

РЕАКЦИЯ ПЕНТАФЕНИЛФОСФОРА С ГЕКСАХЛОРОПЛАТИНОВОЙ КИСЛОТОЙ

А.Р. Зыкова

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Взаимодействием пентафенилфосфора с гексахлороплатиновой кислотой в ацетоне синтезирован гексахлороплатинат тетрафенилфосфония (**1**). При перекристаллизации комплекса **1** из диметилсульфоксида получен диметилсульфоксидопентахлороплатинат тетрафенилфосфония (**2**). Соединения охарактеризованы методами ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа. В ИК-спектрах соединений, записанных на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S в таблетке KBr в области 4000–400 см⁻¹, имеются интенсивные полосы поглощения, характеризующие валентные колебания фенильных групп. По данным рентгеноструктурного анализа, кристаллографические параметры элементарной ячейки соединений: триклинная сингония, пространственная группа симметрии $P\bar{1}$ (**1**, **2**), $a = 10,205(10)$, $b = 10,970(15)$, $c = 12,160(11)$ Å (**1**), $a = 7,767(4)$, $b = 13,307(7)$, $c = 14,256(7)$ Å (**2**), $\alpha = 73,65(4)^\circ$, $\beta = 80,64(3)^\circ$, $\gamma = 77,48^\circ$ (**1**), $\alpha = 80,97(4)^\circ$, $\beta = 88,21(4)^\circ$, $\gamma = 89,19(4)^\circ$ (**2**), $V = 1272(2)$ Å³ (**1**), $1454(13)$ Å³ (**2**). Кристаллы комплексов **1** и **2** сформированы из тетраэдрических катионов тетрафенилфосфония и октаэдрических анионов. В катионах тетрафенилфосфония атомы фосфора имеют мало искаженное тетраэдрическое окружение (СРС 107,8(3)–113,2(3)° (**1**), 105,9(3)–112,9(3)° (**2**), длины связей Р–С составляют 1,785(6)–1,805(6) Å (**1**), 1,783(7)–1,791(6) Å (**2**). Атомы платины в анионах комплексов **1** и **2** гексакоординированы. В комплексе **2** диметилсульфоксидный лиганд координируется с атомом платины посредством атома серы (2,290(2) Å). Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC 1865783, 829586; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Ключевые слова: пентафенилфосфор, гидрат гексахлороплатиновой кислоты, ацетон, тетрафенилфосфоний, комплекс, рентгеноструктурный анализ.

Введение

В литературе достаточно подробно описаны реакции дефенилирования пентафенилфосфора неорганическими кислотами, оксидами неметаллов, галогенидами металлов, карбоновыми кислотами, арилсульфоновыми кислотами, в результате которых образуются производные тетрафенилфосфония [1–12].

Соли тетраорганилфосфония привлекают внимание из-за их широкого применения в каталитических процессах в качестве растворителей и медиаторов. Так, ионные жидкости на основе тетраорганилфосфония стабильны в основных средах за счет отсутствия кислотного протона и имеют высокую термическую активность [13]. В литературе представлены дезинфицирующие свойства солей тетраорганилфосфония [14–17]. Галогениды алкилтрифенилфосфония проявляют высокую антимикробную и антимикотическую активность в отношении штаммов патогенной микрофлоры: *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans* [17].

Комплексы платины(IV) также нашли широкое применение в медицине в качестве противоопухолевых агентов, поэтому синтез гексагалогеноплатинатов тетрафенилфосфония открывает широкие перспективы их применения.

Экспериментальная часть

Синтез $[\text{Ph}_4\text{P}]_2[\text{PtCl}_6]$ (1**).** Раствор 0,041 г (0,1 ммоль) пентафенилфосфора в 4 мл ацетона приливали к раствору 0,05 г (0,1 ммоль) гидрата гексахлороплатиновой кислоты в 4 мл ацетона. Раствор концентрировали до объема 0,5 мл, образовавшиеся кристаллы фильтровали и сушили. Выход комплекса 0,090 г (83 %), оранжевые кристаллы, т. пл. 179 °С (с разл.).

Химия элементоорганических соединений

ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3062, 2974, 2360, 1829, 1481, 1436, 1405, 1375, 1313, 1257, 1187, 1164, 1105, 994, 935, 760, 720, 612, 527. Найдено, %: С 52,89; Н 3,84. $\text{C}_{48}\text{H}_{40}\text{P}_2\text{PtCl}_6$. Вычислено, %: С 53,04; Н 3,68.

