

УДК 546.98;546.183;547.53.024;548.312.5

СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ ПАЛЛАДИЯ [Ph₃PEt][PdBr₃(DMSO)], [Ph₃PCH₂OMe][PdBr₃(DMSO)], [Ph₃PC₅H₉-*cyclo*][PdBr₃(DMSO)], [Ph₃PCH₂CH=CHCH₂PPh₃][PdBr₃(DMSO)]₂

© 2022 г. В. В. Шарутин¹, *, О. К. Шарутина¹, В. С. Сенчурин¹

¹Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

*e-mail: sharutin50@mail.ru

Поступила в редакцию 16.12.2021 г.

После доработки 01.02.2022 г.

Принята к публикации 02.02.2022 г.

Из бромида органилтрифенилфосфония и бромида палладия(II) в присутствии бромоводородной кислоты получены ионные комплексы палладия(II) с моноядерными анионами [Ph₃PEt][PdBr₃(DMSO)] (I), [Ph₃PCH₂OMe][PdBr₃(DMSO)] (II), [Ph₃PC₅H₉-*cyclo*][PdBr₃(DMSO)] (III) и [Ph₃PCH₂CH=CHCH₂PPh₃]- [PdBr₃(DMSO)]₂ (IV), строение которых установлено методом рентгеноструктурного анализа (CCDC № 2115506 (I), 2115228 (II), 888748 (III), 2115007 (IV)). В состав комплексов входят катионы органилтрифенилфосфония и анионы [PdBr₃(DMSO)].

Ключевые слова: бромопалладат(II)-анионы, органилтрифенилфосфониевые катионы, диметилсульфоксид, рентгеноструктурные исследования

DOI: 10.31857/S0132344X22090055

Координационная химия комплексов палладия интересна из-за их эффективного применения в катализе [1–10], широкого использования в реакциях органического и элементорганического синтеза [11–15]. В настоящее время интенсивно изучаются структурные особенности координационных соединений палладия. Многочисленные структурно охарактеризованные ионные галогенсодержащие комплексы палладия в основном представлены моноядерными [PdHal₄]²⁻ и в меньшей степени биядерными анионами [Pd₂Hal₆]²⁻ [16]. Влияние растворителей на дизайн Pd-содержащих анионов, а также взаимных превращений анионов друг в друга в различных растворителях рассматривалось в [17]. Ранее сообщалось о синтезе комплексов палладия(II) с S-координированной молекулой диметилсульфоксида в моноядерных анионах [PdHal₃(DMSO)]⁻ [18–28], однако бромсодержащие производные среди них немногочисленны.

В настоящей работе продолжено изучение синтеза и особенностей строения неизвестных ранее ионных комплексов палладия [Ph₃PR]⁺-[PdBr₃(DMSO)]⁻.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали 48%-ную бромоводородную кислоту (Sigma-Aldrich), бромид палла-

дия(II) (ABCRCR), бромиды этилтрифенилфосфония, метоксиметилтрифенилфосфония и циклопентилтрифенилфосфония, а также дибромид бутен-2-*бис*-трифенилфосфония (Alfa Aesar). Растворитель диметилсульфоксид марки “х. ч.” использовали без дополнительной очистки.

Синтез [Ph₃PEt][PdBr₃(DMSO)] (I). В 2 мл 48%-ной бромистоводородной кислоты растворяли 0.15 г бромида палладия(II) (0.56 ммоль) и при перемешивании прибавляли раствор 0.42 г (1.12 ммоль) бромида трифенилэтилфосфония в 20 мл горячей воды. Наблюдалось образование осадка коричневого цвета, который отфильтровывали, сушили и растворяли в 5 мл диметилсульфоксида. После испарения растворителя на воздухе в течение 3 нед. получили коричневые кристаллы I. Выход 0.31 г (78%). $T_{\text{разл}} = 114^{\circ}\text{C}$.

ИК-спектр (ν , см⁻¹): 3053, 3022, 2988, 2941, 2909, 1585, 1479, 1437, 1186, 1117, 1022, 995, 976, 914, 733, 721, 690, 529, 503, 488, 424.

