

# Химия элементоорганических соединений Organometallic chemistry

Научная статья  
УДК 546.865+547.53.024+548.312.5  
DOI: 10.14529/chem250401

## РЕАКЦИИ ТРИФЕНИЛСУРЬМЫ С ПЕНТАФТОРПРОПИОНОВОЙ КИСЛОТОЙ И ПЕНТАФТОРФЕНОЛОМ В ПРИСУТСТВИИ ГИДРОПЕРОКСИДА КУМИЛА

**В.В. Шарутин**<sup>✉</sup>

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия  
<sup>✉</sup> sharutin50@mail.ru

**Аннотация.** Реакции трифенилсурьмы с пентафторпропионовой кислотой и пентафторфенолом в присутствии гидропероксида кумила (мольное соотношение 1:2:1) приводят к образованию *бис*(пентафторпропионата) трифенилсурьмы  $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{CF}_2\text{CF}_3]_2$  (**1**) и *бис*(пентафторфенолята) трифенилсурьмы  $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{OC}_6\text{F}_5)_2$  (**2**) соответственно, строение которых установлено методом рентгеноструктурного анализа (РСА). По данным РСА кристаллы **1** состоят из двух типов кристаллографически независимых молекул  $[\text{C}_{48}\text{H}_{30}\text{F}_{20}\text{O}_8\text{Sb}_2]$ ,  $M$  1358,22; сингония моноклинная, группа симметрии  $P2_1/n$ ; параметры ячейки:  $a = 13,732(8)$ ,  $b = 19,599(7)$ ,  $c = 20,500(10)$  Å;  $\beta = 101,23(2)^\circ$ ;  $V = 5412(4)$  Å<sup>3</sup>;  $Z = 4$ ;  $\rho_{\text{выч}} = 1,667$  г/см<sup>3</sup>;  $\mu = 1,116$  мм<sup>-1</sup>;  $2\theta$  5,806–57 град.; всего отражений 159335; независимых отражений 13706; число уточняемых параметров 741;  $R_{\text{int}} = 0,0813$ ;  $GOOF$  1,146;  $R_1 = 0,0730$ ,  $wR_2 = 0,1925$ ; остаточная электронная плотность (max/min): 1,23/–0,89 е/Å<sup>3</sup>]. **2**  $[\text{C}_{30}\text{H}_{15}\text{F}_{10}\text{O}_2\text{Sb}]$ ,  $M$  719,17; сингония триклинная, группа симметрии  $P-1$ ; параметры ячейки:  $a = 10,0334(4)$ ,  $b = 10,8464(4)$ ,  $c = 15,1351(6)$  Å;  $\alpha = 76,156(2)^\circ$ ,  $\beta = 70,938(2)^\circ$ ,  $\gamma = 64,2450(10)^\circ$ ;  $V = 1392,93(10)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 2$ ;  $\rho_{\text{выч}} = 1,715$  г/см<sup>3</sup>;  $\mu = 1,085$  мм<sup>-1</sup>;  $2\theta$  6,158–56,998 град.; всего отражений 17472; независимых отражений 6633; число уточняемых параметров 377;  $R_{\text{int}} = 0,0244$ ;  $GOOF$  1,077;  $R_1 = 0,0398$ ,  $wR_2 = 0,0914$ ; остаточная электронная плотность (max/min): 0,64/–0,60 е/Å<sup>3</sup>]. В тригонально-бипирамидальных молекулах с атомами кислорода в аксиальных положениях расстояния Sb–C составляют для **1** 2,071(4)–2,100(6) Å и 2,088(4)–2,095(4) Å для **2**; валентные углы OSbO принимают значения 177,53(17)° (**1A**), 176,81(18)° (**1B**) и 179,37(9)° (**2**). Расстояния Sb–O в **1** (2,109(4)–2,121(5) Å) несколько выше, чем в **2** (2,083(2) и 2,092(3) Å). Внутримолекулярные контакты Sb⋯O в **1** между центральным атомом металла и карбонильными атомами кислорода равны 3,198(5), 3,244(6) Å для **1A** и 3,170(5), 3,207(6) Å для **1B**, что меньше суммы вандер-ваальсовых радиусов атомов-партнеров (3,7 Å). Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов для структур депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2066544 (**1**), № 2179019 (**2**), deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

**Ключевые слова:** трифенилсурьма, пентафторпропионовая кислота, пентафторфенол, гидропероксид кумила, *бис*(пентафторпропионат) трифенилсурьмы, *бис*(пентафторфенолят) трифенилсурьмы, синтез, особенности строения, рентгеноструктурный анализ

