

## СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ *ЦИС*- [ДИХЛОРО(ТРИФЕНИЛФОСФИН)(ДИЭТИЛСУЛЬФОКСИДО)- ПЛАТИНЫ(II)]

**А.Р. Ткачёва, В.В. Шарутин**

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Взаимодействием гексахлороплатиновой кислоты и хлорида 2-бутенил-бис(трифенилфосфония) в присутствии диэтилсульфоксида в ацетонитриле синтезирован комплекс *цис*-[дихлоро(трифенилфосфин)(диэтилсульфоксид)платина(II)], *цис*-[PtCl<sub>2</sub>(SOEt<sub>2</sub>)(PPh<sub>3</sub>)] (**1**), выход которого после перекристаллизации из триэтиламина составил 75 %. Соединение **1** охарактеризовано методом ИК-спектроскопии и рентгеноструктурным анализом. По данным РСА, проведенного при 293 К на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 Quest Bruker (MoK $\alpha$ -излучение,  $\lambda = 0,71073$  Å, графитовый монохроматор), атом платины в соединении **1** имеет квадратно-плоскостную координацию [C<sub>22</sub>H<sub>25</sub>PCl<sub>2</sub>SOPt, M 634.44; сингония триклинная, группа симметрии P1; параметры ячейки:  $a = 10,367(4)$ ,  $b = 10,416(4)$ ,  $c = 12,389(8)$  Å;  $\alpha = 102,53(3)$  град.,  $\beta = 95,30(3)$  град.,  $\gamma = 116,087(16)$  град.;  $V = 1145,6(9)$  Å<sup>3</sup>; размер кристалла 0,66×0,36×0,06 мм; интервалы индексов отражений  $-16 \leq h \leq 19$ ,  $-18 \leq k \leq 19$ ,  $-22 \leq l \leq 22$ ; всего отражений 25761; независимых отражений 21895;  $R_{int} 0,0299$ ; GOOF 1,116;  $R_1 = 0,0849$ ;  $wR_2 = 0,1705$ ; остаточная электронная плотность 6,52/-3,85 e/Å<sup>3</sup>. Атомы хлора занимают две *цис*-позиции, находясь в *транс*-положении по отношению к фосфиновому и сульфоксидному лигандам. Расстояние Pt–Cl 2,315(5)–2,367(7) Å длинее, чем Pt–PPh<sub>3</sub> 2,295(5) и Pt–S 2,230(4) Å. *Цис*-углы Cl(1)PtCl(2) 88,6(3)°, S(1)Pt(1)Cl(2) 88,1(3)°, S(1)Pt(1)P(1) 92,13(17)° Cl(1)Pt(1)P(1) 91,07(18)°, *транс*-углы S(1)PtCl(1) 175,3(2)°, Cl(2)Pt(1)P(1) 177,8(3)°. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 1849140 deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>)

*Ключевые слова:* хлорид 2-бутенил-бис(трифенилфосфония), ацетонитрил, диэтилсульфоксид, *цис*-[дихлор(трифенилфосфин)(диэтилсульфоксидо)платина(II)], рентгеноструктурный анализ.

### Введение

Известно, что некоторые комплексы платины удобны для изучения реакций лигандного обмена и широко используются как высокоэффективные катализаторы многих химических реакций [1, 2]. С этой точки зрения интерес представляют реакции, результатом которых является введение в координационную сферу атома платины новых лигандов. Известно, что платина имеет малое сродство к кислородным лигандам и легко связывается с аминами, сульфидами и фосфинами. В настоящее время наиболее подробно изучены комплексы двухвалентной платины с диметилсульфоксидными лигандами [3–6].

Известно, что окислительно-восстановительные превращения комплексов Pt(IV) с координированными молекулами диметилсульфоксида в растворах ацетона, нитрометана, ацетонитрила, диметилсульфоксида приводят к образованию смеси соединений Pt(IV) и Pt(II) [7, 8]. Так, полученный в растворе диметилсульфоксида комплекс [Ph<sub>4</sub>P][PtCl<sub>3</sub>(dmsо-S)] постепенно восстанавливается до [Ph<sub>4</sub>P][PtCl<sub>3</sub>(dmsо-S)] [9].

