

УДК 546.86+547-305.2+547.53.024+548.312

## СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ ОРГАНОСУЛЬФОНАТОВ ТЕТРАФЕНИЛСТИБОНИЯ $\text{Ph}_4\text{SbOSO}_2\text{R}$ , $\text{R} = \text{C}_{10}\text{H}_{15}\text{O}$ , $\text{C}_{10}\text{H}_4(\text{OH}-1)(\text{NO}_2)_2-2,4$ , $\text{C}_{10}\text{H}_7-1$ , $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH}-2)$

© 2023 г. В. С. Сенчурин<sup>1</sup>\*, В. В. Шарутин<sup>1</sup>, О. К. Шарутина<sup>1</sup>, В. В. Красносельская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия

\*e-mail: [senvl@rambler.ru](mailto:senvl@rambler.ru)

Поступила в редакцию 21.06.2022 г.

После доработки 16.08.2022 г.

Принята к публикации 23.08.2022 г.

Взаимодействием эквимольных количеств пентафенилсурьмы с камфора-10-сульфоновой, 2,4-динитро-1-нафтол-7-сульфоновой (флавиановой), 1-нафталинсульфоновой и 2-сульфобензойной кислотами в бензоле синтезированы органосульфونات тетрафенилстибония  $\text{Ph}_4\text{SbOSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_{15}\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$  (I),  $\text{Ph}_4\text{SbOSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_4(\text{OH}-1)(\text{NO}_2)_2-2,4 \cdot \text{PhH}$  (II),  $\text{Ph}_4\text{SbOSO}_2(\text{C}_{10}\text{H}_7-1) \cdot \text{H}_2\text{O}$  (III),  $\text{Ph}_4\text{SbOSO}_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH}-2)$  (IV). По данным РСА (CCDC № 2119791 (I), 2121381 (II), 2116582 (III), 2123516 (IV)), в кристалле I тригонально-бипирамидальные молекулы сульфоната (аксиальные связи Sb–C и Sb–O составляют 2.130(3) и 2.565(2) Å соответственно) и гидратной воды образуют centrosymmetricный восьмичленный цикл (расстояния  $\text{S}=\text{O} \cdots \text{H}-\text{O}-\text{H} \cdots \text{O}=\text{S}$  составляют 2.06 и 2.21 Å). В молекулах II координация атома металла – искаженная тригонально-бипирамидальная (аксиальные связи Sb–C и Sb–O равны 2.133(2) и 2.643(3) Å соответственно). В III расстояние Sb–O 2.842(3) Å длиннее, чем в I и II, гидратные молекулы воды формируют с анионами centrosymmetricные двенадцатичленные циклы (расстояния  $\text{S}=\text{O} \cdots \text{H}-\text{O}-\text{H} \cdots \text{O}=\text{S}$  составляют 2.02 и 2.05 Å), в то время как кристалл соединения IV состоит из тетраэдрических тетрафенилстибониевых катионов и (2-карбоксо)бензолсульфонатных анионов, в которых присутствуют внутримолекулярная водородная связь  $\text{O}-\text{H} \cdots \text{O}=\text{S}$  (1.75 Å).

*Ключевые слова:* органосульфонат тетрафенилстибония, синтез, рентгеноструктурные исследования

**DOI:** 10.31857/S0132344X22600230, **EDN:** FYPPSB

Возрастающий интерес к органическим соединениям сурьмы во многом определяется выявленным потенциалом их применения в самых разнообразных областях практической деятельности: в качестве лекарственных препаратов, биоцидов, фунгицидов, антиоксидантов, реагентов и компонентов каталитических систем при полимеризации, в тонком органическом синтезе и др. [1]. Несмотря на то что соединения сурьмы токсичны, они находят применение в терапии в качестве противопаразитарных средств, особенно при лечении лейшманиоза [2]. Некоторые органические производные сурьмы являются биологически активными веществами [3–5], обладают антибактериальной [6–8] и противоопухолевой активностью [9–14], поэтому синтез и исследование строения неизвестных ранее органических производных сурьмы являются актуальными задачами. В основе одного из эффективных способов получения водорастворимых аренсульфонатов тетраарилстибония лежит реак-

ция пентаарилсурьмы с сульфоновыми кислотами [1, 15].

