

## КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

УДК 549.242+547.53.024+548.312.2+548.312.5

### АРИЛЬНЫЕ СУРЬМАОРГАНИЧЕСКИЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ТРЕХКООРДИНИРОВАННОГО УГЛЕРОДА

© 2020 г. В. В. Шарутин<sup>а</sup>, \*, О. К. Шарутина<sup>а</sup>, А. Н. Ефремов<sup>а</sup><sup>а</sup>Южно-Уральский государственный университет, пр-т им. В.И. Ленина, 76, Челябинск, 454080 Россия

\*e-mail: vvsharutin@rambler.ru

Поступила в редакцию 29.03.2019 г.

После доработки 24.04.2019 г.

Принята к публикации 27.08.2019 г.

При кристаллизации продуктов реакций пентафенилсурьмы с 2,4-динитробензолсульфоновой кислотой и пента(*para*-толил)сурьмы с бромоводородной кислотой из смеси бензол–октан на воздухе наряду с целевыми продуктами – 2,4-динитробензолсульфонатом тетрафенилсурьмы и бромидом тетра(*para*-толил)сурьмы – выделены новые ионные комплексы сурьмы с трехкоординированным атомом углерода в катионе  $[(\text{Ph}_4\text{SbO})_3\text{C}]^+[\text{OSO}_2\text{C}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_2-2,4]^- \cdot 3\text{PhH}$  (32%) и  $[(p\text{-Tol}_4\text{SbO})_3\text{C}]^+\text{Br}^-$  (следовое количество). Катионы имеют практически плоские центральные фрагменты  $\text{CO}_3\text{Sb}_3$ . Углы  $\text{OCO}$  и  $\text{COSb}$  близки к  $120^\circ$ , связи  $\text{C-O}$  изменяются в интервале 1.277(4)–1.290(3) Å, расстояния  $\text{Sb-O}$  (2.266(2)–2.299(2) Å) превышают сумму ковалентных радиусов атомов сурьмы и кислорода. Экспериментально установлено, что комплексы образуются в результате взаимодействия целевых продуктов указанных реакций с карбонатами *bis*(тетраарилсурьмы), которые также образуются в условиях реакций из пентаарилсурьмы и углекислого газа воздуха.

**Ключевые слова:** ионный комплекс, *трис*(тетраарилстибоксо)метиллий-катион, рентгеноструктурный анализ

DOI: 10.31857/S0044457X20010158

#### ВВЕДЕНИЕ

К числу наиболее изученных превращений арильных соединений пятивалентной сурьмы [1–18] относятся реакции деарилрования и перераспределения лигандов [9, 10]. Большинство указанных реакций проводили в атмосфере воздуха. В этом случае при выращивании кристаллов арильных производных сурьмы реакционная смесь находится в непосредственном контакте с кислородом и углекислым газом воздуха, поэтому вероятность их взаимодействия с соединениями сурьмы весьма высока. Это подтверждается известными реакциями пентафенильных соединений элементов 15 группы с кислородом и оксидами углерода, серы и азота [10].

В настоящей работе впервые выделены и структурно охарактеризованы продукты реакций, протекающих с участием диоксида углерода и арильных производных пятивалентной сурьмы, которые имеют необычное строение с трехкоординированным атомом углерода в катионе.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

**Синтез карбоната *bis*(тетрафенилсурьмы) (I).** При выдерживании в воздушной атмосфере бензольно-октанового раствора пентафенилсурьмы в течение недели образуются кристаллы I (70%) с

$t_{\text{пл}} = 227^\circ\text{C}$ . ИК-спектр ( $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ ): 3433, 3138, 3062, 3049, 2987, 2951, 2902, 2837, 2640, 2596, 2519, 1953, 1886, 1815, 1631, 1577, 1479, 1471, 1433, 1429, 1382, 1332, 1305, 1263, 1186, 1157, 1099, 1066, 1022, 997, 972, 918, 850, 831, 729, 692, 663, 653, 464, 457, 449.

	C	H
Найдено, %:	63.85;	4.46.
Для $\text{C}_{49}\text{H}_{40}\text{O}_3\text{Sb}_2$		
вычислено, %:	63.94;	4.39.

**Синтез карбоната *bis*(тетра-*para*-толилсурьмы) (II).** Соединение получено аналогично с выходом 76%,  $t_{\text{пл}} = 236^\circ\text{C}$ . ИК-спектр ( $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ ): 3431, 3064, 3028, 3008, 2962, 2918, 2864, 2729, 2605, 2524, 2077, 1909, 1809, 1743, 1641, 1593, 1562, 1492, 1473, 1394, 1311, 1261, 1211, 1188, 1143, 1114, 1099, 1058, 1039, 1016, 989, 966, 947, 831, 796, 750, 702, 684, 636, 582, 572, 487, 408.

	C	H
Найдено, %:	66.13;	5.52.
Для $\text{C}_{57}\text{H}_{56}\text{O}_3\text{Sb}_2$		
вычислено, %:	66.29;	5.48.