Установлено, что реакции хлоридов органилтрифенилфосфония с тетрахлоороплатинатом или гексабромоплатинатом калия в диметилсульфоксиде приводят к замещению одного из атомов галогена на молекулу S-координированного DMSO [10–14]. Взаимодействие хлоридов тетраорганиламмония и -фосфония с гексахлороплатиновой кислотой в присутствии DMSO также сопровождается лигандным обменом в анионе [PtCl<sub>6</sub>]<sup>2-</sup> [15].

Комплексы платины(II) неионного строения с диэтилсульфоксидными лигандами практически не изучены [16]. Продолжая исследование в этом направлении, мы изучили взаимодействие

## Химия элементоорганических соединений

хлорида 2-бутенил-бис(трифенилфосфония) с гексахлороплатиновой кислотой в присутствии диэтилсульфоксида в ацетонитриле при мольном соотношении реагентов 1:1:2 соответственно.

### Экспериментальная часть

**Синтез *cis*-[PtCl<sub>2</sub>(SOEt<sub>2</sub>)(PPh<sub>3</sub>)] (1).** Раствор 0,065 г (0,1 ммоль) хлорида 2-бутенил-бис(трифенилфосфония) в 4 мл ацетонитрила приливали к раствору 0,05 г (0,1 ммоль) гексахлороплатината калия в 5 мл ацетонитрила. Раствор концентрировали в течение 2 суток, образовавшееся вещество перекристаллизовывали из 5 мл триэтиламина, полученные кристаллы фильтровали и сушили. Выход комплекса **1** 0,047 г (75 %), светло-желтые кристаллы, т. пл. 226 °С.

ИК-спектр ( $\nu$ , см<sup>-1</sup>): 2981, 2935, 2737, 2670, 2493, 2353, 1584, 1478, 1437, 1395, 1369, 1312, 1265, 1187, 1141, 1099, 1068, 998, 967, 845, 775, 750, 692, 643, 539, 503, 458, 414. Вычислено, %: С 41,64; Н 3,94. C<sub>22</sub>H<sub>25</sub>PCl<sub>2</sub>SOpt.

ИК-спектр соединения **1** записывали на ИК-Фурье спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S; образец готовили таблетированием с KBr (область поглощения 4000–400 см<sup>-1</sup>).

**Рентгеноструктурный анализ (РСА)** кристалла **1** проводили на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 QUEST фирмы Bruker (Mo K $\alpha$ -излучение,  $\lambda = 0,71073$  Å, графитовый монохроматор). Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены с помощью программ SMART и SAINT-Plus [17]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены с помощью программ SHELXL/PC [18], OLEX2 [19]. Структуры определены прямым методом и уточнены методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Кристаллографические данные и результаты уточнения структуры 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 (№1849140; deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>).

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структуры 1

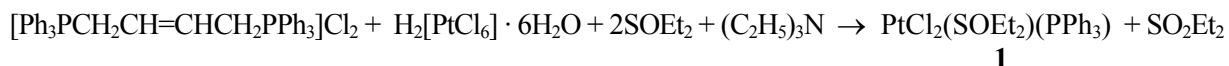
Параметр	Значение
<i>M</i>	634,44
Сингония	Триклинная
Пр. группа	P1
<i>a</i> , Å	10,367(4)
<i>b</i> , Å	10,416(4)
<i>c</i> , Å	12,389(8)
$\alpha$ , град	102,53(3)
$\beta$ , град	95,30(3)
$\gamma$ , град	116,087(16)
<i>V</i> , Å <sup>3</sup>	1145,6(9)
<i>Z</i>	2
$\rho$ (выч.), г/см <sup>3</sup>	1,839
$\mu$ , мм <sup>-1</sup>	6,529
<i>F</i> (000)	616,0
Размер кристалла, мм	0,66 Ч 0,36 Ч 0,06
Область сбора данных по 2 $\theta$ , град	6,46° – 82,82°
Интервалы индексов отражений	-16 ≤ <i>h</i> ≤ 19, -18 ≤ <i>k</i> ≤ 19, -22 ≤ <i>l</i> ≤ 22
Измерено отражений	25761
<i>R</i> <sub>int</sub>	0,0299
Независимых отражений	21895
<i>GOOF</i>	1,116
<i>R</i> -факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	<i>R</i> <sub>1</sub> = 0,0849, <i>wR</i> <sub>2</sub> = 0,1705
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	<i>R</i> <sub>1</sub> = 0,1422, <i>wR</i> <sub>2</sub> = 0,1977
Остаточная электронная плотность (min/max), е/Å <sup>3</sup>	6,52/-3,85