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исходный реагент – пентафенилсурьму – получали по методике, описанной в [16]. В работе также использовали (1S)-(+)-камфора-10-сульфоновую (Alfa Aesar), 1-нафталинсульфоновую (Merck), 2,4-динитро-1-нафтол-7-сульфоновую (флавиановую) квалификации “ч.” и 2-сульфобензойную (Alfa Aesar) кислоты. Реакции проводили в бензоле квалификации “х. ч.”.

**Синтез гидрата камфора-10-сульфоната тетрафенилстибония (I)** выполняли по известной методике [15] из 0.5 г (0.99 ммоль) пентафенилсурьмы и 0.23 г (0.99 ммоль) (1S)-(+)-камфора-10-сульфоновой кислоты в бензоле. I. Выход неокрашенных кристаллов 0.56 г (84%),  $T_{\text{разл}} = 201^\circ\text{C}$ . ИК-спектр ( $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ ): 3568, 3491, 3066, 3053, 2963, 2951,

2930, 2886, 1734, 1625, 1578, 1477, 1437, 1408, 1389, 1371, 1308, 1260, 1234, 1211, 1146, 1026, 995, 741, 692, 664, 610, 581, 527, 509, 463, 446.

Найдено, %: C 60.01; H 5.58.

Для  $C_{34}H_{37}O_5SSb$

вычислено, %: C 60.11; H 5.49.

Аналогично синтезировали другие сульфонаты тетрафенилстибония.

**Сольват 2,4-динитро-1-нафтол-7-сульфоната тетрафенилстибония с бензолом (II)** — из 0.5 г (0.99 ммоль) пентафенилсурьмы и 0.31 г (0.99 ммоль) флавиановой кислоты. III: кристаллы желтого цвета,  $T_{\text{разл}} = 146^\circ\text{C}$ . Выход 0.61 г (75%). ИК-спектр ( $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ ): 3088, 3055, 3032, 1620, 1582, 1518, 1479, 1437, 1402, 1335, 1314, 1260, 1198, 1175, 1159, 1128, 1082, 1070, 1030, 995, 945, 914, 831, 816, 739, 685, 640, 615, 586, 561, 523, 461, 447.

Найдено, %: C 58.28; H 3.91.

Для  $C_{40}H_{31}N_2O_8SSb$

вычислено, %: C 58.49; H 3.80.

**Гидрат 1-нафталинсульфоната тетрафенилстибония (III)** — из 0.5 г (0.99 ммоль) пентафенилсурьмы и 0.21 г (0.99 ммоль) 1-нафталинсульфоновой кислоты. II: неокрашенные кристаллы,  $T_{\text{разл}} = 115^\circ\text{C}$ . Выход 0.47 г (73%). ИК-спектр ( $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ ): 3559, 3489, 3088, 3053, 2987, 2953, 1627, 1506, 1479, 1435, 1342, 1240, 1200, 1180, 1146, 1070, 1043, 995, 970, 802, 775, 740, 687, 611, 565, 519, 461, 447, 420.

Найдено, %: C 62.15; H 4.50.

Для  $C_{34}H_{29}O_4SSb$

вычислено, %: C 62.31; H 4.46.

**(2-Карбокси)бензолсульфонат тетрафенилстибония (IV)** — из 0.5 г (0.99 ммоль) пентафенилсурьмы и 0.20 г (0.99 ммоль) гидрата 2-сульфобензойной кислоты. IV: неокрашенные кристаллы,  $T_{\text{разл}} = 158^\circ\text{C}$ . Выход 0.40 г (65%). ИК-спектр ( $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ ): 3049, 1719, 1591, 1570, 1479, 1435, 1296, 1251, 1171, 1067, 995, 800, 739, 689, 619, 571, 527, 447.

Найдено, %: C 59.92; H 4.12.

Для  $C_{31}H_{25}O_5SSb$

вычислено, %: C 58.99; H 3.99.

ИК-спектры соединений регистрировали на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S в области 4000–400  $\text{см}^{-1}$  (таблетки KBr).

РСА проведен на автоматическом четырехкрупном дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (графитовый монохроматор) при 293 К.

Сбор, редактирование данных, уточнение параметров элементарной ячейки, учет поглощения, определение и уточнение структур проведены по программам [17–19]. Структуры I–IV определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов.

Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC № 2119791 (I), 2121381 (II), 2116582 (III), 2123516 (IV); deposit@ccdc.cam.ac.uk или [http://www.ccdc.cam.ac.uk/data\\_request/cif](http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif)).

Соединение I: бесцветные кристаллы триклинные, пр. гр.  $P\bar{1}$ ,  $a = 10.473(8)$ ,  $b = 11.531(7)$ ,  $c = 14.721(7)$  Å,  $\alpha = 73.15(3)^\circ$ ,  $\beta = 82.36(3)^\circ$ ,  $\gamma = 66.27(2)^\circ$ ,  $V = 1557.4(17)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 2$ ,  $\rho(\text{выч.}) = 1.449$  г/см<sup>3</sup>;  $\mu = 0.992$  мм<sup>-1</sup>,  $F(000) = 696.0$ . Измерено всего 33 157 отражений, независимых отражений 6924 ( $R_{\text{int}} = 0.0302$ ), параметров уточнения 400:  $R_1 = 0.0300$ ,  $wR_2 = 0.0709$ .

Соединение II: кристаллы желтого цвета, триклинные, пр. гр.  $P\bar{1}$ ,  $a = 10.869(7)$ ,  $b = 12.532(5)$ ,  $c = 13.887(5)$  Å,  $\alpha = 88.642(16)^\circ$ ,  $\beta = 77.50(2)^\circ$ ,  $\gamma = 83.79(2)^\circ$ ,  $V = 1835.9(15)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 2$ ,  $\rho(\text{выч.}) = 1.486$  г/см<sup>3</sup>;  $\mu = 0.864$  мм<sup>-1</sup>,  $F(000) = 832.0$ . Измерено всего 43 168 отражений, независимых отражений 8079 ( $R_{\text{int}} = 0.0292$ ), параметров уточнения 466:  $R_1 = 0.0263$ ,  $wR_2 = 0.0635$ .

Соединение III: бесцветные кристаллы триклинные, пр. гр.  $P\bar{1}$ ,  $a = 9.469(5)$ ,  $b = 12.561(6)$ ,  $c = 14.007(7)$  Å,  $\alpha = 74.103(17)^\circ$ ,  $\beta = 79.76(3)^\circ$ ,  $\gamma = 68.31(2)^\circ$ ,  $V = 1483.4(13)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 2$ ,  $\rho(\text{выч.}) = 1.467$  г/см<sup>3</sup>;  $\mu = 1.037$  мм<sup>-1</sup>,  $F(000) = 664.0$ . Измерено всего 38 195 отражений, независимых отражений 6558 ( $R_{\text{int}} = 0.0237$ ), параметров уточнения 369:  $R_1 = 0.0230$ ,  $wR_2 = 0.0532$ .

Соединение IV: бесцветные кристаллы триклинные, пр. гр.  $P\bar{1}$ ,  $a = 9.529(3)$ ,  $b = 10.584(3)$ ,  $c = 13.745(5)$  Å,  $\alpha = 94.619(17)^\circ$ ,  $\beta = 97.731(18)^\circ$ ,  $\gamma = 90.336(16)^\circ$ ,  $V = 1369.0(7)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 2$ ,  $\rho(\text{выч.}) = 1.531$  г/см<sup>3</sup>;  $\mu = 1.123$  мм<sup>-1</sup>,  $F(000) = 636.0$ . Измерено всего 34 082 отражений, независимых отражений 6043 ( $R_{\text{int}} = 0.0213$ ), параметров уточнения 344:  $R_1 = 0.0201$ ,  $wR_2 = 0.0221$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективными методами синтеза соединений сурьмы  $Ar_4SbX$  ( $Ar = Ph, Tol, X = \text{остаток ОН-кислот}$ ) являются методы, основанные на реакциях пентаарилсурьмы с кислотами или производными симметричного строения  $Ar_3SbX_2$  [1].