**Для цитирования:** Шарутин В.В. Реакции трифенилсурьмы с пентафторпропионовой кислотой и пентафторфенолом в присутствии гидропероксида кумила // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2025. Т. 17, № 4. С. 27–40. DOI: 10.14529/chem250401

**REACTIONS OF TRIPHENYLANTIMONY  
WITH PENTAFLUOROPROPIONIC ACID AND PENTAFLUOROPHENOL  
IN THE PRESENCE OF CUMIL HYDROPEROXIDE**V. V. Sharutin<sup>✉</sup>

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

<sup>✉</sup> sharutin50@mail.ru

**Abstract.** Reactions of triphenylantimony with pentafluoropropionic acid and pentafluorophenol in the presence of cumyl hydroperoxide (molar ratio 1:2:1) result in formation of triphenylantimony *bis*(pentafluoropropionate)  $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{CF}_2\text{CF}_3]_2$  (**1**) and triphenylantimony *bis*(pentafluorophenolate)  $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{OC}_6\text{F}_5)_2$  (**2**), respectively. The structures of compounds have been established by X-ray diffraction analysis (XRD). According to the XRD data, crystals **1** consist of two types of crystallographically independent molecules [ $\text{C}_{48}\text{H}_{30}\text{F}_{20}\text{O}_8\text{Sb}_2$ ,  $M$  1358.22; monoclinic syngony, symmetry group  $P2_1/n$ ; cell parameters:  $a = 13.732(8)$ ,  $b = 19.599(7)$ ,  $c = 20.500(10)$  Å;  $\beta = 101.23(2)^\circ$ ;  $V = 5412(4)$  Å<sup>3</sup>;  $Z = 4$ ;  $\rho_{\text{calc}} = 1.667$  g/cm<sup>3</sup>;  $\alpha = 1.116$  mm<sup>-1</sup>;  $2\theta$  5.06–57 deg.; total reflections 159335; independent reflections 13706; number of refined parameters 741;  $R_{\text{int}} = 0.0813$ ;  $GOOF$  1.146;  $R_1 = 0.0730$ ,  $wR_2 = 0.1925$ ; residual electron density (max/min): 1.23/–0.89 e/Å<sup>3</sup>], **2** [ $\text{C}_{30}\text{H}_{15}\text{F}_{10}\text{O}_2\text{Sb}$ ,  $M$  719.17; triclinic syngony, symmetry group  $P-1$ ; cell parameters:  $a = 10.0334(4)$ ,  $b = 10.8464(4)$ ,  $c = 15.1351(6)$  Å;  $\alpha = 76.156(2)^\circ$ ,  $\beta = 70.938(2)^\circ$ ,  $\gamma = 64.2450(10)^\circ$ ;  $V = 1392.93(10)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 2$ ;  $\rho_{\text{calc}} = 1.715$  g/cm<sup>3</sup>;  $\mu = 1.085$  mm<sup>-1</sup>;  $2\theta$  6.158–56.998 deg; total reflections 17472; independent reflections 6633; number of refined parameters 377;  $R_{\text{int}} = 0.0244$ ;  $GOOF$  1.077;  $R_1 = 0.0398$ ,  $wR_2 = 0.0914$ ; residual electron density (max/min): 0.64/–0.60 e/Å<sup>3</sup>]. In trigonal bipyramidal molecules with the oxygen atoms in axial positions, the Sb–C distances are 2.071(4)–2.100(6) Å for **1** and 2.088(4)–2.095(4) Å for **2**; the OSbO bond angles take values of 177.53(17)° (**1A**), 176.81(18)° (**1B**), and 179.37(9)° (**2**). The Sb–O distances in **1** (2.109(4)–2.121(5) Å) are somewhat higher than in **2** [2.083(2) and 2.092(3) Å]. The intramolecular Sb⋯O contacts in **1** between the central metal atom and the carbonyl oxygen atoms are 3.198(5), 3.244(6) Å for **1A** and 3.170(5), 3.207(6) Å for **1B**, which is less than the sum of the van der Waals radii of the partner atoms (3.7 Å). Complete tables of atomic coordinates, bond lengths and bond angles for the structures have been deposited with the Cambridge Crystallographic Data Centre (No. 2066544 (**1**), No. 2179019 (**2**), deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

**Keywords:** triphenylantimony, pentafluoropropionic acid, pentafluorophenol, cumyl hydroperoxide, triphenylantimony *bis*(pentafluoropropionate), triphenylantimony *bis*(pentafluorophenolate), synthesis, structural features, X-ray diffraction analysis