Длины связей ( $d$ ) и валентные углы ( $\omega$ ) в структуре 1

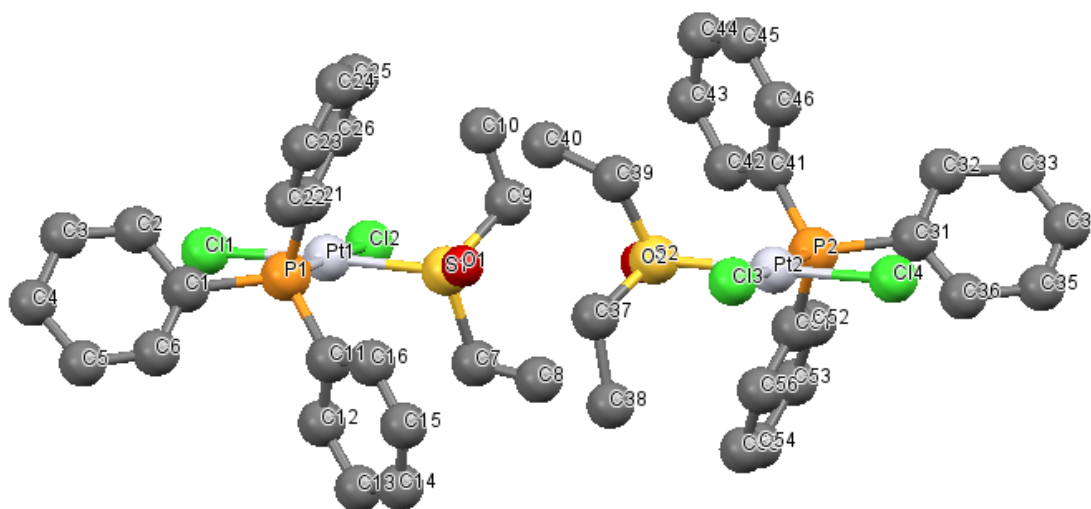
Связь, $d$ , Å		Угол, $\omega$ , град	
<b>1</b>			
Pt(1)–Cl(1)	2,315(5)	Cl(1)Pt(1)Cl(2)	88,6(3)
Pt(1)–Cl(2)	2,367(7)	S(1)Pt(1)Cl(1)	175,3(2)
Pt(1)–S(1)	2,230(4)	S(1)Pt(1)Cl(2)	88,1(2)
Pt(1)–P(1)	2,295(5)	O(1)S(1)Pt(1)	116,5(6)
S(1)–O(1)	1,496(14)	O(1)S(1)C(7)	110,0(11)
S(1)–C(7)	1,87(2)	O(1)S(1)C(9)	104,5(11)
S(1)–C(9)	1,82(2)	C(9)S(1)Pt(1)	113,3(8)
P(1)–C(21)	1,81(2)	C(7)S(1)Pt(1)	105,0(6)
P(1)–C(11)	1,813(19)	C(9)S(1)C(7)	107,3(13)
P(1)–C(1)	1,818(18)	C(11)P(1)C(1)	105,8(8)
C(7)–C(8)	1,24(6)	C(22)P(1)C(11)	108,9(9)
C(9)–C(10)	1,39(4)	C(21)P(1)C(1)	103,3(9)

**Обсуждение результатов**

Взаимодействие хлорида 2-бутенил-бис(трифенилфосфония) с гексахлороплатиновой кислотой в присутствии диэтилсульфоксида в ацетонитриле при мольном соотношении реагентов 1:1:2 соответственно приводит к образованию светло-желтых кристаллов комплекса **1**.



В реакционной смеси методом хромасспектрометрии определен диэтилсульфон, который в окислительно-восстановительной реакции образуется из диэтилсульфоксида, при этом имеет место восстановление Pt(IV)→Pt(II) и P(V)→P(III). Целевой продукт **1**, выделенный с выходом 75 %, после перекристаллизации из триэтиламина представлял собой светло-желтые кристаллы, которые были исследованы методами ИК-спектроскопии и РСА. В ИК-спектре соединения **1** наблюдаются интенсивные полосы поглощения, характеризующие валентные колебания фенольных групп (C–H при 2981 и 2935 см<sup>-1</sup>, C=C при 1478 и 1437 см<sup>-1</sup>) [20]. Атом серы диэтилсульфоксидного лиганда координируется на атом платины, о чем свидетельствует гипсохромный сдвиг сульфоксидной группы S=O, в ИК-спектре (1141 вместо 1050 см<sup>-1</sup> в свободном лиганде) [21, 22] и данные рентгеноструктурного анализа. Строение комплекса **1** представлено на рисунке.