Синтез $[\text{Ph}_4\text{P}][\text{PtCl}_5(\text{dmsO})]$ (2). 0,05 г (0,046 ммоль) комплекса **1** растворяли в 4 мл диметилсульфоксида. После испарения растворителя наблюдали образование кристаллов. Выход комплекса 0,030 г (81 %), оранжевые кристаллы, т. пл. 194 °С.

ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3079, 3056, 3011, 2923, 1626, 1585, 1482, 1437, 1395, 1316, 1296, 1175, 1107, 1028, 996, 763, 757, 724, 688, 527, 433. Найдено, %: С 39,22; Н 3,76. $\text{C}_{26}\text{H}_{26}\text{OSPtCl}_5$. Вычислено, %: С 39,52; Н 3,29.

ИК-спектры соединений **1** и **2** записывали на ИК-спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S в таблетках КВг в области 4000–400 cm^{-1} .

Рентгеноструктурный анализ (РСА) проводили на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (Мо К α -излучение, $\lambda = 0,71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор). Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены с помощью программ SMART и SAINT-Plus [18]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены с помощью программы SHELXL/PC [19]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Положение атомов водорода уточняли по модели наездника ($U_{\text{изо}}(\text{H}) = 1,2U_{\text{эква}}(\text{C})$).

Кристаллы соединения **1** оранжевые, сингония триклинная, $\text{C}_{48}\text{H}_{40}\text{P}_2\text{PtCl}_6$, $M = 1085,91 \text{ г/моль}$; $a = 10,205(10)$, $b = 10,970(15)$, $c = 12,160(11) \text{ \AA}$, $\alpha = 73,65(4)^\circ$, $\beta = 80,64(3)^\circ$, $\gamma = 77,48^\circ$, $V = 1272(2) \text{ \AA}^3$, $\rho_{\text{выч}} = 1,529 \text{ г/см}^3$, $Z = 1$, пространственная группа $P\bar{1}$. Измерено 27973 отражений, из них 5202 независимых, $\mu = 3,188 \text{ мм}^{-1}$. Окончательные значения факторов расходимости: $R_1 = 0,0474$ и $wR_2 = 0,1258$ (по всем рефлексам), $R_1 = 0,0470$ и $wR_2 = 0,1252$ (по рефлексам $F^2 > 2\sigma(F^2)$).

Кристаллы соединения **2** оранжевые, сингония триклинная, $\text{C}_{26}\text{H}_{26}\text{OSPtCl}_5$, $M = 789,51 \text{ г/моль}$; $a = 7,767(4)$, $b = 13,307(7)$, $c = 1,256(7) \text{ \AA}$, $\alpha = 80,97(4)^\circ$, $\beta = 88,21(4)^\circ$, $\gamma = 89,19(4)^\circ$, $V = 1454(13) \text{ \AA}^3$, $\rho_{\text{выч}} = 1,811 \text{ г/см}^3$, $Z = 2$, пространственная группа $P\bar{1}$. Измерено 12166 отражений, из них 7672 независимых отражений, $\mu = 5,449 \text{ мм}^{-1}$. Окончательные значения факторов расходимости: $R_1 = 0,0941$ и $wR_2 = 0,1963$ (по всем рефлексам), $R_1 = 0,0683$ и $wR_2 = 0,1905$ (по рефлексам $F^2 > 2\sigma(F^2)$).

Полученные структуры депонированы в Кембриджской базе кристаллоструктурных данных (CCDC 1865783, 829586 <http://www.ccdc.cam.ac.uk>). Геометрические характеристики приведены в таблице.