**For citation:** Sharutin V.V. Reactions of triphenylantimony with pentafluoropropionic acid and pentafluorophenol in the presence of cumyl hydroperoxide. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2025;17(4):27–40. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem250401

**Введение**

Дикарбоксилаты триорганилсурьмы являются наиболее хорошо изученным, с точки зрения строения, классом органических соединений сурьмы. Среди структурно охарактеризованных соединений сурьмы общей формулы  $\text{Ar}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{R}']_2$  преобладают фенильные производные с карбоксилатными лигандами разнообразного строения [1]. Анализ структурных дикарбоксилатов триарилсурьмы показал, что искажение тригонально-бипирамидальной конфигурации их молекул в значительной степени определяется как природой карбоксилатных остатков, так и заместителей в арильных группах [1–13].

В настоящей работе окислением трифенилсурьмы гидропероксидом кумила в присутствии пентафторпропионовой кислоты и пентафторфенола получены *bis*(пентафторпропионат) трифенилсурьмы  $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{CF}_2\text{CF}_3]_2$  (**1**) и *bis*(пентафторфенолят) трифенилсурьмы  $\text{Ph}_3\text{Sb}(\text{OC}_6\text{F}_5)_2$  (**2**) соответственно, строение которых установлено методом рентгеноструктурного анализа (РСА).

### Экспериментальная часть

Соединение **1** синтезировали из трифенилсурьмы, пентафторпропионовой кислоты и гидропероксида кумила в растворе эфира (мольное соотношение исходных реагентов 1:2:1). После удаления растворителя и перекристаллизации целевого продукта из смеси бензол-октан (1:2 объём.) получали с выходом 82 % бесцветные кристаллы **1**. Аналогично получали **2** (80 %).

Элементный анализ проводили на анализаторе Euro EA3028-НТ.

Рентгеноструктурный анализ проводили на автоматическом четырехкружном дифрактометре Bruker D8 QUEST (Mo K $\alpha$ -излучение,  $\lambda = 0,71073$  Å, графитовый монохроматор). Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены по программам SMART и SAINT-Plus [14]. Все расчеты по определению и уточнению структуры выполнены по программам SHELXL/PC [15] и OLEX2 [16]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур **1**, **2** 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	<b>1</b>	<b>2</b>
Формула	C <sub>34</sub> H <sub>27</sub> F <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Sb	C <sub>32</sub> H <sub>18</sub> F <sub>7</sub> O <sub>4</sub> Sb
<i>M</i>	659,30	617,28
Сингония	Моноклинная	Триклинная
Пр. группа	<i>C2/c</i>	<i>P-1</i>
<i>a</i> , Å	22,732(16)	8,982(11)
<i>b</i> , Å	10,204(5)	12,272(14)
<i>c</i> , Å	17,248(11)	13,511(14)
$\alpha$ , град.	90,00	93,40(5)
$\beta$ , град.	134,63(2)	97,94(6)
$\gamma$ , град.	90,00	103,55(5)
<i>V</i> , Å <sup>3</sup>	2847(3)	1427(3)
<i>Z</i>	4	2
$\rho$ (выч.), г/см <sup>3</sup>	1,538	1,679
$\mu$ , мм <sup>-1</sup>	1,020	1,050
<i>F</i> (000)	1328,0	712,0
Размер кристалла (мм)	0,29 × 0,24 × 0,23	0,24 × 0,14 × 0,07
Область сбора данных по 2 $\theta$ , град.	6,548–56,998	6,02–60,1
Интервалы индексов отражений	-30 ≤ <i>h</i> ≤ 30, -13 ≤ <i>k</i> ≤ 13, -23 ≤ <i>l</i> ≤ 22	-12 ≤ <i>h</i> ≤ 12, -17 ≤ <i>k</i> ≤ 17, -19 ≤ <i>l</i> ≤ 18
Измерено отражений	28613	84918
Независимых отражений	3605	8322
Переменных уточнения	188	397
<i>GOOF</i>	1,072	1,074
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	<i>R</i> <sub>1</sub> = 0,0263, <i>wR</i> <sub>2</sub> = 0,0718	<i>R</i> <sub>1</sub> = 0,0409, <i>wR</i> <sub>2</sub> = 0,1012
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	<i>R</i> <sub>1</sub> = 0,0292, <i>wR</i> <sub>2</sub> = 0,0739	<i>R</i> <sub>1</sub> = 0,0625, <i>wR</i> <sub>2</sub> = 0,1110
Остаточная электронная плотность (min/max), e/Å <sup>3</sup>	1,08/-0,77	1,24/-0,56

