

Краткие сообщения Brief Reports

Краткое сообщение

УДК 546.865+547.53.024+547-304.6+547.56

DOI: 10.14529/chem240419

НЕОБЫЧНАЯ РЕАКЦИЯ ТРИФЕНИЛСУРЬМЫ С 2,3-ДИФТОРБЕНЗОЙНОЙ КИСЛОТОЙ В ПРИСУТСТВИИ ТРЕТ-БУТИЛГИДРОПЕРОКСИДА

В.В. Шарутин

Южно-Уральский университет, Челябинск, Россия

✉ sharutin50@mail.ru

Аннотация. Взаимодействием трифенилсурьмы с 2,3-дифторбензойной кислотой в присутствии трет-бутилгидропероксида (мольное соотношение 1:2:1) в эфире получен с выходом 12 % 2,3-дифторбензоат тетрафенилсурьмы (**1**), который был идентифицирован методами ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа. PCA проводили на дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker, кристаллографические характеристики элементарной ячейки соединения следующие: пространственная группа $P\bar{1}$, $a = 9,859(6)$, $b = 10,180(6)$, $c = 14,332(9)$ Å, $\alpha = 84,15(2)^\circ$, $\beta = 83,09(2)$, $\gamma = 68,56(4)^\circ$, $V = 1326,6(14)$ Å³, $Z = 2$, $\rho_{\text{выч}} = 1,470$ г/см³, $\mu = 2,079$ мм⁻¹, $F(000) = 588,0$, размер кристалла $0,32 \times 0,2 \times 0,09$ мм, диапазон сбора данных по 2θ , град: $5,74\text{--}61,36$, диапазон индексов $-14 \leq h \leq 14$, $-14 \leq k \leq 14$, $-20 \leq l \leq 20$, число измеренных рефлексов 83031, число независимых рефлексов 8118, $R_{\text{int}} = 0,0387$, $GOOF = 1,037$, число параметров 325, $R_1 = 0,0287$, $wR_2 = 0,0597$. По данным PCA, атомы сурьмы в соединении имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с атомом кислорода карбоксилатной группы в аксиальном положении. Аксиальный угол CSbO составляет $177,90(5)^\circ$. Сумма экваториальных углов CSbC равна $357,04(9)^\circ$, расстояния Sb–C_{экви} [2,119(2), 2,124(2), 2,126(2) Å] значительно короче длин связей Sb–C_{акс} [2,164(2) Å] и Sb–O [2,2799(18) Å]. Организация молекул в кристалле соединения **1** обусловлена водородными связями и CH \cdots π -взаимодействиями колец арильных и карбоксильных лигандов. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2217060; deposit@ccdc.cam.ac.uk или http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif).

Ключевые слова: трифенилсурьма, 2,3-дифторбензойная кислота, гидропероксид трет-бутила, 2,3-дифторбензоат тетрафенилсурьмы, синтез, строение

Для цитирования: Шарутин В.В. Необычная реакция трифенилсурьмы с 2,3-дифторбензойной кислотой в присутствии трет-бутилгидропероксида // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 4. С. 191–197. DOI: 10.14529/chem240419

Brief report

DOI: 10.14529/chem240419

UNUSUAL REACTION OF TRIPHENYLANTIMONY WITH 2,3-DIFLUOROBENZOIC ACID IN THE PRESENCE OF TERT-BUTYL HYDROPEROXIDE

V. V. Sharutin

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

✉ sharutin50@mail.ru

Abstract. The interaction of triphenylantimony with 2,3-difluorobenzoic acid in the presence of tert-butyl hydroperoxide (molar ratio 1:2:1) in ether yielded 12 % tetraphenylantimony 2,3-

© Шарутин В.В., 2024.

