

СТРОЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ. СООБЩЕНИЕ 5

В.В. Шарутин[✉]

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

[✉] sharutin50@mail.ru

Аннотация. Методом рентгеноструктурного анализа (РСА) определено строение пяти органических и элементоорганических соединений, РСА которых проводили на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 Quest Bruker (Mo K α -излучение, $\lambda = 0,71073$ Å, графитовый монохроматор) при 293 К. Кристаллы (Ph₄Sb)₂CO₃ (1): C₄₉H₄₀O₃Sb₂, *M* 920,31; сингония триклинная, группа симметрии *P*-1; параметры ячейки: *a* = 10,114(7), *b* = 13,975(8), *c* = 15,607(13) Å; $\alpha = 73,98(3)^\circ$, $\beta = 79,86(5)^\circ$, $\gamma = 74,39(3)^\circ$; *V* = 2030(2) Å³; *Z* = 2; $\rho_{\text{выч}} = 1,506$ г/см³; 2θ 5,8–52,98 град.; всего отражений 46058; независимых отражений 8373; число уточняемых параметров 488; *R*_{int} = 0,0263; *GOOF* 1,131; *R*₁ = 0,0235, *wR*₂ = 0,0520; остаточная электронная плотность (max/min); 0,85/–0,55 е/Å³, *p*-Tol₄SbOC₆H₃(Cl-2)(F-4) (2): C₃₄H₃₁ClFOSb, *M* 631,79; сингония триклинная, группа симметрии *P*-1; параметры ячейки: *a* = 10,104(10), *b* = 11,932(14), *c* = 13,582(18) Å; $\alpha = 84,41(6)^\circ$, $\beta = 71,39(5)^\circ$ град., $\gamma = 74,70(5)^\circ$; *V* = 1497(3) Å³, *Z* = 2; $\rho_{\text{выч}} = 1,402$ г/см³; 2θ 6,14–63,32 град.; всего отражений 93012; независимых отражений 9959; число уточняемых параметров 347; *R*_{int} = 0,0322; *GOOF* 1,049; *R*₁ = 0,0299, *wR*₂ = 0,0713; остаточная электронная плотность (max/min); 1,20/–0,72 е/Å³, Ph₄SbOC(O)CF₂CF₂C(O)OSbPh₄PhH (3): C₅₈H₄₆F₄O₄Sb₂, *M* 1126,47; сингония моноклинная, группа симметрии *C*2; параметры ячейки: *a* = 26,096(18), *b* = 10,011(9), *c* = 38,74(3) Å; $\beta = 90,63(3)^\circ$; *V* = 10119(14) Å³, *Z* = 4; $\rho_{\text{выч}} = 1,479$ г/см³; 2θ 6,046–54,31 град.; всего отражений 124576; независимых отражений 22324; число уточняемых параметров 1209; *R*_{int} = 0,0670; *GOOF* 1,039; *R*₁ = 0,0465, *wR*₂ = 0,0739; остаточная электронная плотность (max/min); 0,52/–0,53 е/Å³, [Ph₄Sb(DMSO)][PdBr₃(DMSO)] (4): C₂₈H₃₂Br₃O₂PdS₂Sb, *M* 932,52; сингония ромбическая, группа симметрии *P*2₁2₁; параметры ячейки: *a* = 9,430(6), *b* = 15,859(11), *c* = 22,186(13) Å; $\alpha = 90,00^\circ$, $\beta = 90,00^\circ$, $\gamma = 90,00^\circ$; *V* = 3183(4) Å³; *Z* = 8; $\rho_{\text{выч}} = 1,867$ г/см³; 2θ 5,68–43,98 град.; всего отражений 28787; независимых отражений 4023; число уточняемых параметров 339; *R*_{int} = 0,0291; *GOOF* 1,044; *R*₁ = 0,0186, *wR*₂ = 0,0431; остаточная электронная плотность (max/min); 0,7/–0,59 е/Å³ (5): [Ph₃PAm]₂[Bi₂I₈](MeOCH₂CH₂OMe), C₂₅H₃₁Bi₄OP, *M* 1095,05; сингония триклинная, группа симметрии *P*-1; параметры ячейки: *a* = 11,026(6), *b* = 12,875(8), *c* = 13,419(6) Å; $\alpha = 62,580(15)^\circ$, $\beta = 76,155(14)^\circ$, $\gamma = 79,07(2)^\circ$; *V* = 1634,8(14) Å³; *Z* = 2; $\rho_{\text{выч}} = 2,225$ г/см³; 2θ 5,98–67,58 град.; всего отражений 93637; независимых отражений 13068; число уточняемых параметров 291; *R*_{int} = 0,0454; *GOOF* 1,064; *R*₁ = 0,0367, *wR*₂ = 0,0693; остаточная электронная плотность (max/min); 1,03/–2,04 е/Å³.