Строение комплекса 1

По данным РСА атом платины имеет квадратно-плоскостную координацию, характерную для производных комплексов платины(II). Атомы хлора занимают две *цис*-позиции, находясь в *транс*-положении по отношению к фосфиновому и сульфоксидному лигандам. Расстояние Pt-Cl 2,315(5)-2,367(7) Å длинее, чем Pt-PPh<sub>3</sub> 2,295(5) и Pt-S 2,230(4) Å. *Цис*-углы Cl(1)PtCl(2) 88,6(3)°, S(1)Pt(1)Cl(2) 88,1(3)°, S(1)Pt(1)P(1) 92,13(17)° Cl(1)Pt(1)P(1) 91,07(18)°, *транс*-углы S(1)PtCl(1) 175,3(2)°, Cl(2)Pt(1)P(1) 177,8(3)°. Значения валентных углов CPC в кристалле незначительно отличаются между собой [103,3(9)°-108,9(9)°], как и расстояния P-C [1,81(2)-1,818(18) Å]. Геометрия координированного диэтилсульфоксидного лиганда (углы OSC 110,0(11)°, 104,5(11)°) отличается от геометрии свободной молекулы диэтилсульфоксида, в которой аналогичные углы составляют 106,5(2)°, 106,9(2)° [23, 24]. Угол C(9)S(1)C(7) (107,3(13)°) весьма отличается от значения аналогичного угла в несвязанной молекуле 97,3(3)°. Длины связей S-C (1,87(2), 1,82(2) Å) длиннее, чем в свободной молекуле диэтилсульфоксида (1,795(5), 1,795(5) Å) [25] и в аналогичных комплексах (1,789(3), 1,792(3) Å), приведенных в [15]. Значение длин связей S-O в координированной и свободной молекулах диэтилсульфоксида совпадает и составляет 1,496(14) Å. Длины связей C-C (1,24(6), 1,39(4) Å) отличны от наблюдаемых в свободной молекуле (1,47(8) Å).

### Выводы

Таким образом, окислительно-восстановительная реакция хлорида 2-бутенилбис(трифенилфосфония) с гексахлороплатиновой кислотой в присутствии диэтилсульфоксида в ацетонитриле приводит к образованию комплекса платины(II) *цис*-[дихлоро(трифенилфосфин)-(диэтилсульфоксидо)платине(II)].

