ёНаучная статья
УДК 546.865+547.53.024+548.312.5
DOI: 10.14529/chem240207

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КАРБОКСИЛАТОВ ТЕТРААРИЛСУРЬМЫ

В.В. Шарутин✉
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия
✉*sharutin50@mail.ru*

Аннотация. Из ферроцендикарбоновой кислоты, сульфосалициловой кислоты и пентаарилсурьмы Ar_5Sb (Ar = Ph, *p*-Tol) в бензоле получены сполна замещенные сурьмаорганические производные ферроцендикарбоновой и сульфосалициловой кислот **1**–**3**, строение которых после перекристаллизации из смеси бензол-октан доказано методом рентгеноструктурного анализа. Строение **1–3** установлено методом РСА. Кристаллы **1** [$C_{68}H_{64}FeO_4Sb_2$, *M* 1244,54; сингония моноклинная, группа симметрии $C2_1/c$; параметры ячейки: *a* = 16,9983(2), *b* = 10,94570(10), *c* = 30,3224(3) Å; β = 99,8220(10)°; *V* = 5559,04(10) Å^3; *Z* = 4; $\rho_{выч}$ = 1,487 г/см^3; 2θ 5,28–138,76 град.; всего отражений 32707; независимых отражений 10281; число уточняемых параметров 684; R_{int} = 0,0496; *GOOF* 1,062; R_1 = 0,0345, wR_2 = 0,0853; остаточная электронная плотность (max/min); 0,76/–0,90 e/Å^3], **2** [$C_{60}H_{48}FeO_4Sb_2$, *M* 1132,33; сингония моноклинная, группа симметрии $P2_1/n$; параметры ячейки: *a* = 12,40720(10), *b* = 10,30830(10), *c* = 36,7290(4) Å; β = 94,1110(10) град., *V* = 4685,45(8) Å^3, Z = 4; $\rho_{выч}$ = 1,605 г/см^3; 2θ 4,82–138,56 град.; всего отражений 27748; независимых отражений 8680; число уточняемых параметров 604; R_{int} = 0,0367; *GOOF* 1,033; R_1 = 0,0277, wR_2 = 0,0709; остаточная электронная плотность (max/min); 0,86/–0,81 e/Å^3], **3** [$C_{63}H_{62}O_7SSb_2$, *M* 1206,78; сингония моноклинная, группа симметрии $P2_1/c$; параметры ячейки: *a* = 20,9246(3), *b* = 13,5375(2), *c* = 21,4222(3) Å; β = 111,284(2) град., *V* = 5654,30(16) Å^3, Z = 4; $\rho_{выч}$ = 1,4175 г/см^3; 2θ 4,54–160 град.; всего отражений 48463; независимых отражений 11892; число уточняемых параметров 699; R_{int} = 0,0443; *GOOF* 1,024; R_1 = 0,0327, wR_2 = 0,0907; остаточная электронная плотность (max/min); 0,93/–0,85 e/Å^3]. Атомы сурьмы в молекулах **1**, **2** имеют с учетом координации карбонильных атомов кислорода на атом металла искаженную октаэдрическую конфигурацию. В структуре **3** присутствуют тетраэдрические тетраарилстибониевые катионы, атомы сурьмы в которых координированы с атомами кислорода сульфогрупп (Sb···O(5)=S 2,601 Å), причем этот же атом кислорода координирован с *орто*-атомом водорода одной из толильных групп (H(46)···O(5)=S 2,60 Å). Молекулы воды структурируют кристалл **3** (H(7)···O(4)=S 1,98 Å, H(7)···O(5)=S 2,6 Å). (CCDC 2320709 для **1**, 2320711 для **2**, 2320717 для **3**, deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc. cam.ac.uk).

Ключевые слова: особенности строения, арильные сурьмаорганические производные ферроцендикарбоновой и сульфосалициловой кислот, рентгеноструктурный анализ

Для цитирования: Шарутин В.В. Особенности строения полифункциональных карбоксилатов тетраарилсурьмы // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 2. С. 68–76. DOI: 10.14529/chem240207

Original article
DOI: 10.14529/chem240207

STRUCTURAL FEATURES OF POLYFUNCTIONAL TETRAARYLANTIMONY CARBOXYLATES

V.V. Sharutin✉
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia
✉*sharutin50@mail.ru*

Abstract. From ferrocenedicarboxylic acid, sulfosalicylic acid and pentaarylantimony Ar_5Sb (Ar = Ph, *p*-Tol) in benzene, fully substituted organoantimony derivatives of ferrocenedicarboxylic and

© Шарутин В.В., 2024.