Ключевые слова: строение, органические, элементоорганические, соединения, рентгеноструктурный анализ

Для цитирования: Шарутин В.В. Строение органических и элементоорганических соединений. Сообщение 5 // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2025. Т. 17, № 1. С. 90–99. DOI: 10.14529/chem250107

Original article
DOI: 10.14529/chem250107

STRUCTURE OF ORGANIC AND ORGANOELEMENTAL COMPOUNDS. PART 5

V.V. Sharutin✉

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

✉ sharutin50@mail.ru

Abstract. The structure of five organic compounds was determined using X-ray diffraction analysis. X-ray diffraction analysis of compounds was carried out on an automatic four-circle diffractometer D8 Quest Bruker (Mo K α radiation, $\lambda = 0,71073$ Å, graphite monochromator) at 293 K. Crystals (Ph₄Sb)₂CO₃ (1): C₄₉H₄₀O₃Sb₂, *M* 920.31; triclinic syngony, symmetry group *P*-1; cell parameters: *a* = 10.114(7), *b* = 13.975(8), *c* = 15.607(13) Å; $\alpha = 73.98(3)^\circ$, $\beta = 79.86(5)^\circ$, $\gamma = 74.39(3)^\circ$; *V* = 2030(2) Å³; *Z* = 2; $\rho_{\text{calc}} = 1.506$ g/cm³; 2θ 5.8–52.98 deg.; total reflections 46058; independent reflections 8373; number of refined parameters 488; $R_{\text{int}} = 0.0263$; *GOOF* 1.131; $R_1 = 0.0235$, $wR_2 = 0.0520$; residual electron density (max/min) 0.85/–0.55 e/Å³; *p*-Tol₄SbOC₆H₃(Cl-2)(F-4) (2): C₃₄H₃₁ClFOSb, *M* 631.79; triclinic syngony, symmetry group *P*-1; cell parameters: *a* = 10.104(10), *b* = 11.932(14), *c* = 13.582(18) Å; $\alpha = 84.41(6)^\circ$, $\beta = 71.39(5)^\circ$, $\gamma = 74.70(5)^\circ$; *V* = 1497(3) Å³, *Z* = 2; $\rho_{\text{calc}} = 1.402$ g/cm³; 2θ 6.14–63.32 deg.; total reflections 93012; independent reflections 9959; number of refined parameters 347; $R_{\text{int}} = 0.0322$; *GOOF* 1.049; $R_1 = 0.0299$, $wR_2 = 0.0713$; residual electron density (max/min); 1.20/–0.72 e/Å³; Ph₄SbOC(O)CF₂CF₂C(O)OSbPh₄·PhH (3): C₅₈H₄₆F₄O₄Sb₂, *M* 1126.47; monoclinic syngony, symmetry group *C*2; cell parameters: *a* = 26.096(18), *b* = 10.011(9), *c* = 38.74(3) Å; $\beta = 90.63(3)^\circ$; *V* = 10119(14) Å³, *Z* = 4; $\rho_{\text{calc}} = 1.479$ g/cm³; 2θ 6.046–54.31 deg.; total reflections 124576; independent reflections 22324; number of refined parameters 1209; $R_{\text{int}} = 0.0670$; *GOOF* 1.039; $R_1 = 0.0465$, $wR_2 = 0.0739$; residual electron density (max/min); 0.52/0.53 e/Å³; [Ph₄Sb(DMSO)][PdBr₃(DMSO)] (4): C₂₈H₃₂Br₃O₂PdS₂Sb, *M* 932.52; orthorhombic syngony, symmetry group *P*2₁2₁2₁; cell parameters: $\alpha = 9.430(6)$, *b* = 15.859(11), *c* = 22.186(13) Å; $\alpha = 90.00 = \beta = 90.00^\circ$, $\gamma = 90.00^\circ$; *V* = 3183(4) Å³; *Z* = 8; $\rho_{\text{calc}} = 1.867$ g/cm³; 2θ 5.68–43.98 deg.; total reflections 28787; independent reflections 4023; number of refined parameters 339; $R_{\text{int}} = 0.0291$; *GOOF* 1.044; $R_1 = 0.0186$, $wR_2 = 0.0431$; residual electron density (max/min); 0.7/–0.59 e/Å³; [Ph₃PAm]₂[Bi₂I₈](MeOCH₂CH₂OMe) (5): C₂₅H₃₁Bi₄OP, *M* 1095.05; triclinic syngony, symmetry group *P*-1; cell parameters: *a* = 11.026(6), *b* = 12.875(8), *c* = 13.419(6) Å; $\alpha = 62.580(15)^\circ$, $\beta = 76.155(14)^\circ$, $\gamma = 79.07(2)^\circ$; *V* = 1634.8(14) Å³; *Z* = 2; $\rho_{\text{calc}} = 2.225$ g/cm³; 2θ 5.98–67.58 deg.; total reflections 93637; independent reflections 13068; number of refined parameters 291; $R_{\text{int}} = 0.0454$; *GOOF* 1.064; $R_1 = 0.0367$, $wR_2 = 0.0693$; residual electron density (max/min); 1.03/–2.04 e/Å³.

Keywords: structure, organic, organoelemental, compounds, X-ray diffraction analysis

For citation: Sharutin V.V. Structure of organic and organoelemental compounds. Part 5. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2025;17(1):90–99. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem250107

Введение

При появлении в Южно-Уральском государственном университете современного дифрактометра D8 Quest возможность определения кристаллических структур органических, неорганических, координационных и элементоорганических соединений неизмеримо возросла, поэтому представлялось возможным определить строение многих синтезируемых в лаборатории веществ. В продолжение изучения строения элементоорганических производных в настоящей работе исследовано строение пяти органических соединений сурьмы, висмута и палладия.