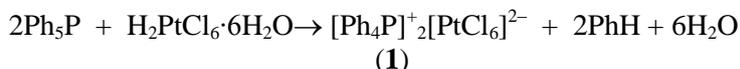
Длины связей (d) и валентные углы (ω) в структурах соединений **1**, **2**

Связь, d , Å		Угол, ω , град.	
1			
Pt(1)–Cl(1)	2,309(2)	Cl(1)Pt(1)Cl(3)	90,88(9)
Pt(1)–Cl(3)	2,317(2)	Cl(1)Pt(1)Cl(6)	180,0
Pt(1)–Cl(2)	2,326(3)	Cl(1)Pt(1)Cl(2)	90,21(11)
Pt(1)–Cl(4)	2,311(2)	Cl(3)Pt(1)Cl(4)	179,999(1)
Pt(1)–Cl(5)	2,315(2)	Cl(2)Pt(1)Cl(5)	180,0
P(1)–C(11)	1,805(6)	Cl(6)Pt(1)Cl(2)	89,79(11)
P(1)–C(31)	1,801(6)	Cl(1)Pt(1)Cl(4)	89,12(9)
P(1)–C(1)	1,802(6)	C(31)P(1)C(11)	113,2(3)
P(1)–C(21)	1,784(6)	C(1)P(1)C(11)	107,9(3)
		C(1)P(1)C(31)	109,1(3)
2			
Pt(1)–Cl(6)	2,311(2)	C(14)P(1)C(15)	105,9(3)
Pt(1)–Cl(3)	2,321(2)	Cl(5)Pt(1)Cl(4)	90,87(9)
Pt(1)–Cl(4)	2,324(2)	Cl(3)Pt(1)Cl(4)	90,03(9)
Pt(1)–Cl(1)	2,326(2)	Cl(5)Pt(1)Cl(1)	88,99(9)
Pt(1)–Cl(2)	2,336(2)	Cl(3)Pt(1)Cl(1)	91,08(9)

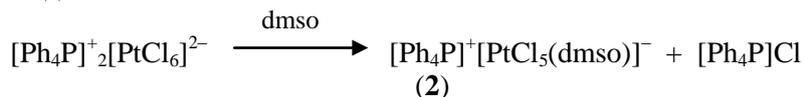
Связь, <i>d</i> , Å		Угол, ω , град.	
P(1)–C(17)	1,785(7)	Cl(4)Pt(1)Cl(1)	178,88(8)
P(1)–C(19)	1,786(7)	Cl(5)Pt(1)Cl(2)	178,73(9)
P(1)–C(14)	1,788(6)	Cl(3)Pt(1)Cl(2)	88,98(10)
P(1)–C(15)	1,790(7)	S(1)Pt(1)Cl(6)	91,94(8)
Pt(1)–S(1)	2,290(2)	S(1)Pt(1)Cl(3)	178,15(8)
S(1)–O(1)	1,414(8)	S(1)Pt(1)Cl(4)	90,57(8)
S(1)–C(9)	1,763(10)	S(1)Pt(1)Cl(1)	88,32(8)
S(1)–C(8)	1,826(12)	S(1)Pt(1)Cl(2)	89,28(9)

Обсуждение результатов

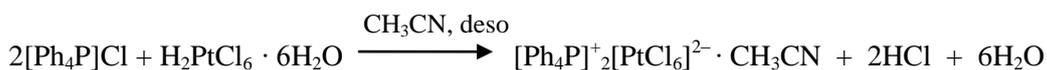
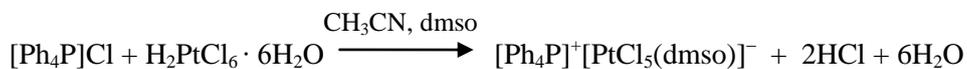
Установлено, что взаимодействие пентафенилфосфора с эквимольным количеством гидрата гексахлороплатиновой кислоты в ацетоне приводит к количественному образованию гексахлороплатината тетрафенилфосфония (**1**), который представляет собой оранжевые кристаллы, выделенные из реакционной смеси с выходом 83 %:



При растворении соединения **1** в диметилсульфоксиде происходит реакция лигандного обмена в анионе $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ с образованием диметилсульфоксидопентахлороплатината тетрафенилфосфония (**2**) с выходом 81 %:



Аналогичные реакции имеют место при взаимодействии эквимольных количеств гидрата гексахлороплатиновой кислоты с хлоридом тетрафенилфосфония в растворе ацетонитрила и диметилсульфоксида [20] или диэтилсульфоксида (deso) [21]:



В ИК-спектрах соединений **1** и **2** имеются полосы поглощения фенильных групп (C–H при 2974 см^{-1} (**1**), 2923 см^{-1} (**2**); C=C при 1481 и 1436 см^{-1} (**1**) и 1482 и 1437 см^{-1} (**2**)), совпадающих со справочным значением [22].