sulfosalicylic acids **1**–**3** were obtained, the structure of which after recrystallization from a benzene-octane mixture was proven by X-ray diffraction analysis. Structures **1**–**3** were established by X-ray diffraction. Crystals **1** [$C_{68}H_{64}FeO_4Sb^2$, M 1244.54; monoclinic syngony, symmetry group $C2_1/c$; cell parameters: a = 16.9983(2), b = 10.94570(10), c = 30.3224(3) Å; β = 99.8220(10)°; V = 5559.04(10) Å^3; Z = 4; ρ_{calc} = 1.487 g/cm^3; 2θ 5.28–138.76 degrees; total reflections 32707; independent reflections 10281; number of specified parameters 684; R_{int} = 0.0496; *GOOF* 1.062; R_1 = 0.0345, wR_2 = 0.0853; residual electron density (max/min) 0.76/–0.90 e/Å^3], **2** [$C_{60}H_{48}FeO_4Sb_2$, M 1132.33; monoclinic syngony, symmetry group $P2_1/n$; cell parameters: a = 12.40720(10), b = 10.30830(10), c = 36.7290(4) Å; β = 94.1110(10) deg., V = 4685.45(8) Å^3, Z = 4; ρ_{calc} = 1.605 g/cm^3; 2θ 4.82–138.56 degrees; total reflections 27748; independent reflections 8680; number of specified parameters 604; R_{int} = 0.0367; *GOOF* 1.033; R_1 = 0.0277, wR_2 = 0.0709; residual electron density (max/min) 0.86/–0.81 e/Å^3], **3** [$C_{63}H_{62}O_7SSb_2$, M 1206.78; monoclinic syngony, symmetry group $P2_1/c$; cell parameters: a = 20.9246(3), b = 13.5375(2), c = 21.4222(3) Å; β = 111.284(2) deg., V = 5654.30(16) Å^3, Z = 4; ρ_{calc} = 1.4175 g/cm^3; 2θ 4.54–160 degrees; total reflections 48463; independent reflections 11892; number of specified parameters 699; R_{int} = 0.0443; *GOOF* 1.024; R_1 = 0.0327, wR_2 = 0.0907; residual electron density (max/min) 0.93/–0.85 e/Å^3]. The antimony atoms in molecules **1**, **2** have a distorted octahedral configuration, taking into account the coordination of the carbonyl oxygen atoms to the metal atom. Structure **3** contains tetrahedral tetraaryl stibonium cations, the antimony atoms in which are coordinated with the oxygen atoms of sulfo groups (Sb···O(5)=S 2.601 Å), and the same oxygen atom is coordinated with the ortho-hydrogen atom of one of the tolyl groups (H(46)···O(5)=S 2.60 Å). Water molecules provide a structure to crystal **3** (H(7)···O(4)=S 1.98 Å, H(7)···O(5)=S 2.60 Å). (CCDC 2320709 for **1**, 2320711 for **2**, 2320717 for **3**; deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk).

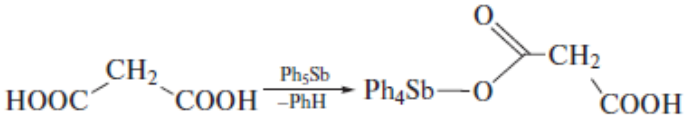
Keywords: structural features, aryl organoantimony derivatives of ferrocenedicarboxylic and sulfosalicylic acids, X-ray diffraction analysis

For citation: Sharutin V.V. Structural features of polyfunctional tetraarylantimony carboxylates. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem*. 2024;16(2):68–76. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem240207

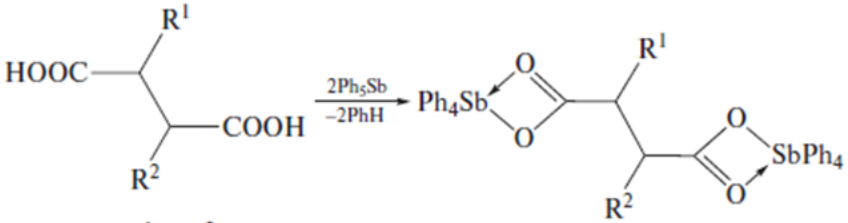
Введение

Интерес к синтезу новых соединений сурьмы во многом определяется расширяющимся потенциалом различных областей применения в практической деятельности: в фармацевтической промышленности, в качестве биоцидов, фунгицидов, антиоксидантов, реагентов в тонком органическом синтезе, а также компонентов каталитических систем при полимеризации [1].

В основе эффективного получения производных сурьмы общей формулы $Ar_4SbOC(O)R$ лежат реакции пентаарилсурьмы с соединениями, содержащими подвижный атом водорода. В этом случае синтез целевого продукта происходит в одну стадию, а его выделение не является трудоемким. Так, взаимодействием эквимолярных количеств пентафенилсурьмы и малоновой кислоты в толуоле получен кислый малонат тетрафенилсурьмы [2]:



В то же время реакции двухосновных карбоновых кислот (янтарной, яблочной и винной) с двумя молями пентафенилсурьмы (толуол, 48 ч) приводят к образованию биядерных производных сурьмы с выходом до 98 % [3]:

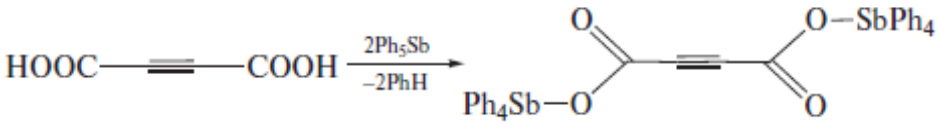


$R^1 = R^2 = H$

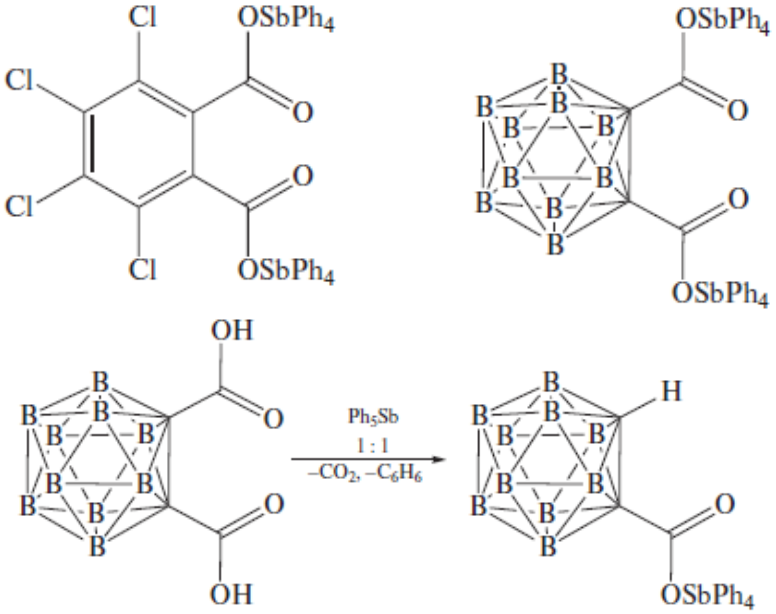
$R^1 = H, R^2 = OH$

$R^1 = R^2 = OH$

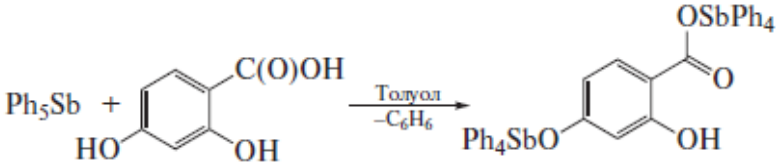
Продуктом реакции ацетилендикарбоновой кислоты с пентафенилсурьмой (толуол, 24 ч, 23 °С, мольное соотношение 1:2) является ацетилендикарбоксилат *бис*(тетрафенилсурьмы) [4]:



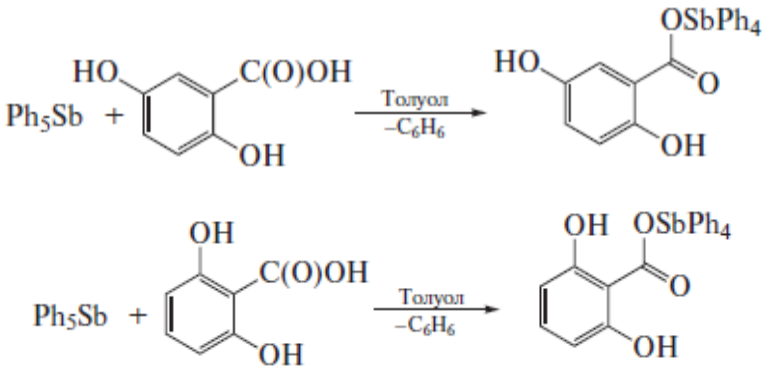
Особенность взаимодействия пентафенилсурьмы с тетрахлорфталевой кислотой заключается в том, что даже при соотношении реагентов 1:1 продуктом реакции является биядерное соединение [5]. Если продуктом реакции пентафенилсурьмы с карборандикарбоновой кислотой при мольном соотношении исходных реагентов 2:1 (толуол, 24 °С, 18 ч) является биядерное производное сурьмы (94 %), то взаимодействие эквимолярных количеств протекает с элиминированием углекислого газа и образованием монокарбоксилата тетрафенилсурьмы [6]:



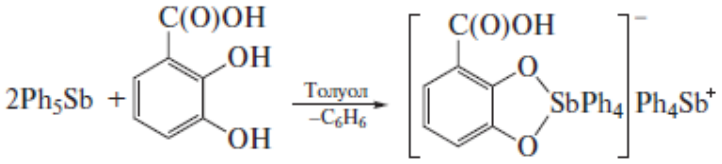
Отметим, что взаимодействие эквимолярных количеств ацетилендикарбоновой кислоты и пентафенилсурьмы также сопровождалось элиминированием углекислого газа, при этом имело место образование пропиолата тетрафенилсурьмы, который синтезировали также из пентафенилсурьмы и пропиоловой кислоты [7]. В то же время *мета*-карборандикарбоновая кислота реагирует в растворе бензола с пентафенилсурьмой независимо от соотношения исходных реагентов с образованием только биядерного дикарбоксилата [8]. Показано, что взаимодействие пентафенилсурьмы с 2,4-дигидроксибензойной кислотой независимо от соотношения реагентов протекает с участием карбоксильной и *пара*-гидроксильной групп и приводит к образованию 2-гидрокси-4-тетрафенилстибоксибензоата тетрафенилсурьмы(V), в молекуле которого тригонально-бипирамидальная координация двух атомов сурьмы искажена в разной степени [9]:



Установлено, что в реакции пентафенилсурьмы с 2,5- и 2,6-дигидроксибензойными кислотами участвуют только карбоксильные группы, продуктами являются 2,5-дигидроксибензоат тетрафенилсурьмы и 2,6-дигидроксибензоат тетрафенилсурьмы соответственно [10]:

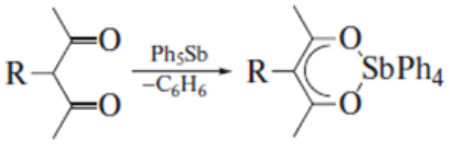


2,3-Дигидроксибензойная кислота при взаимодействии с пентафенилсурьмой проявляет свойства дигидроксибензола, при этом карбоксильная группа остается инертной даже при нагревании реакционной смеси, содержащей избыток пентафенилсурьмы. Единственным продуктом реакции является ионный комплекс 2-карбоксикатехолатотетрафенилстиботат(V) тетрафенилстибония, в анионе которого присутствует пятичленный металлоцикл:



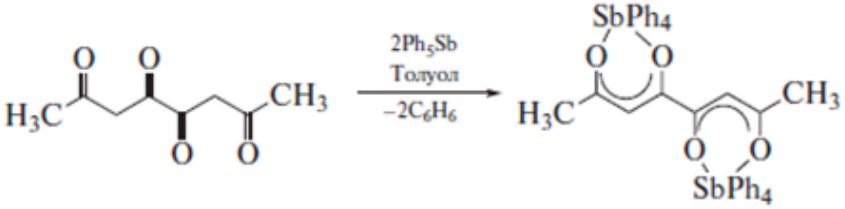
Ацетат тетрафенилсурьмы может реагировать с избыточным количеством уксусной кислоты с образованием аддукта $Ph_4SbOC(O)CH_3 \cdot CH_3C(O)OH$ [11].

Первые γ-алкилацетилацетонаты тетрафенилсурьмы, в которых атомы сурьмы имеют октаэдрическую координацию с бидентатным ацетилацетонатным лигандом, получили взаимодействием пентафенилсурьмы с *γ*-этилацетилацетоном, *γ*-аллилацетилацетоном, *γ*-фенилацетилацетоном и *γ*-тиобутилацетилацетоном (толуол, 90 °C, 10 ч) [12, 13]. В гетероциклах SbO_2C_3 длины связей Sb−O близки к сумме ковалентных радиусов атомов сурьмы и кислорода:



R = Et , All, Ph , BuS

Взаимодействием пентафенилсурьмы с октантетраоном-2,4,5,7 (мольное соотношение 2:1) в толуоле синтезирован биядерный комплекс $Ph_4Sb[OC(Me)CHC(O)–(O)CCH(Me)CO]SbPh_4$ [14]:



Найдено, что пентаарилсурьма и ферроцендикарбоновая кислота в растворе толуола (24 °C, 24 ч) реагируют с образованием биядерных производных сурьмы, строение одного из них (толильного производного) ранее было доказано методом рентгеноструктурного анализа [15].

Известно, что пентаарилсурьма реагирует с алкил- или арилсульфоновыми кислотами с образованием соединений общей формулы Ar_4SbOSO_2R [16–22], однако только в случае сульфосалициловой кислоты, содержащей в своем составе гидрокси-, карбокси- и сульфогруппу, имело место замещение кислых атомов водорода вначале в сульфогруппе, а затем и в карбоксильном заместителе [16].

В настоящей работе описаны синтез и строение ферроценилдикарбоксилатов тетраарилсурьмы (**1**, Ar = Ph и **2**, Ar = *p*-Tol), причем структура толильного производного уточнена с большей точностью, и сульфосалицилата тетра(*napa*-толил)сурьмы (**3**), описанного в работе [23], строение которого установлено впервые.

Экспериментальная часть

Соединения **1** ($t_{разл}$ = 226 °C) и **2** ($t_{пл}$ = 185 °C) синтезировали по методике, описанной в [15], из пентаарилсурьмы и ферроцендикарбоновой кислоты. Комплекс **3** ($t_{пл}$ = 156 °C) получали из пента(*napa*-толил)сурьмы и сульфосалициловой кислоты по методике, описанной в [23].

ИК-спектры соединений записывали на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S; образец готовили таблетированием с KBr (область поглощения 4000–400 см$^{-1}$).

Температуры разложения и плавления измерены на синхронном термоанализаторе Netzsch 449C Jupiter. Элементный анализ проводился на анализаторе Euro EA3028-HT.

Рентгеноструктурный анализ проводили при 100(2) K на дифрактометре Rigaku XtaLAB Synergy-S (детектор типа HyPix-6000HE) с использованием Cu Kα (λ = 1,54184 Å) излучения (графитовый монохроматор). Структуры были решены с помощью программы решения структуры ShelXT [24] с использованием внутренней фазировки и уточнены с помощью пакета уточнений ShelXL [25], включенного в пакет программ OLEX2 [26], с использованием минимизации методом наименьших квадратов. Эмпирическая коррекция поглощения применялась в программном комплексе CrysAlisPro [27] с использованием сферических гармоник, реализованных в алгоритме масштабирования SCALE3 ABSPACK. Положения атомов водорода были зафиксированы геометрически на рассчитанных расстояниях и позволяли им перемещаться на родительских атомах. Кристаллографические данные и результаты уточнения структур приведены в таблице.