Экспериментальная часть

Кристаллы образцов 1–5 получали по известным методикам [1–8], а их PCA проводили на дифрактометре D8 Quest фирмы Bruker (Mo K α -излучение, $\lambda = 0,71073$ Å, 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 [9]. Все расчеты

по определению и уточнению структуры выполнены по программам SHELXL/PC [10] и OLEX2 [11]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур 1–5 приведены в табл. 1, основные длины связей и валентные углы – в табл. 2. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1913588 (1), 1992145 (2), 2121878 (3), 1898993 (4), 1990693 (5); deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk).

Таблица 1
Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур 1–5

Параметр	1	2	3	4	5
Формула	C ₄₉ H ₄₀ O ₃ Sb ₂	C ₃₄ H ₃₁ OFCISb	C ₅₈ H ₄₆ F ₄ O ₄ Sb ₂	C ₂₈ H ₃₂ Br ₃ O ₂ PdS ₂ Sb	C ₂₅ H ₃₁ OPI ₄ Bi
<i>M</i>	920,31	631,79	1126,47	932,52	1095,05
Сингония	Триклинная	Триклинная	Моноклинная	Ромбическая	Триклинная
Пр. группа	<i>P</i> -1	<i>P</i> -1	<i>C</i> 2	<i>P</i> 2 ₁ 2 ₁	<i>P</i> -1
<i>a</i> , Å	10,114(7)	10,104(10)	26,096(18)	9,430(6)	11,026(5)
<i>b</i> , Å	13,975(8)	11,932(14)	10,011(9)	15,859(11)	12,875(8)
<i>c</i> , Å	15,607(13)	13,582(18)	38,74(3)	22,186(13)	13,419(6)
α , град.	73,98(3)	84,41(6)	90,00	90,00	62,580(15)
β , град.	79,86(5)	71,39(5)	90,63(3)	90,00	76,155(14)
γ , град.	74,39(3)	74,70(5)	90,00	90,00	79,07(2)
<i>V</i> , Å ³	2030(2)	1497(3)	10120(14)	3318(4)	1634,8(14)
<i>Z</i>	2	2	8	8	2
$\rho_{\text{выч}}$, г/см ³	1,506	1,402	1,479	1,867	2,225
μ , мм ⁻¹	1,372	1,041	1,128	5,118	9,233
<i>F</i> (000)	920,0	640,0	4512,0	1800,0	998,0
Размер кристалла, мм	0,44×0,31×0,06	0,24×0,23×0,19	0,5×0,1×0,07	0,33×0,27×0,23	0,31×0,22×0,2
Область сбора данных по 2 θ , град.	5,8–52,98	6,14–63,32	6,046–54,31	5,68–43,98	5,98–67,58
Интервалы индексов отражений	-12 ≤ <i>h</i> ≤ 12, -17 ≤ <i>k</i> ≤ 17, -19 ≤ <i>l</i> ≤ 19	-14 ≤ <i>h</i> ≤ 14, -17 ≤ <i>k</i> ≤ 17, -19 ≤ <i>l</i> ≤ 19	-33 ≤ <i>h</i> ≤ 32, -12 ≤ <i>k</i> ≤ 12, -49 ≤ <i>l</i> ≤ 49	-9 ≤ <i>h</i> ≤ 9, -16 ≤ <i>k</i> ≤ 16, -23 ≤ <i>l</i> ≤ 23	-17 ≤ <i>h</i> ≤ 17, -20 ≤ <i>k</i> ≤ 20, -20 ≤ <i>l</i> ≤ 20
Измерено отражений	46058	93012	124576	28787	93637
Независимых отражений	8373	9959	22324	4022	13068
Переменных уточнения	488	347	1209	339	291
<i>GOOF</i>	1,131	1,048	1,039	1,044	1,064
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	<i>R</i> ₁ = 0,0235, <i>wR</i> ₂ = 0,0520	<i>R</i> ₁ = 0,0299, <i>wR</i> ₂ = 0,0713	<i>R</i> ₁ = 0,0465, <i>wR</i> ₂ = 0,0739	<i>R</i> ₁ = 0,0186, <i>wR</i> ₂ = 0,0431	<i>R</i> ₁ = 0,0367, <i>wR</i> ₂ = 0,0693
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	<i>R</i> ₁ = 0,0303, <i>wR</i> ₂ = 0,0562	<i>R</i> ₁ = 0,0420, <i>wR</i> ₂ = 0,0765	<i>R</i> ₁ = 0,0950, <i>wR</i> ₂ = 0,0841	<i>R</i> ₁ = 0,0199, <i>wR</i> ₂ = 0,0436	<i>R</i> ₁ = 0,0661, <i>wR</i> ₂ = 0,0766
Остаточная электронная плотность (min/max), e/Å ³	0,85/–0,55	1,20/–0,72	0,52/–0,53	0,7/–0,59	1,03/–2,04

Таблица 2
Длины связей и валентные углы в структурах 1–5

Связь	<i>d</i> , Å	Угол	ω , град.
1			
Sb1–O1	2,255(2)	C21–Sb1–C31	116,77(11)
Sb1–C31	2,116(3)	C21–Sb1–C11	126,01(11)
Sb1–C21	2,112(3)	C11–Sb1–C31	114,82(12)
Sb1–C11	2,115(3)	C1–Sb1–O1	176,36(8)
Sb1–C1	2,166(3)	C41–Sb2–C7	125,88(9)
Sb2–C7	2,639(3)	C41–Sb2–C71	105,87(10)
Sb2–C41	2,160(3)	C41–Sb2–O2	154,72(8)

