

**КООРДИНАЦИОННЫЕ
СОЕДИНЕНИЯ**

УДК 546.97+546.863+547-32

**СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ
АЦЕТАТА РОДИЯ(II): $Rh_2(OAc)_4(Diox)_2$, $Rh_2(OAc)_4(DmsO)_2$
И $Rh_2(OAc)_4[(4-FC_6H_4)_3Sb]_2$**

© 2019 г. В. В. Шарутин¹, *, О. К. Шарутина¹, В. С. Сенчурин¹¹Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет,
Россия, 454080 Челябинск, пр-т им. В.И. Ленина, 76

*E-mail: vvsharutin@rambler.ru

Поступила в редакцию 21.06.2018 г.

После доработки 03.07.2018 г.

Принята к публикации 15.02.2019 г.

Растворением диацетата родия $[Rh_2(OAc)_4]$ в диоксане (Diox) и диметилсульфоксиде (DmsO) с последующим медленным испарением растворителя получены комплексы диацетата родия с диоксаном $Rh_2(OAc)_4(Diox)_2$ (I) и диметилсульфоксидом $Rh_2(OAc)_4(DmsO)_2$ (II). Взаимодействием $[Rh_2(OAc)_4]$ с *трис*-4-фторфенилсурьмой в ацетонитриле синтезирован комплекс $Rh_2(OAc)_4[(4-FC_6H_4)_3Sb]_2$ (III). Методом РСА установлено, что атомы родия в соединениях I–III имеют малоискаженную октаэдрическую координацию: углы ORhRh, ORhO $176.56(6)^\circ$ – $177.72(4)^\circ$ (I); SRhRh, ORhO $174.79(9)^\circ$ – $179.271(13)^\circ$ (II) и SbRhRh, ORhO $173.590(19)^\circ$ – $175.48(10)^\circ$ (III), связи Rh–Rh, Rh–O_{Ac}, Rh–O_{Diox} $2.380(3)$, $2.037(3)$ – $2.046(3)$, $2.335(3)$ Å (I), Rh–Rh, Rh–O, Rh–S $2.4288(10)$, $2.034(3)$ – $2.046(3)$, $2.7258(10)$ Å (II), Rh–Rh, Rh–O, Rh–Sb $2.4183(12)$, $2.033(3)$ – $2.044(3)$, $2.7113(13)$ – $2.7120(13)$ Å (III). Структурная организация в кристаллах I и III обусловлена слабыми водородными связями H...O_{Diox} 2.50 – 2.72 Å, H...O_{Ac} 2.57 Å (I); H...O_{DmsO} 2.48 – 2.71 Å, H...O_{Ac} 2.65 , 2.66 Å (II) H...F 2.56 – 2.62 Å, H...O 2.68 – 2.71 Å (III).

Ключевые слова: комплекс, ацетат, родий, диоксан, диметилсульфоксид, *трис*(4-фторфенил)сурьма, синтез, строение, рентгеноструктурный анализ

DOI: 10.1134/S0044457X19080130

ВВЕДЕНИЕ

Каталитическая способность комплексов родия широко известна, поэтому получение новых соединений этого металла и исследование особенностей их строения являются актуальной задачей, о чем свидетельствует достаточно большое число публикаций, посвященных этим вопросам [1–24]. Среди производных родия ионного типа с галогенсодержащими анионами можно выделить комплексы с моноядерными анионами: $[RhHal_6]$, где Hal = Cl [1–4], Br [5, 6], $[RhHal_4(DmsO-S)_2]^-$, Hal = Cl [7, 8], Br [9, 10], $[RhCl_4(H_2O)_2]^-$ [11], а также с биядерными анионами с μ_2 -мостиковыми атомами галогена: $[Rh_2(\mu_2-Cl_3)Cl_6]^{3-}$ [12], $[Rh_2(\mu_2-I_2)I_4(CO)_2(COMe)_2]^{2-}$ [13, 14], $[Rh_2(\mu_2-Cl_3)Cl_4(i-Pr_3P)_2]^-$ [15]. Молекулярные галогенсодержащие комплексы родия также представлены моноядерными и биядерными формами: $[RhCl_3(CH_3CN)_2(DMF)]$ [11], $[Rh_2(\mu_2-Cl_2)Cl_4(Te[SiMe_3]_2)_4]$ [16], $[Rh_2(\mu_2-Br_2)Br_4(Me_3P)_4]$ [17].