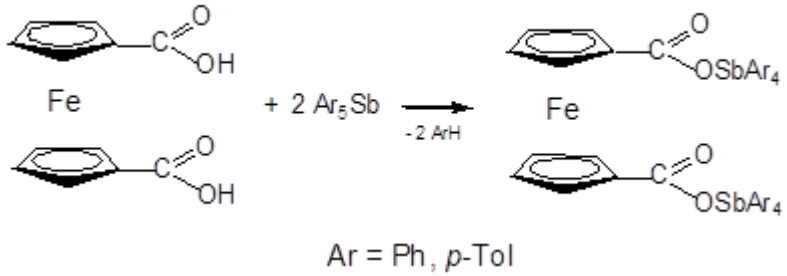
Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур 1–3

Параметр	**1**	**2**	**3**
Формула	$C_{68}H_{64}FeO_4Sb_2$	$C_{60}H_{48}FeO_4Sb_2$	$C_{63}H_{62}O_7SSb_2$
M	1244,54	1132,33	1206,78
Сингония	Моноклинная	Моноклинная	Моноклинная
Пр. группа	$P2_1/c$	$P2_1/n$	$P2_1/c$
a, Å	16,9983(2)	12,40720(10)	20,9246(3)
b, Å	10,94570(10)	10,30830(10)	13,5375(2)
c, Å	30,32204(3)	36,7290(4)	21,4222(3)
α, град.	90,00	90,00	90,00
β, град.	99,8220(10)	94,1110(10)	111,284(2)
γ, град.	90,00	90,00	90,00
V, Å^3	5559,04(10)	4685,45(8)	5654,30(16)
Z	4	4	4
ρ(выч.), г/см^3	1,487	1,605	1,4175
μ, мм$^{-1}$	10,100	11,925	8,335
F(000)	2528,0	2272,0	2463,8
Размер кристалла (мм)	0,1 × 0,16 × 0,18	0,11 × 0,15 × 0,19	0,09 × 0,13 × 0,17
Область сбора данных по 2θ, град.	5,28–138,76	4,82–138,56	4,54–160
Интервалы индексов отражений	$-20 \le h \le 20$, $-13 \le k \le 13$, $-36 \le l \le 36$	$-14 \le h \le 9$, $-12 \le k \le 12$, $-44 \le l \le 44$	$-25 \le h \le 26$, $-17 \le k \le 17$, $-27 \le l \le 21$
Измерено отражений	32707	27748	48463
Независимых отражений	10281	8680	11892
Переменных уточнения	684	604	699
GOOF	1,062	1,033	1,024
R-факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	R_1 = 0,0345, wR_2 = 0,0853	R_1 = 0,0277, wR_2 = 0,0709	R_1 = 0,0327, wR_2 = 0,0907
R-факторы по всем отражениям	R_1 = 0,0400, wR_2 = 0,0881	R_1 = 0,0317, wR_2 = 0,0728	R_1 = 0,0361, wR_2 = 0,0935
Остаточная электронная плотность (min/max), *e*/Å^3	0,76/–0,90	0,86/–0,81	0,93/–0,85

Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов соединения **1**, **2**, **3** депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC 2320709 для **1**, 2320711 для **2**, 2320717 для **3**; deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk).

Обсуждение результатов

Сурьмаорганические производные ферроцена $Fc[OC(O)SbTol_4]_2$ (**1**) и $Fc[OC(O)SbPh_4]_2$ (**2**) были получены деарилированием пентаарилсурьмы в бензоле при 80 °C в течение 1 ч:



Ход реакции контролировали методом ТСХ. После перекристаллизации целевых продуктов из смеси бензол-октан получили светло-коричневые кристаллы, которые анализировали при помощи элементного анализа, ИК-спектроскопии и методом рентгеноструктурного анализа.

По аналогичной схеме синтезировали гидрат сульфосалицилата тетра(*napa*-толил)сурьмы $(4\text{-}MeC_6H_4)_4Sb[OSO_2C_6H_3(OH\text{-}1)(COOH\text{-}2)]_2$ (**3**):

$$2(4\text{-}MeC_6H_4)_5Sb + HOSO_2C_6H_3(OH\text{-}1)(COOH\text{-}2)]\cdot 2H_2O \rightarrow$$
$$\rightarrow [(4\text{-}MeC_6H_4)_4Sb][OSO_2C_6H_3(OH\text{-}1)[C(O)OSb(C_6H_4Me\text{-}4)_4)]\cdot H_2O$$

Полученные соединения растворимы в большинстве органических растворителей и имеют высокие температуры разложения/плавления.

Строение соединений **1** и **2** доказано методом РСА, причем структура первого (рис. 1) уточнена с большей точностью, чем в работе [15]. Найдено, что в соединениях **1** и **2** (рис. 2) наблюдается заметное искажение тригонально-бипирамидальной конфигурации молекул, как и в ряду ацилокситетраарильных соединений сурьмы общей формулы $Ar_4SbOC(O)R$ [1], причем наибольшие отклонения величин аксиальных углов CSbO наблюдаются в **1** (166,92(10) и 170,91(10)°) против 170,18(9) и 176,48(8)° в **2.**