Мы продолжили изучение аналогичных реакций пентафенилсурьмы с (1S)-(+)-камфора-10-

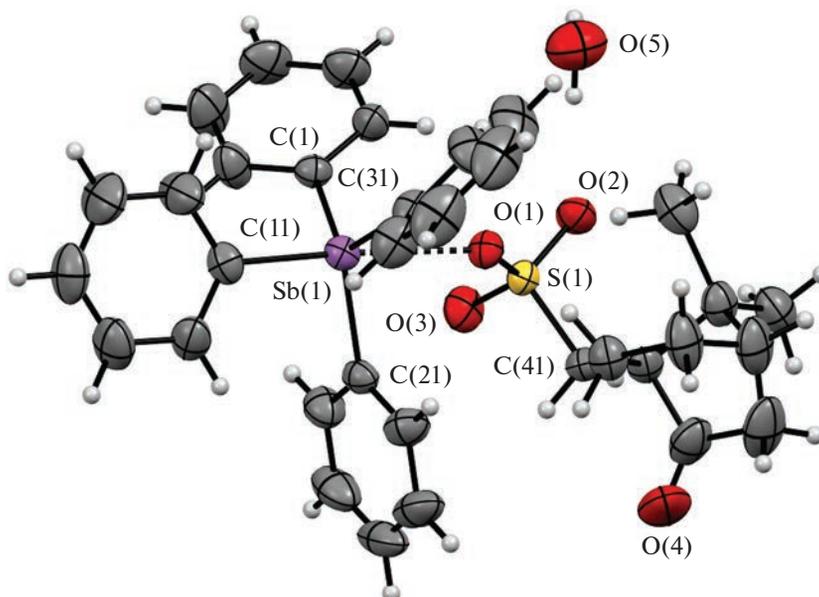


Рис. 1. Общий вид соединения I.

сульфоновой, флавиановой, 1-нафталинсульфоновой и 2-сульфобензойной кислотами в бензоле. Несмотря на различную природу заместителей в органическом радикале сульфоновой кислоты, реакции протекали с образованием органосульфоноватов тетрафенилстибония с выходом до 84%.



Соединения I и III выделены из реакционной смеси в виде кристаллогидратов  $\text{Ph}_4\text{SbOSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_{15}\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Ph}_4\text{SbOSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_7\text{-1} \cdot \text{H}_2\text{O}$ , комплекс II – в виде сольвата с бензолом  $\text{Ph}_4\text{SbOSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_4(\text{OH-1})(\text{NO}_2)_2\text{-2,4} \cdot \text{PhH}$ . Соединения I, III и IV – бесцветные кристаллические вещества, II – кристаллы желтого цвета, все устойчивые к действию влаги и кислорода воздуха. По данным PCA, атомы сурьмы в соединениях I–III (рис. 1–3) имеют координацию искаженной тригональной бипирамиды с аксиально расположенным атомом кислорода сульфонатной группы. Сумма углов CSbC в экваториальной плоскости составляет  $351.63^\circ$ ,  $350.1^\circ$  и  $347.5^\circ$  соответственно, атом сурьмы выходит из экваториальной плоскости в сторону аксиально расположенного атома углерода на  $0.355 \text{ \AA}$  (I),  $0.386 \text{ \AA}$  (II) и  $0.435 \text{ \AA}$  (III). Наибольшее отклонение аксиального угла CSbO от теоретического значения наблюдается для структуры III ( $172.52(8)^\circ$ ), в I и II этот угол менее искажен –  $176.09(9)^\circ$  и  $175.23(8)^\circ$ . Экваториальные связи Sb–C в I–III изменяются в узком интервале значений –  $2.098(3)$ – $2.109(3)$ ,  $2.096(2)$ – $2.103(2)$  и  $2.093(2)$ – $2.121(2) \text{ \AA}$ , что близко к сумме ковалентных радиусов атомов сурьмы

и углерода ( $2.12 \text{ \AA}$ ) [20]; аксиальные связи в I и II совпадают ( $2.130(3)$  и  $2.133(2) \text{ \AA}$ ) и превосходят экваториальные связи, в III аксиальная связь равна  $2.117(2) \text{ \AA}$ , и это значение попадает в интервал изменения экваториальных связей. Расстояния Sb–O ( $2.565(2)$  (I),  $2.643(3)$  (II),  $2.842(3) \text{ \AA}$  (III)) при переходе от I к III возрастают и превышают сумму ковалентных радиусов атомов сурьмы и кислорода –  $2.05 \text{ \AA}$  [20], что свидетельствует о координационном характере этой связи. Необходимо отметить, что в 1-нафталинсульфонате тетрафенилстибония (III) расстояния Sb(1)–O(1) на  $0.198 \text{ \AA}$  больше, чем в структурно охарактеризованном 2-нафталинсульфонате тетрафенилстибония ( $2.644(2) \text{ \AA}$ ) [15]. Длины связи S–O атомов кислорода, координационно связанных с атомами сурьмы, уменьшаются при переходе от I к III ( $1.471(2)$  (I),  $1.4662(17)$  (II),  $1.4577(16) \text{ \AA}$  (III)) и превышают на  $0.026(2)$  (I),  $0.0246(17)$  (II) и  $0.0135(16) \text{ \AA}$  (III) среднюю длину других связей S–O в сульфогруппах. Таким образом, в структуре III наблюдается наибольшее искажение тригонально-бипирамидальной координации и тенденция к переходу фрагмента  $\text{Ph}_4\text{Sb}$  к тетраэдрической структуре.