Известно, что тетраацетат диродия $[Rh_2(OAc)_4]$ склонен к образованию аддуктов об-

щей формулы $[Rh_2(OAc)_4L_2]$ с *n*-донорными лигандами. В качестве лигандов L могут выступать молекулы полярных растворителей, таких как вода [18, 19], N,N-диметилформамид [20], метанол [21], диметилсульфоксид [22], пиридин, монооксид углерода, диэтиламин, P(OMe)₃, P(OPh)₃, PF₃ [23], Ph₃Sb, Ph₃As, S(CH₂Ph)₂ [24].

В настоящей работе синтезированы ацетатные комплексы родия $Rh_2(OAc)_4(Diox)_2$, $Rh_2(OAc)_4(DmsO)_2$ и $Rh_2(OAc)_4[(4-FC_6H_4)_3Sb]_2$ и методом РСА исследовано их строение.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез $Rh_2(OAc)_4(Diox)_2$ (I). 50 мг (0.11 ммоль) $Rh_2(OAc)_4$ (коммерческий продукт) растворяли в 20 мл диоксана. После испарения растворителя при 24°C в течение недели наблюдали образование крупных темно-коричневых кристаллов, которые отфильтровывали и высушивали. Получили 58 мг (83%) комплекса I ($t_{разл} = 240^\circ C$). ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3447, 2988, 2938, 2920, 2864, 1585,

1435, 1418, 1352, 1418, 1352, 1344, 1263, 1115, 1080, 1045, 891, 870, 829, 696, 623, 594, 449.

	C	H
Найдено, %:	30.89;	4.58.
Для C ₁₆ H ₂₈ O ₁₂ Rh ₂		
вычислено, %:	31.06;	4.53.

Синтез Rh₂(OAc)₄(DmsO)₂ (II). Растворяли 50 мг [Rh₂(OAc)₄] в 2 мл диметилсульфоксида. После испарения растворителя при 24°C в течение трех недель наблюдали образование крупных кристаллов, которые отфильтровывали и высушивали. Получили 50 мг (75%) комплекса II (*t*_{разл} > 200°C). ИК-спектр (*v*, см⁻¹): 3443, 3053, 3009, 2920, 2855, 1589, 1472, 1431, 1418, 1364, 1346, 1310, 1263, 1211, 1084, 1015, 955, 924, 899, 851, 783, 700, 669, 521, 484, 436.

	C	H
Найдено, %:	23.87;	4.13.
Для C ₁₂ H ₂₄ O ₁₀ S ₂ Rh ₂		
вычислено, %:	24.07;	4.01.

Синтез Rh₂(OAc)₄[(4-FC₆H₄)₃Sb]₂ (III). Смесь 50 мг (0.11 ммоль) Rh₂(OAc)₄ и 91 мг (0.22 ммоль) *трис*-4-фторфенилсурьмы растворяли при перемешивании в 15 мл ацетонитрила. После испарения растворителя при 24°C в течение недели наблюдали образование крупных коричневых кристаллов, которые отфильтровывали и высушивали. Получили 82 мг (58%) комплекса III (*t*_{разл} = 193°C). ИК-спектр (*v*, см⁻¹): 3446, 3088, 3063, 3036, 2930, 1585, 1489, 1433, 1389, 1346, 1302, 1269, 1225, 1161, 1088, 1059, 1020, 818, 696, 625, 592, 575, 507, 415.

	C	H
Найдено, %:	41.95;	2.95.
Для C ₄₄ H ₃₆ O ₈ F ₆ Rh ₂ Sb ₂		
вычислено, %:	42.04;	2.87.

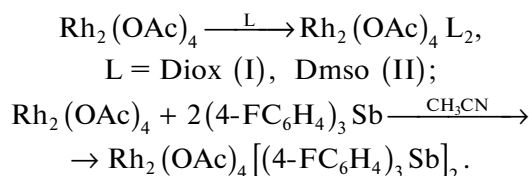
ИК-спектры соединений I–III записывали на ИК-Фурье-спектрометре Shimadzu IRAffinity 1S. Образцы готовили таблетированием с KBr (область поглощения 4000–400 см⁻¹).