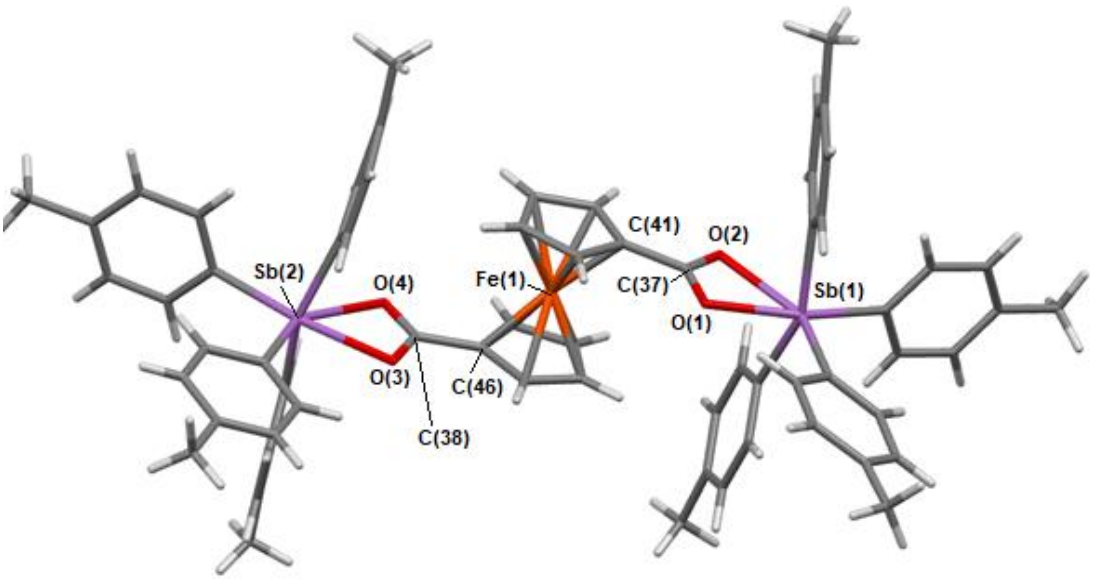


Рис. 1. Строение комплекса $Fc[C(O)OSb(Tol\text{-}p)_4)]_2$ (1)

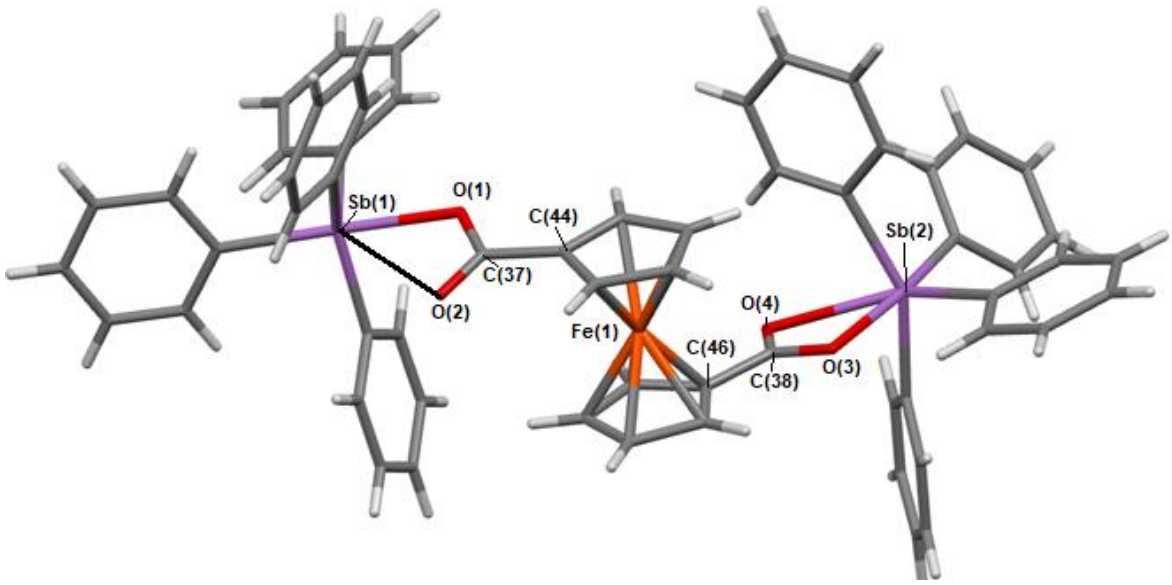


Рис. 2. Строение комплекса $Fc[C(O)OSbPh_4)]_2$ (2)

Длины связей Sb–C в **1** находятся в интервале 2,131(3)–2,173(3) Å, что сравнимо с наблюдаемыми в **2** (2,130(3)–2,182(3) Å), приближающимися по своему значению к сумме ковалентных радиусов атомов-партнеров (2,12 Å [28]). Прочность связей Sb–O в карбоксильных лигандах (2,290(3) Å в **1** и 2,241(3), 2,257(3) Å в **2**) выше, чем связей Sb···O=C (2,437(3), 2,478(3) Å в **1** и 2,571(3), 2,929(3) Å в **2**), что значительно меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов-партнеров (3,70 Å) и больше суммы ковалентных радиусов атомов Sb и O (2,07 Å [28]). Взаимодействие атомов Sb···O=C в полученных карбоксилатах тетраарилсурьмы подтверждается увеличением экваториальных углов со стороны контакта до 154,25(2), 155,05(2)º в **1** и 138,49(2), 151,50(2)° в **2**, при этом два других угла уменьшаются (100,28(2), 101,44(2)º в **1** и 102,09(2), 111,63(2)° в **2**) по сравнению с идеальным значением 120°. Таким образом, внутримолекулярные контакты в **1** и **2** приводят к существенным искажениям в координационной сфере атомов сурьмы, и можно поэтому констатировать в них октаэдрическое окружение атомов металла, которое проявляется в большей степени для молекул **1**, очевидно, из-за присутствия донорных метильных групп в ароматических заместителях при атомах сурьмы. Действительно, в этих случаях карбоксилатные лиганды являются в полном смысле хелатирующими и координируются на атом сурьмы двумя атомами кислорода. Так, в молекулах ферроценилдикарбоксилатах тетраарилсурьмы отношение *d*(Sb···O=C)/*d*(Sb–O) близко к 1 (1,06 для **1** и 1,20 для **2**). Вследствие этого координация атома сурьмы в них становится искаженной октаэдрической. Бидентатный характер карбоксилатных лигандов в **1** и **2** усиливает делокализация подвижной электронной плотности ферроценового фрагмента по карбоксильным группам. Донорные свойства ферроценильного заместителя (Fc) были ранее отмечены на примере диферроценилтитаноцена, когда прочность σ-связи Ti–C усиливалась донорно-акцепторным взаимодействием Fc→Ti [29, 30].