**Синтез 2,4-динитробензолсульфоната тетрафенилсурьмы (III) и 2,4-динитробензолсульфоната трис(тетрафенилстибокс)метилия (IV).** а) Навески 200 мг (0.40 ммоль) пентафенилсурьмы и 112 мг (0.40 ммоль) гидрата 2,4-динитробензолсульфоновой кислоты растворяли в 15 мл бензола, затем добавляли 5 мл октана. Через неделю образовывались бесцветные кристаллы, которые отфильтровывали и высушивали. Получили 55 мг соединения IV с  $t_{пл} = 125^\circ\text{C}$ . ИК-спектр ( $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ ): 3088, 3051, 3035, 2999, 2989, 2902, 1961, 1880, 1815, 1782, 1598, 1577, 1544, 1527, 1479, 1435, 1411, 1398, 1365, 1350, 1309, 1249, 1236, 1188, 1161, 1128, 1111, 1064, 1026, 997, 916, 891, 850, 831, 742, 734, 688, 682, 669, 634, 555, 462, 447, 416.

	С	Н
Найдено, %:	63.37;	4.49.
Для $\text{C}_{97}\text{H}_{81}\text{N}_2\text{O}_{10}\text{SSb}_3$		
вычислено, %:	63.59;	4.47.

После полного испарения растворителя твердый остаток перекристаллизовывали из воды. Получили 190 мг (71%) соединения III с  $t_{пл} = 123^\circ\text{C}$ . ИК-спектр ( $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ ): 3105, 3080, 3051, 3028, 3016, 2997, 2989, 1602, 1575, 1543, 1531, 1481, 1436, 1388, 1354, 1336, 1305, 1249, 1232, 1195, 1163, 1132, 1112, 1064, 1026, 995, 968, 920, 889, 858, 835, 746, 738, 732, 713, 688, 665, 632, 611, 557, 545, 484, 468, 453, 437, 418.

	С	Н
Найдено, %:	53.04;	3.46.
Для $\text{C}_{30}\text{H}_{23}\text{N}_2\text{O}_7\text{SSb}$		
вычислено, %:	53.19;	3.43.

б) Из 2,4-динитробензолсульфоната тетрафенилсурьмы и  $(\text{Ph}_4\text{Sb})_2\text{CO}_3$  в подобных условиях получили комплекс IV с выходом 44%.

**Синтез  $[(p\text{-Tol}_4\text{SbO})_3\text{C}]^+\text{Br}^-$  (V).** По аналогичным методикам получены: а) следовые количества комплекса V,  $t_{разл} = 214^\circ\text{C}$ . ИК-спектр ( $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ ): 3020, 2964, 2918, 2864, 2736, 2652, 1899, 1631, 1598, 1581, 1492, 1446, 1392, 1340, 1313, 1271, 1226, 1211, 1188, 1155, 1126, 1064, 1029, 1014, 943, 894, 842, 831, 798, 767, 731, 702, 601, 582, 574, 530, 509, 487, 449, 408.

	С	Н
Найдено, %:	63.44;	5.34.
Для $\text{C}_{85}\text{H}_{84}\text{BrO}_3\text{Sb}_3$		
вычислено, %:	63.85;	5.31.

б) комплекс V с выходом 8%,  $t_{разл} = 214^\circ\text{C}$ .

**ИК-спектры** соединений записывали на ИК-спектрометре Shimadzu IR Affinity-1S в таблетках KBr в области 4000–400  $\text{см}^{-1}$ .

**РСА** кристаллов I–V проведен на дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (MoK $_{\alpha}$ -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 [19]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены по программам SHELXL/PC [20], OLEX2 [21]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов.

Кристаллы соединения I ( $\text{C}_{49}\text{H}_{40}\text{O}_5\text{Sb}_2$ ,  $M = 920.31$ ) бесцветные, ромбические, пр. гр. *Pbca*, при 273.15 К  $a = 20.5819(16)$ ,  $b = 11.4595(8)$ ,  $c = 34.417(3) \text{ \AA}$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90.00^\circ$ ,  $V = 8117.6(11) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 8$ ,  $\rho_{\text{выч}} = 1.506 \text{ г/см}^3$ ;  $\mu = 1.372 \text{ мм}^{-1}$ ,  $F(000) = 3680.0$ . Измерено 86607 отражений, из них 8258 независимых ( $R_{\text{int}} = 0.0834$ ) и 5198 наблюдаемых отражений [ $I \geq 2\sigma(I)$ ], 487 параметров уточнения:  $R_1 = 0.0642$ ,  $wR_2 = 0.1557$ .

Кристаллы соединения II ( $\text{C}_{57}\text{H}_{56}\text{O}_3\text{Sb}_2$ ,  $M = 1032.54$ ) бесцветные, триклинные, пр. гр.  $P\bar{1}$ , при 273.15 К  $a = 11.2249(4)$ ,  $b = 16.5244(7)$ ,  $c = 27.6426(11) \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 90.00^\circ$ ,  $\beta = 96.1559(13)^\circ$ ,  $\gamma = 90.00^\circ$ ,  $V = 5097.6(3) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ ,  $\rho_{\text{выч}} = 1.345 \text{ г/см}^3$ ,  $\mu = 1.101 \text{ мм}^{-1}$ ,  $F(000) = 2096.0$ . Измерено 148451 отражение, из них 20073 независимых ( $R_{\text{int}} = 0.0267$ ) и 16608 наблюдаемых отражений [ $I \geq 2\sigma(I)$ ], 1133 параметра уточнения:  $R_1 = 0.0373$ ,  $wR_2 = 0.0782$ .