РСА кристаллов I–III проведен на дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (MoK_α-излучение, λ = 0.71073 Å, графитовый монохроматор) при 293(2) К. Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены по программам SMART и SAINT-Plus [25]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены по программам SHELXL/PC [26] и OLEX2 [27].

Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур I–III 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 (№ 1840624 (I), 1840627 (II), 1840625 (III), deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Комплексы *тетраakis*-(μ₂-ацетато)-*бис*-(диоксан)диродий Rh₂(OAc)₄(Diox)₂ (I) и *тетраakis*-(μ₂-ацетато)-*бис*-(диметилсульфоксид)диродий Rh₂(OAc)₄(DmsO)₂ (II) получали растворением тетраацетата диродия в диоксане и ДМСО соответственно, *тетраakis*-(μ₂-ацетато)-*бис*-(три(4-фторфенил)стибин)диродий Rh₂(OAc)₄[(4-FC₆H₄)₃Sb]₂ (III) синтезировали из тетраацетата диродия и *трис*-4-фторфенилсурьмы в ацетонитриле. Установлено, что во всех случаях при медленном испарении растворителя кристаллизуются устойчивые на воздухе крупные темно-коричневые кристаллы:



В работе [24] для синтеза комплекса родия с трифенилстибиновым лигандом Rh₂(OAc)₄(Ph₃Sb)₂ в качестве растворителя использовали метанол, однако мы считаем, что ацетонитрил более предпочтителен, так как в этом случае удается исключить реакцию лигандного обмена между растворителем и триарилсурьмой. В [23] отмечена высокая лабильность аксиальных лигандов в комплексах родия Rh₂(OAc)₄L₂, где L = пиридин, NHEt₂, CO, P(OPh)₃, PF₃, P(OMe)₃, которые в избытке метанола способны вступать в реакции обмена, что, по словам авторов, оказалось самым сложным синтетическим препятствием. Следует отметить, что строение комплекса II было исследовано ранее недостаточно точно (*R*-фактор = 3.6%) [22]. С целью уточнения особенностей кристаллической структуры II нами проведено ее повторное определение.

По данным РСА, в centrosymmetricных комплексах I–III атомы родия имеют малоискаженную октаэдрическую координацию (рис. 1–3). В кристаллах II и III присутствует по два типа кристаллографически независимых молекул, гео-

Таблица 1. Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур комплексов I–III

Параметр	Значение		
	I	II	III
<i>M</i>	309.10	598.25	1256.05
Сингония	Триклинная	Моноклиная	Триклинная
Пр. гр.	$P\bar{1}$	$P2_1/c$	$P\bar{1}$
<i>a</i> , Å	8.092(12)	8.379(4)	11.177(6)
<i>b</i> , Å	8.535(9)	16.708(9)	11.840(6)
<i>c</i> , Å	9.160(12)	14.869(10)	18.511(11)
α , град	113.76(4)	90.00	90.10(3)
β , град	99.28(5)	90.13(2)	89.99(3)
γ , град	105.47(6)	90.00	107.23(2)
<i>V</i> , Å ³	531.5(12)	2082(2)	2340(2)
<i>Z</i>	2	4	2
$\rho_{\text{выч}}$, г/см ³	1.931	1.909	1.783
μ , мм ⁻¹	1.613	1.830	1.908
<i>F</i> (000)	310.0	1192.0	1220.0
Размер кристалла, мм	0.42 × 0.29 × 0.13	0.22 × 0.11 × 0.05	0.6 × 0.44 × 0.23
Область сбора данных по θ , град	5.54–90.8	6–65.34	5.68–63.28
Интервалы индексов отражений	$-16 \leq h \leq 16$, $-17 \leq k \leq 17$, $-18 \leq l \leq 18$	$-12 \leq h \leq 12$, $-25 \leq k \leq 25$, $-18 \leq l \leq 22$	$-16 \leq h \leq 16$, $-17 \leq k \leq 17$, $-27 \leq l \leq 27$
Измерено отражений	40950	62749	101419
Независимых отражений	8645	7602	15656
R_{int}	0.0509	0.0514	0.0323
Переменных уточнения	139	243	564
GOOF	1.096	1.055	1.072
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0.0505$, $wR_2 = 0.0815$	$R_1 = 0.0288$, $wR_2 = 0.0533$	$R_1 = 0.0404$, $wR_2 = 0.0734$
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0.0885$, $wR_2 = 0.0965$	$R_1 = 0.0580$, $wR_2 = 0.0595$	$R_1 = 0.0570$, $wR_2 = 0.0818$
Остаточная электронная плотность (min/max), e/Å ³	1.82/–3.17	0.42/–1.13	1.31/–1.02

метрические параметры которых близки друг к другу.