Таблица 2

## Длины связей и валентные углы в структурах 1 и 2

Связь $d$ , Å		Угол $\omega$ , град	
<b>1</b>			
Sb(1)–O(3)	2,109(4)	O(3)Sb(1)O(1)	177,53(17)
Sb(1)–O(1)	2,118(4)	C(1)Sb(1)C(11)	124,9(2)
Sb(1)–C(1)	2,096(5)	C(21)Sb(1)C(1)	113,5(2)
Sb(1)–C(11)	2,092(6)	C(21)Sb(1)C(11)	121,5(2)
Sb(1)–C(21)	2,071(4)	C(17)O(3)Sb(1)	121,5(4)
O(3)–C(17)	1,281(8)	C(7)C(1)Sb(1)	119,8(4)
O(1)–C(7)	1,286(8)	O(3)C(17)C(18)	111,9(7)
Sb(1)⋯O(2)	3,198(9)	O(4)C(17)O(3)	128,4(7)
Sb(1)⋯O(4)	3,244(9)	O(4)C(17)C(18)	119,7(7)
Sb(2)–O(5)	2,121(5)	O(7)Sb(2)O(5)	176,81(18)
Sb(2)–O(7)	2,116(4)	C(41)Sb(2)C(51)	122,4(2)
Sb(2)–C(51)	2,100(6)	C(41)Sb(2)C(31)	123,5(2)
Sb(2)–C(41)	2,096(6)	C(31)Sb(2)C(51)	114,1(2)
Sb(2)–C(31)	2,099(6)	C(27)O(5)Sb(2)	122,0(5)
O(7)–C(37)	1,298(8)	C(52)C(51)Sb(2)	120,0(5)
O(8)–C(37)	1,196(8)	C(56)C(51)Sb(2)	118,3(5)
Sb(2)⋯O(8)	3,170(8)	O(5)C(27)C(28)	114,8(9)
Sb(2)⋯O(6)	3,207(6)	O(6)C(27)O(5)	127,0(8)
<b>2</b>			
Sb(1)–O(2)	2,083(2)	O(2)Sb(1)O(1)	179,37(9)
Sb(1)–O(1)	2,092(2)	C(21)Sb(1)C(1)	123,46(14)
Sb(1)–C(1)	2,095(3)	C(21)Sb(1)C(11)	121,90(14)
Sb(1)–C(21)	2,088(3)	C(11)Sb(1)C(1)	114,64(15)
Sb(1)–C(11)	2,089(3)	C(31)O(2)Sb(1)	123,5(2)
F(1)–C(42)	1,300(3)	C(41)O(1)Sb(1)	124,36(18)
F(8)–C(34)	1,346(6)	F(10)C(36)C(31)	119,2(4)
O(2)–C(31)	1,331(4)	F(10)C(36)C(35)	117,7(4)
O(1)–C(41)	1,358(3)	O(2)C(31)C(32)	123,2(3)

Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов соединения **1**, **2** депонированы в Кембриджском банке структурных данных [№ 2066544 (**1**), № 2179019 (**2**), deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>].

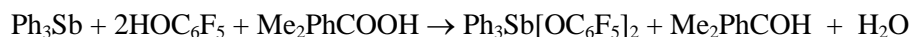
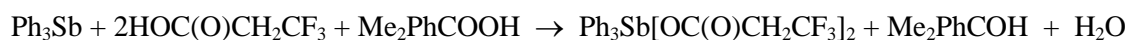
### Обсуждение результатов

В основе эффективного способа синтеза дикарбоксилатов триарилсурьмы лежит реакция окислительного присоединения, когда из триарильных соединений сурьмы, карбоновой кислоты и пероксида водорода получают арильные производные пентавалентной сурьмы  $\text{Ar}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{R}]_2$ . Этим способом были получены *бис*(бромацетат) *трис*(2-метокси-5-бромфенил)сурьмы [17], *бис*(циклопропанкарбоксилат) *трис*(2-метокси-5-бромфенил)сурьмы [18], (*бис*(2-нитробензоат) *трис*(5-бром-2-метоксифенил)сурьмы [19], *бис*(хлорацетат) *трис*(5-бром-2-метоксифенил)сурьмы, *бис*(бромацетат) *трис*(5-бром-2-метоксифенил)сурьмы и *бис*(иодацетат) *трис*(5-бром-2-метоксифенил)сурьмы [20], *бис*(4-нитрофенилацетат) *трис*(5-бром-2-метоксифенил)сурьмы, *бис*(2-метоксибензоат) *трис*(5-бром-2-метоксифенил)сурьмы и *бис*(фенилпропионат) *трис*(5-бром-2-метоксифенил)сурьмы [21]. Отметим, что, несмотря на наличие двух карбоксильных групп в *орто*-фталевой кислоте, ее взаимодействие с трифенилсурьмой в присутствии пероксида водорода протекает по классической схеме реакции окислительного присоединения с образованием  $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH}-2)]_2$  [22].