По данным рентгеноструктурного анализа катионы тетрафенилфосфония в структурах **1** и **2** находятся в малоискаженной тетраэдрической конфигурации (рис. 1).

Валентные углы CPC изменяются в интервалах $107,8(3)$ – $113,2(3)^\circ$ для **1**, $105,9(3)$ – $112,9(3)^\circ$ для **2**. Расстояния P–C составляют $1,785(6)$ – $1,805(6) \text{ Å}$ (**1**), $1,783(7)$ – $1,791(6) \text{ Å}$ (**2**).

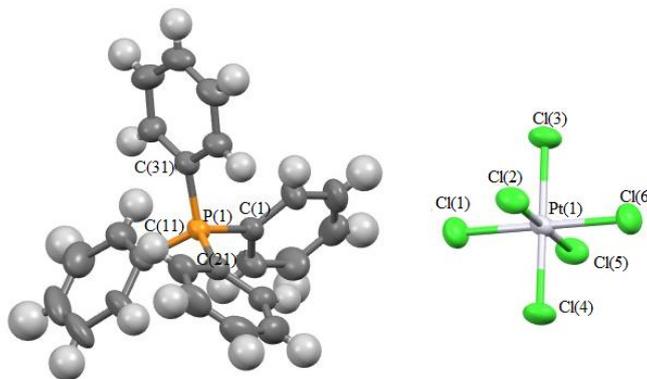


Рис. 1. Строение комплекса **1**

Химия элементоорганических соединений

Атомы платины в анионах комплексов **1** и **2** гексакоординированы. В кристалле **1** в центросимметричных октаэдрических анионах $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ *транс*-углы ClPtCl равны $180,0^\circ$, *цис*-углы ($89,12(9)$ – $90,88(9)^\circ$) близки к идеальному значению. Длины связей Pt–Cl в **1** и **2** близки между собой и варьируются в пределах $2,309(2)$ – $2,326(3)$ Å и $2,311(2)$ – $2,336(2)$ Å соответственно. В кристалле **2** октаэдрическая координация искажена, так как значение *транс*-углов отклоняется от теоретического значения 180° : S(1)PtCl(3) $178,15(8)^\circ$, Cl(1)PtCl(4) $178,88(8)^\circ$, Cl(2)PtCl(5) $178,73(9)^\circ$. *Цис*-углы отличны от 90° (SPtCl $88,32(8)$ – $91,94(8)^\circ$) и ClPtCl ($88,98(10)$ – $91,08(9)^\circ$). Связь между атомом платины и атомом серы диметилсульфоксидного лиганда Pt–S ($2,290(2)$ Å) укорочена по сравнению с суммой ковалентных радиусов указанных атомов ($2,31$ Å [23]).

Параметры координированного диметилсульфоксидного лиганда отличаются от параметров свободной молекулы диметилсульфоксида. Углы OSC(8) и OSC(9) в комплексе **2** равны $111,7(6)$ и $111,2(6)^\circ$ соответственно, в то время как в несвязанной молекуле диметилсульфоксида аналогичные углы равны $106,7(4)^\circ$ и $106,8(4)^\circ$ [24]. Угол C(8)SC(9) ($101,9(6)^\circ$) отличается от величины этого угла в свободной молекуле диметилсульфоксида ($97,4^\circ$). Длины связей S–C(8), S–C(9) ($1,824(12)$, $1,765(10)$ Å) согласуются со значениями в свободной молекуле $1,771(8)$, $1,805(11)$ Å [24] и со значениями ($1,775$, $1,821$ Å), полученными в работе [25]. При сравнении длин связей S–O наблюдаются различия между координированной и свободной молекулой диметилсульфоксида. В комплексе **2** эта связь ($1,415(8)$ Å) существенно короче, чем в свободной молекуле ($1,531$ Å).

В кристаллах комплексов **1** и **2** наблюдаются водородные связи типа C–H...Cl $2,81$ – $2,89$ Å (**1**), $2,81$ – $2,94$ Å (**2**). Каждый катион в **1** имеет короткие контакты с тремя анионами, каждый катион в **2** – с четырьмя анионами. Анионы в кристаллах комплекса **2** связаны друг с другом посредством взаимодействий C(8)–H...Cl(3) $2,92$ Å и C(9)–H...Cl(2) $2,79$ Å (рис. 2).