### Литература

1. Михель, И.С. Комплексы палладия (II) платины (II) с P,N-бидентатными производными фосфористой кислоты: автореф. дис. ... канд. хим. наук / И.С. Михель. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 25 с.
2. Крылова, Л.Ф. Идентификация стереоизомерных комплексов Pt(II) и Pd(II) с аминокислотой / Л.Ф. Крылова, Л. М. Матвеева // Журн. структ. химии. – 2005. – Т. 46, № 1. – С. 77–90.
3. Cotton, F. Sulfoxides as Ligands. I. A Preliminary Survey of Methyl Sulfoxide Complexes / F. Cotton, R. Francis // J. Am. Chem. Soc. – 1960. – V. 82. – P. 2986–2991. DOI: 10.1021/ja01497a003.
4. Meek, D. Transition Metal Ion Complexes of Dimethyl Sulfoxide / D. Meek, D. Straub, R. Drago // J. Am. Chem. Soc. – 1960. – V. 82. – P. 6013–6016. DOI: 10.1021/ja01508a012.
5. Кукушкин, Ю.Н. Дезоксигенирование диметилсульфоксида в комплексе [PtCl<sub>2</sub>(Me<sub>2</sub>SO)<sub>2</sub>] посредством PCl<sub>3</sub> / Ю.Н. Кукушкин, З.А. Хроменкова, В.А. Эсаулова // Журн. общей хим. – 1993. – Т. 63, № 10. – С. 2386–2387.
6. Кукушкин, Ю.Н. Различное поведение диметилсульфоксидной группы в комплексах платины(II) и (IV) по отношению к PCl<sub>3</sub> / Ю.Н. Кукушкин, З.А. Хроменкова, В.А. Эсаулова // Журн. общей хим. – 1994. – Т. 64, № 9. – С. 1554–1558.
7. Кукушкин, В.Ю. Дезоксигенирование диметилсульфоксида в комплексах платины / В.Ю. Кукушкин, Е.Ю. Панькова // Журн. общей хим. – 1987. – Т. 57, № 10. – С. 2391–2392.
8. Окислительно-восстановительные превращения комплексов Pt(IV) с координированными молекулами диметилсульфоксида. Кристаллическая и молекулярная структуры трифенилбензилфосфоний трихлоро(диметилсульфоксид)-платината (II) / С.С. Сотман, В.С. Фондаменский, В.Ю. Кукушкин и др. // Журн. общ. химии. – 1988. – Т. 58, № 10. – С. 2297–2304.
9. Синтез и строение комплексов платины с хлоридами органилтрифенилфосфонием и ДМСО / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин, О.К. Шарутина и др. // Журнал общей химии. – 2018. – Т. 88, № 7. – С. 80–86.
10. Synthesis and Structure of Platinum Complexes [Ph<sub>4</sub>P]<sup>+</sup>[PtCl<sub>3</sub>(DMSO)]<sup>-</sup> and [Ph<sub>4</sub>P]<sup>+</sup>[PtCl<sub>5</sub>(DMSO)]<sup>-</sup> / V.V. Sharutin, V.S. Senchurin, O.K. Sharutina et al. // Russ. J. Inorg. Chem. – 2013. – V. 58, № 1. – P. 33–38. DOI: 10.1134/S0036023613010191.
11. Synthesis and Structure of the Platinum Complexes [Bu<sub>4</sub>N]<sup>+</sup>[PtBr<sub>5</sub>(DMSO)]<sup>-</sup>, [Ph<sub>4</sub>P]<sup>+</sup>[PtBr<sub>5</sub>(DMSO)]<sup>-</sup>, and [Ph<sub>3</sub>(n-Am)P]<sup>+</sup>[PtBr<sub>5</sub>(DMSO)]<sup>-</sup> / V.V. Sharutin, V.S. Senchurin,

O.K. Sharutina et al. // Russ. J. Coord. Chem. – 2011. – V. 37, № 11. – P. 854–861. DOI: 10.1134/S1070328411100113.

12. Шарутин, В.В. Синтез и строение комплекса платины  $[\text{Ph}_3\text{PC}_6\text{H}_{11}\text{-cyclo}][\text{PtBr}_5(\text{DMSO-S})]$  / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин, Т.В. Мосунова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2017. – Т. 9, № 4. – С. 61–66. DOI: 10.14529/chem170410

13. Sharutin, V.V. Synthesis and Structure of Platinum Complexes  $[\text{Bu}_4\text{P}][\text{PtBr}_6]$  and  $[\text{Bu}_4\text{P}][\text{PtBr}_5(\text{DMSO-S})]$  / V.V. Sharutin, O.K. Sharutina, V.S. Senchurin // Russ. J. Gen. Chem. – 2016. – V. 86, № 9. – P. 2100–2109. DOI: 10.1134/S1070363216090206.

14. Реакции хлоридов трифенилбензил-фосфония и тетрафенилстибония с тетрахлороплатинатом калия в диметилсульфоксиде / В.В. Шарутин, В.С. Сенчурин, А.П. Пакурина и др. // Журн. общ. химии. – 2010. – Т. 80, № 9. – С. 1434–1438.

15. Ткачёва, А.Р. Синтез и строение комплексов платины  $[(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{N}][\text{PtCl}_5(\text{deso-S})]$ ,  $[(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{P}][\text{PtCl}_6] \text{CH}_3\text{CN}$  / Тезисы докладов Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2018»: сб. тезисов докладов. – М.: Изд-во МГУ, 2018. – 491 с.

16. Amico, D. Antiproliferative activity of platinum(II) complexes containing triphenylphosphine: Correlation between structure and biological activity / D. Amico, L. Via, A. Garcna-Argbez // J. Polyhedron. – 2015. – V. 85. – P. 685–689. DOI: 10.1016@j.poly.2014.10.001.

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

18. Bruker (1998) SHELXTL/PC An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures From Diffraction Data Versions 5.10, Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.

19. 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.

20. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул / пер. с англ. – М., 1963. – 590 с.

21. Goggin, P. Sulphoxides, Amide, Amine Oxides and Related Ligands / P. Goggin // Comprehensive Coord. Chem. – 1987. – V. 2. – P. 487–493.