Показано, что окислительное присоединение к триарилсурьме карбоновой кислоты в присутствии гидропероксида третичного бутила приводит к образованию с большими выходами

*бис*(пропиолата) трифенилсурьмы [23], *бис*(иодацетата) *трис*(4-фторфенил)сурьмы и *бис*(пентафторбензоата) *трис*(4-фторфенил)сурьмы [24], *бис*(1-адамантанкарбоксилата) *трис*(4-фторфенил)сурьмы и *бис*(циклопропанкарбоксилата) *трис*(4-фторфенил)сурьмы [25], *бис*(хлорацетата) *трис*(4-фторфенил)сурьмы, *бис*(4-нитрофенилацетата) *трис*(4-фторфенил)сурьмы и дибензоата *трис*(4-фторфенил)сурьмы [26], дикарбоксилатов *трис*(3-фторфенил)сурьмы [27,28], дибензоата три(*мета*-толил)сурьмы [29], *бис*(2-нитробензоата) *трис*(3-фторфенил)сурьмы [30], *бис*(фенилпропиолата) трифенилсурьмы [31], *бис*(4-оксибензоата) трифенилсурьмы [32], *бис*(3-фторфенилацетата), *бис*(пентафторбензоата) и *бис*(2,3-дифторбензоата) *трис*(3-фторфенил)сурьмы [33]. Соединения сурьмы общей формулы  $Ar_3Sb[OC(O)R]_2$ , содержащие в арильных лигандах при атоме сурьмы различные функциональные группы, изучены в меньшей степени, чем соответствующие фенильные производные, однако именно они проявляют противоопухолевую активность [34] и антилейшманиозные свойства [35], поэтому исследование синтеза и свойств подобных соединений представляется важной задачей. Несколько диароксидов триарилсурьмы также было получено подобным методом по реакции окислительного присоединения с использованием пероксида водорода или гидропероксида третичного бутила [36–39]. Отметим, что о подобных реакциях окислительного присоединения с использованием гидропероксида кумила ранее не сообщалось [12].

В продолжение изучения реакций окислительного присоединения с участием гидропероксида кумила были синтезированы и структурно охарактеризованы *бис*(пентафторпропионат) трифенилсурьмы (**1**) и *бис*(пентафторфенолят) трифенилсурьмы (**2**), которые содержат атомы фтора в карбоксильных радикалах и ароксильных лигандах. Комплексы **1**, **2** синтезировали из трифенилсурьмы, кислоты или фенола и гидропероксида кумола в эфире по нижеприведенным схемам, а целевые соединения после перекристаллизации из смеси бензол–октан выделяли в виде бесцветных кристаллических веществ, растворимых в ароматических углеводородах и нерастворимых в алканах.



Введение атомов фтора в соединения пентавалентной сурьмы могло оказывать влияние на их геометрические параметры и биологические свойства, поэтому в настоящей работе обсуждаются особенности строения полученных в работе производных сурьмы.