О синтезе сульфосалицилата тетрафенилсурьмы и его сольвата со спиртом ранее сообщалось в [23], а об особенностях строения последнего – в работе [31]. В частности, было показано, что в его кристалле взаимодействий молекул спирта и производного сурьмы практически не наблюдалось. Поэтому было интересно исследовать строение гидрата сульфосалицилата тетра(*napa*-толил)сурьмы (**3**), несколько отличающегося от аналогичного фенильного производного (рис. 3).

Показано, что кристалл **3** содержит катионы тетра(*napa*-толил)стибония, атомы сурьмы в которых координированы с атомами кислорода сульфогрупп (Sb···O(5)=S 2,601 Å) молекулярной формы соединения, причем гидроксильная группа остатка сульфосалициловой кислоты O(2)H(3) участвует в образовании шестичленного цикла O(2)C(87)C(81)C(86)O(3)H(3) (H(3)···O(2)=C 1,80 Å). Молекулы воды структурируют кристалл **3** (H(7)···O(4)=S 1,98 Å, H(7)···O(5)=S 2,6 Å).

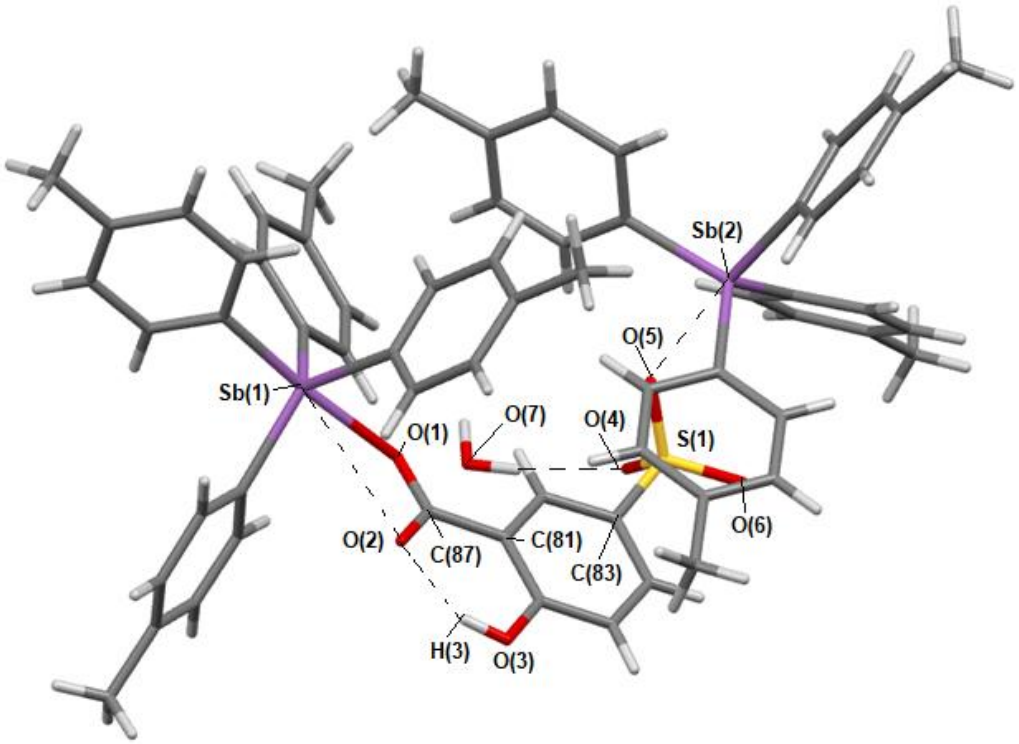


Рис. 3. Строение комплекса $[(4\text{-}MeC_6H_4)_4Sb][OSO_2C_6H_3(OH\text{-}1)[C(O)OSb(4\text{-}MeC_6H_4)_4)]\cdot H_2O$ (3)

Заключение

Таким образом, из ферроцендикарбоновой кислоты, сульфосалициловой кислот и пентаарилсурьмы (бензол, 1 ч, 80 °C) получены сполна замещенные сурьмаорганические производные ферроцендикарбоновой и сульфосалициловой кислот **1**–**3**, строение которых доказано методом рентгеноструктурного анализа. Атомы сурьмы в молекулах **1**, **2** имеют в первом приближении искаженную тригонально-бипирамидальной конфигурацию с атомами кислорода в аксиальных положениях, однако с учетом координации карбонильных атомов кислорода на атом металла (Sb···O=C 2,437–2,829 Å) его координационное число возрастает до шести. В структуре **3** присутствуют тетраэдрические тетраарилстибониевые катионы, атомы сурьмы в которых координированы с атомами кислорода сульфогрупп (Sb···O(5)=S 2,601 Å) молекулярной формы соединения, причем этот же атом кислорода координирован с *орто*-атомом водорода одной из толильных групп (H(46)···O(5)=S 2,60 Å). Молекулы воды структурируют кристалл **3** (H(7)···O(4)=S 1,98 Å, H(7)···O(5)=S 2,6 Å).