22. Al-Fawaz, A. Reactivity of the bis(pentafluorophenyl)boranes  $\text{ClB}(\text{C}_6\text{F}_5)_2$  and  $[\text{HB}(\text{C}_6\text{F}_5)_2]_n$  towards late transition metal reagents / A. Al-Fawaz, D. Coombs, A. Dickinson // J. Crystallogr. Spectrosc. Res. – 2004. – V. 23. – P. 4030–4039.

23. Calligaris, M. Structure and bonding in metal sulfoxide complexes / M. Calligaris, O. Carugo // Coord. Chem. Rev. – 1996. – V. 153. – P. 83–154. DOI: 10.1016/0010-8545(95)01193-5.

24. Calligaris, M. Stereochemical Aspects of Sulfoxides and Metal Sulfoxide Complexes / M. Calligaris // Croatica Chemica Acta. – 1999. – V. 72, № 3. – P. 147–169.

25. Calligaris, M. Structure and bonding in metal sulfoxide complexes: an update / M. Calligaris // Coord. Chem. Rev. – 2004. – V. 248, № 4. – P. 351–375. DOI: 10.1016/j.ccr.2004.02.005.

**Ткачёва Алёна Романовна** – аспирант, кафедра теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. E-mail: alyonatkachyova@gmail.com

**Шарутин Владимир Викторович** – доктор химических наук, профессор, старший научный сотрудник УНИД, Южно-Уральский государственный университет. 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76. E-mail: vvsharutin@rambler.ru

*Поступила в редакцию 10 мая 2018 г.*

## SYNTHESIS AND STRUCTURE OF CIS-[DICHLORO (TRIPHENYLPHOSPHINE)(DIETHYLSULFOXIDO)PLATINUM (II)]

A.R. Tkacheva, [alyonatkachyova@gmail.com](mailto:alyonatkachyova@gmail.com)  
V.V. Sharutin, [vvsharutin@rambler.ru](mailto:vvsharutin@rambler.ru)  
South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The interaction of hexachloroplatinic acid and 2-butenyl-bis(triphenylphosphonium) chloride in acetonitrile in the presence of diethyl sulfoxide synthesized *cis*-[dichloro(triphenylphosphine)-(diethylsulfoxide) platinum(II)], *cis*-[PtCl<sub>2</sub>(SOEt<sub>2</sub>)(PPh<sub>3</sub>)] (**1**), the yield of which after recrystallization from triethylamine was 75 %. The product structure was determined by XRDA and IR. The X-ray diffraction pattern of crystal **1** was obtained at 293 K on an automatic diffractometer D8 Quest Broker (MoK $\alpha$  radiation,  $\lambda = 0.71073$  Å, graphite monochromator), platinum atom in compound **1** has square-planar coordination [C<sub>22</sub>H<sub>25</sub>PCl<sub>2</sub>SOPt, M 634.44; the triclinic syngony, the symmetry group P1; cell parameters:  $a = 10.367(4)$ ,  $b = 10.416(4)$ ,  $c = 12.389(8)$  Å;  $\alpha = 102.53$  (3) degrees,  $\beta = 95.30$  (3) degrees,  $\gamma = 116.087(16)$  degrees;  $V = 1145.6$  (9) Å<sup>3</sup>; the crystal size is  $0.66 \times 0.36 \times 0.06$  mm; intervals of reflection indexes  $-16 \leq h \leq 19$ ,  $-18 \leq k \leq 19$ ,  $-22 \leq l \leq 22$ ; total reflections 25761; independent disclosures 21895;  $R_{\text{int}} 0.0299$ ; GOOF 1.116;  $R_1 = 0.0849$ ;  $wR_2 = 0.1705$ ; residual electron density  $6.52 / -3.85$  e/Å<sup>3</sup>]. The chlorine atoms occupy two *cis* positions, being in the *trans* position with respect to the phosphine and sulfoxide ligands. Distance Pt–Cl 2.315(5)–2.367(7) Å is longer than Pt–PPh<sub>3</sub> 2.295(5) and Pt–S 2.230(4) Å. *Cis*-angles Cl(1)PtCl(2) equal 88.6 (3)°, S(1)Pt(1)Cl(2) 88.1(3)°, S(1)Pt(1)P(1) 92.13(17)°, Cl(1)Pt(1)P(1) 91.07(18)°, *trans*-angles equal S(1)PtCl(1) 175.3(2)°, Cl(2)Pt(1)P(1) 177.8(3)°. Complete tables of coordinates of atoms, bond lengths and valence angles are deposited at the Cambridge Structural Data (No. 1849140 deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>.)

