

СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ ПАЛЛАДИЯ

[Ph₃PCH₂C(O)Me][PdCl₃(dmsO-S)] и [Ph₄Sb(dmsO-O)][PdBr₃(dmsO-S)]

В.В. Шарутин, В.С. Сенчурун

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Из галогенида тетраорганилфосфония, -стибония и дигалогенида палладия в присутствии соляной или бромоводородной кислоты получены ионные комплексы палладия с моноядерными анионами [Ph₃PCH₂C(O)Me][PdCl₃(dmsO-S)] и [Ph₄Sb(dmsO-O)][PdBr₃(dmsO-S)], строение которых установлено методом рентгеноструктурного анализа. В состав комплексов входят тетраэдрические катионы тетраорганилфосфония, -стибония и квадратные анионы [PdHal₃(dmsO-S)]⁻. По данным РСА, проведенного при 293 К на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 Quest Bruker (двухкоординатный CCD – детектор, Mo K_α-излучение, λ = 0,71073 Å, графитовый монохроматор), кристаллов **1** [C₂₃H₂₆O₂PCl₃PdS, M 610,22; сингония моноклинная, группа симметрии P2₁/c; параметры ячейки: a = 14,204(4), b = 9,827(3), c = 19,722(6) Å; α = γ = 90,00 град., β = 110,850(12) град.; V = 2572,6(13) Å³; размер кристалла 0,22 × 0,2 × 0,14 мм; интервалы индексов отражений -27 ≤ h ≤ 27, -19 ≤ k ≤ 19, -33 ≤ l ≤ 38; всего отражений 146030; независимых отражений 20362; R_{int} 0,0504; GOOF 1,016; R₁ = 0,0473, wR₂ = 0,0937; остаточная электронная плотность 0,61/-1,44 е/Å³] и **2** [C₁₄H₁₆OSBr_{1,5}Pd_{0,5}S_{0,5}, M 466,27; сингония моноклинная, группа симметрии P2₁2₁2₁; параметры ячейки: a = 9,308(10), b = 15,707(16), c = 21,65(3) Å; α = γ = 90,00 град., β = 90,90 град.; V = 3165(6) Å³; размер кристалла 0,46 × 0,29 × 0,25 мм; интервалы индексов отражений -11 ≤ h ≤ 12, -21 ≤ k ≤ 21, -29 ≤ l ≤ 29; всего отражений 52839; независимых отражений 8521; R_{int} 0,0479; GOOF 1,027; R₁ = 0,0311, wR₂ = 0,0593; остаточная электронная плотность 0,84/-0,95 е/Å³] атомы фосфора и сурьмы в катионах имеют мало искаженную тетраэдрическую координацию с валентными углами СРС 105,76(7)–110,31(7)° и CSbC 100,03(16)–117,62(15)°, которые мало отличаются от теоретического значения, и близкими длинами связей Р–С [1,7903(15)–1,8037(16) Å] и Sb–С [2,061(5)–2,100(4) Å]. Связь Р–С_{Алк} длиннее [1,8037(16) Å], чем связи Р–С_{Ph}. В плоскоквадратных анионах [PdHal₃(dmsO-S)]⁻ длины связей Pd–Cl и Pd–Br изменяются в интервалах 2,2918(7)–2,3012(8) и 2,371(3)–2,403(2) Å соответственно, а расстояния S–Pd [2,2492(6) и 2,237(2) Å] меньше суммы ковалентных радиусов атомов палладия и серы (2,44 Å). Цис-углы СPdCl [89,88(3)°] и BrPdBr [88,93(4)°, 89,59(4)°] практически не отличаются от теоретического значения (90°); значения транс-углов СPdCl и SPdCl сравнимы между собой и составляют 178,15(2)° и 178,714(19)°. Аналогичные величины для комплекса **2** равны 174,22(3)° и 177,53(4)°. Отклонение атома палладия от плоскостей Cl₃S и Br₃S незначительно (0,019 и 0,033 Å). Структурная организация в кристаллах комплексов сформирована межионными контактами S=O⋯H–C 2,56–2,72 Å (**1**) и 2,44–2,62 Å (**2**); Pd–Cl⋯H–C (2,83–2,93 Å) и Br⋯H (2,86–3,04 Å). Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов для структур депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1907718 (**1**), № 1979208 (**2**); deposit@ccdc.cam.ac.uk; <https://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Ключевые слова: комплекс палладия(II), ацетонилтрифенилфосфониевый, тетрафенилстибониевый, катион, диметилсульфоксид, диметилсульфоксидотригалогенопалладат-анион, синтез, строение, рентгеноструктурные исследования.

Введение

Координационная химия комплексов палладия интересна из-за их эффективного применения в катализе [1–10], широкого использования в реакциях органического и элементоорганического синтеза [11–15]. В настоящее время интенсивно изучаются структурные особенности координационных соединений палладия. Многочисленные структурно охарактеризованные ионные гало-

генсодержащие комплексы палладия в основном представлены моноядерными [PdHal₄]²⁻ и, в меньшей степени, биядерными [Pd₂Hal₆]²⁻ анионами [16]. Влияние растворителей на дизайн Pd-содержащих анионов, а также взаимных превращений анионов друг в друга в различных растворителях сообщалось в [17]. Ранее сообщалось о синтезе комплексов палладия с S-координированной молекулой диметилсульфоксида в моноядерных анионах [PdHal₃(dmsO-S)]⁻ [18–28], однако бромсодержащие производные среди них немногочисленны.

В настоящей работе продолжено изучение синтеза и особенностей строения неизвестных ранее ионных комплексов палладия [Ph₃PCH₂C(O)Me][PdCl₃(dmsO-S)] и [Ph₄Sb(dmsO-O)][PdBr₃(dmsO-S)].

Экспериментальная часть

Элементный анализ на С и Н выполнен на элементном анализаторе Carlo Erba CHNS-O EA 1108.

ИК-спектр комплексов записывали на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S в таблетке KBr в области 4000–400 см⁻¹.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) кристаллов комплексов проведен на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (Mo K_α-излучение, λ = 0,71073 Å, графитовый монохроматор). Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены с помощью программ SMART и SAINT-Plus [29]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены с помощью программ SHELXL/PC [30], OLEX2 [31]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Положение атомов водорода уточняли по модели наездника (U_{изо}(H) = 1,2U_{эки}(C)). Кристаллографические данные и результаты уточнения структур приведены в табл. 1, геометрические характеристики координационного полиэдра атома сурьмы – в табл. 2. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1907718 (1), № 1979208 (2); deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk).