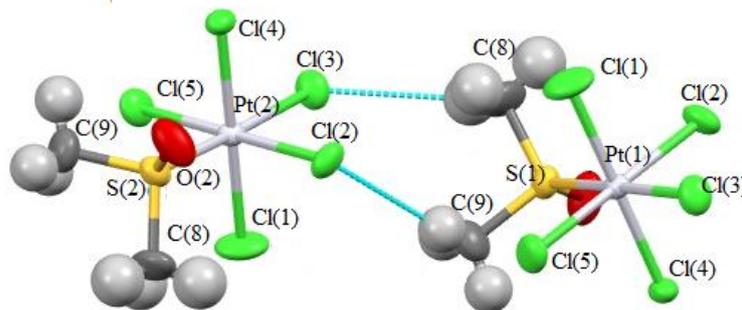


Рис. 2. Водородные связи между диметилсульфоксидными лигандами в кристалле комплекса **2**

Выводы

Таким образом, дефенилированием пентафенилфосфора гидратом гексахлороплатиновой кислоты в ацетоне синтезирован гексахлороплатинат тетрафенилфосфония (**1**), при взаимодействии которого с диметилсульфоксидом имеет место реакция замещения атома хлора в анионе на молекулу диметилсульфоксида с образованием связи Pt–S.

Благодарности

Выражаю благодарность профессору В.В. Шарутину за проведенные рентгеноструктурные исследования.

Литература

1. Разуваев, Г.А. Некоторые гетеролитические реакции пентафенилфосфора и пентафенилсурьмы / Г.А. Разуваев, Н.А. Осанова, И.К. Григорьева // Изв. АН СССР. Сер. хим. – 1969. – № 10. – С. 2234–2237.
2. Alkyloxy- and Silyloxy-derivatives of P(V) and Sb(V) / G.A. Razuvaev, N.A. Osanova, T.G. Brilkina et al. // J. Organomet. Chem. – 1975. – V. 99, № 1. – P. 93–106.
3. Шарутин, В.В. Роль стерических факторов в процессах термического разложения пентафенильных соединений фосфора, сурьмы и висмута. Арилирование элементоорганических и ор-

ганических соединений арильными производными пятикоординированного висмута / В.В. Шарутин // Журн. общ. химии. – 1988. – Т. 58. – Вып. 10. – С. 2305–2311.

4. Взаимодействие пентафенилфосфорана с параформом / В.В. Жидков, В.В. Шарутин, В.К. Бельский, Н.С. Магомедова // Журн. общ. химии. – 1995. – Т. 65, № 2. – С. 251–256.

5. Шарутин, В.В. Пентафенильные соединения фосфора, сурьмы, висмута и их производные. Возможности применения в органическом синтезе: дис. ... д-ра хим. наук / В.В. Шарутин. – Иркутск, 1995. – 257 с.

6. Шарутин, В.В. Термическое разложение пентафенилфосфорана в присутствии диоксида углерода / В.В. Шарутин, В.Т. Бычков, В.А. Лебедев // Журн. общ. химии. – 1986. – Т. 56, № 2. – С. 325–328.

7. Шарутин, В.В. Карбоксилаты и сульфонаты тетрафенилфосфора. Синтез и строение / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин, О.К. Шарутина // Журн. общ. химии. – 2009. – Т. 79, № 1. – С. 80–89. DOI: 10.1134/S1070363209010125.

8. Синтез и строение карбоксилатов тетрафенилфосфора / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, А.В. Рыбакова и др. // Журн. общ. химии. – 2018. – Т. 88, № 8. – С. 1308–1313. DOI: 10.1134/S0044460X18080139.

9. Шарутин, В.В. Синтез и строение 2,4-динитробензолсульфоната тетрафенилфосфония / В.В. Шарутин, Н. Мукушева, А.В. Уржумова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2018. – Т. 10, № 2. – С. 48–54. DOI: 10.14529/chem180206.

10. Шарутин, В.В. Синтез и строение аренсульфонатов тетрафенилфосфония / В.В. Шарутин, О.К. Шарутина, Ю.О. Губанова // Изв. Высш. уч. завед. Серия: химия и хим. технология. – 2019. – Т. 62, № 2. – С. 4–10. DOI: 10.6060/ivkkt.20196202.5823

11. Tetraphenylphosphonium 2,4,5-Tricarboxybenzoate / G.D. Yang, J.C. Dai, W.S. Wu et al. // Acta Crystallogr. Sect. E: Struct. Rep. Online. – 2007. – V. E63. – P. 1010–1011. DOI: 10.1107/S1600536807004163.