Кристалл соединения IV (рис. 4) состоит из изолированных тетраэдрических тетрафенилстибониевых катионов (углы CSbC изменяются в интервале  $106.77(7)^\circ$ – $112.80(6)^\circ$ ; длины связей Sb–C  $2.0811(17)$ – $2.1081(17) \text{ \AA}$ ) и (2-карбокситетрафенил)бензолсульфонатных анионов, в которых сульфонатная и карбоксилатная группы образуют семичленный гетероцикл посредством внутримолекулярной водородной связи  $\text{H}(5\text{A}) \cdots \text{O}(3) 1.75 \text{ \AA}$ , что значительно меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов

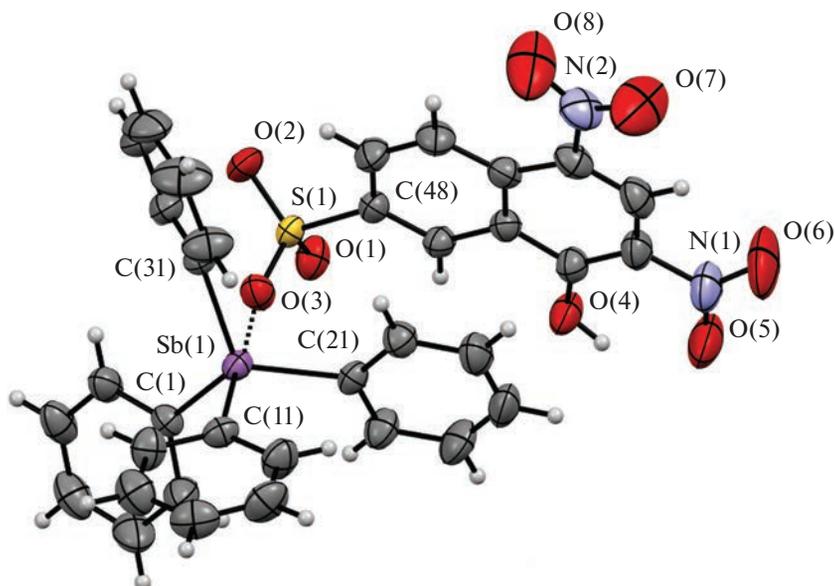


Рис. 2. Общий вид соединения II (молекула сольватного бензола не показана).

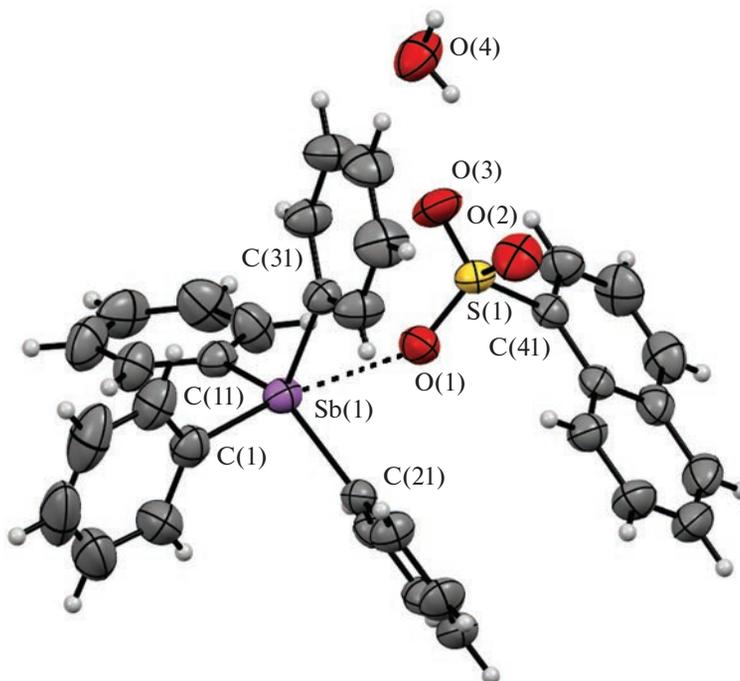


Рис. 3. Общий вид соединения III.