difluorobenzoate (**1**), which was identified by IR spectroscopy and X-ray structural analysis. X-ray diffraction analysis was performed on a D8 QUEST diffractometer from Bruker. The crystallographic characteristics of the unit cell of the compound are as follows: space group $P-1$, $a = 9,859(6)$, $b = 10,180(6)$, $c = 14,332(9)$ Å, $\alpha = 84,15(2)^\circ$, $\beta = 83,09(2)$, $\gamma = 68,56(4)^\circ$, $V = 1326,6(14)$ Å³, $Z = 2$, $\rho_{\text{calc}} = 1,470$ g/cm³, $\mu = 2,079$ mm⁻¹, $F(000) = 588,0$, crystal size 0,32×0,2×0,09 mm, data collection range for 2θ deg: 5,74–61,36, index range $-14 \leq h \leq 14$, $-14 \leq k \leq 14$, $-20 \leq l \leq 20$, number of measured reflections 83031, number of independent reflections 8118, $R_{\text{int}} = 0,0387$, $GOOF = 1,037$, number of parameters 325, $R_1 = 0,0287$, $wR_2 = 0,0597$. According to X-ray diffraction data, the antimony atoms in the compound have a distorted trigonal-bipyramidal coordination with the oxygen atom of the carboxylate group in the axial position. The axial angle CSbO is 177,90(5)°. The sum of the equatorial angles CSbC is 357,04(9)°, the Sb–C_{eq} distances [2,119(2), 2,124(2), 2,126(2) Å] are significantly shorter than the Sb–S_{ax} [2,164(2) Å] and Sb–O [2,2799(18) Å] bond lengths. The organization of molecules in the crystal of compound **1** is due to hydrogen bonds and C⋯H π -interactions of the rings of the aryl and carboxyl ligands. Complete tables of atomic coordinates, bond lengths, and bond angles have been deposited with the Cambridge Crystallographic Data Center (No. 2217060; deposit@ccdc.cam.ac.uk or http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif).

Keywords: triphenylantimony, 2,3-difluorobenzoic acid, *tert*-butyl hydroperoxide, tetraphenylantimony 2,3-difluorobenzoate, synthesis, structure

For citation: Sharutin V.V. Unusual reaction of triphenylantimony with 2,3-difluorobenzoic acid in the presence of *tert*-butyl hydroperoxide. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2024;16(4):191–197. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem240419

Введение

Дикарбоксилаты триарилсурьмы, получаемые, как правило, по реакции окислительного присоединения из триарилсурьмы, карбоновой кислоты и гидропероксида *трет*-бутила (мольное соотношение 1:2:1 соответственно), являются хорошо изученным с точки зрения строения классом органических соединений сурьмы [1]. Среди структурно охарактеризованных соединений сурьмы общей формулы Ar₃Sb[OC(O)R]₂ преобладают фенильные производные с карбоксилатными лигандами разнообразного строения [2]. Анализ структурных данных дикарбоксилатов триарилсурьмы показал, что искажение тригонально-бипирамидальной конфигурации их молекул в значительной степени определяется как природой карбоксилатных остатков, так и заместителей в арильных группах [3–20]. Взаимодействие эквимольных количеств исходных реагентов по этой схеме приводит к образованию мостиковых биядерных соединений сурьмы [Ar₃SbOC(O)R]₂O, в которых атомы сурьмы также имеют тригонально-бипирамидальное строение с атомами кислорода в аксиальных положениях [18, 19]. К третьему классу наиболее известных арильных соединений пентавалентной сурьмы с ацильными лигандами относят монокарбоксилаты тетраарилсурьмы, которые синтезируют из пентаарилсурьмы и карбоновой кислоты или дикарбоксилата триарилсурьмы [18, 19]. Отметим антилейшманиозную активность фторированных карбоксилатов, более всего проявляющаяся для производных с четырьмя *пара*-толильными лигандами при атоме сурьмы *p*-Tol₄SbOC(O)R^F [21], по сравнению с соединениями *p*-Tol₃Sb[OC(O)R^F]₂ [22]. К эффективному методу синтеза карбоксилатов тетраарилсурьмы относят также и реакцию перераспределения лигандов, когда целевой продукт получают из дикарбоксилатов триарилсурьмы и пентаарилсурьмы [18, 19, 23, 24].

С целью изучения влияния природы карбоновой кислоты на строение продукта реакции окислительного присоединения из трифенилсурьмы, *трет*-бутилгидропероксида и 2,3-дифторбензойной кислоты, содержащей в ароматическом ядре два электроотрицательных атома фтора, которые могли бы обеспечить необычное протекание реакции окислительного присоединения, изучено их взаимодействие в растворе эфира при мольном соотношении 1:1:2 соответственно.