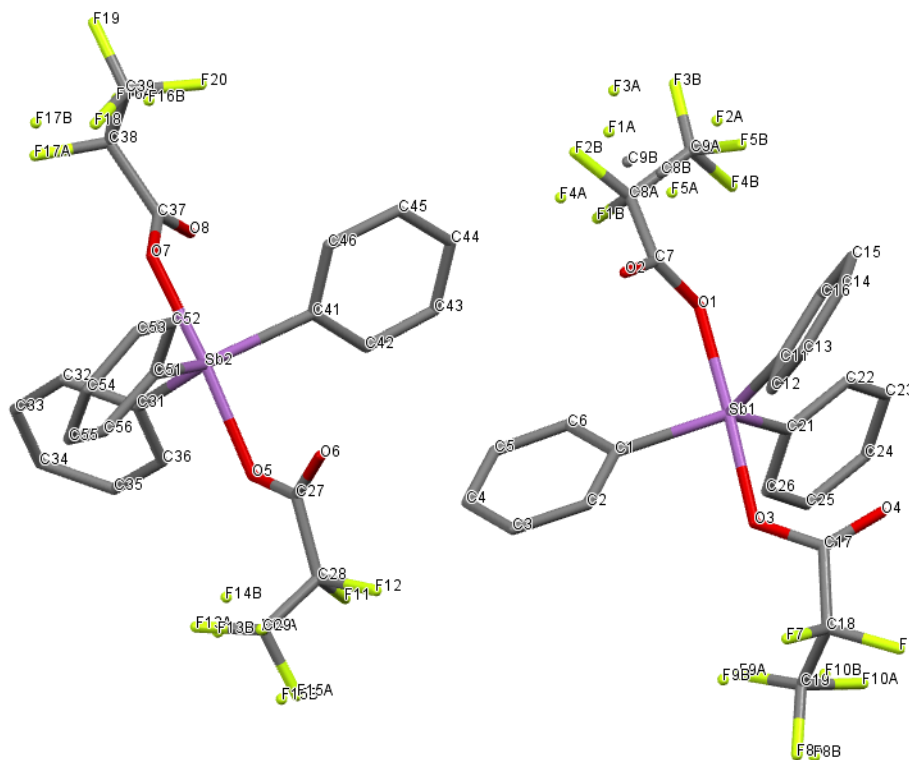
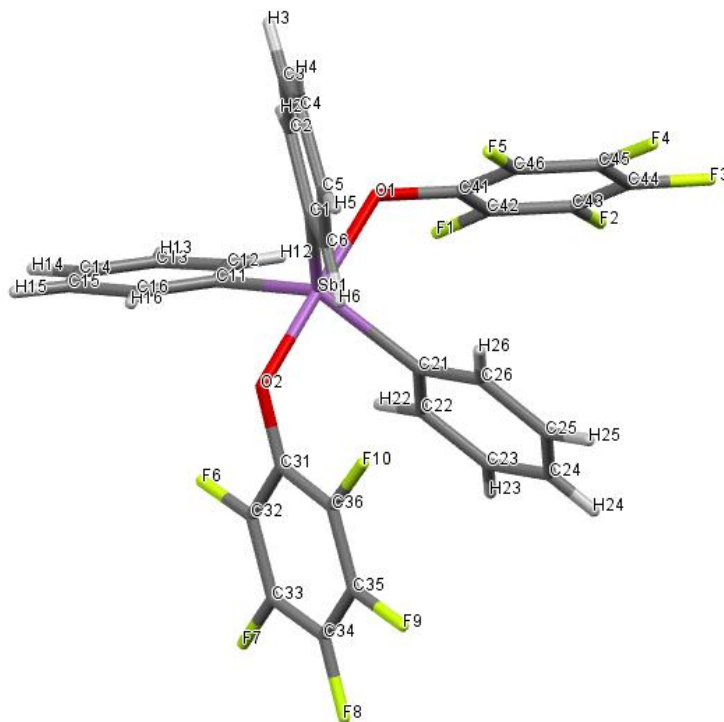
По данным РСА кристаллы **1** состоят из двух типов кристаллографически независимых молекул, а атомы Sb в соединениях **1**, **2** имеют искаженную тригонально-бипирамидальную координацию с атомами кислорода в аксиальных положениях (рис. 1, 2).

Суммы валентных углов в экваториальной плоскости составляют  $359,9^\circ$  (**1A**),  $360^\circ$  (**1B**) и  $360^\circ$  (**2**). Углы OSbC несколько отклоняются от теоретического значения:  $85,2(2)^\circ$ – $94,8(13)^\circ$  (**1**),  $88,20(13)^\circ$ – $92,17(13)^\circ$  (**2**). Аксиальные углы OSbO [ $177,53(17)^\circ$  в **1A**,  $176,81(18)^\circ$  в **1B** и  $179,37(9)^\circ$  в **2**] отличаются от идеального значения  $180^\circ$ . Длины связей Sb–C имеют близкие значения:  $2,071(4)$ – $2,100(6)$  Å в **1**,  $2,088(3)$ – $2,095(3)$  Å в **2**. Расстояния Sb–O [ $2,109(4)$ – $2,121(5)$  Å в **1** и  $2,083(2)$ ,  $2,092(2)$  Å в **2**] соизмеримы с ковалентными длинами связей Sb–O ( $2,05$  Å [40]).