12. Muller, G. Crystal and Molecular Structure of $P(C_6H_5)_5 \cdot 0.5 THF$ / G. Muller, U.J. Bildmann // Z. Naturforsch., B: Chem. Sci. – 2004. – V. 59, № 11–12. – P. 1411–1414.

13. Новые представители фероценсодержащих солей фосфония со стерически затрудненными катионами / Л.Р. Кадырголова, В.В. Ермолаева, М.Н. Хризанфоров и др. // Динамические процессы в химии элементоорганических соединений. – 2018. – С. 109.

14. Study of Quaternary Onium Salts Grafted on Polymers: Antibacterial Activity of Quaternary Phosphonium Salts Grafted on Geltype Styrene-Divinylbenzene Copolymers / A. Popa, C. Davidescu, R. Trif et al. // Reactive and Functional Polymers. – 2003. – V. 55. – P. 151–158.

15. Patent JP, no. 2002308713. Amoeba-Killing Agents, Method for Controlling Amoeba and Method for Sterilizing Legionellaceae Bacterium / I. Masayo, I. Tomoo, K. Biyuuki. – 2002.

16. Patent JP, no. 2000263706. Antibacterial Laminated Film / H. Satoshi, O. Hideto. – 2000.

17. Галкина, И.В. Биологическая активность четвертичных солей фосфония и перспективы их медицинского применения / И.В. Галкина, С.Н. Егорова // Медицинский альманах. Фармация. – 2009. – Т. 8, № 3. – С. 142–145.

18. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.

19. 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.

20. Синтез и строение комплексов платины $[Ph_4P]^+[PtCl_3(dmsO)]^-$ и $[Ph_4P]^+[PtCl_5(dmsO)]^-$ / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин, О.К. Шарутина и др. // Журн. неорган. химии. – 2013. – Т. 58, № 1. – С. 36–40. DOI: 10.1134/S0036023613010191.

21. Ткачёва, А.Р. Реакции хлоридов тетраорганилфосфония и тетраэтиламмония с гидратом гексахлороплатиноводородной кислоты в растворах ацетонитрила и диэтилсульфоксида / А.Р. Ткачёва // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2019. – Т. 11, № 1. – С. 25–33. DOI: 10.14529/chem190103.

22. Тарасевич, Б.Н. ИК-спектры основных классов органических соединений: справочные материалы / Б.Н. Тарасевич. – М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2012. – 55 с.

23. Dolomanov, O.V. OLEX2: a Complete Structure Solution, Refinement and Analysis Program / O.V. Dolomanov, L.J. Bourhis, R.J. Gildea // *J. Appl. Cryst.* – 2009. – V. 42. – P. 339–341. DOI: 10.1107/S0021889808042726.

24. Thomas, R. The Molecular and Crystal Structure of Dimethylsulfoxide, (H₃C)₂SO / R. Thomas, C.B. Shoemaker, K. Eriks // *Acta Cryst.* – 1966. – V. 21, № 1. – P. 12–20. DOI: 10.1107/S0365110X66002263.

25. Кукушкин, Ю.Н. Химия координационных соединений / Ю.Н. Кукушкин. – М.: Высш. школа, 1985. – 456 с.

Зыкова Алёна Романовна – аспирант кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76. E-mail: zykovaar@susu.ru

Поступила в редакцию 16 ноября 2020 г.