Синтез [Ph₃PCH₂C(O)Me][PdCl₃(dmsO-S)] (1). 0,100 г (0,56 ммоль) дихлорида палладия растворяли в избытке хлороводородной кислоты и при перемешивании прибавляли к горячему раствору 0,400 г (1,13 ммоль) хлорида ацетонилтрифенилфосфония в 15 мл горячей воды. Выпавший осадок тетрахлолопалладата ацетонилтрифенилфосфония темно-коричневого цвета фильтровали и сушили. Выход количественный. Высушенный осадок растворяли в 5 мл ДМСО и после испарения растворителя наблюдали образование коричневых кристаллов комплекса **1** с т. разл. 135 °С, выход 82 %. ИК-спектр (ν, см⁻¹): 3059, 3013, 3003, 2959, 2911, 2866, 1713, 1585, 1485, 1439, 1414, 1354, 1315, 1298, 1153, 1119, 1028, 995, 920, 845, 750, 721, 691, 515, 503, 488, 432, 424. Найдено, %: С 45,22, Н 4,30. C₂₃H₂₆O₂SPCl₃Pd. Вычислено, %: С 45,26 Н 4,26.

Синтез [Ph₄Sb(dmsO-O)][PdBr₃(dmsO-S)] (2). Получали по аналогичной методике, исходя из дибромида палладия, бромида тетрафенилстибония и бромоводородной кислоты. Выход 74 %, т. разл. 110 °С. ИК-спектр (ν, см⁻¹): 3072, 3053, 3045, 3024, 2997, 2911, 2854, 1478, 1434, 1399, 1335, 1294, 1184, 1179, 1163, 1157, 1111, 1072, 1023, 996, 951, 916, 891, 458. Найдено, %: С 36,00, Н 3,29. C₂₈H₃₂O₂S₂SbBr₃Pd. Вычислено, %: С 36,06 Н 3,43.

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур **1** и **2**

Параметр	1	2
Формула	C ₂₃ H ₂₆ O ₂ PCl ₃ PdS	C ₁₄ H ₁₆ OBr _{1,5} P _{0,5} S _{0,5}
<i>M</i>	610,22	466,27
<i>T</i> , К	293	293
Сингония	Моноклинная	Ромбическая
Пр. группа	<i>P</i> 2 ₁ / <i>c</i>	<i>P</i> 2 ₁ 2 ₁ 2 ₁
<i>a</i> , Å	14,204(4)	9,308(10)
<i>b</i> , Å	9,827(3)	15,707(16)
<i>c</i> , Å	19,722(6)	21,65(3)
α, град.	90,00	90,00
β, град.	110,850(12)	90,00
γ, град.	90,00	90,00

Параметр	1	2
$V, \text{Å}^3$	2572,6(13)	3165(6)
Z	4	8
$\rho(\text{выч.}), \text{г/см}^3$	1,576	1,957
$\mu, \text{мм}^{-1}$	1,194	5,366
$F(000)$	1232,0	1800,0
Размер кристалла, мм	$0,22 \times 0,2 \times 0,14$	$0,46 \times 0,29 \times 0,25$
Область сбора данных по 2θ , град.	6,02–88,6	6,22–58,8
Интервалы индексов отражений	$-27 \leq h \leq 27,$ $-19 \leq k \leq 19,$ $-33 \leq l \leq 38$	$-11 \leq h \leq 12,$ $-21 \leq k \leq 21,$ $-29 \leq l \leq 29$
Измерено отражений	146030	52839
Независимых отражений	20362	8521
R_{int}	0,0504	0,0479
Переменных уточнения	283	338
$GOOF$	1,016	1,027
R -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0,0473, wR_2 = 0,0937$	$R_1 = 0,0311, wR_2 = 0,0593$
R -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0,1154, wR_2 = 0,1155$	$R_1 = 0,0470, wR_2 = 0,0643$
Остаточная электронная плотность (min/max), $e/\text{Å}^3$	0,61/–1,44	0,84/–0,95

Таблица 2

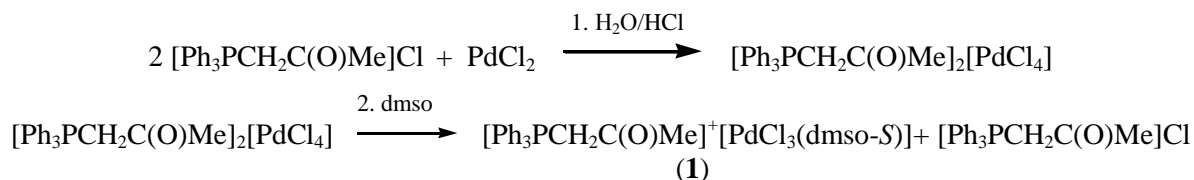
Длины связей и валентные углы в соединениях 1 и 2

Связь	$d, \text{Å}$	Угол	$\omega, \text{град.}$
1			
Pd(1)–Cl(1)	2,2918(7)	Cl(1)Pd(1)Cl(2)	178,15(2)
Pd(1)–Cl(2)	2,3012(8)	Cl(1)Pd(1)Cl(3)	89,88(3)
Pd(1)–Cl(3)	2,2987(7)	Cl(3)Pd(1)Cl(2)	89,88(3)
Pd(1)–S(1)	2,2492(6)	S(1)Pd(1)Cl(1)	91,40(3)
S(1)–O(2)	1,4693(15)	S(1)Pd(1)Cl(2)	88,83(3)
S(1)–C(17)	1,776(2)	S(1)Pd(1)Cl(3)	178,714(19)
S(1)–C(18)	1,766(2)	O(2)S(1)Pd(1)	115,67(6)
P(1)–C(1)	1,7903(15)	O(2)S(1)C(17)	107,29(12)
P(1)–C(11)	1,7981(15)	O(2)S(1)C(18)	109,26(14)
P(1)–C(7)	1,8037(16)	C(17)S(1)Pd(1)	113,40(6)
2			
Pd(1)–Br(2)	2,4033(18)	Br(1)Pd(1)Br(2)	88,93(4)
Pd(1)–Br(1)	2,376(3)	Br(3)Pd(1)Br(2)	89,59(4)
Pd(1)–Br(3)	2,371(3)	Br(3)Pd(1)Br(1)	174,22(3)
Pd(1)–S(2)	2,237(2)	S(2)Pd(1)Br(2)	177,53(4)
S(2)–O(2)	1,456(4)	S(2)Pd(1)Br(1)	91,73(5)
S(2)–C(10)	1,747(5)	S(2)Pd(1)Br(3)	89,99(5)
S(2)–C(9)	1,752(5)	C(31)Sb(1)C(1)	100,03(16)
S(1)–O(1)	1,468(3)	C(21)Sb(1)C(31)	114,18(17)
S(1)–C(8)	1,698(7)	C(21)Sb(1)C(1)	102,28(17)
S(1)–C(7)	1,710(9)	C(11)Sb(1)C(31)	116,44(16)
Sb(1)–C(31)	2,087(4)	C(11)Sb(1)C(21)	117,62(15)
Sb(1)–C(21)	2,075(4)	C(11)Sb(1)C(1)	102,35(15)
Sb(1)–C(11)	2,061(5)	O(2)S(2)Pd(1)	115,17(19)
Sb(1)–C(1)	2,100(4)	O(2)S(2)C(10)	108,6(3)