*Keywords:* 2-butenyl-bis(triphenylphosphonium) chloride, acetonitrile, diethyl sulfoxide, *cis*-[dichloro(triphenylphosphine)(diethylsulfoxide) platinum (II)], X-ray diffraction analysis.

## References

1. Mikhel I.S. *Kompleksy palladiya (II) i platiny (II) s P,N-bidentatnymi proizvodnymi fosforistoy kisloty*. Avtoref. cand. diss. [Complexes of Palladium (II) and Platinum (II) with P, NBidentate Derivatives of Phosphorous Acid. Abstract of cand. diss.]. Moscow. MSU Publ., 2001, 25 p.
2. Krylova L.F., Matveeva L.M. Identification of Pt(II) and Pd(II) Stereoisomeric Complexes with Aminobutyric Acid by NMR and IR spectroscopy. *J. Struct. Chem.*, 2005, vol. 46, no. 1, pp. 75–86.
3. Cotton F., Francis R. Sulfoxides as Ligands. I. A Preliminary Survey of Methyl Sulfoxide Complexes. *J. Am. Chem. Soc.*, 1960, vol. 82, pp. 2986–2091. DOI: 10.1021/ja01497a003.
4. Meek D., Straub D., Drago R. Transition Metal Ion Complexes of Dimethyl Sulfoxide. *J. Am. Chem. Soc.* 1960, vol. 82. pp. 6013–6016. DOI: 10.1021/ja01508a012.
5. Kukushkin Yu.N., Khromenkova Z.A., Esaulova V.A. Deoxygenation of Dimethylsulfoxide in the Complex [PtCl<sub>2</sub>(Me<sub>2</sub>SO)<sub>2</sub>] by Means of PCl<sub>3</sub>. *Russ. J. Gen. Chem.*, 1993, vol. 63, no. 10, pp. 2386–2387. (in Russ.)
6. Kukushkin Yu.N., Khromenkova Z.A., Esaulova V.A. The Different Behavior of the Dimethylsulfoxide Group in Platinum (II) and (IV) Complexes with Respect to PCl<sub>3</sub>. *Russ. J. Gen. Chem.*, 1994, vol. 64, no. 9, pp. 1554–1558. (in Russ.)
7. Kukushkin V.Yu., Pan'kova E.Yu. Deoxygenation of Dimethyl Sulfoxide in Platinum Complexes. *Russ. J. Gen. Chem.*, 1987, vol. 57, no. 10, pp. 2391–2392. (in Russ.)
8. Sotman S.S., Fundamenskiy V.S., Kukushkin V.Yu., Pankova E.Yu. Oxidation-Reduction Reactions of Pt(IV) Complexes with Coordinated Molecules of Dimethylsulfoxide. The Crystalline and Molecular Structure of Triphenylbenzylphosphonium Trichloro(dimethylsulfoxide)-platinate(II). *Russ. J. Gen. Chem.*, 1988, vol. 58, no. 10, pp. 2297–2304. (in Russ.)
9. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K., Tkacheva A.R. Synthesis and Structure of Platinum Complexes with Organotriphenylphosphonium Chloride and DMSO. *Russ. J. Gen. Chem.*, 2018, vol. 88, no. 7, pp. 80–86. (in Russ.)

10. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K., Gushchin A.V. Synthesis and Structure of Platinum Complexes  $[\text{Ph}_4\text{P}]^+[\text{PtCl}_3(\text{DMSO})]^-$  and  $[\text{Ph}_4\text{P}]^+[\text{PtCl}_5(\text{DMSO})]^-$ . *Russ. J. Inorg. Chem.*, 2013, vol. 58, no. 1. pp. 33–38. DOI: 10.1134/S0036023613010191.
11. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Sharutina O.K., Somov N.V., Gushchin A.V. Synthesis and Structure of the Platinum Complexes  $[\text{Bu}_4\text{N}]^+[\text{PtBr}_5(\text{DMSO})]^-$ ,  $[\text{Ph}_4\text{P}]^+[\text{PtBr}_5(\text{DMSO})]^-$ , and  $[\text{Ph}_3(n\text{-Am})\text{P}]^+[\text{PtBr}_5(\text{DMSO})]^-$ . *Russ. J. Coord. Chem.*, 2011, vol. 37, no. 11. pp. 854–861. DOI: 10.1134/S1070328411100113.
12. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Mosunova T.V. Synthesis and Structure of the Platinum Complex  $[\text{Ph}_3\text{PC}_6\text{H}_{11}\text{-cyclo}][\text{PtBr}_5(\text{DMSO-S})]$ . *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2017, vol. 9, no. 4, pp. 61–66. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem170410
13. Sharutin V.V., Sharutina O.K., Senchurin V.S. Synthesis and Structure of Platinum Complexes  $[\text{Bu}_4\text{P}][\text{PtBr}_6]$  and  $[\text{Bu}_4\text{P}][\text{PtBr}_5(\text{DMSO-S})]$ . *Russ. J. Gen. Chem.*, 2016, vol. 86, no. 9. pp. 2100–2109. DOI: 10.1134/S1070363216090206.
14. Sharutin V.V., Senchurin V.S., Pakusina A.P., Fastovets O.A. Reactions of Triphenylphosphonium Chlorides and Tetraphenelectomy with Potassium Tetrachloroplatinate in Dimethylsulfoxide. *Russ. J. Gen. Chem.*, 2010, vol. 80, no. 9, pp. 1434–1438. (in Russ.)
15. Tkacheva A.R., [Synthesis and Structure of Platinum Complexes  $[(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{N}][\text{PtCl}_5(\text{deso-S})]$ ,  $[(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{P}][\text{PtCl}_6]$   $\text{CH}_3\text{CN}$ ]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya "Lomonosov-2018"* [International scientific conference "Lomonosov-2018"]. Moscow, MSU Publ., 2018, 491 p.
16. Amico D., Via L., Gargna-Argbez A. Antiproliferative Activity of Platinum(II) Complexes Containing Triphenylphosphine: Correlation Between Structure and Biological Activity. *J. Polyhedron.*, 2015, vol. 85, pp. 685–689. DOI: 10.1016@j.poly.2014.10.001.
17. Bruker (1998) SMART and SAINT-Plus. Data Collection and Processing Software for the SMART System Versions 5.0, Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
18. Bruker (1998) SHELXTL/PC. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures From Diffraction Data Versions 5.10, Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
19. 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.
20. Bellamy L. The Infrared Spectra of Complex Molecules Inc.. New York, John Wiley & Sons, 1954. (Russian ed.: Akimova V.M., Pentina Yu.A., Teterina E.G. Infrakrasnyye spektry slozhnykh molecules [The Infra-red Spectra of Complex Molecules]. Moscow, Foreign Literature Publ., 1963, 590 p.)
21. Goggin P. [Sulphoxides, Amide, Amine Oxides and Related Ligands]. *Comprehensive Coord. Chem.*, 1987, vol. 2. pp. 487–493.
22. Al-Fawaz A., Coombs D., Dickinson A. Reactivity of the Bis(pentafluorophenyl)boranes  $\text{ClB}(\text{C}_6\text{F}_5)_2$  and  $[\text{HB}(\text{C}_6\text{F}_5)_2]_n$  Towards Late Transition Metal Reagents. *J. Crystallogr. Spectrosc. Res.* 2004, vol. 23, pp. 4030–4039.
23. Calligaris M., Carugo O. Structure and Bonding in Metal Sulfoxide Complexes. *Coord. Chem. Rev.* 1996, vol. 153, pp. 83–154. DOI: 10.1016/0010-8545(95)01193-5.
24. Calligaris M. [Stereochemical Aspects of Sulfoxides and Metal Sulfoxide Complexes]. *Croatica Chem. Acta.* 1999, vol. 72, no. 3, pp. 147–169.
25. Calligaris M. [Structure and Bonding in Metal Sulfoxide Complexes]. *Coord. Chem. Rev.* 2004, vol. 248, no 4, pp. 351–375. DOI: 10.1016/j.ccr.2004.02.005.

Received 10 May 2018

## ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Ткачёва, А.Р. Синтез и строение цис-[дихлоро(трифенилфосфин)(диэтилсульфоксидо)платины(II)] / А.Р. Ткачёва, В.В. Шарутин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2018. – Т. 10, № 3. – С. 59–65. DOI: 10.14529/chem180307

## FOR CITATION

Tkacheva A.R., Sharutin V.V. Synthesis and Structure of *Cis*-[Dichloro(Triphenylphosphine)(Diethylsulfoxido)-Platinum (II)]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2018, vol. 10, no. 3, pp. 59–65. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem180307