Кристаллы соединения III ( $\text{C}_{30}\text{H}_{23}\text{N}_2\text{O}_7\text{SSb}$ ,  $M = 677.31$ ) бесцветные, ромбические, пр. гр.  $P2_12_1$ , при 293.15 К  $a = 7.071(3)$ ,  $b = 17.887(5)$ ,  $c = 22.602(8) \text{ \AA}$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90.00^\circ$ ,  $V = 2858.8(18) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ ,  $\rho_{\text{выч}} = 1.574 \text{ г/см}^3$ ,  $\mu = 1.088 \text{ мм}^{-1}$ ,  $F(000) = 1360.0$ . Измерено 53245 отражений, из них 8318 независимых ( $R_{\text{int}} = 0.1116$ ) и 5590 наблюдаемых отражений [ $I \geq 2\sigma(I)$ ], 370 параметров уточнения:  $R_1 = 0.0480$ ,  $wR_2 = 0.0590$ .

Кристаллы соединения IV ( $\text{C}_{97}\text{H}_{81}\text{N}_2\text{O}_{10}\text{SSb}_3$ ,  $M = 1831.95$ ) бесцветные, моноклинные, пр. гр.  $P2_1/c$ , при 293.15 К  $a = 16.495(7)$ ,  $b = 17.504(8)$ ,  $c = 29.552(11) \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 90.00^\circ$ ,  $\beta = 98.262(11)^\circ$ ,  $\gamma = 90.00^\circ$ ,  $V = 8444(6) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 4$ ,  $\rho_{\text{выч}} = 1.441 \text{ г/см}^3$ ,  $\mu = 1.038 \text{ мм}^{-1}$ ,  $F(000) = 3704.0$ . Измерено 282712 отражений, из них 25779 независимых отражений ( $R_{\text{int}} = 0.0620$ ) и 17237 наблюдаемых отражений [ $I \geq 2\sigma(I)$ ], 1019 параметров уточнения:  $R_1 = 0.0478$ ,  $wR_2 = 0.0859$ .

Кристаллы соединения V ( $\text{C}_{85}\text{H}_{84}\text{O}_3\text{BrSb}_3$ ,  $M = 1598.68$ ) бесцветные, тригональные, пр. гр.  $R\bar{3}$ , при 293.15 К  $a = 20.445(10)$ ,  $b = 20.445(8)$ ,  $c =$

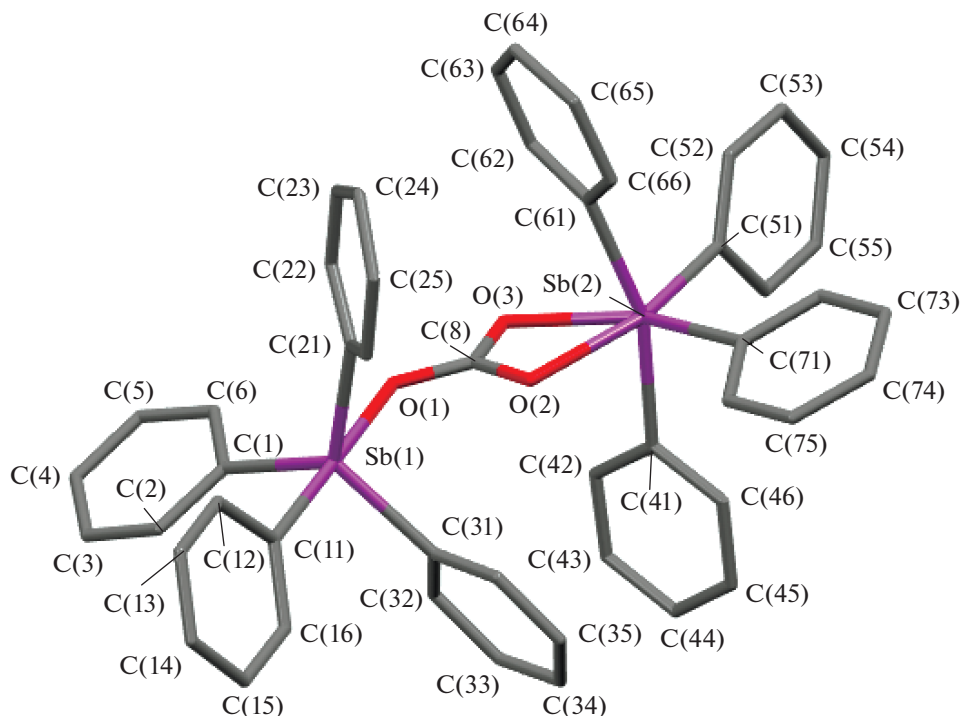


Рис. 1. Общий вид молекулы I.

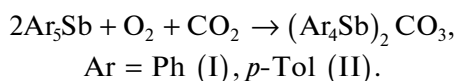
$= 61.96(3) \text{ \AA}$ ,  $\alpha = 90.00^\circ$ ,  $\beta = 90.00^\circ$ ,  $\gamma = 120.00^\circ$ ,  $V = 22429(15) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 18$ ,  $\rho_{\text{выч}} = 2.130 \text{ г/см}^3$ ,  $\mu = 2.487 \text{ мм}^{-1}$ ,  $F(000) = 14508.0$ . Измерено 43504 отражения, из них 6930 независимых отражений ( $R_{\text{int}} = 0.0359$ ) и 5003 наблюдаемых отражения [ $I \geq 2\sigma(I)$ ], 562 параметра уточнения:  $R_1 = 0.0343$ ,  $wR_2 = 0.0832$ .