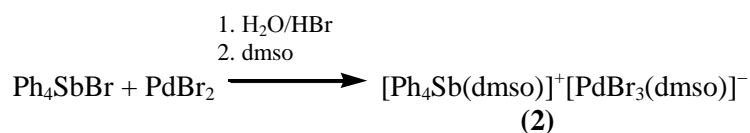
Обсуждение результатов

Для синтеза ионных комплексов палладия водный раствор галогенида алкилтрифенилфосфония или тетрафенилстибония приливали к раствору дигалогенида палладия в галоидоводородной кислоте, при этом наблюдали образование осадка коричневого цвета, который после фильтрации и высушивания перекристаллизовывали из диметилсульфоксида.

После испарения растворителя в первом случае получали диметилсульфоксидотрихлоропалладат ацетонилтрифенилфосфония [Ph₃PCH₂C(O)Me]⁺[PdCl₃(dmsO-S)]⁻ в виде коричневых кристаллов:



Аналогично синтезировали *S*-диметилсульфоксидотрибромопалладат *O*-диметилсульфоксидотетрафенилстибония:



Соединения **1**, **2** – коричневые кристаллические вещества, устойчивые к действию влаги и кислорода воздуха, хорошо растворимые в ацетонитриле, хлороформе, тетрагидрофуране и нерастворимые в алифатических углеводородах.

В ИК-спектрах комплексов **1** и **2** наблюдаются интенсивные полосы поглощения в областях 1439 и 995, а также 1434 и 996 см⁻¹, которые характеризуют валентные колебания связей P–C_{Ph} и Sb–C_{Ph} соответственно [32]. Наблюдаемое смещение полос поглощения связи S=O (1119 и 1111 см⁻¹) в коротковолновую область по сравнению с несвязанным диметилсульфоксидом (1055 см⁻¹) характерно для подобных комплексов с *S*-координированным ДМСО [33].

По данным РСА, кристаллы комплексов **1**, **2** состоят из тетраэдрических катионов ацетонилтрифенилфосфония, тригонально-бипирамидальных катионов (*O*-диметилсульфоксидо)тетрафенилстибония и моноядерных квадратных анионов [PdHal₃(dmsO-S)]⁻ (рис. 1, 2).