Транс-углы ORhO (O – атом кислорода ацетатных лигандов) равны 176.61(7)°, 176.56(9)° (I), 175.55(7)°–175.61(7)° (II), 175.3(1)°–175.7(1)° (III). Углы RhRhO (177.72(4)°), RhRhS (176.48(2)°, 176.49(2)°), RhRhSb (173.59(1)°, 173.62(1)°) в I, II, III соответственно также близки к теоретическому значению. Связи Rh–Rh 2.380(3) Å (I),

2.4056(10) и 2.4069(10) Å (II), 2.4183(12) Å (III) меньше удвоенного ковалентного радиуса атома родия (2.82 Å [28]). В I аксиальная связь Rh–O_{Diox} (2.335(3) Å) значительно длиннее экваториальных Rh–O_{Ac} (2.037(3)–2.046(3) Å) и аналогичных связей Rh–O в структурно охарактеризованных комплексах родия, содержащих O-донорные молекулы растворителей: [Rh₂(OAc)₄(H₂O)₂] (2.309 Å) [18], [Rh₂(OAc)₄(DMF)₂] (2.286, 2.308 Å) [20] и

Таблица 2. Длины связей и валентные углы в структурах I–III

Связь	$d, \text{Å}$	Угол	$\omega, \text{град}$
I			
Rh(1)–Rh(1a)	2.380(3)	O(5)Rh(1)Rh(1a)	177.72(4)
Rh(1)–O(1)	2.039(3)	O(3)Rh(1)O(4)	176.56(6)
Rh(1)–O(2a)	2.039(3)	O(1)Rh(1)O(2a)	176.61(7)
Rh(1)–O(3)	2.037(3)	O(1)Rh(1)Rh(1a)	88.43(10)
Rh(1)–O(4)	2.046(3)	O(2a)Rh(1)Rh(1a)	88.18(10)
Rh(1)–O(5)	2.335(3)	O(3)Rh(1)Rh(1a)	88.23(7)
C(1)–O(1)	1.269(3)	O(4)Rh(1)Rh(1a)	88.33(7)
C(1)–O(2)	1.273(3)	O(1)Rh(1)O(3)	90.36(13)
C(3)–O(3a)	1.269(3)	O(2a)Rh(1)O(3)	89.64(14)
C(3)–O(4)	1.266(3)	O(2a)Rh(1)O(4)	90.42(14)
C(5)–O(5)	1.418(3)	O(2a)Rh(1)O(5)	91.63(11)
C(8)–O(5)	1.433(4)	O(1)Rh(1)O(4)	89.38(13)
C(6)–O(6)	1.426(4)	O(1)Rh(1)O(5)	91.75(10)
C(7)–O(6)	1.429(4)	O(3)Rh(1)O(5)	89.50(8)
Преобразования симметрии: а) $1 - x, 1 - y, 1 - z$.		O(4)Rh(1)O(5)	93.94(8)
II			
Rh(1)–Rh(1a)	2.4069(10)	S(1)Rh(1)Rh(1a)	176.469(16)