Экспериментальная часть

Синтез 2,3-дифторбензоата тетрафенилсурьмы (**1**) осуществляли по методике реакции окислительного присоединения, описанной в работе [25].

Ph₄SbOC(O)C₆H₃F₂-2,3. Выход 12 %, т. пл. 189 °С. ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3097, 3064, 3043, 2987, 1633, 1625, 1587, 1570, 1521, 1479, 1435, 1352, 1321, 1269, 1220, 1188, 1159, 1149, 1101, 1064, 1020, 997, 950, 833, 815, 779, 758, 736, 692, 669, 653, 623, 516, 468, 451, 426. Найдено, %: С 63,24; Н 3,95. С₃₁H₂₃O₂F₂Sb. Вычислено, %: С 63,37; Н 3,92.

ИК-спектр соединения **1** записывали на ИК-спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S в таблетке KBr в области 4000–400 см⁻¹.

РСА кристалла **1** проведен на дифрактометре D8 Quest фирмы Bruker (MoK α -излучение, $\lambda = 0,71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор) при 296(2) К. 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]. Структура определена прямым методом и уточнена методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов.

Кристаллографические данные и результаты уточнения структуры приведены в табл. 1, основные длины связей и валентные углы – в табл. 2. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2217060; 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
Стехиометрическая формула	C ₃₁ H ₂₃ O ₂ F ₂ Sb
<i>M</i>	587,24
Сингония	Триклинная
Пространственная группа	<i>P</i> -1
<i>a</i> , Å	9,859(6)
<i>b</i> , Å	10,180(6)
<i>c</i> , Å	14,332(9)
α , град.	84,15(2)
β , град.	83,09(2)
γ , град.	68,56(4)
<i>V</i> , Å ³	1326,6(14)
<i>Z</i>	2
$\rho_{\text{выч}}$, г/см ³	1,470
μ , мм ⁻¹	2,079
<i>F</i> (000)	588,0
Размер кристалла, мм	0,32 × 0,2 × 0,09
Диапазон сбора данных по 2 θ , град.	5,74–61,36
Диапазон индексов	-14 ≤ <i>h</i> ≤ 14, -14 ≤ <i>k</i> ≤ 14, -20 ≤ <i>l</i> ≤ 20
Число измеренных рефлексов	83031
Число независимых рефлексов	8118
<i>R</i> _{int}	0,0387
GOOF	1,037
Число параметров	325
<i>R</i> -факторы по <i>I</i> > 2 σ (<i>I</i>)	<i>R</i> ₁ = 0,0287, <i>wR</i> ₂ = 0,0597
<i>R</i> -факторы по всем рефлексам	<i>R</i> ₁ = 0,0408, <i>wR</i> ₂ = 0,0631
Остаточная электронная плотность (max/min), е/Å ³	0,37/-0,36

Таблица 2

Длины связей и валентные углы в структуре 1

Связь	<i>d</i> , Å	Угол	ω , град.
Sb(1)–O(1)	2,2799(18)	C(21)–Sb(1)–O(1)	86,05(8)
Sb(1)–C(1)	2,126(2)	C(21)–Sb(1)–C(1)	113,16(8)
Sb(1)–C(21)	2,119(2)	C(21)–Sb(1)–C(11)	129,35(9)
Sb(1)–C(11)	2,124(2)	C(21)–Sb(1)–C(31)	94,31(8)
Sb(1)–C(31)	2,164(2)	O(1)–Sb(1)–C(1)	83,06(7)
O(1)–C(47)	1,279(2)	C(1)–Sb(1)–C(31)	98,68(8)
O(2)–C(47)	1,224(2)	C(11)–Sb(1)–C(1)	114,52(9)
F(3)–C(48)	1,344(3)	C(31)–Sb(1)–O(1)	177,90(6)
F(4)–C(43)	1,351(3)	C(47)–O(1)–Sb(1)	116,44(12)
Sb(1)⋯O(2)	3,183(15)	O(1)–C(47)–O(2)	125,28(18)

Обсуждение результатов

Из введения настоящей статьи следует, что реакции окислительного присоединения, независимо от соотношения исходных реагентов протекают без изменения группировки Ph_3Sb . Однако в условиях реакций перераспределения лигандов группировки Ph_3Sb превращаются в Ph_4Sb -группы [18, 19].