Продолжение табл. 2

Связь	$d, \text{Å}$	Угол	$\omega, \text{град.}$
Sb2–C51	2,168(3)	C51–Sb2–C61	167,20(10)
Sb2–C61	2,173(3)	C71–Sb2–C7	128,23(10)
Sb2–C71	2,161(3)	C71–Sb2–O3	157,53(9)
Sb2–O3	2,181(2)	C41–Sb2–O3	96,59(9)
Sb2–O2	2,310(2)	C51–Sb2–C7	85,30(10)
C7–O1	1,272(3)	C51–Sb2–O3	86,04(10)
C7–O3	1,298(3)	C51–Sb2–O2	85,80(10)
C7–O2	1,276(3)	C61–Sb2–O3	85,31(10)
2			
Sb1–O1	2,195(2)	C1–Sb1–O1	178,27(6)
Sb1–C1	2,194(2)	C11–Sb1–O1	84,22(11)
Sb1–C11	2,127(3)	C11–Sb1–C1	96,12(11)
Sb1–C31	2,112(3)	C11–Sb1–C21	125,11(10)
Sb1–C21	2,129(3)	C31–Sb1–C11	116,08(10)
C44–F1	1,379(3)	C31–Sb1–C21	116,74(11)
C11–C42	1,733(3)	C41–O1–Sb1	127,84(12)
O1–C41	1,324(3)	C31–Sb1–C1	94,21(10)
3			
Sb1–O1	2,359(5)	C31–Sb1–C21	100,4(4)
Sb1–C31	2,101(9)	C31–Sb1–C11	119,3(3)
Sb1–C21	2,125(7)	C31–Sb1–C1	112,3(3)
Sb1–C11	2,127(7)	C21–Sb1–O1	173,2(2)
Sb1–C1	2,118(8)	C1–Sb1–C11	122,4(3)
Sb2–O3	2,297(5)	C51–Sb2–O3	178,4(2)
Sb2–C51	2,167(7)	C71–Sb2–C41	120,1(3)
Sb2–C41	2,121(8)	C61–Sb2–C41	118,2(3)
Sb2–C71	2,102(7)	C61–Sb2–C71	117,5(3)
Sb2–C61	2,090(5)	C91–Sb3–O5	175,2(3)
Sb3–C91	2,184(9)	C111–Sb3–C81	120,1(3)
Sb3–C111	2,119(7)	C101–Sb3–C111	115,3(2)
Sb3–O5	2,258(5)	C101–Sb3–C81	120,4(2)
Sb3–C101	2,101(4)	C151–Sb4–C121	121,1(3)
Sb3–C81	2,121(8)	C131–Sb4–O7	173,8(3)
Sb4–O7	2,337(6)	C141–Sb4–C151	115,9(3)
Sb4–C151	2,119(9)	C141–Sb4–C121	118,5(3)
Sb4–C121	2,124(10)	C141–Sb4–O7	87,2(3)
Sb4–C131	2,147(9)	C141–Sb4–C131	98,9(3)
Sb4–C141	2,104(5)	C151–Sb4–O7	81,2(3)
4			
Sb1–C11	2,113(4)	C31–Sb1–C1	101,95(17)
Sb1–C31	2,109(4)	C31–Sb1–C11	116,61(17)
Sb1–C1	2,120(5)	C21–Sb1–C11	113,61(17)
Sb1–C21	2,105(4)	C21–Sb1–C31	118,25(16)
Sb1...O2	2,647(8)	C21–Sb1–C1	102,06(17)
Pd1–Br3	2,4316(13)	Br5–Pd1–Br4	174,25(3)
Pd1–Br4	2,4308(15)	S1–Pd1–Br3	177,58(4)
Pd1–Br5	2,4252(15)	O1–S1–Pd1	115,42(19)
Pd1–S1	2,2609(17)	C9–S1–Pd1	111,5(2)
S1–O1	1,467(4)	O2–S2–C8	108,7(3)
5			
Bi1–I1 ¹	3,2844(14)	I1–Bi1–I1 ¹	81,95(4)
Bi1–I1	3,1990(12)	I2–Bi1–I1 ¹	88,18(4)
Bi1–I2	2,9753(12)	I2–Bi1–I1	167,314(11)
Bi1–I3	2,8704(9)	I3–Bi1–I1	94,37(4)

Связь	$d, \text{Å}$	Угол	$\omega, \text{град.}$
Bi1–I4	2,9322(13)	I3–Bi1–I2	93,88(4)
P1–C31	1,805(4)	I3–Bi1–I4	94,41(3)
P1–C11	1,793(3)	C11–P1–C31	111,34(17)
P1–C1	1,792(4)	C11–P1–C21	107,61(16)
P1–C21	1,802(4)	C1–P1–C11	109,49(17)
C8–C8 ²	1,802(4)	C1–P1–C21	109,12(17)

Преобразования симметрии: ¹ 1-X, 1-Y, 1-Z; ² 2-X, 1-Y, 1-Z

Обсуждение результатов

За время работы монокристаллического дифрактометра D8 Quest в лаборатории химии элементоорганических соединений ЮУрГУ (2012–2024) были исследованы структуры более 2000 органических, неорганических, координационных и элементоорганических соединений. По этим результатам было опубликовано в научных журналах ~600 статей, среди которых можно выделить наиболее важные за последние три года [12–83].