Найдено, %:	C 36.68;	H 3.71.
Для C ₂₂ H ₂₆ OSPBr ₃ Pd		
вычислено, %:	C 36.93;	H 3.66.

Синтез [Ph₃PCH₂OMe][PdBr₃(DMSO)] (II) выполняли методом, аналогичным для комплекса I исходя из бромида метоксиметилтрифенилфосфония 0.43 г (1.12 ммоль) и бромида палладия (II)

0.15 г (0.56 ммоль). II: кристаллы коричневого цвета, $T_{\text{разл}} = 118^\circ\text{C}$. Выход 0.30 г (72%). ИК-спектр (ν , см^{-1}): 3061, 3021, 2992, 2909, 2828, 1585, 1483, 1439, 1314, 1188, 1113, 1022, 997, 972, 947, 934, 918, 893, 793, 745, 721, 691, 532, 501, 426.

Найдено, %: C 36.03; H 3.66.
Для $\text{C}_{22}\text{H}_{26}\text{O}_2\text{SPBr}_3\text{Pd}$
вычислено, %: C 36.12; H 3.58.

Синтез $[\text{Ph}_3\text{PC}_5\text{H}_9\text{-cyclo}][\text{PdBr}_3(\text{DMSO})]$ (III) выполняли методом, аналогичным для комплекса I исходя из бромиды циклопентилтрифенилфосфония 0.46 г (1.12 ммоль) и бромиды палладия (II) 0.15 г (0.56 ммоль). III: кристаллы коричневого цвета, $T_{\text{разл}} = 166^\circ\text{C}$. Выход 0.37 г (86%). ИК-спектр (ν , см^{-1}): 3052, 3040, 3027, 3010, 2993, 2962, 2924, 2914, 2872, 1586, 1487, 1440, 1343, 1317, 1294, 1111, 1024, 996, 908, 759, 750, 725, 693, 530, 515, 457, 433.

Найдено, %: C 40.12; H 4.07.
Для $\text{C}_{25}\text{H}_{30}\text{OSPBr}_3\text{Pd}$
вычислено, %: C 39.73; H 3.97.

Синтез $[\text{Ph}_3\text{PCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{PPh}_3][\text{PdBr}_3(\text{DMSO})]_2$ (IV) выполняли методом, аналогичным для комплекса I исходя из дибромиды бутен-2-бис-трифенилфосфония 0.41 г (0.56 ммоль) и бромиды палладия (II) 0.15 г (0.56 ммоль). IV: кристаллы коричневого цвета, $T_{\text{разл}} = 202^\circ\text{C}$. Выход 0.26 г (65%). ИК-спектр (ν , см^{-1}): 3051, 3013, 2974, 2935, 2907, 2851, 1634, 1607, 1585, 1481, 1435, 1311, 1184, 1161, 1113, 995, 974, 812, 746, 721, 689, 540, 507, 461, 447, 428.

Найдено, %: C 36.95; H 3.71.
Для $\text{C}_{44}\text{H}_{48}\text{O}_2\text{S}_2\text{P}_2\text{Br}_6\text{Pd}_2$
вычислено, %: C 37.031; H 3.39.

ИК-спектры соединений записывали на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S в таблетках KBr. Элементный анализ проводили на анализаторе Euro EA3028-NT.

РСА проведен на автоматическом четырехкрупном дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (графитовый монохроматор) при 293 К. Сбор, первичная обработка данных, уточнение параметров элементарной ячейки, учет поглощения, определение и уточнение структур проведены по программам [29–31]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов.

Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском

банке структурных данных (CCDC № 2115506 (I), 2115228 (II), 888748 (III), 2115007 (IV); deposit@ccdc.cam.ac.uk или http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif).