Rh(1)–O(2)	2.0395(16)	O(2)Rh(1)O(3)	175.57(6)
Rh(1)–O(3)	2.0330(16)	O(4)Rh(1)O(5)	175.52(6)
Rh(1)–O(4)	2.0417(16)	O(3)Rh(1)S(1)	88.39(5)
Rh(1)–O(5)	2.0327(17)	O(2)Rh(1)S(1)	96.04(5)
Rh(1)–S(1)	2.4521(11)	O(2)Rh(1)Rh(1a)	87.42(5)
S(1)–O(1)	1.4795(17)	O(3)Rh(1)Rh(1a)	88.15(5)
Rh(2)–Rh(2b)	2.4056(10)	S(2)Rh(2)Rh(2b)	176.467(16)
Rh(2)–O(6)	2.0427(16)	O(6)Rh(2)O(7)	175.63(6)
Rh(2)–O(7)	2.0347(17)	O(8)Rh(2)O(9)	175.64(6)
Rh(2)–O(8)	2.0376(16)	O(9)Rh(2)S(2)	88.51(5)
Rh(2)–O(9)	2.0335(16)	O(8)Rh(2)S(2)	95.86(5)
Rh(2)–S(2)	2.4510(11)	O(8)Rh(2)Rh(2b)	87.61(5)
S(2)–O(10)	1.4787(17)	O(9)Rh(2)Rh(2b)	88.03(5)
Преобразования симметрии: а) $2 - x, 1 - y, 1 - z$; б) $1 - x, 1 - y, -z$.			
III			
Rh(1)–Rh(1a)	2.4183(12)	Sb(1)Rh(1)Rh(1a)	173.620(18)
Rh(1)–O(1)	2.034(3)	O(1)Rh(1)O(3)	175.38(10)
Rh(1)–O(2)	2.033(3)	O(2)Rh(1)O(4)	175.29(10)
Rh(1)–O(3)	2.041(3)	O(1)Rh(1)Sb(1)	86.41(8)
Rh(1)–O(4)	2.044(3)	O(3)Rh(1)Sb(1)	98.16(8)
Rh(1)–Sb(1)	2.7113(13)	O(4)Rh(1)Rh(1a)	87.15(8)
Sb(1)–C(1)	2.128(4)	O(2)Rh(1)Rh(1a)	88.16(8)
Sb(1)–C(11)	2.141(4)	O(2)Rh(1)O(3)	89.10(12)
Sb(1)–C(21)	2.134(4)	O(3)Rh(1)O(4)	90.29(12)
Rh(2)–Rh(2b)	2.4183(12)	Sb(2)Rh(2)Rh(2b)	173.590(19)
Rh(2)–O(5)	2.043(3)	O(5)Rh(2)O(7)	175.39(11)
Rh(2)–O(6)	2.044(3)	O(6)Rh(2)O(8)	175.48(10)
Rh(2)–O(7)	2.037(3)	O(7)Rh(2)Sb(2)	86.35(8)
Rh(2)–O(8)	2.034(3)	O(5)Rh(2)Sb(2)	98.22(8)
Rh(2)–Sb(2)	2.7120(13)	O(6)Rh(2)Rh(2b)	87.13(8)
Sb(2)–C(31)	2.133(4)	O(8)Rh(2)Rh(2b)	88.38(8)
Sb(2)–C(41)	2.129(4)	O(5)Rh(2)O(8)	89.00(12)
Sb(2)–C(51)	2.138(4)	O(7)Rh(2)O(8)	90.41(12)
Преобразования симметрии: а) $1 - x, 2 - y, 1 - z$; б) $1 - x, 1 - y, 2 - z$.			

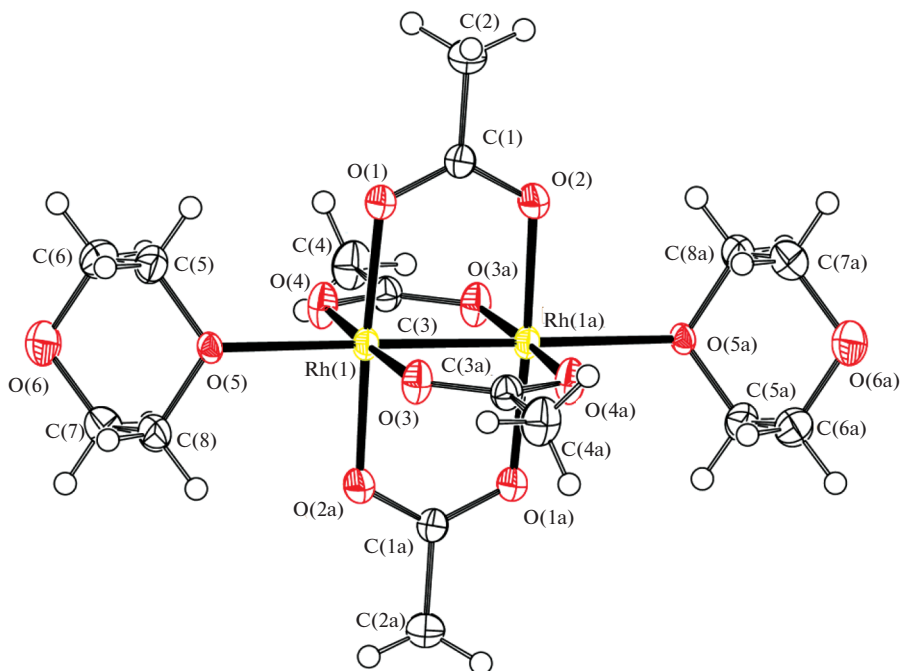


Рис. 1. Строение комплекса I.