атомов водорода и кислорода ( $2.62 \text{ \AA}$ ) [21]. Образование прочной водородной связи приводит к удлинению связи  $S(1)–O(3)$  ( $1.4707(15) \text{ \AA}$ ), которая оказывается на  $0.0277 \text{ \AA}$  длиннее среднего значения ( $1.4430(14) \text{ \AA}$ ) длин связей  $S(1)–O(1, 2)$ . Отметим, что в известном (2-карбокситетрафенилфосфония)бензолсульфонате подобная водородная связь имеет близкое значение  $1.70 \text{ \AA}$  [22].

Соединения I и III с молекулами гидратной воды образуют centrosymmetric macrocycles;

расстояния  $S=O \cdots H–O–H \cdots O=S$  составляют  $2.06, 2.21 \text{ \AA}$  в I и  $2.02, 2.05 \text{ \AA}$  в III. Однако, если в I такой цикл образуется с участием только атомов O(2) сульфонатных лигандов двух молекул и является восьмичленным (рис. 5), то в III двенадцатичленный цикл формируют атомы O(2) и O(3) обеих сульфогрупп (рис. 6).

В ИК-спектрах соединений I–IV наблюдаются интенсивные полосы поглощения в области  $463–446 \text{ см}^{-1}$ , характеризующей валентные колебания

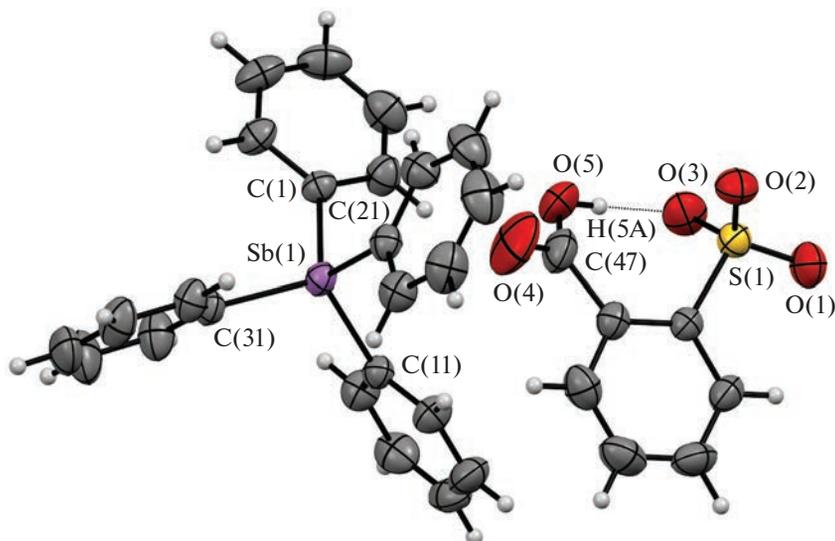


Рис. 4. Общий вид соединения IV.