Так, взаимодействие эквимольных количеств трифенилсурьмы, малонового эфира и пероксида водорода в растворе эфира приводит к образованию ониевого соединения сурьмы [29]. Наличие в ИК-спектре полученного комплекса интенсивных полос поглощения в области валентных колебаний карбонильных групп (дублет в области 1725 и 1640 cm^{-1}), свидетельствовало о присутствии в нем неэквивалентных карбонильных групп [30]. Качественная реакция на наличие в соединении **1** Ph_4Sb -группировки и данные РСА подтверждали строение этилмалоната тетрафенилсурьмы $\text{Ph}_4\text{SbOC(O)CH}_2\text{C(O)OEt}$, выход которого составил 13 %.

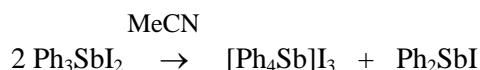


Найдено, что при перекристаллизации дигидроксида трифенилсурьмы из хлороформа в атмосфере воздуха имело место образование триклинной модификации карбоната тетрафенилсурьмы [31], в котором формирование фрагмента Ph_4Sb можно объяснить, как и в предыдущей реакции, только переходом фенильных заместителей между атомами сурьмы.

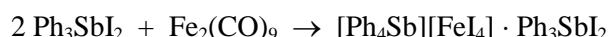
Авторы работы [32], изучая строение оксалата трифенилсурьмы, полученного из дихлорида трифенилсурьмы и оксалата серебра, показали, что данное соединение имеет солеобразное строение $[\text{Ph}_4\text{Sb}][\text{Ph}_2\text{SbOx}]_2$ ($\text{Ox} = \text{O}_2\text{CCO}_2$) и предложили следующую схему его образования.



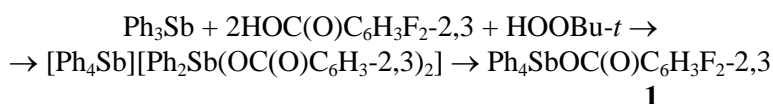
Весьма необычная реакция, позволявшая переходить от диiodида трифенилсурьмы к триiodиду тетрафенилсурьмы, была открыта в 1994 году [33]. Показано, что при растворении диiodида трифенилсурьмы в ацетонитриле имеет место следующая реакция диспропорционирования.



Другим примером реакции перераспределения лигандов является взаимодействие диiodида трифенилсурьмы с карбонилем железа $\text{Fe}_2(\text{CO})_9$ в диэтиловом эфире [34].



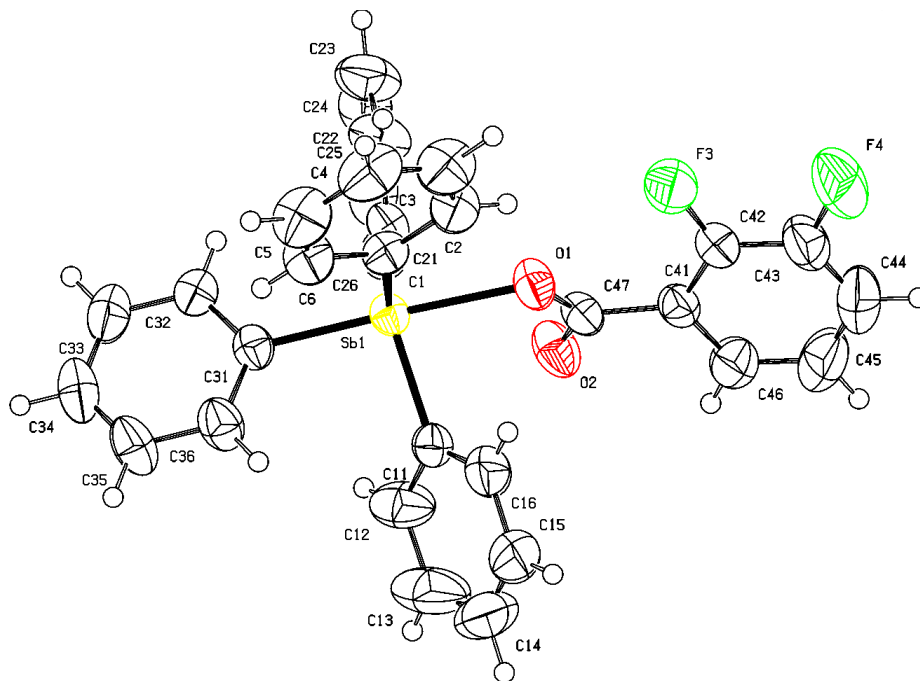
При изучении реакции трифенилсурьмы с 2,3-дифторбензойной кислотой в присутствии гидропероксида третичного бутила в эфире можно было ожидать, как и в большинстве реакций окислительного присоединения образование дикарбоксилата трифенилсурьмы. Однако из реакционной смеси был выделен с выходом 12 % 2,3-дифторбензоат тетрафенилсурьмы (**1**). Образование столь необычного продукта реакции окислительного присоединения можно объяснить промежуточным образованием ионного интермедиата, разлагающегося далее до 2,3-дифторбензоата тетрафенилсурьмы:



В ИК-спектре соединения **1** наблюдаются интенсивные полосы поглощения валентных колебаний фрагмента SbC_3 при 451 , 468 cm^{-1} . Полосы поглощения при 1625 , 1633 cm^{-1} характеризуют колебания $\nu(\text{C}=\text{O})$ [30]. ИК-спектры соединений также содержат полосы валентных колебаний углеродного скелета арильных групп: 1479 , 1435 cm^{-1} . Валентным колебаниям связей $\text{C}_{\text{Ar}}-\text{H}$ отве-

чала полоса поглощения средней интенсивности при 3064 см^{-1} , а внеплоскостным деформационным колебаниям этих же связей – интенсивные полосы при 736 и 692 см^{-1} .

С целью подтверждения строения столь неожиданного продукта, полученного по реакции окислительного присоединения, было проведено его рентгеноструктурное исследование. По данным РСА атом сурьмы в соединении **1** имеет тригонально-бипирамидальную координацию (см. рисунок). Ранее о строении этого соединения, полученного из пентафенилсурьмы и 2,3-дифторбензойной кислоты, либо дикарбоксилата трифенилсурьмы, сообщалось в работе [35], однако в настоящей работе структура комплекса уточнена до $R = 3\%$.



Строение соединения **1**

В аксиальном положении находится атом кислорода ацилатного заместителя, угол $\text{OSbC}_{\text{акс}}$ равен $177,90(6)^\circ$ (табл. 2). Интервал валентных углов $\text{OSbC}_{\text{экв}}$ составляет $83,06(7)–86,05(8)^\circ$, атом сурьмы выходит из экваториальной плоскости на $0,211\text{ \AA}$ в сторону аксиального атома углерода. Сумма углов CSbC в экваториальной плоскости равна $357,04^\circ$, при этом углы между экваториальными арильными заместителями неравноценны и составляют $113,16(8)$, $114,52(9)$, $129,35(0)^\circ$. Длины связей $\text{Sb–C}_{\text{экв}}$ [$2,119(2)–2,126(2)\text{ \AA}$] меньше расстояния $\text{Sb–C}_{\text{акс}}$ [$2,164(2)\text{ \AA}$]. Расстояние Sb–O составляет $2,2799(18)\text{ \AA}$ и близко к подобным расстояниям в карбоксилатах тетраарилсурьмы [1]. В молекуле соединения **1**, как и в других ацилатах тетраарилсурьмы, расстояние между атомом сурьмы и атомом кислорода карбонильной группы $\text{Sb}\cdots\text{O}=\text{C}$ ($3,183\text{ \AA}$) меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов соответствующих атомов ($3,7\text{ \AA}$ [36]).

Выводы

Таким образом, взаимодействием трифенилсурьмы с 2,3-дифторбензойной в присутствии трет-бутилпероксида (мольное соотношение 1:2:1) в эфире с выходом 12% получен 2,3-дифторбензоат тетрафенилсурьмы (**1**), который был идентифицирован методами ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа. По данным РСА, атомы сурьмы в соединении **1** имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с атомом кислорода в аксиальном положении.