DOI: 10.14529/chem210103

REACTION OF PENTAPHENYLPHOSPHORUS WITH HEXACHLOROPLATINIC ACID

A.R. Zykova, zykovaar@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Tetraphenylphosphonium hexachloroplatinate (**1**) was synthesized by the interaction of pentaphenylphosphorus with hexachloroplatinic acid in acetone. The recrystallization of complex **1** from dimethylsulfoxide gave tetraphenylphosphonium dimethylsulfoxidopentachloroplatinate (**2**). The compounds have been characterized by IR-spectroscopy and X-ray analysis. The absorption bands characterizing stretching vibrations of the phenyl groups are present in the IR spectra, recorded on a Shimadzu IRAffinity-1S Fourier spectrometer in the 4000–400 cm⁻¹ area in KBr pellets. According to the X-ray analysis, the compound unit cell parameters are: triclinic syngony, space group $P\bar{1}$ (**1**, **2**), $a = 10.205(10)$, $b = 10.970(15)$, $c = 12.160(11)$ Å (**1**), $a = 7.7667(4)$, $b = 13.3069(7)$, $c = 14.2562(7)$ Å (**2**), $\alpha = 73.65(4)^\circ$, $\beta = 80.64(3)^\circ$, $\gamma = 77.48^\circ$ (**1**), $\alpha = 80.972(4)^\circ$, $\beta = 88.205(4)^\circ$, $\gamma = 89.199(4)^\circ$ (**2**), $V = 1272(2)$ Å³ (**1**), $1454.38(13)$ Å³ (**2**). The crystals of complexes **1** and **2** consist of the tetrahedral tetraphenylphosphonium cations and octahedral anions. In cations the phosphorus atoms have a slightly distorted tetrahedral environment (the CPC angles are 107.8(3)–113.2(3)° (**1**), 105.9(3)–112.9(3)° (**2**), the P–C distance is 1.785(6)–1.805(6) Å (**1**), 1.783(7)–1.791(6) Å (**2**). Platinum atoms in the anions of complexes **1** and **2** are hexacoordinated. In complex **2** the dimethyl sulfoxide ligand is coordinated with the Pt atom via the sulfur atom 2.290(2) Å. Complete tables of coordinates of atoms, bond lengths and valence angles are deposited at the Cambridge Structural Data (CCDC 1865783, 829586 <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Keywords: pentaphenylphosphorus, hexachloroplatinic acid hydrate, acetone, tetraphenylphosphonium, complex, X-ray diffraction analysis.

References

1. Razuvaev G.A., Osanova N.A., Grigorieva I.K. [Some Heterolytic Reactions of Pentaphenylphosphorus and Pentaphenylantimony]. *Izv. AN SSSR. Ser. Khim.* [Izv. Academy of Sciences of the USSR. Ser. Chem], 1969, no. 10, pp. 2234–2237. (in Russ.)
2. Razuvaev G.A., Osanova N.A., Briikina T.G. et al. Alkyloxy- and Silyloxy-derivatives of P(V) and Sb(V). *J. Organomet. Chem.* 1975, vol. 99, no. 1, pp. 93–106. DOI: 10.1016/S0022-328X(00)8636.
3. Sharutin V.V. *Pentafenil'nye soedineniya fosfora, sur'my, vismuta i ikh proizvodnykh. Vozmozhnosti primeneniya v organicheskom sinteze.* Diss. Dokt. khim nauk [Pentaphenyl Compounds of Phos-

phorus, Antimony, Bismuth and Their Derivatives. Applications in Organic Synthesis. Doct. Sci. Diss. (Chem.]. Irkutsk, 1995. 257 p.

4. Sharutin V.V., Bychkov V.T., Lebedev V.A., Bochkova R.I., Kuzmin E.A. Thermal Decomposition of Pentaphenylphosphorus in the Presence of Carbon Dioxide – CO₂. *J. Gen. Chem.*, 1986, no. 2(56), pp. 325–328.

5. Sharutin V.V. The Role of Steric Factors in the Processes of Thermal Decomposition of Pentaphenyl Compounds of Phosphorus, Antimony and Bismuth. Arylation of Organoelement and Organic Compounds with Aryl Derivatives of Five-coordinated Bismuth. *J. Gen. Chem.*, 1988, no. 10(58), pp. 2305–2311.

6. Zhidkov V.V., Sharutin V.V., Belsky V.K., Magomedova N.S. Interaction of Pentaphenylphosphorane with Paraform. *J. Gen. Chem.*, 1995, no. 2(65), pp. 251–256.

7. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K. Tetraphenylphosphorus Carboxylates and Sulfonates. Synthesis and Structure. *J. Gen. Chem.*, 2009, no. 1(79), pp. 80–89. DOI: 10.1134/S1070363209010125.

8. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Rybakova A.V., Gubanova Yu.O. Synthesis and Structure of Tetraphenylphosphorus Carboxylates. *J. Gen. Chem.*, 2018, no. 8(88), pp. 1308–1313. DOI: 10.1134/S0044460X18080139.