Соединение I: коричневые кристаллы триклинные, пр. гр. $P\bar{1}$, $a = 9.571(6)$, $b = 11.169(6)$, $c = 12.978(10)$ Å, $\alpha = 77.51(3)^\circ$, $\beta = 77.26(4)^\circ$, $\gamma = 70.21(2)^\circ$, $V = 1257.9(14)$ Å³, $Z = 2$, $\rho(\text{выч.}) = 1.889$ г/см³; $\mu = 5.661$ мм⁻¹, $F(000) = 696.0$. Измерено всего 29674 отражений, независимых отражений 5588 ($R_{\text{int}} = 0.0590$), параметров уточнения 265: $R_1 = 0.0509$, $wR_2 = 0.1243$.

Соединение II: коричневые кристаллы моноклинные, пр. гр. $P2_1$, $a = 12.596(15)$, $b = 9.141(10)$, $c = 22.96(2)$ Å, $\beta = 91.81(5)^\circ$, $V = 2643(5)$ Å³, $Z = 2$, $\rho(\text{выч.}) = 1.839$ г/см³; $\mu = 5.394$ мм⁻¹, $F(000) = 1424.0$. Измерено всего 36366 отражений, независимых отражений 8088 ($R_{\text{int}} = 0.0480$), параметров уточнения 547: $R_1 = 0.0290$, $wR_2 = 0.0625$.

Соединение III: коричневые кристаллы моноклинные, пр. гр. Cm , $a = 12.5097(2)$, $b = 14.1923(3)$, $c = 17.6335(7)$ Å, $\beta = 116.3960(10)^\circ$, $V = 1418.05(5)$ Å³, $Z = 2$, $\rho(\text{выч.}) = 1.810$ г/см³; $\mu = 5.142$ мм⁻¹, $F(000) = 740.0$. Измерено всего 30522 отражений, независимых отражений 5948 ($R_{\text{int}} = 0.0423$), параметров уточнения 291: $R_1 = 0.0173$, $wR_2 = 0.0191$.

Соединение IV: коричневые кристаллы триклинные, пр. гр. $P\bar{1}$, $a = 9.755(75)$, $b = 11.241(6)$, $c = 12.276(7)$ Å, $\alpha = 92.48(2)^\circ$, $\beta = 111.02(3)^\circ$, $\gamma = 96.03(3)^\circ$, $V = 1244.8(13)$ Å³, $Z = 2$, $\rho(\text{выч.}) = 1.904$ г/см³; $\mu = 5.720$ мм⁻¹, $F(000) = 692.0$. Измерено всего 30998 отражений, независимых отражений 5560 ($R_{\text{int}} = 0.0345$), параметров уточнения 264: $R_1 = 0.0387$, $wR_2 = 0.0926$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для синтеза ионных комплексов палладия(II) водный раствор бромиды алкилтрифенилфосфония приливали к раствору бромиды палладия(II) в бромоводородной кислоте, при этом наблюдали образование осадка коричневого цвета, который после фильтрования и высушивания растворяли в диметилсульфоксиде.

После испарения растворителя получали диметилсульфоксидотрибромопалладат алкилтрифенилфосфония $[\text{Ph}_3\text{PR}]^+[\text{PdBr}_3(\text{DMSO})]^-$ в виде коричневых кристаллов:

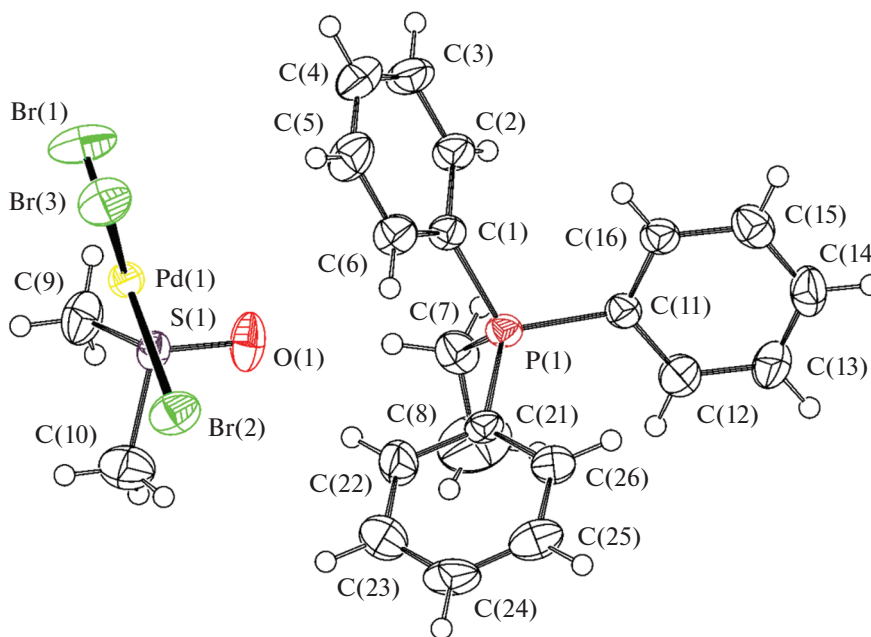
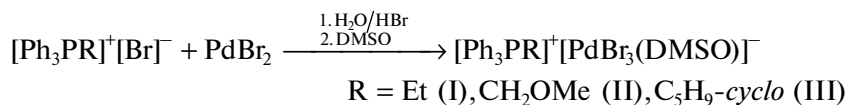


Рис. 1. Общий вид комплекса I. Длина связи: Pd(1)–Br(1) 2.4258(13), Pd(1)–Br(2) 2.4320(13), Pd(1)–Br(3) 2.4429(17), Pd(1)–S(1) 2.2669(18), P(1)–C(1) 1.792(4), P(1)–C(7) 1.811(5) Å и валентный угол: Br(1)Pd(1)Br(2) 178.13(3)°, S(1)Pd(1)Br(3) 177.30(3)°, C(1)P(1)C(7) 106.2(2)°, C(7)P(1)C(11) 113.5(2)°.



Использование в реакции соли фосфония с более сложным катионом приводило к син-

тезу комплекса также с моноядерным анионом:



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

В ИК-спектрах соединений I–IV наблюдаются интенсивные полосы поглощения в областях 1440–1435 и 997–995 см⁻¹, которые характеризуют валентные колебания связи P–C_{Ph} [32]. Наблюдаемое смещение полос поглощения связи S=O (1117–1111 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 I–IV состоят из катионов органилтрифенилфосфония и моноядерных анионов (рис. 1–4), причем в

кристалле II присутствуют по два типа кристаллографически независимых катионов и анионов.

Атомы фосфора в катионах имеют мало искаженную тетраэдрическую координацию с валентными углами CPC 106.2(2)°–113.5(2)°, 105.4(2)°–111.5(2)° (II), 108.0(2)°–111.4(2)° (III), 107.51(16)°–111.77(17)° (IV), которые мало отличаются от теоретического значения, и близкими длинами связей P–C (1.792(4)–1.811(5), 1.788(5)–1.832(5), 1.783(5)–1.804(4), 1.787(4)–1.806(3) Å соответственно). Связи P–C_{Alk} длиннее, чем связи P–C_{Ph}. В плоско-квадратных анионах [PdBr₃(DMSO)]⁻ длины связей Pd–Br изменяются в интервалах 2.4258(13)–2.4429(17), 2.437(3)–2.444(2) и 2.431(2)–2.447(2), 2.428(3)–2.436(3), 2.4099(12)–2.4343(14) Å соответственно, а расстояния S–Pd (2.2669(18), 2.265(3) и 2.270(3), 2.2691(19), 2.2571(16) Å) меньше суммы