В настоящей работе приведены кристаллографические данные пяти кристаллических структур комплексов сурьмы и висмута (табл. 1, 2), некоторые из которых уточнены до лучших значений R (рис. 1–5). Так, ранее сообщалось о строении карбоната тетрафенилсурьмы [1, 2], а в настоящей работе уточнена структура его триклинной модификации до R = 2,3 %.

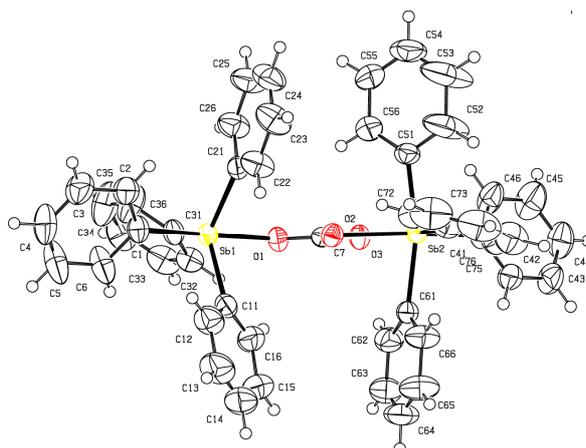


Рис. 1. Общий вид $(\text{Ph}_4\text{Sb})_2\text{CO}_3$ (1)

Строение комплекса **2**, полученного из 2-хлор,4-фторфенола и пента(*пара*-толил)сурьмы (рис. 2), мало отличается от строения подобных ароксидов тетраарилсурьмы [84, 85].

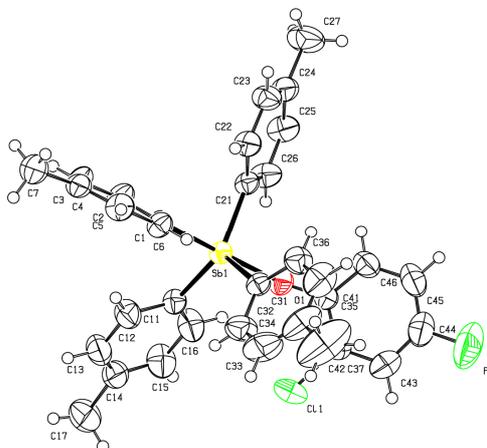


Рис. 2. Общий вид $p\text{-Tol}_4\text{SbOC}_6\text{H}_3(\text{Cl-2})(\text{F-4})$

Известно, что взаимодействие пентаарилсурьмы с дикарбоновыми кислотами может приводить к образованию биядерных ацилатов тетраарилсурьмы [86]. Показано, что подобным образом реагирует пентафенилсурьма с тетрафторянтарной кислотой в бензоле с образованием неизвестного ранее сполна замещенного сольвата сукцината тетра(*para*-толил)сурьмы с бензолом **3**.

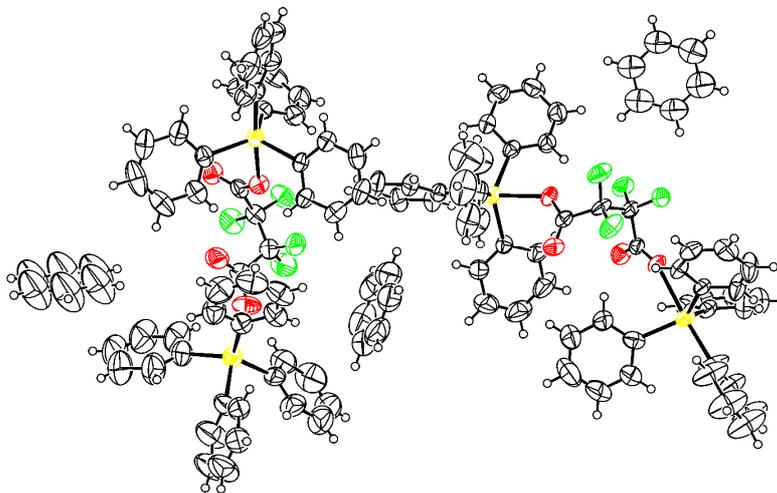


Рис. 3. Общий вид $\text{Ph}_4\text{SbOC}(\text{O})\text{CF}_2\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{OSbPh}_4 \cdot \text{PhH}$ (**3**)

В кристалле **3** присутствуют молекулы растворителя и два типа кристаллографически независимых молекул сурьмаорганического диацилата, в каждой из которых присутствует короткий контакт между одним из атомов металла и карбонильным атомом кислорода $\text{Sb} \cdots \text{O}=\text{C}$ (3,698 и 3,807 Å), что несколько меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов атомов партнеров (3,7 Å [87]).

О строении комплекса палладия $[\text{Ph}_4\text{Sb}(\text{dmsO})]^+[\text{PdBr}_3(\text{dmsO})]^-$ (**4**), полученному из эквимольных количеств бромида палладия и бромида тетрафенилстибония в растворе диметилсульфоксида ранее сообщалось в работе [88]. В настоящей работе строение **4** уточнено до $R = 1,86\%$. По данным PCA, в кристалле **4** содержатся катионы $[\text{Ph}_4\text{Sb}(\text{DMSO})]^+$ и анионы $[\text{PdBr}_3(\text{DMSO})]^-$, в которых амбидентатный диметилсульфоксидный лиганд координируется в катионе на атом сурьмы атомом кислорода, а в анионе – на атом палладия атомом серы (рис. 4).