Список источников

1. *Шарутин В.В., Поддельский А.И., Шарутина О.К.* // Коорд. химия. 2020. Т. 46, № 10. С. 579. DOI: 10.31857/S0132344X20100011.

2. *Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2014. V. 59. P. 115. DOI: 10.1134/S003602361402017Хю

3. *Sharutin V.V., Sharutina O.K.* // Russ. J. Coord. Chem. 2014. V. 40, No. 9. P. 643. DOI: 10.1134/S1070328414090073ю

4. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Gubanova Yu.O.* // Bull. South Ural State Univ. Ser. Chem. 2015. V. 7. P. 17. DOI: 10.14529/chem150403.

5. *Sharutin V.V., Sharutina O.K.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2015. V. 60, No. 3. P. 292. DOI: 10.1134/S0036023615030171.

6. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Gubanova Y.O. et al.* // J. Organomet. Chem. 2015. V. 798. P. 41. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2015.09.002.

7. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S.* // Russ. J. Coord. Chem. 2014. V. 40, No. 2. P. 109. DOI: 10.1134/S1070328414020109

8. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Gubanova Y.O. et al.* // Mendeleev Commun. 2018. V. 28. P. 621. DOI: 10.1016/j.mencom.2018.11.019.

9. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Губанова Ю.О.* // Вест. Южно-Урал. гос. ун-та. Сер. хим. 2017. Т. 9. № 4. С. 56. DOI: 10.14529/chem170409.

10. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Gubanova Y.O., Eltsov O.S.* // Inorg. Chim. Acta. 2019. V. 494. P. 211. DOI: 10.1016/j.ica.2019.05.029.

11. *Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K., Panova L.P.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2008. V. 53. № 7. С. 1110. DOI: 10.1134/S0036023608070206.

12. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Zadachina O.P. et al.* // Russ. J. Coord. Chem. 2003. V. 29, No. 1. P. 6. DOI: 10.1023/A:1021878530695

13. *Sharutin V.V., Pakusina A.P., Egorova I.V. et al. //* Russ. J. Coord. Chem. 2008. V. 34, No. 4. P. 259. DOI: 10.1134/S1070328408040040

14. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S., Mukovoz P.P.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2014. V. 59, No. 5. С. 508. DOI: 10.1134/S0036023614050155.

15. *Шарутин В.В.* // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, № 3. С. 89. DOI: 10.14529/chem230303.

16. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Панова Л.П., Бельский В.К.* // Журн. общ. химии. 1997. Т. 67, вып. 9. С. 1531.

17. *Шарутин В.В., Шарутина О. К., Тарасова Т.А. и др.* // Журн. общ. химии. 1999. Т. 69, Вып. 12. С. 1979.

18. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Тарасова Т.А. и др.* // Журн. общ. химии. 2000. Т. 70, Вып. 8. С. 1311.

19. *Шарутин В.В., Пакусина А.П., Егорова И.В. и др.* // Коорд. химия. 2003. Т. 29, № 5. С. 336. EDN: OOFOOD.

20. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Пакусина А.П. и др.* // Коорд химия. 2004. Т. 30, № 1. С. 15. EDN: OVZSPL.

21. *Шарутин В.В., Егорова И.В., Пакусина А.П. и др*. // Коорд. химия. 2007. Т. 33, № 3. С. 176. EDN: IADDTV.

22. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С.* // Журн. неорган. химии. 2013. Т. 58, № 11. С. 1454. DOI: 10.7868/S0044457X13110196.

23. *Панова Л.П.* Аренсульфонаты тетра- и триарилсурьмы. Синтез и строение: дис. … канд. хим. наук. Иркутск. 1999. 104 с.

24. *Sheldrick G.* SHELXT – Integrated space-group and crystal-structure determination. Acta Crystallographica. Section A. 2015, 71, 3–8.

25. *Sheldrick G.M.* Crystal structure refinement with SHELXL. Acta Crystallographica Section C. 2015; 71, 3–8.

26. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al.* // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339. DOI: 10.1107/S0021889808042726.

27. CrysAlisPro 1.171.41.103a (Rigaku OD, 2021).

28. *Бацанов С.С. Атомные радиусы элементов* // Журн. неорг. химии. 1991. Т. 36, № 12. С. 3015.

29. *Razuvaev G.A., Domrachev G.A., Sharutin V.V., Suvorova O.N.* // J. Organometal. Chem. 1977. V. 141. P. 313. DOI: 10.1016/S0022-328X(00)90854-4.

30. *Zakharov L.N., Struchkov Yu.T., Sharutin V.V., Suvorova O.N.* // Cryst. Struct. Comm. 1979. V. 8. P. 439.

31. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Панова Л.П., Бельский В.К.* // Коорд. химия. 1997. Т. 23, № 7. С. 513.

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 28 декабря 2023 г.
The article was submitted 28 December 2023.