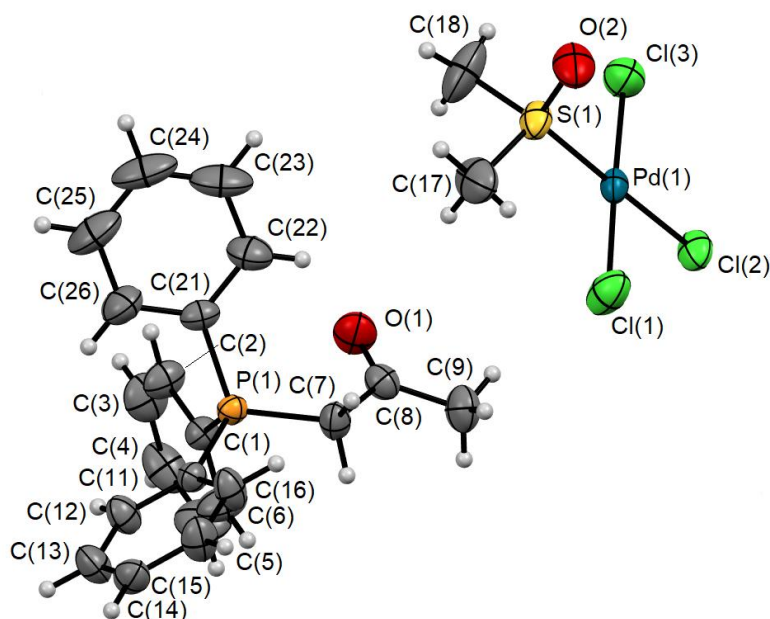


Рис. 1. Строение комплекса 1

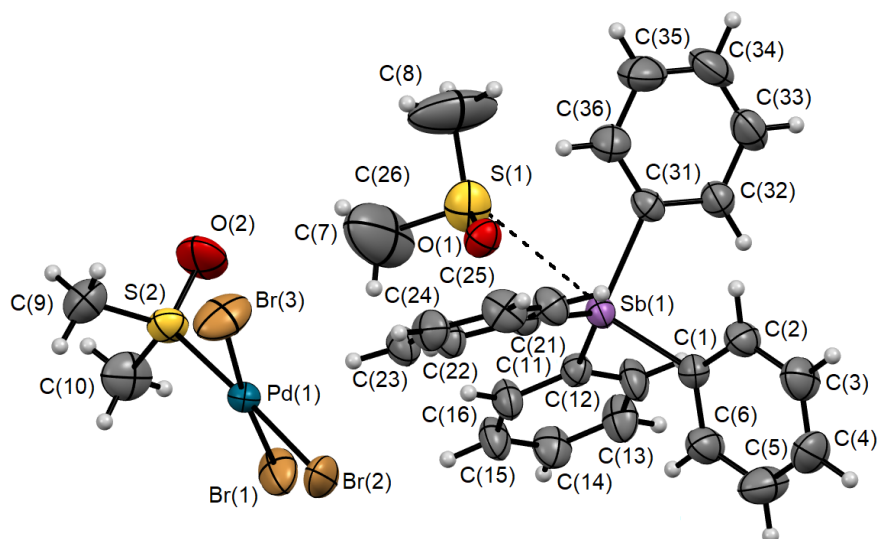


Рис. 2. Строение комплекса 2

Атом фосфора в катионе **1** имеет мало искаженную тетраэдрическую координацию с валентными углами CPC 105,76(7)–113,03(8)°, которые мало отличаются от теоретического значения, и близкими длинами связей P–C , причем расстояние P–C_{Alk} (1,8037(16) Å) длиннее, чем связи P–C_{Ph} [1,7903(15)–1,7981(15) Å]. В плоскоквдратных анионах $[\text{PdCl}_3(\text{dmsO-S})]^-$ длины связей Pd–Cl изменяются в интервалах 2,2918(7)–2,3012(8) Å, а расстояние S–Pd [2,2492(6) Å] меньше суммы ковалентных радиусов атомов палладия и серы (2,44 Å [34]). *Цис*-углы ClPdCl [89,88(3)°] практически не отличаются от теоретического значения (90°); значения *транс*-углов ClPdCl и SPdCl сравнимы между собой и составляют 178,15(2) и 178,714(3)°. В катионе **2** молекула диметилсульфоксида координирована через кислород с атомом сурьмы ($\text{O}\cdots\text{Sb}$ 2,617 Å), который имеет координацию тригональной бипирамиды (аксиальный угол CSbO 178,42°). Валентные углы CSbC изменяются в интервале 100,03(16)–117,62(15)°, длины связей Sb–C составляют 2,061(5)–2,100(4) Å. В плоскоквдратных анионах $[\text{PdBr}_3(\text{dmsO-S})]^-$ длины связей Pd–Br изменяются в интервалах 2,371(3)–2,4033(18) Å, расстояние S–Pd [2,237(2) Å] меньше суммы ковалентных радиусов атомов палладия и серы (2,44 Å [34]). *Цис*-углы BrPdBr [88,93(3)° и 89,59(4)°] мало отличаются от теоретического значения (90°); значения *транс*-углов BrPdBr и SPdBr сравнимы между собой и составляют 174,22(3)° и 177,53(4)°. В анионах комплексов **1**, **2** отклонение атома палладия от плоскости Hal_3S составляет 0,019 и 0,033 Å соответственно, причем минимальная величина проявляется в структуре **1**.

Структурная организация в кристаллах комплексов сформирована межмолекулярными контактами $\text{O}\cdots\text{H}$ 2,56–2,72 Å (**1**) и 2,44–2,62 Å (**2**), что близко к сумме ван-дер-ваальсовых радиусов атомов кислорода и водорода (2,7 Å). В кристаллах **1** и **2** также присутствуют сокращенные расстояния $\text{Cl}\cdots\text{H}$ (2,83–2,93 Å) и $\text{Br}\cdots\text{H}$ (2,86–3,04 Å), что близко к сумме ван-дер-ваальсовых радиусов атомов хлора, водорода (3,0 Å) и брома, водорода (3,1 Å) [35].

Выводы

Из галогенидов ацетонилтрифенилфосфония, тетрафенилстибония и дигалогенида палладия в присутствии галогеноводородной кислоты получены ионные комплексы палладия с квадратными моноядерными анионами $[\text{PdHal}_3(\text{dmsO-S})]^-$ $\text{Hal} = \text{Cl}, \text{Br}$, строение которых доказано рентгеноструктурным анализом.

Литература

1. Palladium Complexes with Pyrimidine-functionalized N-heterocyclic Carbene Ligands: Synthesis, Structure and Catalytic Activity / D. Meyer, M.A. Taige, A. Zeller et al. // *Organometallics*. – 2009. – Vol. 28, № 7. – P. 2142–2149. DOI: 10.1021/om8009238.

2. Air and Moisture Tolerant Synthesis of a Chelated *bis*(NHC) Methylpalladium(II) Complex Relevant to Alkyl Migration Processes in Catalysis / M.G. Gardiner, C.C. Ho, D.S. McGuinness et al. // *Austr. J. Chem.* – 2020. – Vol. 73. – P. 1158–1164. DOI: 10.1071/CH20194.
3. Sterically Hindered N-aryl/Benzyl Substituted Piperidoimidazolin-2-ylidene Palladium Complexes and their Catalytic Activities / E. Gacal, S. Denizalti, A. Kinal et al. // *Tetrahedron.* – 2018. – Vol. 74, № 47. – P. 6829–6838. DOI: 10.1016/j.tet.2018.10.003.
4. Mansour, W. Regioselective Synthesis of Chromones via Cyclocarbonylative Sonogashira Coupling Catalyzed by Highly Active Bridged-*bis*(N-heterocyclic carbene)palladium(II) Complexes / W. Mansour, M. Fettouhi, B. El Ali // *ACS Omega.* – 2020. – Vol. 5, № 50. – P. 32515–32529. DOI: 10.1021/acsomega.0c04706.
5. Soft Heteroleptic N-heterocyclic Carbene Palladium(ii) Species for Efficient Catalytic Routes to Alkynones via Carbonylative Sonogashira Coupling / W. Mansour, R. Suleiman, M. Fettouhi et al. // *ACS Omega.* – 2020. – V. 5, № 50. – P. 23687–23702. DOI: 10.1021/acsomega.0c02413.
6. Complex of *tris*(Z-styryl)phosphine with PdCl₂ as a New Catalyst for the Sonogashira Reaction / B.A. Trofimov, S.F. Vasilevsky, N.K. Gusarova et al. // *Mendeleev Commun.* 2008. – V. 18, № 6. – P. 318–319. DOI: 10.1016/j.mencom.2008.11.010.
7. Structure and Catalytic Properties of (Acetylacetonato-κ²O,O')*bis*(tri(2-furyl)phosphine) Palladium(II) Tetrafluoroborate / M.V. Bykov, Z.D. Abramov, T.S. Orlov et al. // *J. Struct. Chem.* – 2021. – V. 62, № 8. – P. 1218–1228. DOI: 10.1134/S0022476621080072.
8. Reaction of Elemental Phosphorus with α-Methylstyrenes: One-pot Synthesis of Secondary and Tertiary Phosphines, Prospective Bulky Ligands for Pd(II) Catalysts / A.V. Artem'ev, S.F. Malysheva, N.K. Gusarova et al. // *Tetrahedron.* – 2016. – V. 72, № 4. – P. 443–450. DOI: 10.1016/j.tet.2015.11.009.
9. A New Access to Tri(1-naphthyl)phosphine and its Catalytically Active Palladacycles and Luminescent Cu(I) Complex / A.V. Artem'ev, V.A. Kuimov, E.A. Matveeva et al. // *Inorg. Chem. Commun.* – 2017. – V. 86. – P. 94–97. DOI: 10.1016/j.inoche.2017.09.008.
10. Palladium (II) Complexes Containing 2-Phenylpyridine Derivatives: Synthesis, Molecular Structures, and Catalytic Activity for Suzuki–Miyaura Cross-coupling Reactions / A. Adamson, Y.P. Budiman, I. Mkhalid et al. // *J. Struct. Chem.* – 2020. – V. 61. – P. 466–475. DOI: 10.1134/S0022476620030130.
11. Defluorinative Functionalization of Pd(II) Fluoroalkyl Complexes / M.M.W. Wolfe, J.P. Shanahan, J.W. Kampf et al. // *J. Am. Chem. Soc.* – 2020. – V. 142, № 43. – P. 18698–18705. DOI: 10.1021/jacs.0c09505.
12. Mori, M. Sterically Demanding 8-(Diphenylphosphino)quinoline Complexes of Group 10 Metal(II): Synthesis, Crystal Structures, and Properties in Solution / M. Mori, Y. Sunatsuki, T. Suzuki // *Inorg. Chem.* – 2020. – V. 59, № 24. – P. 18225–18240. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.0c02706.
13. Cycloneophylpalladium(IV) Complexes: Formation by Oxidative Addition and Selectivity of their Reductive Elimination Reaction / A. Behnia, M.A. Fard, J.M. Blacquiere et al. // *Organometallics.* – 2020. – V. 39, № 22. – P. 4037–4050. DOI: 10.1021/acs.organomet.0c00615.
14. Bismuthanes as Hemilabile Donors in an O₂-Activating Palladium(0) Complex / K. Materne, B. Braun-Cula, C. Herwig et al. // *Chem.-Eur. J.* – 2017. – V. 23. – P. 11797–11801. DOI: 10.1002/chem.201703489.
15. Lin, T.-P. σ-Accepting Properties of a Chlorobismuthine Ligand / T.-P. Lin, I.-Sh. Ke, F.P. Gabbaï // *Angew. Chem., Int. Ed.* – 2012. – V. 51. – P. 4985–4988. DOI: 10.1002/anie.201200854.
16. Cambridge Crystallographic Data Center. 2021. (deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).
17. Синтез и строение комплексов палладия [Ph₃P(CH₂)₃PPh₃][PdBr₄], [Ph₃P(CH₂)₃PPh₃][Pd₂Br₆]·DMF и [Ph₃P(CH₂)₃PPh₃][PdBr₃(dmsO-S)]₂ / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, В.С. Сенчуриин и др. // *Журн. общ. химии.* – 2017. – Т. 87, № 1. – С. 128–133.
18. Шарутин, В.В. Синтез и строение комплексов палладия [Ph₃PhCH₂P]⁺[PdCl₃(dmsO)]⁻·dmsO, [Ph₄P]⁺[PdCl₃(dmsO)]⁻ и [Ph₄Sb(dmsO)]⁺ [PdCl₃(dmsO)]⁻ / В.В. Шарутин, В.С. Сенчуриин, О.К. Шарутина // *Журн. неорганической химии.* – 2013. – Т. 58, № 5. – С. 616–620.
19. Синтез и строение комплексов палладия: [Ph₃(цикло-C₃H₅)P]⁺₂[PdBr₄]²⁻, [Ph₃(цикло-C₃H₅)P]⁺₂[Pd₂Br₆]²⁻, [Ph₃(цикло-C₃H₅)P]⁺[PdBr₃(dmsO)]⁻ / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, В.С. Сенчуриин и др. // *Коорд. химия.* – 2015. – Т. 41, № 7. – С. 430–437.