Известно, что карбоксилатные лиганды в молекулах структурно охарактеризованных дикарбоксилатов триарилсурьмы, как правило, расположены таким образом, что внутримолекулярные контакты  $Sb \cdots O(=C)$  формируются внутри одного экваториального угла, значение которого может возрастать до  $161,47(6)^\circ$  [41]. Однако в соединении **1** карбонильные атомы кислорода находятся напротив разных экваториальных углов [ $113,5(2)^\circ$  для **1A** и  $114,1(2)^\circ$  для **1B**] как и в молекулах дикарбоксилатов *трис*[(2-метокси)(5-бром)фенил]сурьмы [42]. Внутримолекулярные контакты  $Sb \cdots O$  в **1** между центральным атомом металла и карбонильными атомами кислорода составляют  $3,198(5)$ ,  $3,244(6)$  Å для **1A** и  $3,170(5)$ ,  $3,207(6)$  Å для **1B**, что меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов-партнеров ( $3,7$  Å), поэтому можно считать, что координационное число атома металла увеличено до КЧ = 7.

В молекулах **2** одно из фенильных колец практически компланарно экваториальной плоскости, тогда как два других составляют с ней углы близкие  $90^\circ$ . Так, в молекуле **2** плоскость кольца

[C(21)–C(26)] составляет с экваториальной плоскостью [C<sub>3</sub>] угол 5,72°, при этом два других двугранных угла равны 48,15° (для [C(1)–C(6)]) и 51,73° (для [C(11)–C(16)]). Наименьшим экваториальным углом является угол C(1)Sb(1)C(11) [114,64(15)°]. Наблюдаемая конформация арильных заместителей при атоме сурьмы обеспечивает возможность взаимодействия ароматических систем ароксидных лигандов с π-системой одного из арильных колец ([C(21)–C(26)] в **2** в экваториальной плоскости (π···π-стекинг).

Рис. 1. Структура комплекса Ph<sub>3</sub>Sb[OC(O)CF<sub>2</sub>CF<sub>3</sub>]<sub>2</sub> (1)Рис. 2. Структура комплекса Ph<sub>3</sub>Sb[OC<sub>6</sub>F<sub>5</sub>]<sub>2</sub> (2)

### Выводы

Окисление трифенилсурьмы, гидропероксидом кумила в присутствии пентафторпропионовой кислоты или пентафторфенола приводит после перекристаллизации целевых продуктов из смеси бензол–октан к образованию *бис*(пентафторпропионата) трифенилсурьмы  $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}(\text{O})\text{CF}_2\text{CF}_3]_2$  (**1**) и *бис*(пентафторфенолята) трифенилсурьмы  $\text{Ph}_3\text{Sb}[\text{OC}_6\text{F}_5]_2$  (**2**) соответственно, строение которых установлено методом рентгеноструктурного анализа. Атомы сурьмы в молекулах **1**, **2** имеют искаженную тригонально-бипирамидальной конфигурацию с атомами кислорода в аксиальных положениях. Внутримолекулярные контакты  $\text{Sb}\cdots\text{O}$  в **1** между центральным атомом металла и карбонильными атомами кислорода составляют 3,198(5), 3,244(6) Å для **1A** и 3,170(5), 3,207(6) Å для **1B**, что меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов-партнеров (3,7 Å), поэтому можно считать, что координационное число атома металла увеличено до КЧ = 7. Геометрические параметры комплексов отличаются из-за различной природы электроотрицательных заместителей при атоме металла.