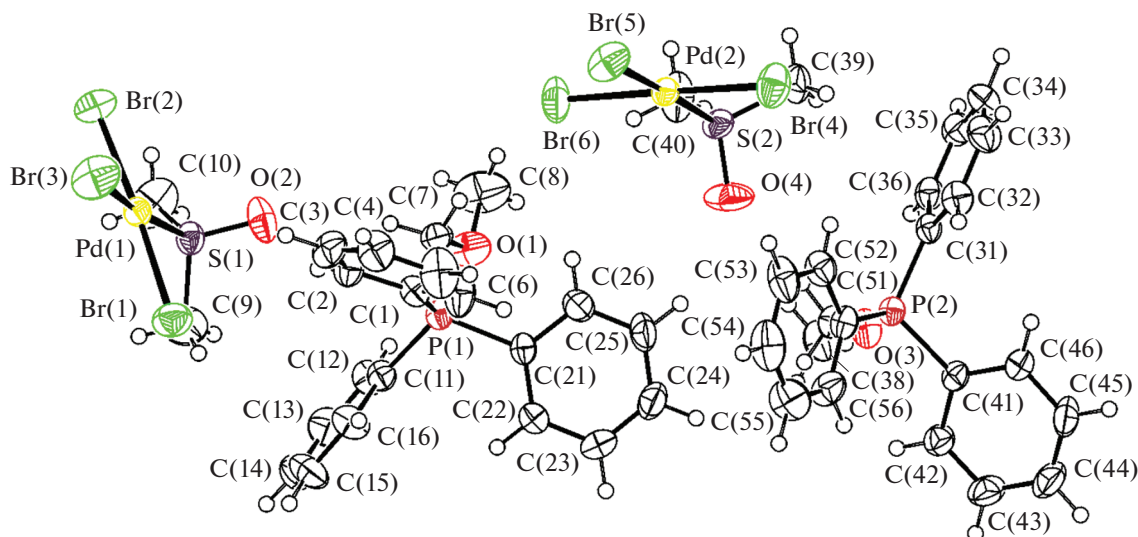


Рис. 2. Общий вид комплекса II. Длина связи: Pd(1)–Br(1) 2.441(2), Pd(1)–Br(2) 2.444(2), Pd(1)–Br(3) 2.437(3), Pd(1)–S(1) 2.265(3), Pd(2)–Br(4) 2.431(2), Pd(2)–Br(5) 2.447(3), Pd(2)–Br(6) 2.427(2), Pd(2)–S(2) 2.270(3), P(1)–C(11) 1.788(5), P(1)–C(7) 1.832(5), P(2)–C(31) 1.795(5), P(2)–C(37) 1.813(5) Å и валентный угол: Br(1)Pd(1)Br(2) 176.43(3)°, S(1)Pd(1)Br(3) 172.12(4)°, C(1)P(1)C(7) 105.7(2)°, C(7)P(1)C(11) 110.6(3)°, Br(4)Pd(2)Br(6) 178.01(3)°, S(2)Pd(2)Br(5) 177.51(4)°, C(37)P(2)C(51) 105.4(2)°, C(31)P(2)C(51) 111.5(2)°.