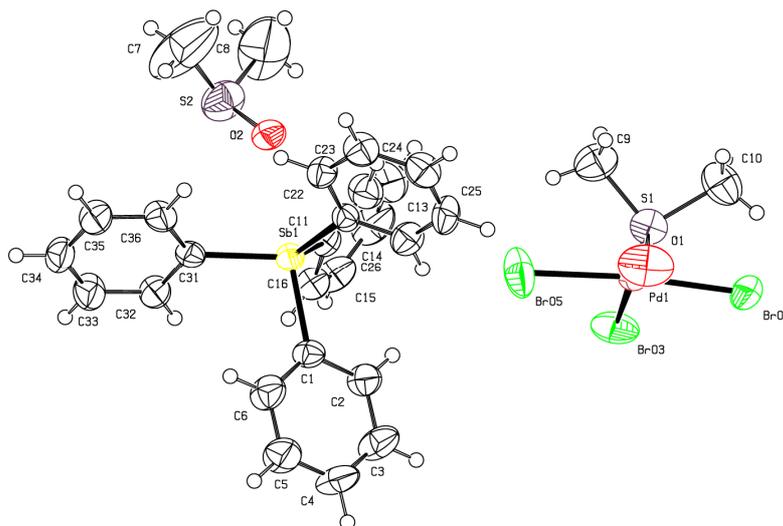


Рис. 4. Общий вид $[\text{Ph}_4\text{Sb}(\text{DMSO})]^+[\text{PdBr}_3(\text{DMSO})]^-$ (**4**)

Известно, что продуктами реакций иодида висмута с иодидами тетрафенилфосфония, тетра(*para*-толил)фосфония в тетрагидрофуране, диметилсульфоксиде, ацетоне и этилцеллозольве синтезированы комплексы висмута $[p\text{-Tol}_4\text{P}][\text{Bi}_2\text{I}_8(\text{THF})_2]^{2-}$, $[p\text{-Tol}_4\text{P}][\text{Bi}_2\text{I}_8(\text{DMSO})_2]^{2-}$,

$[p\text{-Tol}_4\text{P}][(\text{Bi}_2\text{I}_7)]^-$ [7]. Показано, что иодид тетра(*para*-толил)фосфония реагирует с трииодидом висмута в 2-этоксизтаноле с образованием сольвата $[p\text{-Tol}_4\text{P}]_3^+ [\text{Bi}_3\text{I}_{12}]^{3-} \cdot \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OC}_2\text{H}_5$ [8]. В настоящей работе методом РСА расшифрована структура сольвата $[\text{Ph}_3\text{PAm}]_2[\text{Bi}_2\text{I}_8](\text{MeOCH}_2\text{CH}_2\text{OMe})$ (**5**) (т. пл. 98 °С), полученного из иодида висмута и иодида трифениламылфосфония в диметоксизтане.

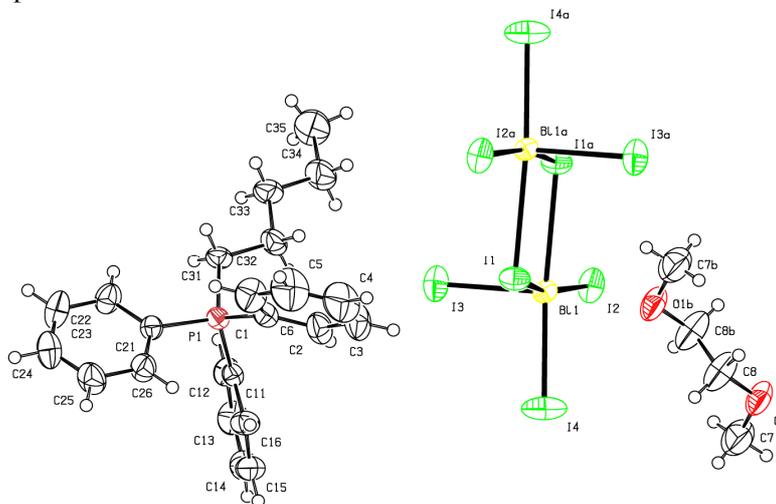


Рис. 5. Общий вид $[\text{Ph}_3\text{PAm}]_2[\text{Bi}_2\text{I}_8] \cdot (\text{MeOCH}_2\text{CH}_2\text{OMe})$ (**5**)

Кристалл **5** состоит из катионов трифениламылфосфония $[\text{Ph}_3\text{PAm}]^+$ и висмутсодержащих полимерных анионов $[\text{Bi}_2\text{I}_8 \cdot (\text{MeOCH}_2\text{CH}_2\text{OMe})]_n^-$, в которых группировки Bi_2I_8 связываются между собой координационными связями $\text{Bi} \cdots \text{O}$ (2,837 Å) сольватными молекулами диметоксизтана.

Выводы

Таким образом, в настоящей работе методом рентгеноструктурного анализа определено строение пяти комплексов сурьмы, палладия и висмута, геометрические параметры в структурах которых близки к наблюдаемым в подобных производных.