Кристаллографические данные депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 994519 (I), 994177 (II), 1895765 (III), 1851486 (IV), 1851487 (V); deposit@ccdc.cam.ac.uk или [http://www.ccdc.cam.ac.uk/data\\_request/cif](http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif)).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что карбонат *бис*(тетрафенилсурьмы) моноклинной модификации образуется при контакте раствора пентафенилсурьмы в алифатическом углеводороде с воздухом [22].

Установлено, что при взаимодействии пентафенилсурьмы с кислородом и диоксидом углерода воздуха в смеси бензол–октан из реакционной смеси выделяются кристаллы  $(\text{Ph}_4\text{Sb})_2\text{CO}_3$  (I) ромбической модификации. В аналогичных условиях из раствора пента(*пара*-толил)сурьмы образуются кристаллы карбоната *бис*(тетра-*пара*-толилсурьмы) (II) триклинной модификации:



Строение комплексов I и II доказано методом РСА. Отметим, что геометрия молекул I (рис. 1) и II (рис. 2) близка к найденной в триклинной [23] и моноклинной модификациях карбоната *бис*(тетрафенилсурьмы) [22].

Координационные полиэдры двух атомов сурьмы в I и в двух типах кристаллографически независимых молекул IIa, IIb различны: один из атомов сурьмы имеет тригонально-бипирамидальное окружение (углы  $\text{O}_{\text{акс}}\text{SbC}_{\text{акс}}$   $178.7(3)^\circ$  в I и  $175.2(1)^\circ$ ,  $175.1(1)^\circ$  в IIa, IIb), другой – искаженное октаэдрическое (*транс*-углы  $\text{CSbO}$   $152.8(3)^\circ$ ,  $161.6(3)^\circ$ ,  $163.1(3)^\circ$  I;  $151.8(1)^\circ$ ,  $162.9(1)^\circ$ ,  $165.6(2)^\circ$  в IIa и  $151.8(1)^\circ$ ,  $163.0(1)^\circ$ ,  $165.8(2)^\circ$  в IIb). Интервалы изменения длин связей Sb–C в структурах I и II примерно одинаковы (2.103(9)–2.181(9) и 2.114(4)–2.178(3)  $\text{ \AA}$  соответственно), но расстояния Sb–O короче в II (2.216(2)–2.263(2)  $\text{ \AA}$ ), чем в I (2.245(6)–2.273(5)  $\text{ \AA}$ ), что, видимо, связано с присутствием электронодонорных метильных заместителей в арильных кольцах II. Длины связей C–O в карбонатных группах равны 1.260(10), 1.302(10), 1.278(10)  $\text{ \AA}$  в I; 1.284(4), 1.293(4), 1.277(4)  $\text{ \AA}$  и 1.285(4), 1.293(4), 1.274(4)  $\text{ \AA}$  в IIa и IIb соответственно, при этом наблюдается закономерность: более короткой связи Sb–O соответствует более длинная связь C–O.

Известно, что аренсульфонаты тетраарилсурьмы с хорошим выходом получают по реакции деарилирования пентаарилсурьмы соответствующей кислотой [24, 25]. Синтез 2,4-ди-