20. Synthesis and Structure of Palladium Complex $[\text{Ph}_3\text{PCH}=\text{CHPPh}_3]^{2+}[\text{PdBr}_3(\text{DMSO})]_2 \cdot \text{DMSO}$ / V.V. Sharutin, O.K. Sharutina, V.S. Senchurin et al. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 11–16.
21. Ярыгина, Д.М. Синтез и строение комплексов палладия $[\text{Ph}_3\text{PMe}]^+[\text{PdBr}_3(\text{DMSO})]^-$ и $[\text{Ph}_3\text{P}(\text{CH}_2)_6\text{PPh}_3]^{2+}[\text{PdBr}_3(\text{Et}_2\text{SO})]_2^-$ / Д.М. Ярыгина, А.Е. Баталов, В.С. Сенчурин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2018. – Т. 10, № 3. – С. 51–58. DOI: 10.14529/chem180306.
22. Синтез и строение комплексов палладия: $[\text{Ph}_3\text{PC}_6\text{H}_{11}\text{-cyclo}]^+[\text{PdBr}_3(\text{DMSO})]^-$, $[\text{Ph}_3\text{PBu}]^+[\text{PdCl}_3(\text{DMSO})]^-$ и $[\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{PPh}_3]^{2+}[\text{PdCl}_4]_2^- \cdot \text{Dmf}$ / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, В.С. Сенчурин и др. // Журн. неорганической химии. – 2018. – Т. 63, № 6. – С. 712–717. DOI: 10.7868/S0044457X18060089.
23. Катионно-анионные комплексы Pd^{II} с катионом адамантилимидазолия: синтез, структурные исследования и MAO-ингибирующая активность / М.С. Денисов, М.В. Дмитриев, Д.В. Ерошенко и др. // Журн. неорганической химии. – 2019. – Т. 64, № 1. – С. 38–50. DOI: 10.1134/S0044457X19010057.
24. Structure of a Diorganotelluroxonium(IV) Cation, $\{[2,6\text{-}(\text{CH}_2\text{NMe}_2)_2\text{C}_6\text{H}_3\text{Te}(\mu\text{-O})]_2\}^+$, with the Tri-chlorido-(dimethyl sulfoxide)-platinum(II) Anion / A. Gupta, R. Deka, R.J. Butcher et al. // Acta Cryst. – 2020. – V. E76. – P. 1520–1524. DOI: 10.1107/S2056989020011482.
25. Hazell, A. Mono-, Di- and Poly-nuclear Transition-metal Complexes of a bis(Tridentate) Ligand: Towards *p*-Phenylenediamine-bridged co-ordination Polymers / A. Hazell, C.J. McKenzie, L.P. Nielsen // J. Chem. Soc., Dalton Trans. – 1998. – P. 1751–1756. DOI: 10.1039/A800602D.
26. Co-ordination of Promethazine $\{10\text{-}[2\text{-}(\text{Dimethyl}(\text{amino})\text{propyl})\text{phenothiazine}]\}$ Hydrochloride with Palladium(II): X-ray Crystal Structure of a Trichloro-palladium(II) Product / W.J. Geary, N.J. Mason, L.A. Nixon et al. // Chem. Commun. – 1980. – № 22. – P. 1064–1065. DOI: 10.1039/c39800001064.
27. Schroeter, F. Tailored Palladate Tunable Aryl Alkyl Ionic Liquids (TAAILs) / F. Schroeter, J. Soellner, T. Strassner // Chem.-Eur. J. – 2019. – V. 25. – P. 2527–2537. DOI: 10.1002/chem.201804431.
28. Consecutive Modular Ligation as an Access Route to Palladium Containing Polymers / C. Lang, K. Pahnke, C. Kiefer et al. // Polym. Chem. – 2013. – Vol. 4, Iss. 21. – P. 5456–5462. DOI: 10.1039/C3PY00648D.
29. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
30. 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.
31. OLEX2: a Complete Structure Solution, Refinement and Analysis Program / O.V. Dolomanov, L.J. Bourhis, R.J. Gildea, J.A.K. Howard, H. Puschmann // J. Appl. Cryst. – 2009. – V. 42. – P. 339–341.
32. Казицына, Л.А. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии / Л.А. Казицына, Н.Б. Куплетская. – М.: Высшая школа, 1971. – С. 50.
33. Кукушкин, Ю.Н. Вклад исследований диметилсульфоксидных комплексов в теории координационной химии / Ю.Н. Кукушкин // Коорд. химия. – 1997. – Т. 23, № 3. – С. 163–174.
34. Covalent Radii Revisited / B. Cordero, V. Gómez, A.E. Platero-Prats et al. // Dalton Trans. – 2008. – Iss. 21. – P. 2832–2838. DOI: 10.1039/B801115J.
35. Consistent Van der Waals Radii for the Whole Main Group / M. Mantina, A.C. Chamberlin, R. Valero et al. // J. Phys. Chem. A. – 2009. – V. 113, iss. 19. – P. 5806–5812. DOI: 10.1021/jp8111556.