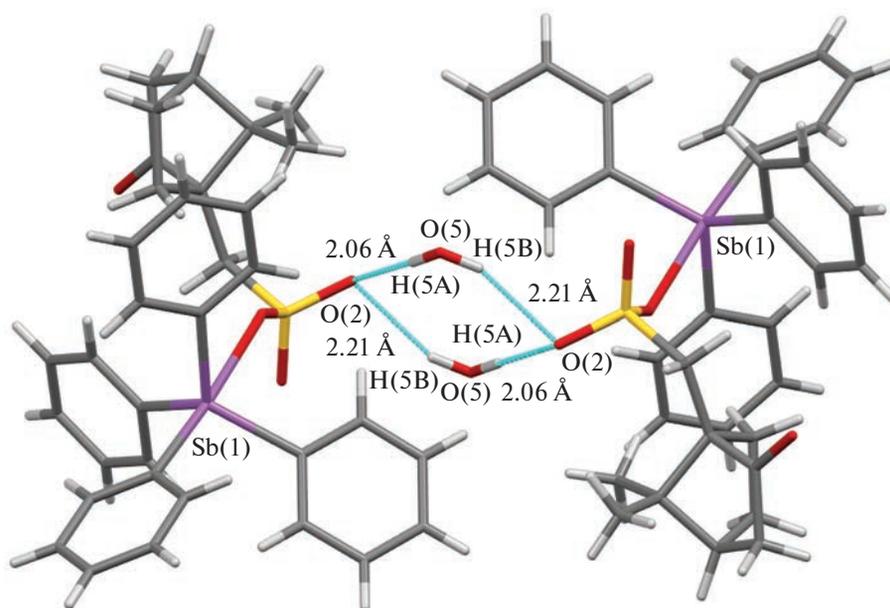


Рис. 5. Восьмичленный цикл в I.

связей Sb–C. Полосы поглощения в области 1437–1435  $\text{cm}^{-1}$  относят к  $\nu_{as}(\text{SO}_2)$ , а 1180–1146  $\text{cm}^{-1}$  – к  $\nu_s(\text{SO}_2)$ . Сильные полосы поглощения при 1734  $\text{cm}^{-1}$  в I и 1719  $\text{cm}^{-1}$  в IV характеризуют валентные колебания карбонильных групп. Гидратные молекулы воды в I и III проявляются в спектрах полосами при 3568, 3491  $\text{cm}^{-1}$  для I и 3559, 3489  $\text{cm}^{-1}$  для III. В ИК-спектре соединения II присутствуют две интенсивные полосы поглощения  $\nu_{as}(\text{NO}_2)$  1581  $\text{cm}^{-1}$  и  $\nu_s(\text{NO}_2)$  1314  $\text{cm}^{-1}$  [23], что свидетельствует о наличии в нем нитрогрупп.

Таким образом, взаимодействием пентафенилсурьмы с сульфоновыми кислотами получены новые сульфонаты тетрафенилстибония

$\text{Ph}_4\text{SbOSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_{15}\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$  (I),  $\text{Ph}_4\text{SbOSO}_2\text{C}_{10}\text{H}_4(\text{OH}-1)(\text{NO}_2)_{2-2,4} \cdot \text{Ph}_4\text{SbOSO}_2(\text{C}_{10}\text{H}_7-1) \cdot \text{H}_2\text{O}$  (III) и  $\text{Ph}_4\text{SbOSO}_2\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH}-2)$  (IV). В молекулах I–III атомы сурьмы пентакоординированы за счет взаимодействия  $\text{Sb} \cdots \text{O}$ , кристалл IV содержит изолированные тетрафенилстибониевые катионы и (2-карбоксо)бензолсульфонатные анионы с внутримолекулярной водородной связью между функциональными группами. Молекулы воды в I и III образуют с участием атомов кислорода сульфонатных групп восьми- или двенадцатичленные макроциклы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