### Список источников

1. Шарутина О.К., Шарутин В.В. Молекулярные структуры органических соединений сурьмы (V): монография. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. 395 с.
2. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К. и др. // Вестник ЮУрГУ. Сер. «Химия». 2011. № 33. С. 47. EDN: OJSELX
3. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакусина А.П. и др. // Журн. общ. химии. 1997. Т. 67, № 9. С. 1536. EDN: PFLFSA
4. Шарутин В. В., Шарутина О.К., Бондарь Е.А. и др. // Коорд. химия. 2002. Т. 28, № 5. С. 356. EDN: EOICYB
5. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакусина А.П. // Коорд. химия. 2001. Т. 27, № 5. С. 396. EDN: DLCCED
6. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К. и др. // Журн. общ. химии. 2009. Т. 79, № 10. С. 1636. EDN: XJJGAB
7. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакусина А.П. и др. // Коорд. химия. 2003. Т. 29, № 11. С. 843. EDN: OVBNEB
8. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакусина А.П. и др. // Коорд. химия. 2003. Т. 29, № 10. С. 750. EDN: OOFNQH
9. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. и др. // Журн. неорг. химии. 2011. Т. 56, № 7. С. 1125. EDN: NYFYMV
10. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. и др. // Журн. общ. химии. 2012. Т. 82, № 10. С. 1646. EDN: PCVVYV
11. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К. и др. // Коорд. химия. 2011. Т. 37, № 10. С. 782. EDN: OJHAOP
12. Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2020. Т. 46, № 10. С. 579. DOI: 10.31857/S0132344X20100011
13. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 1. С. 5. DOI: 10.14529/chem240101
14. 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.
15. 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.
16. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al. // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339. DOI: 10.1107/S0021889808042726
17. Artem'eva E.V., Sharutin V.V., Sharutina O.K., Bulanova A.V. // Russ. J. Inorg. Chem. 2020. V. 65, No. 1. P. 22. DOI: 10.1134/S00360236200100
18. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. Chagarova O.V. // Russ. J. Gen. Chem. 2012. V. 82, No. 10. P. 1665. DOI: 10.1134/S1070363212100064
19. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K., et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2011. V. 37, No. 10. P. 781. DOI: 10.1134/S1070328411090089

20. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Tolstoguzov D.S. // Russ. J. Gen. Chem. 2014. V. 84, No. 9. P. 1754. DOI: 10.1134/S1070363214090199
21. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. // Russ. J. Inorg. Chem. 2014. V. 59, No. 4. P. 326. DOI: 10.1134/S0036023614040202
22. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. // Russ. J. Inorg. Chem. 2014. V. 59, No. 9. P. 947. DOI: 10.1134/S0036023614090162
23. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. // Russ. J. Coord. Chem. 2014. V. 40, No. 2. P. 109. DOI: 10.1134/S1070328414020109
24. Sharutin V.V., Sharutina O.K. // Russ. Chem. Bull. 2017. V. 66, No. 4. P. 707. DOI: 10.1007/s11172-017-1796-6
25. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Efremov A.N. // Russ. J. Inorg. Chem. 2016. V. 61, No. 1. P. 43. DOI: 10.1134/S003602361601023X
26. Sharutin V.V., Sharutina O.K. // Russ. J. Gen. Chem. 2016. V. 86, No. 8. P. 1902. DOI: 10.1134/S107036321608020X
27. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Efremov A.N. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2018. V.44, No. 10. P. 635. DOI: 10.1134/S107032841810010X
28. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Reshetnikova R.V. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2017. V. 62, No. 11. P. 1450. DOI: 10.1134/S003602361711016X
29. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Kazakov M.V. // Russ. J. Inorg. Chem. 2014. V. 59, No. 10. P. 1115. DOI: 10.1134/S0036023614100167
30. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. и др. // Журн. неорганической химии. 2018. Т. 63, № 2. С. 164. DOI: 10.7868/S0044457X1802006X
31. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Котляров А.Р. // Журн. неорганической химии. 2015. Т. 60, № 4. С. 525. DOI: 10.7868/S0044457X15040236
32. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. // Журн. неорганической химии. 2014. Т. 59, № 9. С. 1182. DOI: 10.7868/S0044457X14090189
33. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Жеребцов Д.А. и др. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 4. С. 223. DOI: 10.31857/S0132344X2204003X
34. Polychronis N.M., Vanti C.N., Raptopoulou C.P. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2019. V. 489. P. 39. DOI: 10.1016/j.ica.2019.02.004
35. 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
36. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. // Журн. общей химии. 2016. Т. 86, № 5. С. 876. EDN: VWVRKD
37. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. // Коорд. химия. 2017. Т. 43, № 9. С. 521. DOI: 10.1134/S1070328417090081
38. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. // Коорд. химия. 2016. Т. 42, № 11. С. 712. DOI: 10.1134/S1070328416110087
39. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н., Андреев П.В. // Журн. неорганической химии. 2018. Т. 63, № 2. С. 164. DOI: 10.1134/S0036023618020195
40. Cordero B., Gómez V., Platero-Prats A.E. et al. // Dalton Trans. 2008. V. 21. P. 2832. DOI: 10.1039/B801115J
41. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К. и др. // Журн. общей химии. 2009. Т. 79, № 10. С. 1636. DOI: 10.1134/S1070363209100107
42. Артемьева Е.В., Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. неорганической химии. 2020. Т. 65, № 1. С. 25. DOI: 10.1134/S0036023620010039

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

*Статья поступила в редакцию 30 мая 2025 г.*

*The article was submitted 30 May 2025.*