Шарутин Владимир Викторович – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник управления научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: sharutin50@mail.ru

Сенчурин Владислав Станиславович – доктор химических наук, профессор, кафедра теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: senchurinvs@susu.ru

Поступила в редакцию 3 февраля 2022 г.

SYNTHESIS AND STRUCTURE OF PALLADIUM COMPLEXES
[Ph₃PCH₂C(O)Me][PdCl₃(dmsO-S)] AND [Ph₄Sb(dmsO-O)][PdBr₃(dmsO-S)]

V.V. Sharutin, sharutin50@mail.ru

V.S. Senchurin, senchurinvs@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Interaction of tetraorganylphosphonium, -stibonium halides with palladium dihalide in water in the presence of hydrochloric or hydrobromic acid, followed by recrystallization from dimethyl sulfoxide, has been used to synthesize palladium(II) ionic complexes with mononuclear anions [Ph₃PCH₂C(O)Me][PdCl₃(dmsO-S)] and [Ph₄Sb(dmsO-O)][PdBr₃(dmsO-S)]. The complexes include tetrahedral cations of tetraorganylphosphonium, -stibonium and square anions [PdHal₃(dmsO-S)]⁻. According to the X-ray analysis data obtained on an automatic diffractometer D8 Quest Bruker (MoK α -radiation, $\lambda = 0.71073$ Å, graphite monochromator) at 293 K, of crystals **1** [C₂₃H₂₆O₂PCl₃PdS, *M* 610.22, monoclinic syngony, symmetry group *P*2₁/*c*; cell parameters: *a* 14.204(4) Å, *b* 9.827(3) Å, *c* 19.722(6) Å, $\alpha = \gamma = 90.00$ degrees, $\beta = 110.850(12)$ degrees; *V* = 2572.6(13) Å³; the crystal size is 0.22×0.2×0.14 mm; intervals of reflection indexes are $-27 \leq h \leq 27$, $-19 \leq k \leq 19$, $-33 \leq l \leq 38$; total reflections 146030; independent reflections 20362; *R*_{int} 0.0504; GOOF 1.016; *R*₁ = 0.0473, *wR*₂ = 0.0937; residual electron density 0.61/−1.44 e/Å³] and **2** [C₁₄H₁₆OSBr_{1.5}Pd_{0.5}S_{0.5}, *M* 466.27, monoclinic syngony, symmetry group *P*2₁2₁2₁; cell parameters: *a* 9.308(10) Å, *b* 15.707(16) Å, *c* 21.65(3) Å, $\alpha = \gamma = 90.00$ degrees, $\beta = 90.90$ degrees; *V* = 3165(6) Å³; the crystal size is 0.46×0.29×0.25 mm; intervals of reflection indexes are $-11 \leq h \leq 12$, $-21 \leq k \leq 21$, $-29 \leq l \leq 29$; total reflections 52839; independent reflections 8521; *R*_{int} 0.0479; GOOF 1.027; *R*₁ = 0.0311, *wR*₂ = 0.0593; residual electron density 0.84/−0.95 e/Å³] the phosphorus and antimony atoms in cations have a slightly distorted tetrahedral coordination with bond angles: CPC 105.76(7)–110.31(7) degrees and CSbC 100.03(16)–117.62(15) degrees, differ little from the theoretical value, and by close bond lengths: P–C [1.7903(15)–1.8037(16) Å] and Sb–C [2.061(5)–2.100(4) Å]. The P–C_{alk} bond is longer [1.8037(16) Å] than the P–C_{ph}. In the [PdHal₃(dmsO-S)]⁻ square planar anions the Pd–Cl and Pd–Br bond lengths vary in the ranges 2.2918(7)–2.3012(8) and 2.371(3)–2.403(2) Å, respectively, while the S–Pd distances [2.2492(6) and 2.237(2) Å] are less than the sum of the covalent radii of palladium and sulfur atoms (2.44 Å). The ClPdCl *cis*-angles [89.88(3) degrees] and BrPdBr ones [88.93(4) degrees, 89.59(4) degrees] practically do not differ from the theoretical value (90 degrees); the values of the ClPdCl and SPdCl *trans*-angles are comparable to each other and amount to 178.15(2) degrees and 178.714(19) degrees. Similar values for complex **2** are 174.22(3) degrees and 177.53(4) degrees. The deviation of the palladium atom from the Cl₃S and Br₃S planes is insignificant (0.019 and 0.033 Å). The structural organization of crystals **1** and **2** is controlled by intermolecular bonds S=O⋯H–C 2.56–2.72 Å (**1**) and 2.44–2.62 Å (**2**); Pd–Cl⋯H–C (2.83–2.93 Å) and Pd–Br⋯H–C (2.86–3.04 Å). Complete tables of coordinates of atoms, bond lengths and valence angles for structures **1** and **2** are deposited at the Cambridge Structural Data Bank (no. 1907718 (**1**), 1979208 (**2**); deposit@ccdc.cam.ac.uk; http://www.ccdc.cam.ac.uk).

Keywords: palladium(II) complex, acetyltriphenylphosphonium, tetraphenylstibonium, cation, dimethyl sulfoxide, dimethyl sulfoxidetrihalopalladate anion, synthesis, structure, X-ray analysis.

