Qin W., Yasuike S., Kakusawa N.* // J. Organomet. Chem. 2008. V. 693. P. 109. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2007.10.030
7. *Wang X., Qin W., Kakusawa N. et al.* // Tetrahedron Lett. 2009. V. 50, No. 46. P. 6293. DOI: 10.1016/j.tetlet.2009.08.113
8. *Polychronis N.M., Banti C.N., Raptopoulou C.P. et al.* // Inorg. Chim. Acta. 2019. V. 489. P. 39. DOI: 10.1016/j.ica.2019.02.004
9. *Artem'eva E.V., Duffin R.N., Munuganti S. et al.* // Polyhedron. 2022. V. 213. P. 115627. DOI: 10.1016/j.poly.2021.115627
10. *Manouras T., Argitis P.* // Nanomaterials. 2020. V. 10. N 8. P. 1593. DOI: 10.3390/nano10081593
11. *Gushchin A.V., Maleeva A.I., Vakhitov V.R. et al.* // Russ. J. Gen. Chem. V. 93. N 2. P. 2. DOI: 10.1134/S1070363223020093
12. *Zhang X.-Y., Cui L.-S., Zhang X. et al.* // J. Mol. Struct. 2017. V. 1134. P. 742. DOI: 10.1016/j.molstruc.2017.01.039
13. *Wen L., Yin H., Wang C.* // Acta Crystallogr. Sect. E: Struct. Rep. Online. 2009. V. E 65. P. m1442. DOI: 10.1107/S160053680904358X
14. *Islam A., Rodrigues B.L., Marzano I.M. et al.* // Eur. J. Med. Chem. 2016. V. 109. P. 254. DOI: 10.1016/j.ejmech.2016.01.003
15. *Mushtaq R., Rauf M.K., Bond M. et al.* // Appl. Organomet. Chem. 2016. V.30. P. 465. DOI: 10.1002/aoc.3456
16. *Wen L., Yin H., Quan L. et al.* // Acta Crystallogr. Sect. E: Struct. Rep. Online. 2008. V. E64. P. m1303. DOI: 10.1107/S1600536808029656
17. *Wen L. Yin H., Wang D.L. et al.* // Acta Crystallogr. Sect. E: Struct. Rep. Online. 2008. V. E64. P. m1426. DOI: 10.1107/S1600536808032844
18. *Ali M.I., Rauf M.K., Badshah A. et al.* // Dalton Trans. 2013. V. 42. P. 16733. DOI: 10.1039/c3dt51382c.
19. *Iftikhar T., M.K. Rauf, S. Sarwar et al.* // J. Organomet. Chem. 2017. V. 851. P. 89. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2017.09.002
20. *Yu L., Ma Y.-Q., Wang G.-C. et al.* // Heteroat. Chem. 2004. V. 15. P. 32. DOI: 10.1002/hc.10208
21. *Sarwar S., Iftikhar T., Rauf M.K. et al.* // Inorg. Chim. Acta. 2018. V. 476. P. 12. DOI: 10.1016/j.ica.2018.02.005
22. *Liu R.-C., Ma Y.-Q., Yu L. et al.* // Appl. Organomet. Chem. 2003. V. 17. P. 662. DOI: 10.1002/aoc.491.
23. *Saleem L., Altaf A.A., Badshah A. et al.* // Inorg. Chim. Acta. 2018. V. 474. P. 148. DOI: 10.1016/j.ica.2018.01.036
24. *Шарутина О.К., Шарутин В.В.* Молекулярные структуры органических соединений сурьмы (V): моногр. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. 395 с.
25. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Gubanova Y.O. et al.* // Mendeleev Commun. 2020. V. 30. P. 97. DOI: 10.1016/j.mencom.2020.01.032
26. *Hong M., Yin H.-D., Li W.-K. et al.* // Inorgan. Chem. Comm. 2011. V. 14. P. 1616. DOI: 10.1016/j.inoche.2011.06.023

27. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. // Russ. J. Inorgan. Chem. 2014. V. 59. P. 326. DOI: 10.1134/S0036023614040202
28. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Tolstoguzov D.S. // Russ. J. Gen. Chem. 2014. V. 84. P. 1754. DOI: 10.1134/S1070363214090199
29. Шарутин В.В., Морозецких М.О. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 2. С. 77. DOI: 10.14529/chem240208
30. Cambridge Crystallographic Data Center. 2024. (deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).
31. Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2020. Т. 46, № 10. С. 579. DOI: 10.1134/S1070328420100012
32. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 1. С. 5. DOI: 10.14529/chem240101
33. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2025. Т. 17. № 3. С. 27. DOI: 10.14529/chem250301
34. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчуриин В.С. // Журн. неорган. химии. 2014. Т. 59. № 4. С. 481. DOI: 10.7868/S0044457X14040217
35. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Толстогузов Д.С. // Журн. общ. химии. 2014. Т. 84. № 9. С. 1516. DOI: 10.1134/S1070363214090199
36. Sheldrick G.M. // Acta Cryst. Sect. A. 2015. V. 71. P. 3. DOI: 10.1107/S2053273314026370
37. Hübschle C. B., Sheldrick G. M. and Dittrich B. // J. Appl. Cryst. 2011. V. 44. P. 1281. DOI: 10.1107/S0021889811043202

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

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

Сенчуриин Владислав Станиславович – доктор химических наук, доцент, кафедра органической химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: senvl@rambler.ru

Шарутина Ольга Константиновна – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: sharutinaok@mail.ru

Кудряшов Михаил Викторович – аспирант, инженер 2-й категории кафедры кристаллографии и экспериментальной физики, Нижегородский государственный университет, Нижний Новгород, Россия. E-mail: m.v.kudryashov@phys.unn

Сомов Николай Викторович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры кристаллографии и экспериментальной физики, Нижегородский государственный университет, Нижний Новгород, Россия. E-mail: somov@phys.unn

*Статья поступила в редакцию 11 декабря 2025 г.
The article was submitted 11 December 2025.*