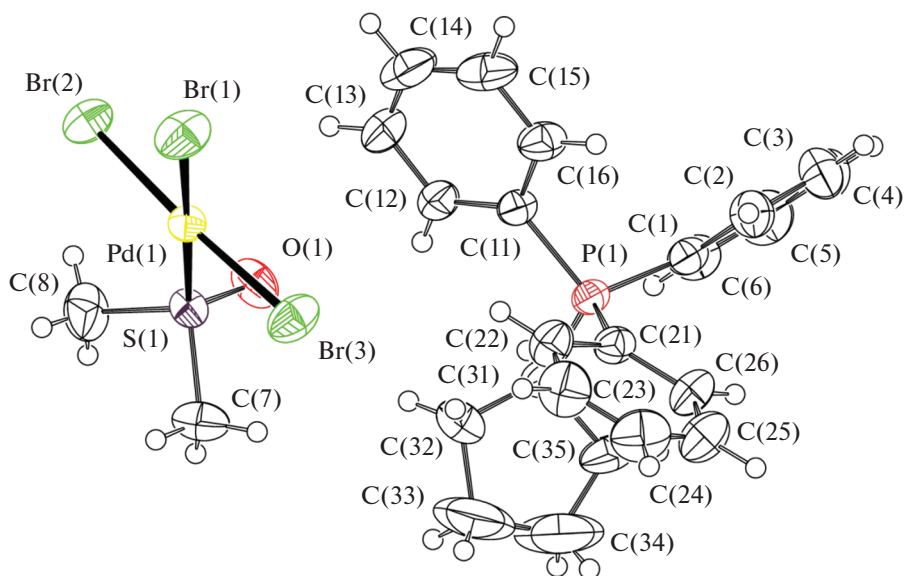


Рис. 3. Общий вид комплекса III. Длина связи: Pd(1)–Br(1) 2.4298(19), Pd(1)–Br(2) 2.436(3), Pd(1)–Br(3) 2.428(3), Pd(1)–S(1) 2.2691(19), P(1)–C(1) 1.783(5), P(1)–C(31) 1.804(4) Å и валентный угол: Br(2)Pd(1)Br(3) 176.30(2)°, S(1)Pd(1)Br(3) 178.85(3)°, C(11)P(1)C(21) 108.0(2)°, C(11)P(1)C(31) 111.4(2)°.

ковалентных радиусов атомов палладия и серы (2.44 Å [34]). *цис*-Углы BrPdBr (89.19(4)° и 90.24(4)°, 89.23(3)°–91.33°, 89.32(6)° и 89.65(6)°, 89.80(4)° и 89.80(4)°) практически не отличаются от теоретического значения (90°); значения *транс*-углов BrPdBr и SPdBr сравнимы между собой и составляют 178.13(3)° и 177.30(3)° для I, 176.43(3)°, 172.12(4)° и 178.01(3)°, 177.51(4)° для II,

176.30(2)° и 178.85(3)° для III, 175.42(3)° и 177.42(3)° для IV. В анионах комплексов I–IV отклонение атома палладия от плоскости Br₃S незначительно (0.026–0.057 Å), причем минимальная и максимальная величины проявляются в структурах III и IV соответственно.

Структурная организация в кристаллах комплексов I–IV сформирована межмолекулярными кон-

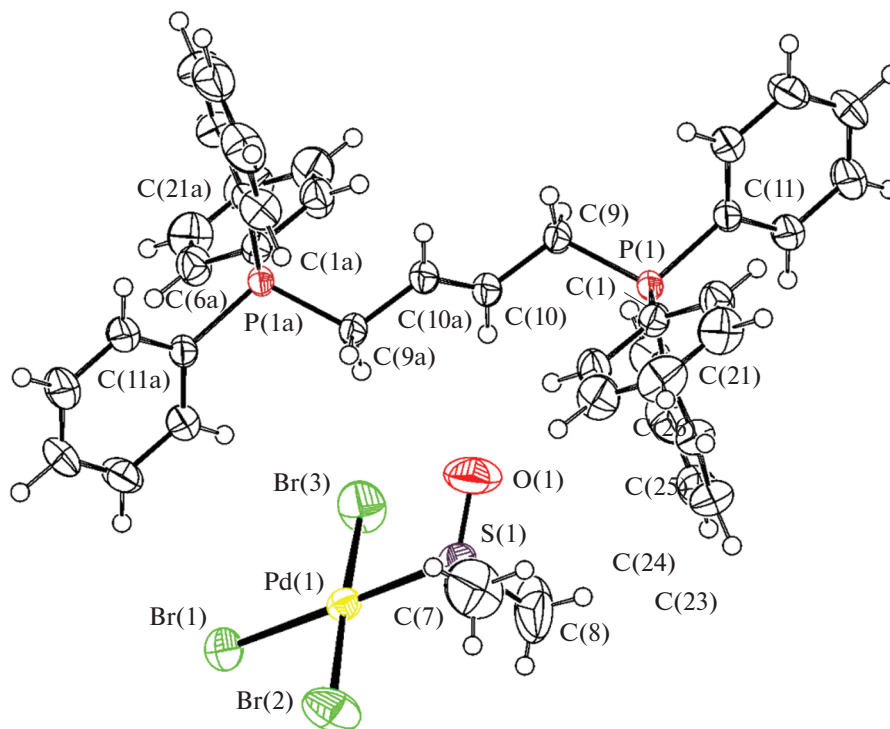


Рис. 4. Общий вид комплекса IV. Pd(1)–Br(1) 2.4343(14), Pd(1)–Br(2) 2.4240(13), Pd(1)–Br(3) 2.4099(12), Pd(1)–S(1) 2.2571(16), P(1)–C(21) 1.787(4), P(1)–C(9) 1.806(3) Å и валентный угол: Br(2)Pd(1)Br(3) 175.42(3)°, S(1)Pd(1)Br(1) 177.42(3)°, C(9)P(1)C(11) 107.51(16)°, C(1)P(1)C(9) 111.77(17)°.