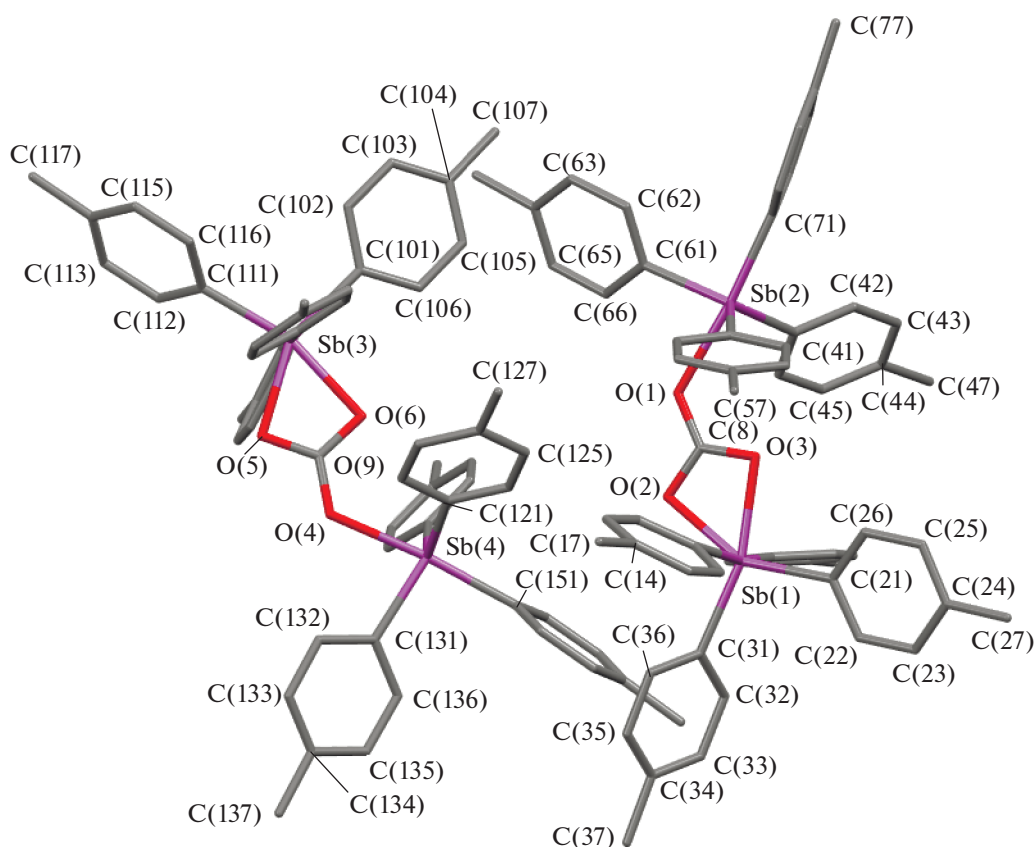


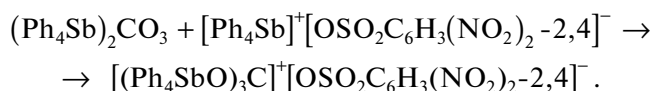
Рис. 2. Общий вид молекул II.

нитробензолсульфоната тетрафенилсурьмы  $[\text{Ph}_4\text{Sb}]^+[\text{OSO}_2\text{C}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_2-2,4]^-$  (III) был нами осуществлен по известной методике взаимодействия исходных реагентов в бензольном растворе, в который для улучшения кристаллизации добавляли октан (5 : 1 объем.). При медленном испарении смеси растворителей в атмосфере воздуха наблюдали образование бесцветных кристаллов, которые, по данным PCA, представляли собой ионный комплекс  $[(\text{Ph}_4\text{SbO})_3\text{C}]^+[\text{OSO}_2\text{C}_6\text{H}_3(\text{NO}_2)_2-2,4]^- \cdot 3\text{PhH}$  (IV). После полного удаления растворителей из фильтрата и перекристаллизации твердого остатка из горячей воды были выделены кристаллы соединения (III).

Отметим, что известны структуры двух комплексов переходных металлов, катионы которых содержат центросимметричную группу  $\text{C}(\text{OCuXY})_3$  [26, 27], однако синтез подобных соединений переходных металлов ранее не был описан.

Образование столь необычного комплекса с трехкоординированным углеродом в катионе можно объяснить взаимодействием 2,4-динитробензолсульфоната тетрафенилсурьмы с карбонатом бис(тетрафенилсурьмы), который мог образоваться из пентафенилсурьмы при контакте с кис-

лородом и углекислым газом воздуха одновременно с целевым продуктом. Действительно, из реакционной смеси, содержащей соединения I и III, нами были выделены кристаллы комплекса IV:



Отметим, что ранее нами при кристаллизации бромида тетра-*пара*-толилсурьмы из смеси бензол–октан были выделены следовые количества комплекса  $[(p\text{-Tol}_4\text{SbO})_3\text{C}]^+\text{Br}^-$  (V), который затем был получен из II и бромида тетра-*пара*-толилсурьмы с выходом 8%.

По данным PCA, кристаллы III образованы катионами тетрафенилстибония и аренсульфонатными анионами (рис. 3). При отсутствии координации аниона на атом сурьмы, которая наблюдалась в других аренсульфонатах тетрафенилсурьмы [24, 25], катион имеет практически идеальное тетраэдрическое строение: валентные углы  $\text{CSbC}$  составляют  $105.09(12)^\circ$ – $111.49(14)^\circ$ , расстояния  $\text{Sb}-\text{C}$  равны  $2.090(3)$ – $2.107(3)$  Å. В сульфонатной группе аниона связи  $\text{S}-\text{O}$  ( $1.436(3)$ ,  $1.444(3)$ ,  $1.443(3)$  Å) соответствуют значению кратной связи ( $1.43$  [28]). Плоскость *орто*-нитро-

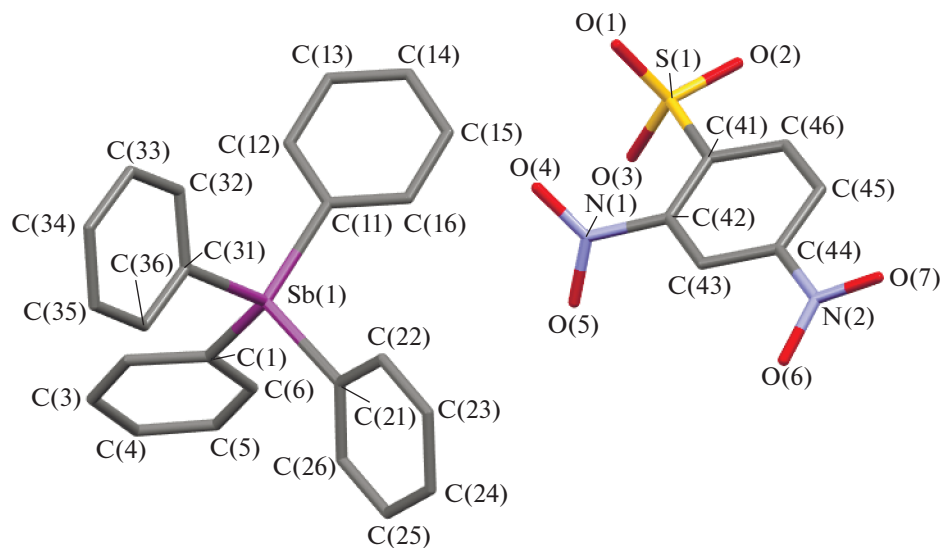


Рис. 3. Общий вид комплекса III.