Список источников

1. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Платонова Т.П. и др. // Журн. общ. химии. 2001. Т. 71, № 10. С. 1637. EDN: TOZCCK
2. Шарутин В.В., Пакулина А.П., Шарутина О.К. и др. // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2002. № 9. С. 67.
3. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. // Журн. неорган. химии. 2017. Т. 62, № 3. С. 290. DOI: 10.7868/S0044457X17030151
4. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К. // Журн. неорган. химии. 2014. Т. 59, № 2. С. 247. DOI: 10.7868/S0044457X14020184
5. Hazell A., McKenzie C.J., Nielsen L.P. // J. Chem. Soc., Dalton Trans. 1998. P. 1751.
6. Meyer D., Taige M.A., Zeller A. et al. // Organometallics. 2009. V. 28, № 7. P. 2142.
7. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Хисамов Р.М., Сенчурин В.С. // Журн. неорган. химии. 2017. Т. 62, № 6. С. 782.
8. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. et al. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2015. Т. 7, № 4. С. 44. DOI: 10.14529/chem150406
9. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
10. 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.
11. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al. // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339. DOI: 10.1107/S0021889808042726
12. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Gubanova Y.O. et al. // Mendeleev Commun. 2020. V. 30, No. 1. P. 97. DOI: 10.1016/j.mencom.2020.01

13. *Svistunova I.V., Tretyakova G.O., Puzyrkov X.N., Sharutin V.V.* // Inorg. Chim. Acta. 2020. V. 501. P. 119230. DOI: 10.1016/j.ica.2019.119230
14. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н.* // Журн. неорган. химии. 2020. Т. 65, № 1. С. 49. DOI: 10.31857/S0044457X20010158
15. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Novikov A.S., Adonin S.A.* // New J. Chem. 2020. V. 44. P. 14339. DOI: 10.1039/d0nj02774j
16. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н.* // Журн. структ. химии. 2020. Т. 61, № 9. С. 1490. DOI: 10.26902/JSC_id60682
17. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Тарасова Н.М. и др.* // Известия Академии наук. Серия химическая. 2020. № 10. С. 1892. EDN: QOVSSF
18. *Сенчурин В.С., Шарутин В.В., Шарутина О.К.* // Журн. структ. химии. 2021. Т. 62, № 10. С. 1673. DOI: 10.26902/JSC_id80788
19. *Ефремов А.Н., Шарутин В.В., Шарутина О.К.* // Журн. структ. химии. 2021. Т. 62, № 12. С. 2084. DOI: 10.26902/JSC_id84811
20. *Зыкова А.Р., Шарутин В.В., Шарутина О.К.* // Журн. неорган. химии. 2021. Т. 66, № 1. С. 63. DOI: 10.31857/S0044457X21010141
21. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Кощеева Л.В.* // Журн. неорган. химии. 2021. Т. 66, № 10. С. 1407. DOI: 10.31857/S0044457X21100160
22. *Шарутин В.В., Шарутина О.К.* // Журн. неорган. химии. 2021. Т. 66, № 3. С. 358. DOI: 10.31857/S0044457X21030156
23. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Тарасова Н.М., Ельцов О.С.* // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 11. С. 1716. DOI: 10.31857/S0044460X21110081
24. *Шарутин В.В., Шарутина О.К.* // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 4. С. 598. DOI: 10.31857/S0044460X21040156
25. *Шарутин В.В., Шарутина О.К.* // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 5. С. 752. DOI: 10.31857/S0044460X21050127
26. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Кощеева Л.В.* // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 5. С. 758. DOI: 10.31857/S0044460X21050139
27. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сопшина Д.М.* // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 9. С. 1438. DOI: 10.31857/S0044460X21090158
28. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Хайбуллина О.А.* // Журн. общ. химии. 2021. Т. 91, № 9. С. 1446. DOI: 10.31857/S0044460X2109016X
29. *Шевченко Д.П., Хабина А.Е., Шарутин В.В. и др.* // Изв. Академии наук. Серия хим. 2021. № 10. С. 1946.
30. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н.* // Коорд. химия. 2021. Т. 47, № 5. С. 293. DOI: 10.31857/S0132344X21050066
31. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н.* // Коорд. химия. 2021. Т. 47, № 6. С. 356. DOI: 10.31857/S0132344X21060074
32. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н.* // Коорд. химия. 2021. Т. 47, № 9. С. 568. DOI: 10.31857/S0132344X21070057
33. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Попкова М.А., Жеребцов Д.А.* // Башкирский химический журнал. 2021. Т. 28, № 1. С. 68. DOI: 10.17122/bcj_2021_1_68_73
34. *Шарутин В.В.* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 2. С. 5. DOI: 10.14529/chem210201
35. *Шарутин В.В.* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 3. С. 5. DOI: 10.14529/chem210301
36. *Попкова М.А., Шарутин В.В.* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 4. С. 110. DOI: 10.14529/chem210409
37. *Ефремов А.Н., Шарутин В.В.* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 4. С. 120. DOI: 10.14529/chem210410
38. *Шарутин В.В.* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 4. С. 55. DOI: 10.14529/chem210403
39. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С.* // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 41. DOI: 10.14529/chem220205

40. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Журн. структурной химии. 2022. Т. 63, № 10. С. 99532. DOI: 10.26902/JSC_id99532
41. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 41. DOI: 10.14529/chem220205
42. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 6. С. 885. DOI: 10.31857/S0044460X22060087
43. Artem'eva E.V., Efremov A.N., Sharutina O.K., Sharutin V.V. et al. // Polyhedron. 2022. V. 213. P. 115627. DOI: 10.1016/j.poly.2021.115627
44. Artem'eva E.V., Efremov A.N., Sharutina O.K., Sharutin V.V. et al. // J. Inorg. Biochem. 2022. V. 234. P. 111864. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2022.111864
45. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Efremov A.N., Adonin S.A. // Mendeleev Commun. 2022. V. 32. No. 1. P. 109. DOI: 10.1016/j.mencom.2022.01.035
46. Pupkova Y.O., Sharutin V.V., Sharutina O.K. et al. // Mendeleev Commun. 2022. V. 32, No. 3. P. 377. DOI: 10.1016/j.mencom.2022.05.028
47. Жеребцов Д.А., Шарутин В.В., Полозов М.А. и др. // Журн. структ. химии. 2022. Т. 63, № 11. С. 102097. DOI: 10.26902/JSC_id102097
48. Ефремов А.Н., Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. структ. химии. 2022. Т. 63, № 3. С. 261. DOI: 10.26902/JSC_id88696
49. Раджакумар К., Шарутин В.В., Адонин С.А. и др. // Журн. структ. химии. 2022. Т. 63, № 4. С. 504. DOI: 10.26902/JSC_id90869
50. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчуринов В.С., Красносельская В.В. // Журн. неорганической химии. 2022. Т. 67, № 12. С. 1773. DOI: 10.31857/S0044457X22600803
51. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. // Журн. неорганической химии. 2022. Т. 67, № 8. С. 1151. DOI: 10.31857/S0044457X22080244
52. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 12. С. 1957. DOI: 10.31857/S0044460X22120174
53. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ефремов А.Н. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 2. С. 304. DOI: 10.31857/S0044460X22020172
54. Шевченко Д.П., Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 5. С. 799. DOI: 10.31857/S0044460X22050158
55. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 5. С. 812. DOI: 10.31857/S0044460X22050171
56. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 6. С. 885. DOI: 10.31857/S0044460X22060087
57. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчуринов В.С. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92, № 7. С. 1152. DOI: 10.31857/S0044460X22070204
58. Шарутин В.В., Потемкин В.А., Ефремов А.Н. и др. // Известия Академии наук. Серия химическая. 2022. Т. 71. № 4. С. 707. EDN: KTJZZJ
59. Шевченко Д.П., Хабина А.Е., Шарутин В.В. и др. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 1. С. 29. DOI: 10.31857/S0132344X22010054
60. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 1. С. 57. DOI: 10.31857/S0132344X22010042
61. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 3. С. 178. DOI: 10.31857/S0132344X22030033
62. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 6. С. 352. DOI: 10.31857/S0132344X22060056
63. Шарутин В.В., Шарутина О.К. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 5. С. 314. DOI: 10.31857/S0132344X22050085
64. Зыкова А.Р., Шарутин В.В., Шарутина О.К., Ельцов О.С. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 6. С. 370. DOI: 10.31857/S0132344X22060081
65. Пупкова Ю.О., Шарутин В.В., Шарутина О.К., Фоминых А.С. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 8. С. 506. DOI: 10.31857/S0132344X22080059
66. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчуринов В.С. // Коорд. химия. 2022. Т. 48, № 9. С. 566. DOI: 10.31857/S0132344X22090055

67. Жеребцов Д.А., Шарутин В.В., Найферт С.А. и др. // Кристаллография. 2022. Т. 67, № 3. С. 399. DOI: 10.31857/S0023476122030274
68. Шарутин В.В., Сенчурин В.С. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 1. С. 17. DOI: 10.14529/chem220102
69. Ефремов А.Н., Шарутин В.В. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 1. С. 5. DOI: 10.14529/chem220101
70. Ефремов А.Н., Шарутин В.В. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 14. DOI: 10.14529/chem220202
71. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Механошина Е.С. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 41. DOI: 10.14529/chem220205
72. Шарутин В.В., Головин М.С. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 5. DOI: 10.14529/chem220201
73. Шарутин В.В., Сенчурин В.С. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 52. DOI: 10.14529/chem220206
74. Шевченко Д.П., Шарутин В.В. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 62. DOI: 10.14529/chem220207
75. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Рыбакова А.В., Ельцов О.С. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 2. С. 90. DOI: 10.14529/chem220210
76. Ефремов А.Н., Шарутин В.В. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 3. С. 34. DOI: 10.14529/chem220304
77. Шарутин В.В. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 3. С. 5. DOI: 10.14529/chem220301
78. Механошина Е.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, № 1. С. 31. DOI: 10.14529/chem230103
79. Механошина Е.С. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, № 2. С. 55. DOI: 10.14529/chem230204
80. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 2. С. 5. DOI: 10.14529/chem210201
81. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2021. Т. 13, № 3. С. 5. DOI: 10.14529/chem210301
82. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2022. Т. 14, № 3. С. 5. DOI: 10.14529/chem220301
83. Шарутин В.В. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2024. Т. 16, № 3. С. 89. DOI: 10.14529/chem240302
84. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2015. Т. 7, № 4. С. 86. DOI: 10.14529/chem150411
85. Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С., Щелоков А.О. // Журн. общ. химии. 2016. Т. 86, № 1. С. 92. EDN: VDUTSX
86. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Pakusina A.P., Belsky V.K. // J. Organometal. Chem. 1997. V. 536. No. 1. P. 87.
87. Бацанов С.С. // Журн. неорг. химии. 1991. Т. 36. № 12. С. 3015.
88. Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К., Гуцин А.В. // Бутлеровские сообщения. 2012. Т. 29, № 2. С. 26. EDN: PAETVF

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

*Статья поступила в редакцию 17 октября 2024 г.
The article was submitted 17 October 2024.*