Список источников

1. Cambridge Crystallographic Data Center. 2022. (deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

2. Шарутина О.К., Шарутин В.В. Молекулярные структуры органических соединений сурьмы (V): моногр. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. 395 с.
3. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К., Чагарова О.В. // Вестник ЮУрГУ. Сер. «Химия». 2011. № 33, № 6. С. 47. EDN: OJSELX
4. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакурина А.П., Бельский В.К. // Журн. общ. химии. 1997. Т. 67, № 9. С. 1536. EDN: PFLFSA
5. Шарутин В.В., Пакурина А.П., Платонова Т.П. и др. // Коорд. химия. 2002. Т. 28, № 11. С. 803. EDN: CYBNKD
6. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Бондарь Е.А. и др. // Коорд. химия. 2002. Т. 28, № 5. С. 356. EDN: EOICYB
7. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К., Акулова Е.В. // Журн. общ. химии. 2008. Т. 78, № 12. С. 1999. EDN: PAIKMJ
8. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакурина А.П. и др. // Коорд. химия. 2001. Т. 27, № 5. С. 396. EDN: DLCCED
9. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К. и др. // Журн. общ. химии. 2009. Т. 79, № 10. С. 1636. EDN: XJGAB
10. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакурина А.П. и др. // Коорд. химия. 2003. Т. 29, № 11. С. 843. EDN: OVBNEB
11. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакурина А.П. и др. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2003. № 1. С. 31. EDN: HPHZKQ
12. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакурина А.П. и др. // Коорд. химия. 2003. Т. 29, № 10. С. 750. EDN: OOFNQH
13. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К. и др. // Бутлеровские сообщения. 2011. Т. 28, № 19. С. 54. EDN: OWFPWL
14. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. и др. // Журн. неорг. химии. 2011. Т. 56, № 7. С. 1125. EDN: NYFYMV
15. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К. и др. // Журн. общ. химии. 2011. Т. 81, № 11. С. 1789. EDN: OIXLFD
16. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. и др. // Журн. общ. химии. 2012. Т. 82, № 10. С. 1646. EDN: PCVVYV
17. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К. и др. // Коорд. химия. 2011. Т. 37, № 10. С. 782. EDN: OJHAOP
18. Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2020. Т. 46, № 10. С. 579. DOI: 10.31857/S0132344X20100011
19. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 1. С. 5. DOI: 10.14529/chem240101
20. Тарасова Н.М. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 1. С. 54. DOI: 10.14529/chem240102
21. Artem'eva E.V., Efremov A.N., Sharutina O.K. et al. // J. Inorg. Biochem. 2022. V. 234. P. 111864. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2022.111864
22. Artem'eva E.V., Efremov A.N., Sharutina O.K. et al. // Polyhedron. 2022. V. 213. P. 115627. DOI: 10.1016/j.poly.2021.115627
23. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К. и др. // Журн. общ. химии. 1996. Т. 66, № 10. С. 1755. EDN: BLATEE
24. Шарутин В.В., Сенчурин В.С. Именные реакции в химии элементоорганических соединений. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. 427 с.
25. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Бондарь Е.А. и др. // Коорд. химия. 2002. Т. 28, № 5. С. 356. EDN: EOICYB
26. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and processing software for the SMART system. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.43.
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. Шарутин В.В., Пакурина А.П., Задачаина О.П. и др. // Коорд. химия. 2004. Т. 30. № 6. С. 426. EDN: OWBOMB
30. Тарасевич Б.Н. ИК-спектры основных классов органических соединений. М.: МГУ, 2012. 54 с.
31. Ferguson G., Hawley D.M. // Acta Cryst. 1974. V. B30, N. 1. P. 103. DOI: 10.1107/S0567740874002299
32. Millington P.L., Sowerby D.B. // J. Chem. Soc., Dalton Trans. 1992. P. 1199. DOI: 10.1039/DT9920001199
33. Bricklebank N., Godfrey S.M., Lane H.P. et al. // J. Chem. Soc., Dalton Trans. 1994. P. 1759. DOI: 10.1039/DT9940001759
34. Lane H.P., Godfrey S.M., McAuliffe C.A. et al. // J. Chem. Soc., Dalton Trans. 1994. P. 3249. DOI: 10.1039/DT9940003249
35. Ефремов А.Н. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2020. Т. 12, № 4. С. 51. DOI: 10.14529/chem200402
36. Бацанов С.С. // Журн. неорган. химии. 1991. Т. 36, № 12. С. 3015. EDN: ZSYPJG

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 24 июня 2024 г.
The article was submitted 24 June 2024.*