тактами S=O⋯H–C 2.35–2.71 Å и Pd–Br⋯H–C 2.72–3.04 Å, что близко к сумме ван-дер-ваальсовых радиусов атомов кислорода и водорода (2.62 Å), а также брома и водорода (2.93 Å) [35].

В заключение отметим, что из бромидов органилтрифенилфосфония и бромиды палладия(II) в присутствии бромоводородной кислоты получены ионные комплексы палладия с моноядерными анионами, в которых при растворении в диметилсульфоксиде легко происходит лигандный обмен с образованием комплексов [Ph₃P⁺Et][PdBr₃(DMSO)] (I), [Ph₃PCH₂OMe][PdBr₃(DMSO)] (II), [Ph₃PC₃H₉-cyclo][PdBr₃(DMSO)] (III) и [Ph₃PCH₂CH=CHCH₂PPh₃][PdBr₃(DMSO)]₂ (IV). В анионах наблюдается эффект *транс*-влияния диметилсульфоксидного заместителя, приводящий к удлинению *транс*-связей Pd–Br по сравнению со средними значениями *цис*-связей на 0.014–0.018 Å.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эльшенбройх К. Металлоорганическая химия. М.: Лаборатория знаний, 2021. 749 с.
2. Gardiner M.G., Ho C.C., McGuinness D.S., Liu Y.L. // *Austr. J. Chem.* 2020. V. 73. P. 1158. <https://doi.org/10.1071/CH20194>
3. Gacal E., Denizalti S., Kinal A. et al. // *Tetrahedron.* 2018. V. 74. № 47. P. 6829. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2018.10.003>
4. Mansour W., Fettouhi M., El Ali B. // *ACS Omega.* 2020. V. 5. № 50. P. 32515. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04706>
5. Mansour W., Suleiman R., Fettouhi M., El Ali B. // *ACS Omega.* 2020. V. 5. № 50. P. 23687. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c02413>
6. Trofimov B.A., Vasilevsky S.F., Gusarova N.K. et al. // *Mendeleev Commun.* 2008. V. 18. № 6. P. 318. <https://doi.org/10.1016/j.mencom.2008.11.010>
7. Bykov M.V., Abramov Z.D., Orlov T.S. et al. // *J. Struct. Chem.* 2021. V. 62. № 8. P. 1218. <https://doi.org/10.1134/S0022476621080072>
8. Artem'ev A.V., Malysheva S.F., Gusarova N.K. et al. // *Tetrahedron.* 2016. V. 72. № 4. P. 443. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2015.11.009>
9. Artem'ev A.V., Kuimov V.A., Matveeva E.A. et al. // *Inorg. Chem. Commun.* 2017. V. 86. P. 94. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2017.09.008>
10. Adamson A., Budiman Y.P., Mkhallid I. // *J. Struct. Chem.* 2020. V. 61. P. 466. <https://doi.org/10.1134/S0022476620030130>
11. Wolfe M.M.W., Shanahan J.P., Kampf J.W., Szymczak N.K. // *J. Am. Chem. Soc.* 2020. V. 142. № 43. P. 18698. <https://doi.org/10.1021/jacs.0c09505>
12. Mori M., Sunatsuki Y., Suzuki T. // *Inorg. Chem.* 2020. V. 59. № 24. P. 18225. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c02706>