References

1. Meyer D., Taige M.A., Zeller A., Hohlfield K., Ahrens S., Strassner T. Palladium Complexes with Pyrimidine-Functionalized N-Heterocyclic Carbene Ligands: Synthesis, Structure and Catalytic Activity. *Organomet.*, 2009, vol. 28, no. 7, pp. 2142–2149. DOI: 10.1021/om8009238.
2. Gardiner M.G., Ho C.C., McGuinness D.S., Liu Y.L. Air and Moisture Tolerant Synthesis of a Chelated *bis*(NHC) Methylpalladium(II) Complex Relevant to Alkyl Migration Processes in Catalysis. *Austr. J. Chem.*, 2020, vol. 73, pp. 1158–1164. DOI: 10.1071/CH20194.
3. Gacal E., Denizalti S., Kinal A., Gökçe A.G., Türkmen H. Sterically Hindered N-Aryl/benzyl Substituted Piperidoimidazolin-2-ylidene Palladium Complexes and Their Catalytic Activities. *Tetrahedron*, 2018, vol. 74, no. 47, pp. 6829–6838. DOI: 10.1016/j.tet.2018.10.003.
4. Mansour W., Fettouhi M., El Ali B. Regioselective Synthesis of Chromones via Cyclocarbonylative Sonogashira Coupling Catalyzed by Highly Active Bridged-Bis(N-Heterocyclic Car-

bene)Palladium(II) Complexes. *ACS Omega*, 2020, vol. 5, no. 50, pp. 32515–32529. DOI: 10.1021/acsomega.0c04706.

5. Mansour W., Suleiman R., Fettouhi M., El Ali B. Soft Heteroleptic N-Heterocyclic Carbene Palladium(II) Species for Efficient Catalytic Routes to Alkynones via Carbonylative Sonogashira Coupling. *ACS Omega*, 2020, vol. 5, no. 50, pp. 23687–23702. DOI: 10.1021/acsomega.0c02413.

6. Trofimov B.A., Vasilevsky S.F., Gusarova N.K., Malysheva S.F., Baranov D.S., Mamatyuk V.I., Gatilov Yu.V. Complex of *Tris*(*Z*-styryl)phosphine with PdCl₂ as a New Catalyst for the Sonogashira Reaction. *Mendeleev Commun.*, 2008, vol. 18, no. 6, pp. 318–319. DOI: 10.1016/j.mencom.2008.11.010.

7. Bykov M.V., Abramov Z.D., Orlov T.S., Pakhomova M.V., Borodina T.N., Smirnov V.I., Suslov D.S. Structure and Catalytic Properties of (Acetylacetonato-κ²O,O')bis(tri(2-furyl)phosphine) Palladium(II) Tetrafluoroborate. *J. Struct. Chem.*, 2021, vol. 62, no. 8, pp. 1218–1228. DOI: 10.1134/S0022476621080072.

8. Artem'ev A.V., Malysheva S.F., Gusarova N.K., Belogorlova N.A., Sukhov B.G., Sutyryna A.O., Matveeva E.A., Vasilevsky S.F., Govdi A.I., Gatilov Yu.V., Albanov A.I., Trofimov B.A. Reaction of Elemental Phosphorus with α-Methylstyrenes: One-pot Synthesis of Secondary and Tertiary Phosphines, Prospective Bulky Ligands for Pd(II) Catalysts. *Tetrahedron*, 2016, vol. 72, no. 4, P. 443–450. DOI: 10.1016/j.tet.2015.11.009.

9. Artem'ev A.V., Kuimov V.A., Matveeva E.A., Bagryanskaya I.Yu., Govdi A.I., Vasilevsky S.F., Rakhmanova M.I., Samultsev D.O., Gusarova N.K., Trofimov B.A. A New Access to Tri(1-naphthyl)phosphine and its Catalytically Active Palladacycles and Luminescent Cu(I) Complex. *Inorg. Chem. Commun.*, 2017, vol. 86, pp. 94–97. DOI: 10.1016/j.inoche.2017.09.008.

10. Adamson A., Budiman Y.P., Mkhaliid I., Muhammad R., Arshad M.N., Alhaddad M.R., Asiri A.M. Palladium (II) Complexes Containing 2-Phenylpyridine Derivatives: Synthesis, Molecular Structures, and Catalytic Activity for Suzuki–Miyaura Cross-Coupling Reactions. *J. Struct. Chem.*, 2020, vol. 61, P. 466–475. DOI: 10.1134/S0022476620030130.

11. Wolfe M.M.W., Shanahan J.P., Kampf J.W., Szymczak N.K. Defluorinative Functionalization of Pd(II) Fluoroalkyl Complexes. *J. Am. Chem. Soc.*, 2020, vol. 142, no. 43, pp. 18698–18705. DOI: 10.1021/jacs.0c09505.

12. Mori M., Sunatsuki Y., Suzuki T. Sterically Demanding 8-(Diphenylphosphino)quinoline Complexes of Group 10 Metal(II): Synthesis, Crystal Structures, and Properties in Solution. *Inorg. Chem.*, 2020, vol. 59, no 24, pp. 18225–18240. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.0c02706.

13. Behnia A., Fard M.A., Blacquiére J.M., Puddephatt R.J. Cycloneophylpalladium(IV) Complexes: Formation by Oxidative Addition and Selectivity of Their Reductive Elimination Reaction. *Organometallics*, 2020, vol. 39, no 22, pp. 4037–4050. DOI: 10.1021/acs.organomet.0c00615.

14. Materne K., Braun-Cula B., Herwig C., Frank N., Limberg C. Bismuthanes as Hemilabile Donors in an O₂-Activating Palladium(0) Complex. *Chem.-Eur. J.*, 2017, vol. 23, pp. 11797–11801. DOI: 10.1002/chem.201703489.

15. Lin T.-P., Ke I.-Sh., Gabbai F.P. σ-Accepting Properties of a Chlorobismuthine Ligand. *Angew. Chem., Int. Ed.*, 2012, vol. 51, pp. 4985–4988. DOI: 10.1002/anie.201200854.

16. Cambridge Crystallographic Data Center. 2018. (deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

17. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S., Il'chenko I.A., Andreev P.V. Synthesis and Structure of the Palladium Complexes [Ph₃P(CH₂)₃PPh₃][PdBr₄], [Ph₃P(CH₂)₃PPh₃][Pd₂Br₆]·DMF, and [Ph₃P(CH₂)₃PPh₃][PdBr₃(dmsO-S)]₂. *Rus. J. Gen. Chem.*, 2017, vol. 87, no. 1, pp. 122–127. DOI: 10.1134/S1070363217010194.

18. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K. Synthesis and Structure of Palladium Complexes [[Ph₃PhCH₂P]⁺[PdCl₃(dmsO)]⁻·dmsO, [Ph₄P]⁺[PdCl₃(dmsO)]⁻, and [Ph₄Sb(dmsO)]⁺[PdCl₃(dmsO)]⁻. *Rus. J. Inorg. Chem.*, 2013, vol. 58, no. 5, pp. 543–547. DOI: 10.1134/S0036023613050203.

19. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S., Il'chenko I.A. The Palladium Complexes [Ph₃(cyclo-C₃H₅)P]₂⁺[PdBr₄]²⁻, [Ph₃(cyclo-C₃H₅)P]₂⁺[Pd₂Br₆]²⁻, and [Ph₃(цикло-C₃H₅)P]₊[PdBr₃(dmsO)]⁻: Synthesis and structures. *Rus. J. Coord. Chem.*, 2015, vol. 41, no. 7, pp. 462–469. DOI: 10.1134/S1070328415070088.

20. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S., Il'chenko I.A. Synthesis and Structure of Palladium Complex [Ph₃PCH=CHPPh₃]²⁺[PdBr₃(DMSO)]⁻₂·DMSO. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*, 2015, vol. 7, no. 2, pp. 11–16.

21. Jarygina D.M., Batalov A.E., Senchurin V.S. [Synthesis and Structure of Palladium Complexes [Ph₃PMe]⁺[PdBr₃(DMSO)]⁻ and [Ph₃P(CH₂)₆PPh₃]²⁺[PdBr₃(Et₂SO)]₂⁻]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*, 2018, vol. 10, no. 3, pp. 51–58. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem180306.
22. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S., Andreev P.V. Palladium Complexes [Ph₃PC₆H₁₁-cyclo]⁺[PdBr₃(DmsO-S)]⁻, [Ph₃PBu]⁺[PdCl₃(DmsO-S)]⁻, and [Ph₃PCH₂CH=CHCH₂PPh₃]²⁺[PdCl₄]⁻. Dmf: Synthesis and Structure. *Russ. J. Inorg. Chem.*, 2018, vol. 63, no. 6, pp. 747–752. DOI: 10.1134/S0036023618060220.
23. Denisov M.S., Dmitriev M.V., Eroshenko D.V., Slepukhin P.A., Shavkunov S.P., Glushkov V.A. Cationic–Anionic Pd(II) Complexes with Adamantylimidazolium Cation: Synthesis, Structural Study, and MAO-Inhibiting Activity. *Russ. J. Inorg. Chem.*, 2019, vol. 64, no. 1, pp. 56–67. DOI: 10.1134/S0036023619010054.
24. Gupta A., Deka R., Butcher R.J., Singh H.B. Structure of a Diorganotelluroxonium(IV) Cation, {[2,6-(CH₂NMe₂)₂C₆H₃Te(μ-O)]₂}⁺, with the Tri-chlorido-(dimethyl sulfoxide)-platinum(II) Anion. *Acta Cryst.*, 2020, vol. E76, pp. 1520–1524. DOI: 10.1107/S2056989020011482.
25. Hazell A., McKenzie C.J., Nielsen L.P. Mono-, Di- and Poly-nuclear Transition-metal Complexes of a Bis(tridentate) Ligand: Towards *p*-Phenylenediamine-bridged Co-ordination Polymers. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 1998, pp. 1751–1756. DOI: 10.1039/A800602D.
26. Geary W.J., Mason N.J., Nixon L.A., Nowell I.W. Co-ordination of Promethazine {10-[2-(dimethyl(amino)propyl)]phenothiazine} Hydrochloride with Palladium(II): X-ray Crystal Structure of a Trichloro-palladium(II) Product. *Chem. Commun.*, 1980, no. 22, pp. 1064–1065. DOI: 10.1039/c39800001064.
27. Schroeter F., Soellner J., Strassner T. Tailored Palladate Tunable Aryl Alkyl Ionic Liquids (TAAILs). *Chem.-Eur. J.*, 2019, vol. 25, pp. 2527–2537. DOI: 10.1002/chem.201804431.
28. Lang C., Pahnke K., Kiefer C., Goldmann A.S., Roesky P.W., Barner-Kowollik C. Consecutive Modular Ligation as an Access Route to Palladium Containing Polymers. *Polym. Chem.*, 2013, vol. 4, no. 21, pp. 5456–5462. DOI: 10.1039/C3PY00648D.
29. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
30. 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.
31. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J., Howard J.A.K., Puschmann H. OLEX2: a Complete Structure Solution, Refinement and Analysis Program. *J. Appl. Cryst.*, 2009, vol. 42, pp. 339–341. DOI: 10.1107/S0021889808042726.
32. Kazicyna L.A., Kupletskaja N.B. *Primenenie UF-, IK- i JaMR-spektroskopii v organicheskoy khimii* [Application of UV, IR and NMR Spectroscopy in Organic Chemistry]. Moscow. Vysshaja shkola, 1971, P. 50. (in Russ.).
33. Kukushkin Yu.N. [Contribution of Investigations of Dimethylsulfoxide Complexes in Coordination Chemistry Theory]. *Koord. Khim.* [Russian Journal of Coordination Chemistry], 1997, vol. 23, no. 3, pp. 163–174. (in Russ.).
34. Cordero B., Gómez V., Platero-Prats A.E., Revés M., Echeverría J., Cremades E., Barragána F., Alvarez S. Covalent Radii Revisited. *Dalton Trans.* 2008, iss. 21, pp. 2832–2838. DOI: 10.1039/B801115J.
35. Mantina M., Chamberlin A.C., Valero R., Cramer C.J., Truhlar D.G. Consistent Van der Waals Radii for the Whole Main Group *J. Phys. Chem. A.*, 2009, vol. 113, no. 19, pp. 5806–5812. DOI: 10.1021/jp8111556.

Received 3 February 2022

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Шарутин, В.В. Синтез и строение комплексов палладия [Ph₃PCH₂C(O)Me][PdCl₃(dmsO-S)] и [Ph₄Sb(dmsO-O)][PdBr₃(dmsO-S)] / В.В. Шарутин, В.С. Сенчуриин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2022. – Т. 14, № 2. – С. 52–61. DOI: 10.14529/chem220206

FOR CITATION

Sharutin V.V., Senchurin V.S. Synthesis and Structure of Palladium Complexes [Ph₃PCH₂C(O)Me][PdCl₃(dmsO-S)] and [Ph₄Sb(dmsO-O)][PdBr₃(dmsO-S)]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2022, vol. 14, no. 2, pp. 52–61. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem220206