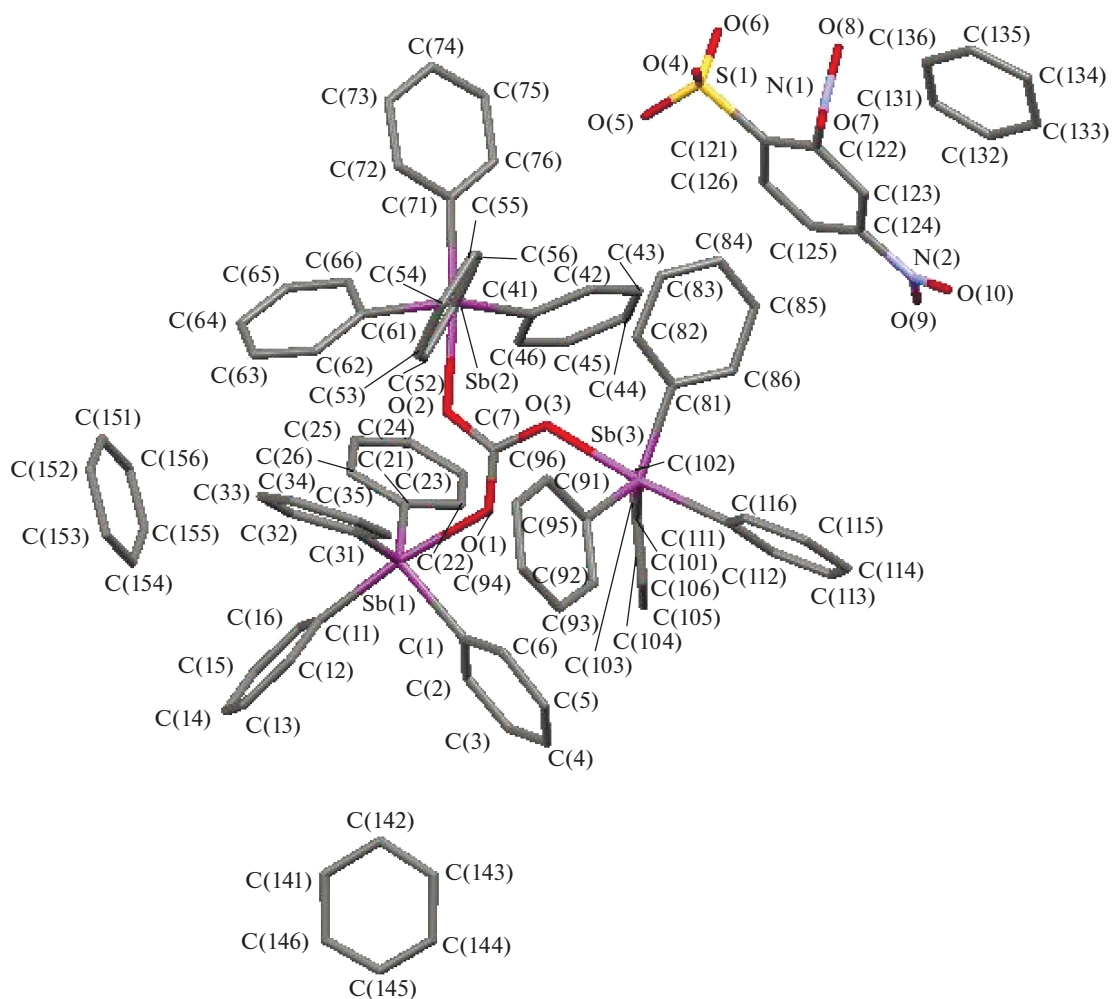


Рис. 4. Строение комплекса IV.