9. Sharutin V.V., Mukusheva N., Urzhumova A.V. Synthesis and Structure of Tetraphenylphosphonium 2,4-Dinitrobenzenesulfonate. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 48–54. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem180206.

10. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Gubanov Yu.O. Synthesis and Structure of Tetraphenylphosphonium Arenesulfonates. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019, no. 2(62), pp. 4–10. DOI: 10.6060/ivkkt.20196202.5823.

11. Yang G.D., Dai J.C., Wu W.S., Lib H.P., Liub G.X. Tetraphenylphosphonium 2,4,5-Tricarboxybenzoate. *Acta Crystallogr. Sect. E: Struct. Rep. Onlin.*, 2007, vol. E63, pp. 1010–1011. DOI: 10.1107/S1600536807004163.

12. Muller G., Bildmann U.J. Crystal and Molecular Structure of P(C₆H₅)₅ · 0.5 THF. *Z. Naturforsch., B: Chem. Sci.* 2004, vol. 59, no. 11–12, pp. 1411–1414.

13. Kadyrgolova L.R. [New Representatives of Ferrocene-Containing Phosphonium Salts with Hindered Cations]. *Dinamicheskie protsessy v khimii elementoorganicheskikh soedineniy* [Dynamic Processes in the Chemistry of Organoelement Compounds], 2018, pp. 109. (in Russ.)

14. Popa A., Davidescu C., Trif R. et al. Study of Quaternary Onium Salts Grafted on Polymers: Antibacterial Activity of Quaternary Phosphonium Salts Grafted on Geltype Styrene-Divinylbenzene Copolymers. *React. Funct. Polym.* 2003, vol. 55, pp. 151–158.

15. Masayo I., Tomoo I., Biyuuki K. [Amoeba-Killing Agents, Method for Controlling Amoeba And Method For Sterilizing Legionellaceae Bacterium]. Patent JP, no. 2002308713, 2002.

16. Satoshi H., Hideto O. [Antibacterial Laminated Film]. Patent JP, no. 2000263706, 2000.

17. Galkina I.V., Egorova S.N. [Biological Activity of Quaternary Phosphonium Salts and Prospects for Their Medical Application]. *Meditsinskiy al'manakh. Farmatsiya* [Medical Almanac. Pharmacy], 2009, no. 3(8), pp. 142–145. (in Russ.)

19. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and Processing Software for the SMART System. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998. 25. 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.

20. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K., Gushchin A.V. Synthesis and Structure of Platinum Complexes [Ph₄P]⁺[PtCl₃(dmsO)]⁻ and [Ph₄P]⁺[PtCl₅(dmsO)]⁻. *J. Inorg. Chem.* 2013, no. 1(58), pp. 36–40. DOI: 10.1134/S0036023613010191.

21. Tkacheva A.R. [Reactions of Tetraorganylphosphonium and Tetraethylammonium Chloride with Hexachloroplatinic Acid Hexahydrate in Solutions of Acetonitrile and Diethylsulphoxide]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry.* 2019, vol. 11, no. 1, pp. 25–33. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem190103.

22. Tarasevich B.N. *ИК-спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы.* [IR-spectrum of The Main Classes of Organic Compounds: Background Information]. Moscow. MSU, 2012, 55 p.

23. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. OLEX2: a Complete Structure Solution, Refinement and Analysis Program. *J. Appl. Cryst.*, 2009, vol. 42, pp. 339–341. DOI: 10.1107/S0021889808042726.

Химия элементоорганических соединений

24. Thomas R., Shoemaker C.B., Eriks K. The Molecular and Crystal Structure of Dimethyl Sulfoxide, $(\text{H}_3\text{C})_2\text{SO}$. *Acta Cryst.* 1966, vol. 21, no. 1, pp. 12–20. DOI: 10.1107/S0365110X66002263.

25. Kukushkin Yu.N. *Khimiya koordinatsionnykh soedineniy* [Chemistry of coordination compounds]. Moscow, 1985. 456 p.

Received 16 November 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Зыкова, А.Р. Реакция пентафенилфосфора с гексахлороплатиновой кислотой / А.Р. Зыкова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2021. – Т. 13, № 1. – С. 31–38. DOI: 10.14529/chem210103

FOR CITATION

Zykova A.R. Reaction of Pentaphenylphosphorus with Hexachloroplatinic Acid. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry.* 2021, vol. 13, no. 1, pp. 31–38. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem210103