13. *Behnia A., Fard M.A., Blacquiere J.M., Puddephatt R.J.* // *Organometallics*. 2020. V. 39. № 22. P. 4037. <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.0c00615>
14. *Materne K., Braun-Cula B., Herwig C. et al.* // *Chem. Eur. J.* 2017. V. 23. P. 11797. <https://doi.org/10.1002/chem.201703489>
15. *Lin T.-P., Ke I.-Sh., Gabbai F.P.* // *Angew. Chem., Int. Ed.* 2012. V. 51. P. 4985. <https://doi.org/10.1002/anie.201200854>
16. Cambridge Crystallographic Data Center. 2020. deposit@ccdc.cam.ac.uk. <http://www.ccdc.cam.ac.uk>
17. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С. и др.* // *Журн. общ. химии*. 2017. Т. 87. № 1. С. 128 (*Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. et al.* // *Russ. J. Gen. Chem.* 2017. V. 87. № 1. P. 122). <https://doi.org/10.1134/S1070328417010194>
18. *Шарутин В.В., Сенчурин В.С., Шарутина О.К.* // *Журн. неорган. химии*. 2013. Т. 58. № 5. С. 616 (*Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2013. V. 58. № 5. P. 543). <https://doi.org/10.1134/S0036023613050203>
19. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С., Ильченко И.А.* // *Коорд. химия*. 2015. Т. 41. № 7. С. 430 (*Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S., Il'chenko I.A.* // *Russ. J. Coord. Chem.* 2015. V. 41. № 7. P. 462). <https://doi.org/10.1134/S1070328415070088>
20. *Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S., Il'chenko I.A.* // *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2015. V. 7. № 2. P. 11.
21. *Ярыгина Д.М., Баталов А.Е., Сенчурин В.С.* // *Вестник ЮУрГУ. Сер. "Химия"*. 2018. Т. 10. № 3. С. 51. <https://doi.org/10.14529/chem180306>
22. *Шарутин В.В., Шарутина О.К., Сенчурин В.С., Андреев П.В.* // *Журн. неорган. химии*. 2018. Т. 63. № 6. С. 712 (*Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S., Andreev P.V.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2018. V. 63. № 6. P. 747). <https://doi.org/10.1134/S0036023618060220>
23. *Денисов М.С., Дмитриев М.В., Ерошенко Д.В. и др.* // *Журн. неорган. химии*. 2019. Т. 64. № 1. С. 38 (*Denisov M.S., Dmitriev M.V., Eroshenko D.V. et al.* // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2019. V. 64. № 1. P. 56). <https://doi.org/10.1134/S0036023619010054>
24. *Gupta A., Deka R., Butcher R.J., Singh H.B.* // *Acta Crystallogr. E*. 2020. V. 76. P. 1520. <https://doi.org/10.1107/S2056989020011482>
25. *Hazell A., McKenzie C.J., Nielsen L.P.* // *Dalton Trans.* 1998. № 11. P. 1751. <https://doi.org/10.1039/a800602d>
26. *Geary W.J., Mason N.J., Nixon L.A., Nowell I.W.* // *Chem. Commun.* 1980. № 22. P. 1064. <https://doi.org/10.1039/c39800001064>
27. *Schroeter F., Soellner J., Strassner T.* // *Chem. Eur. J.* 2019. V. 25. P. 2527. <https://doi.org/10.1002/chem.201804431>
28. *Lang C., Pahnke K., Kiefer C. et al.* // *Polym. Chem.* 2013. V. 4. № 21. P. 5456. <https://doi.org/10.1039/C3PY00648D>
29. SMART and SAINT-Plus. Version 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1998.
30. SHELXTL/PC. Version 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Madison: (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1998.
31. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al.* // *J. Appl. Cryst.* 2009. V. 42. P. 339. <https://doi.org/10.1107/S0021889808042726>
32. *Преч Э., Бюльманн Ф., Аффельтер К.* *Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных* М.: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 438 с.
33. *Кукушкин Ю.Н.* *Химия координационных соединений: Учебное пособие для студентов хим. и хим.-технол. спец. вузов.* М.: Высш. школа, 1985. С. 162.
34. *Cordero B., Gómez V., Platero-Prats A.E. et al.* // *Dalton Trans.* 2008. V. 21. P. 2832. <https://doi.org/10.1039/B801115J>
35. *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>