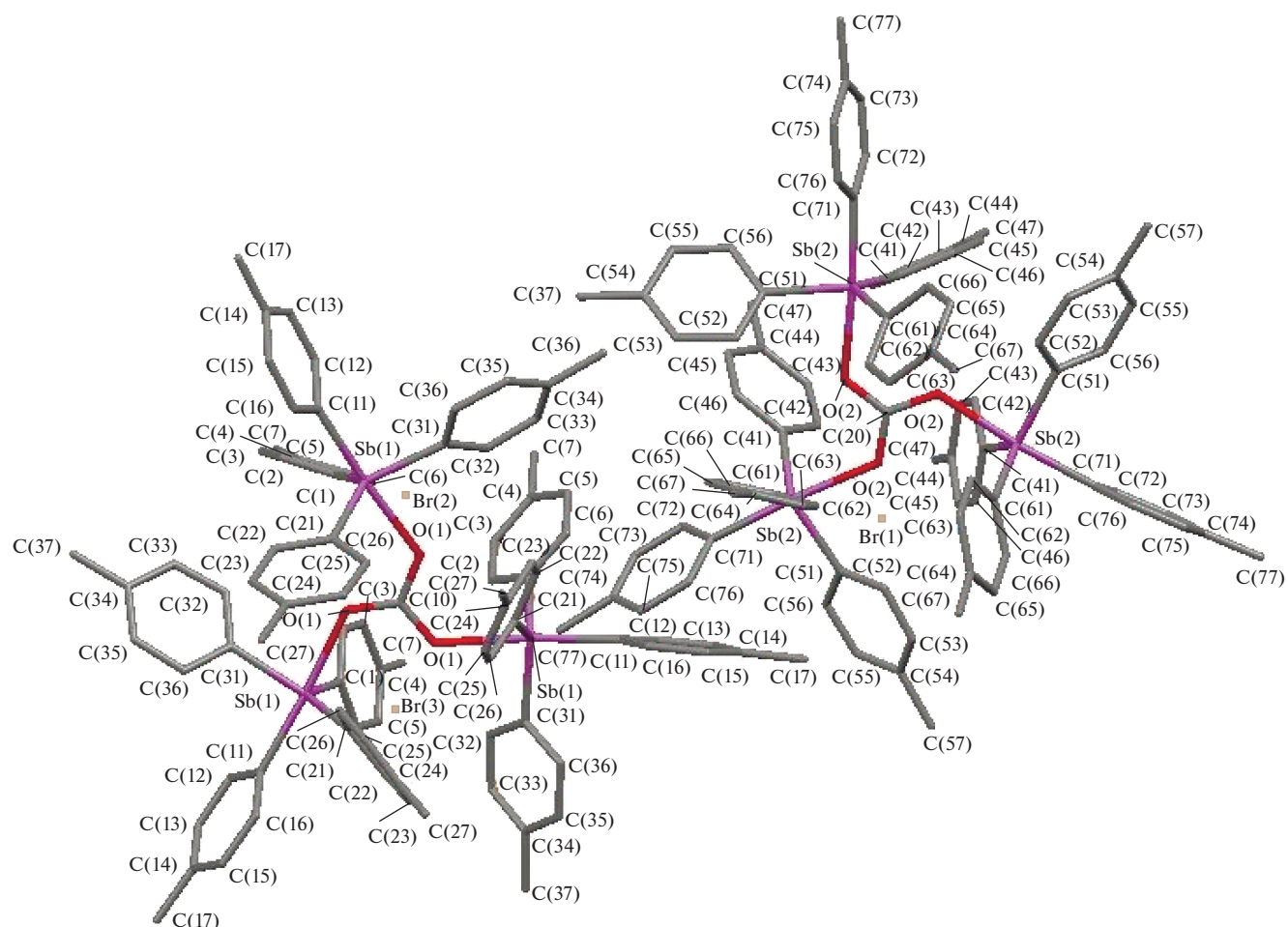


Рис. 5. Структура комплекса V.

группы (связи N–O 1.200(4), 1.201(4) Å) составляет с плоскостью бензольного кольца угол  $59.74^\circ$ , соответствующий угол для *meta*-нитрогруппы (связи N–O 1.212(4), 1.218(4) Å) –  $14.41^\circ$ .

В катионе IV углы OCO и COSb составляют соответственно  $119.7(3)^\circ$ – $120.2(3)^\circ$  и  $123.9(2)^\circ$ – $126.4(2)^\circ$ , в двух типах кристаллографически независимых centrosимметричных катионов Va, Vб (центр инверсии – центральный атом углерода) углы OCO равны  $120^\circ$ , COSb –  $123.8(2)^\circ$  и  $124.0(2)^\circ$ . Центральные фрагменты в катионах, включающие три атома сурьмы, три атома кислорода и атом углерода, имеют почти плоское строение: отклонения атомов из средней плоскости  $[\text{CO}_3\text{Sb}_3]$  не превышают 0.078 Å. Атомы сурьмы с окружением  $\text{OS}_4$  обладают характерной тригонально-бипирамидальной координацией с атомом кислорода в аксиальной позиции: углы  $\text{C}_{\text{акс}}\text{SbO}_{\text{акс}}$   $172.39(13)^\circ$ ,  $173.65(12)^\circ$ ,  $173.46(13)^\circ$  в IV,  $175.71(15)^\circ$ ,  $175.54(15)^\circ$  в Va, Vб; в экваториальных плоскостях углы  $\text{C}_{\text{эқв}}\text{SbC}_{\text{эқв}}$  изменяются в интервалах  $113.37(15)^\circ$ – $129.14(14)^\circ$  (IV) и

$112.1(2)^\circ$ – $124.8(2)^\circ$  (Va, Vб). Длины связей C–O (1.277(4)–1.280(4) Å в IV, 1.286(3), 1.290(3) Å в Va, Vб) соизмеримы с аналогичными расстояниями в I и II. Расстояния Sb–O (2.266(2), 2.299(2), 2.295(2) Å в IV, 2.282(2), 2.276(3) Å в V) длиннее, чем в I и II. Структура аниона в кристалле IV в общих чертах повторяет строение аниона в III, однако в сульфатной и *орто*-нитрогруппе связи S–O (1.369(6), 1.405(6), 1.409(6) Å) и N–O (1.147(8), 1.187(8) Å) заметно короче.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что карбонаты *bis*(тетраарилсурьмы) способны реагировать с солями тетраарилстибония, присоединяя еще один катион за счет изменения структурной функции карбонатной группы с  $\mu_2$ -хелатно-мостиковой на  $\mu_3$ -мостиковую, с образованием ионных комплексов с *трис*(тетраарилстибоксо)метиллий-катионом.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (грант № 4.6151.2017/8.9).