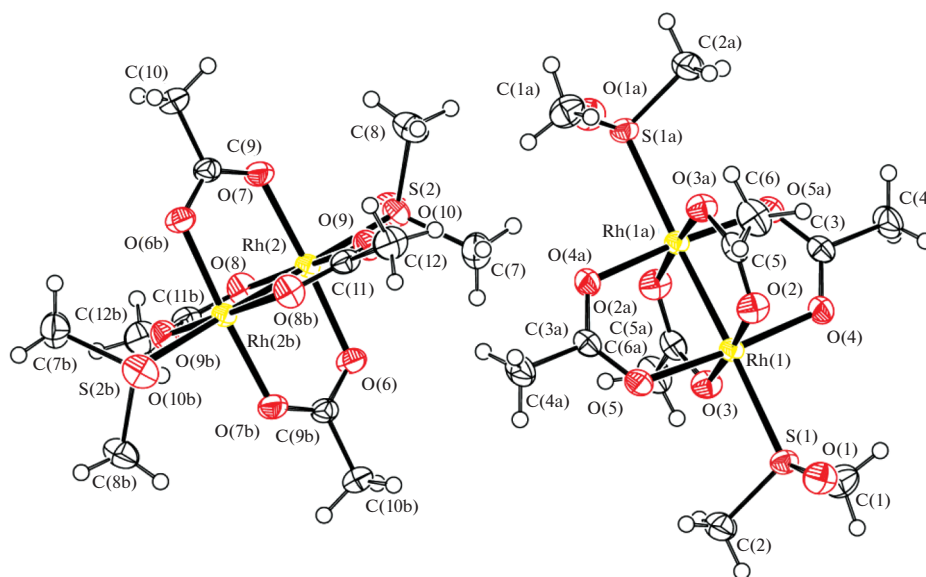


Рис. 2. Строение комплекса II.

$[\text{Rh}_2(\text{OAc})_4(\text{CH}_3\text{OH})_2]$ (2.288 Å) [21], что в целом коррелирует с основностью (донорными числами) данных растворителей (диоксан – 14.8, вода – 18.0, ДМФА – 26.6, метанол – 19 [29]). В II и III длины связей Rh–S и Rh–Sb составляют 2.4510(11) и 2.4521(11) Å (II), 2.7113(13) и 2.7120(13) Å (III), экваториальные связи Rh–O_{Ac} изменяются в интервалах 2.0327(17)–2.044(3) и 2.033(3)–2.044(3) Å соответственно.

Структурная организация в кристаллах I–III обусловлена слабыми водородными связями H...O_{Diox} 2.50–2.72 Å, H...O_{Ac} 2.57 Å (I); H...O_{DMSO} 2.48–2.71 Å, H...O_{Ac} 2.65, 2.66 Å (II); H...F 2.56–2.62 Å, H...O 2.68–2.71 Å (III), длины которых близки к суммам ван-дер-ваальсовых радиусов атомов водорода и кислорода (2.62 Å), а также водорода и фтора (2.57 Å) [30] соответственно.