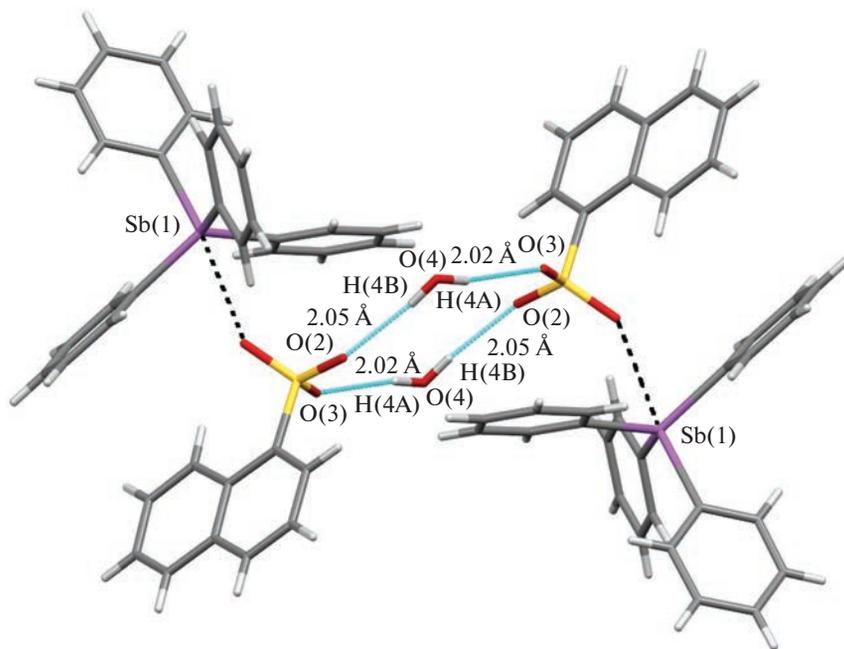


Рис. 6. Двенадцатичленный цикл в III.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2020. Т. 46. № 10. С. 579 (Sharutin V.V., Poddel'sky A.I., Sharutina O.K. // Russ. J. Coord. Chem. 2020. V. 46. № 10. P. 663). <https://doi.org/10.1134/S1070328420100012>
2. Mishra J., Saxena A. Singh S. // Curr. Med. Chem. 2007. V. 14. P. 1153. <https://doi.org/10.2174/092986707780362862>
3. Mushtaq R., Rauf M.K., Bond M. et al. // Appl. Organomet. Chem. 2016. V. 30. P. 465. <https://doi.org/10.1002/aoc.3456>
4. Saleem L., Altaf A.A., Badshah A. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2018. V. 474. P. 148. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2018.01.036>
5. Oliveira L.G., Silva M.M., Paula F.C.S. et al. // Molecules. 2011. V. 16. P. 10314. <https://doi.org/10.3390/molecules161210314>
6. Islam A., Da Silva J.G., Berbet F.M. et al. // Molecules. 2014. V. 19. P. 6009. <https://doi.org/10.3390/molecules19056009>
7. Mushtaq R., Rauf M.K., Bolte M. et al. // Appl. Organomet. Chem. 2017. V. 31. e3606. <https://doi.org/10.1002/aoc.3606>
8. Yu L., Ma Y.-Q., Liu R.-C. et al. // Polyhedron. 2004. V. 23. P. 823. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2003.12.002>
9. Wang F., Yin H., Yue C. et al. // J. Organomet. Chem. 2013. V. 738. P. 35. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2013.03.046>
10. Islam A., Rodrigues B.L., Marzano I.M. et al. // Eur. J. Med. Chem. 2016. V. 109. P. 254. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2016.01.003>
11. Iftikhar T., Rauf M.K., Sarwar S. et al. // J. Organomet. Chem. 2017. V. 851. P. 89. <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2017.09.002>
12. Jiang J., Yin H., Wang D. et al. // Dalton Trans. 2013. V. 42. P. 8563. <https://doi.org/10.1039/c3dt50221j>
13. Yu L., Ma Y.-Q., Wang G.-C., Li J.-S. // Heteroat. Chem. 2004. V. 15. P. 32. <https://doi.org/10.1002/hc.10208>
14. Polychronis N.M., Banti C.N., Raptopoulou C.P. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2019. V. 489. P. 39. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2019.02.004>
15. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакузина А.П. и др. // Коорд. химия. 2004. Т. 30. № 1. С. 15 (Sharutin V.V., Sharutina O.K., Pakusina A.P. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2004. V. 30. № 1. P. 13). <https://doi.org/10.1023/B:RUCO.0000011636.28262.d3>
16. Кочешков К.А., Сколдинов А.П., Землянский Н.Н. Методы элементоорганической химии. Сурьма, висмут. М.: Наука, 1976. 485 с.
17. SMART and SAINT-Plus. Version 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1998.
18. SHELXTL/PC. Version 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1998.
19. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al. // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339. <https://doi.org/10.1107/S0021889808042726>
20. Cordero B., Gómez V., Platero-Prats A.E. et al. // Dalton Trans. 2008. V. 21. P. 2832. <https://doi.org/10.1039/B801115J>
21. Mantina M., Chamberlin A.C., Valero R. et al. // J. Phys. Chem. A. 2009. V. 113. № 19. P. 5806. <https://doi.org/10.1021/jp8111556>
22. Ferrer E.G., Williams P.A.M., Castellano E.E., Piro O.E. // Z. Anorg. Allg. Chem. 2002. V. 628. P. 1979. [https://doi.org/10.1002/1521-3749\(200209\)628:9/10<1979::AID-ZAAC1979>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/1521-3749(200209)628:9/10<1979::AID-ZAAC1979>3.0.CO;2-V)
23. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффельтер К. Определение строения органических соединений. М.: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 438 с.