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Hirai M., Myahkostupov M., Castellano F.N. et al. // *Organometallics*. 2016. V. 35. № 11. P. 1854. <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.6b00233>
- Tofan D., Gabbai F.P. // *Chem. Sci*. 2016. V. 7. P. 6768. <https://doi.org/10.1039/C6SC02558G>
- Sen S., Ke I.-S., Gabbai F.P. // *Organometallics*. 2017. V. 36. № 21. P. 4224. <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.7b00654>
- Saleem L., Itaf A.A., Badshah A. et al. // *Inorg. Chim. Acta*. 2018. V. 474. P. 148. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2018.01.036>
- Hirai M., Cho J., Gabbai F.P. // *Chem. Eur. J*. 2016. V. 22. P. 6537. <https://doi.org/10.1002/chem.201600971>
- Sen S., Ke I.-S., Gabbai F.P. // *Inorg. Chem*. 2016. V. 55. № 18. P. 9162. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.6b01290>
- Yang M., Gabbai F.P. // *Inorg. Chem*. 2017. V. 56. № 15. P. 8644. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.7b00293>
- Sarwar S., Iftikhar T., Rauf M.K. // *Inorg. Chim. Acta*. 2018. V. 476. P. 12. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2018.02.005>
- Кочешков К.А., Сколдинов А.П., Землянский Н.Н. Методы элементоорганической химии. Сурьма, висмут. М.: Наука, 1976. 483 с.
- Шарутин В.В., Сенчуринов В.С. Именные реакции в химии элементоорганических соединений. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2011. 427 с.
- Fukin G.K., Samsonov M.A., Arapova A.V. et al. // *J. Solid State Chem*. 2017. V. 254. P. 32. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2017.06.030>
- Poddelsky A.I., Arsenyev M.V., Astafeva T.V. et al. // *J. Organomet. Chem*. 2017. V. 835. P. 17. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2017.02.035>
- Iftikhar T., Rauf M.K., Sarwar S. et al. // *J. Organomet. Chem*. 2017. V. 851. P. 89. <https://doi.org/j.jorganchem.2017.09.002>
- Poddelsky A.I., Smolyaninov I.V., Fukin G.K. et al. // *J. Organomet. Chem*. 2016. V. 824. P. 1. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2016.09.021>
- Poddelsky A.I., Smolyaninov I.V., Fukin G.K. et al. // *J. Organomet. Chem*. 2018. V. 867. P. 238. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2017.12.006>
- Chen C.-H., Gabbai F.P. // *Angew. Chem. Int. Ed*. 2017. V. 56. P. 1799. <https://doi.org/10.1002/anie.201611009>
- Christianson A.M., Gabbai F.P. // *Chem. Commun*. 2017. V. 53. P. 2471. <https://doi.org/10.1039/C6CC09205E>
- Zhang X.-Y., Cui L., Zhang X. et al. // *J. Mol. Struct*. 2017. V. 1134. P. 742. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.01.039>
- Bruker (1998). SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Bruker (1998). SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al. // *J. Appl. Crystallogr*. 2009. V. 42. P. 339. <https://doi.org/10.1107/S0021889808042726>
- Sharutin V.V., Sharutina O.K., Platonova T.P. et al. // *Russ. J. Gen. Chem*. 2001. V. 71. № 10. P. 1550. [Шарутин В.В., Шарутина О.К., Платонова Т.П. и др. // *Журн. общей химии*. 2001. Т. 71. № 10. С. 1637.] <https://doi.org/10.1023/A:1013938600798>
- Ferguson G., Hawley D.M. // *Acta Crystallogr*. 1974. V. B30. № 1. P. 103. <https://doi.org/10.1107/S0567740874002299>
- Шарутин В.В., Шарутина О.К., Панова Л.П., Бельский В.К. // *Коорд. химия*. 1997. Т. 23. № 7. С. 513.
- Sharutin V.V., Egorova I.V., Pakusina A.P. et al. // *Russ. J. Coord. Chem*. 2007. V. 33. № 3. P. 168. [Шарутин В.В., Егорова И.В., Пакузина А.П. и др. // *Коорд. химия*. 2007. Т. 33. С. 176.]
- Kolks G., Lippard S.J., Waszczak J.V. // *J. Am. Chem. Soc*. 1980. V. 102. № 14. P. 4832. <https://doi.org/10.1021/ja00534a045>
- Escuer A., Vicente R., Peñalba E. et al. // *Inorg. Chem*. 1996. V. 35. № 1. P. 248. <https://doi.org/10.1021/ic950331q>
- Allen F.H., Kennard O., Watson D.G. et al. // *J. Chem. Soc., Perkin Trans. II*. 1987. № 12. Pt. 2. P. S1.