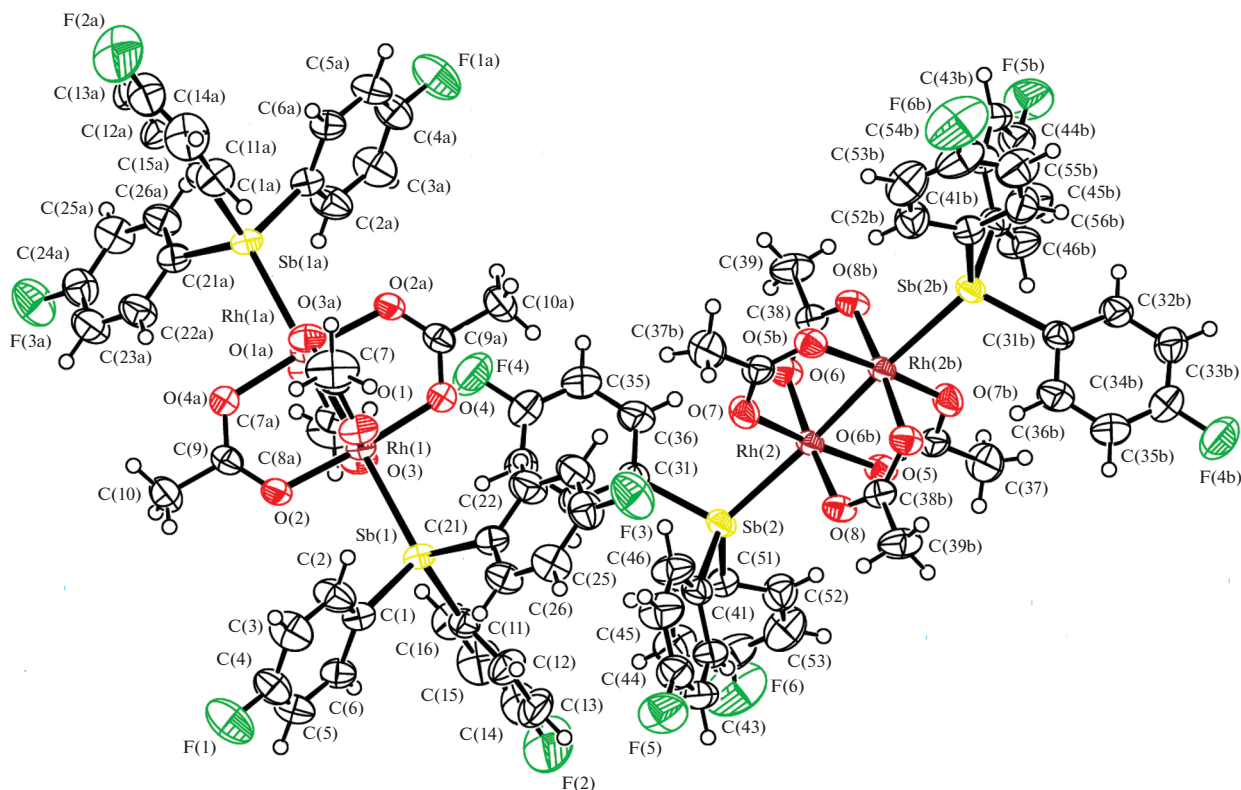


Рис. 3. Строение комплекса III.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Южно-Уральский государственный университет благодарит за финансовую поддержку Министерство образования и науки Российской Федерации (грант № 4.6151.2017/8.9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Макитова Д.Д., Красочка О.Н., Атовмян Л.О. и др.* // Коорд. химия. 1987. Т. 13. С. 383.
2. *Graf J., Frank W.* // Z. Anorg. Allg. Chem. 2004. V. 630. № 12. P. 1894. <https://doi.org/10.1002/zaac.200400208>
3. *Pekhnyo V.I., Orysyk S.I., Bon V.V. et al.* // Pol. J. Chem. 2006. V. 80. № 11. P. 1767.
4. *Bujak M., Frank W.* // Z. Kristallogr. – New Cryst. Struct. 2014. V. 229. № 2. P. 147. <https://doi.org/10.1515/ncrs-2014-0083>
5. *Bujak M., Frank W.* // Z. Naturforsch., B: Chem. Sci. 2002. V. 57. P. 1391.
6. *Bujak M.* // Cryst. Growth Des. 2015. V. 15. № 3. P. 1295. <https://doi.org/10.1021/cg501694d>
7. *Alessio E., Santi A.S., Faleschini P. et al.* // J. Chem. Soc., Dalton Trans. 1994. P. 1849. <https://doi.org/10.1039/DT9940001849>
8. *Abbasi A., Geranmayeh S., Skripkin M.Y. et al.* // Dalton Trans. 2012. V. 41. P. 850. <https://doi.org/10.1039/C1DT11698C>
9. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S., Somov N.V.* // Russ. J. Coord. Chem. 2014. V. 40. № 11. P. 821. [*Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С., Сомов Н.В.* // Коорд. химия. 2014. Т. 40. № 11. С. 683.] <https://doi.org/10.1134/S1070328414110074>
10. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S.* // Russ. J. Gen. Chem. 2016. V. 86. № 9. P. 2141. [*Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С.* // Журн. общ. химии. 2016. Т. 86. № 9. С. 1579.] <https://doi.org/10.1134/S1070363216090309>
11. *Varshavskii Yu.S., Cherkasova T.G., Khrustalev V.N. et al.* // Russ. J. Coord. Chem. 2007. V. 33. № 3. P. 194. [*Варшавский Ю.С., Черкасова Т.Г., Хрусталева В.Н. и др.* // Коорд. химия. 2007. Т. 33. № 3. С. 202.] <https://doi.org/10.1134/S1070328407030074>
12. *Cotton F.A., Ucko D.A.* // Inorg. Chim. Acta. 1972. V. 6. P. 161. [https://doi.org/10.1016/S0020-1693\(00\)91778-X](https://doi.org/10.1016/S0020-1693(00)91778-X)
13. *Adamson G.W., Daly J.J., Forster D.* // J. Organomet. Chem. 1974. V. 71. № 1. P. C17. [https://doi.org/10.1016/S0022-328X\(00\)93156-5](https://doi.org/10.1016/S0022-328X(00)93156-5)
14. *Nguyen D.H., Lassauque N., Vendier L. et al.* // Eur. J. Inorg. Chem. 2014. № 2. P. 326. <https://doi.org/10.1002/ejic.201300933>
15. *Mura P.* // J. Coord. Chem. 1999. V. 48. № 4. P. 503. <https://doi.org/10.1080/00958979908023590>

16. *Vigo L., Poropudas M.J., Salin P. et al.* // *J. Organomet. Chem.* 2009. V. 694. № 13. P. 2053.
<https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2009.02.001>
17. *Boyd S.E., Field L.D., Hambley T.W.* // *Acta Crystallogr., Sect. C: Cryst. Struct. Commun.* 1994. V. 50. № 7. P. 1019.
<https://doi.org/10.1107/S010827019201271X>
18. *Cotton F.A., DeBoer B.G., LaPrade M.D. et al.* // *Acta Crystallogr., Sect. B: Struct. Sci.* 1971. V. 27. № 8. P. 1664.
<https://doi.org/10.1107/S0567740871004527>
19. *Martin Junior D.S., Webb T.R., Robbins G.A. et al.* // *Inorg. Chem.* 1979. V. 18. № 2. P. 475.
<https://doi.org/10.1021/ic50192a061>
20. *Moszner M., Glowiak T., Ziolkowski J.J.* // *Polyhedron.* 1985. V. 4. № 8. P. 1413.
[https://doi.org/10.1016/S0277-5387\(00\)86972-7](https://doi.org/10.1016/S0277-5387(00)86972-7)
21. *Noinville V., Viossat B., Dung N.-H.* // *Acta Crystallogr., Sect. C: Cryst. Struct. Commun.* 1993. V. 49. № 7. P. 1297.
<https://doi.org/10.1107/S0108270193000022>
22. *Cotton F.A., Felthouse T.R.* // *Inorg. Chem.* 1980. V. 19. № 2. P. 323.
<https://doi.org/10.1021/ic50204a010>
23. *Christoph G.G., Koh Y.-B.* // *J. Am. Chem. Soc.* 1979. V. 101. № 6. P. 1422.
<https://doi.org/10.1021/ja00500a011>
24. *Clark R.J.H., Hempleman A.J., Dawes H.M. et al.* // *J. Chem. Soc., Dalton Trans.* 1985. P. 1775.
<https://doi.org/10.1039/DT9850001775>
25. Bruker (1998). SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
26. Bruker (1998). SHELXTL/PC. Vers. 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
27. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al.* // *J. Appl. Cryst.* 2009. V. 42. № 2. P. 339.
<https://doi.org/10.1107/S0021889808042726>
28. *Batsanov S.S.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 1991. V. 36. № 12. C. 3015.
29. *Филалков Ю.А.* Не только в воде. Л.: Химия, 1989. 88 с.
30. *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>