УДК 546.185;546.922;547.53.024;548.312.2

СИНТЕЗ, КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ КОМПЛЕКСОВ ПЛАТИНЫ(II): [Ph₃PCH₂OH]₂[PtCl₄] И *транс*-PtCl₂(PPh₃)₂] · CHCl₃

© 2022 г. А. Р. Зыкова^{1, *}, В. В. Шарутин¹, О. К. Шарутина¹, О. С. Ельцов²

¹Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия ²Уральский федеральный университет, Химико-технологический институт, Екатеринбург, Россия *e-mail: zykovaar@susu.ru

Поступила в редакцию 11.10.2021 г. После доработки 20.10.2021 г. Принята к публикации 22.10.2021 г.

Комплексы двухвалентной платины [Ph₃PCH₂OH]₂[PtCl₄] (I) и *транс*-[PtCl₂(PPh₃)₂] (II · CHCl₃) получены взаимодействием гексахлороплатиноводородной(IV) кислоты с хлоридом (гидроксиметил)трифенилфосфония в смеси ацетонитрил—вода (4 : 1). Растворение кристаллов комплекса I в диэтилсульфоксиде приводит к образованию кристаллов комплекса II. Строение комплексов установлено методами ИК-, ЯМР-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа (CCDC № 2055552 (I), 2055809 (II · CHCl₃)). Атомы платины в комплекса I и II · CHCl₃ имеют плоско-квадратную координацию. Кристаллическая структура комплексов I и II · CHCl₃ стабилизируется за счет межионных и межмолекулярных контактов. Термический анализ кристаллов комплекса I показал неустойчивость соединения и потерю веса при 170 и 305°С. Термограмма кристаллов комплекса II · CHCl₃ показала потерю молекулы растворителя при 170°С и плавное падение ТГ-кривой после доведения платформы до 310°С.

Ключевые слова: тетрахлороплатинат (гидроксиметил)трифенилфосфония, дихлоро-*бис*(трифенилфосфин)платина, рентгеноструктурный анализ, термическая устойчивость **DOI:** 10.31857/S0132344X22060081

Координационные комплексы платины представляют фундаментальный интерес, поскольку обладают широким спектром применимости. С момента открытия цитотоксического действия, комплексы платины активно применяют в химиотерапии [1-6]. Кроме того, они проявляют противовоспалительные, противомикробные, противогрибковые [7, 8], а также каталитические свойства [9–12]. Комплексы платины, содержащие в качестве лиганда амины, сульфиды, фосфины и стибины, широко исследуются в различных областях металлорганической химии [13, 14]. Липофильные катионы [Ph₃PR]⁺ являются важными прекурсорами для платиновых комплексов, содержащих органические лиганды [15]. Соли тетраорганилфосфония проявляют дезинфицирующие свойства [16-19].

В литературе описано малое количество комплексов платины с моноядерными тетрахлороплатинат-анионами и катионами органилтрифенилфосфония [20–24]. Наиболее эффективным методом синтеза таких соединений является взаимодействие галогенидов тетраорганилфосфония с калиевой солью тетрахлороплатиновой кислоты в воде [21].

Ранее мы исследовали реакции комплексной кислоты H_2PtCl_6 с хлоридами органилтрифенилфосфония в ацетонитриле, которые приводили к образованию соответствующих гексахлороплатинатов(IV) [25]. В настоящей работе показано, что такая реакция с хлоридом (гидроксиметил)трифенилфосфония в смеси ацетонитрил—вода (4 : 1) идет нетипично, а с образованием смеси новых комплексных соединений платины(II): [Ph₃PCH₂OH]₂[PtCl₄] (I) и *mpaнс*-[PtCl₂(PPh₃)₂] (II · CHCl₃). Мы осуществили синтез новых комплексов и изучили их кристаллическую структуру и термическую устойчивость.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Все операции, связанные с синтезом новых комплексов, выполняли на воздухе с использованием ацетонитрила и дистиллированной воды. В работе использовали гексахлороплатиноводородную кислоту, полученную по методике, описанной в [26].

ИК-спектры комплексов снимали на ИК-Фурье-спектрометре SHIMADZU IRAffinity-1S в области 4000—400 см⁻¹. Твердые образцы готовили в таблетках KBr.

Спектры ЯМР ¹H, ³¹Р регистрировали на спектрометре Bruker AVANCE NEO NMR (600 МГц). Химические сдвиги измеряли от внутреннего стандарта ТМС для ядер ¹H, от внешнего стандарта H_3PO_4 для ³¹Р. Элементный анализ проводили на элементном анализаторе Carlo Erba CHNS-O EA1108 CHNS-O.

Термографический анализ (**TГ**) и метод дифференциальной сканирующей калориметрии (**ДСК**) образцов проводили с использованием термического анализатора STANetzschSTA 449C Jupiter (в атмосфере воздуха, динамический режим, температура 0-380 K).

Синтез тетрахлороплатината(II) (гидроксиметил)трифенилфосфония I. К раствору 0.66 г (2.0 ммоль) хлорида (гидроксиметил)трифенилфосфония в 5 мл смеси ацетонитрил—вода (4 : 1) приливали раствор 0.5 г (2.0 ммоль) гексагидрата гексахлороплатиноводородной кислоты в 5 мл смеси ацетонитрил—вода. Раствор концентрировали. Наблюдали образование двух типов кристаллов: красно-коричневые I (0.37 г, 40%, $T_{пл}$ = 195°С) и бесцветные кристаллы II. Смесь кристаллов разделяли перекристаллизацией из хлороформа, при этом кристаллы комплекса I не растворялись, их отфильтровывали и высушивали.

ИК-спектр I (v, см⁻¹): 3255 (О–Н), 3039 (С_{Ar}–H), 1484 (С_{Ar}), 1438 (С_{Ar}). Спектр ПМР I (DMSO-d₆; 600 МГц; δ , м.д.): 4.80 (м., 1H, OH); 4.67 (м., 2H, CH₂); 7.42 (d., 6H, *м*-H_{Ph}, ²*J*_{HH} = 7.81 Гц); 7.55 (м., 6H, *p*-H_{Ph}); 7.67 (м., 2H, *o*-H_{Ph}). ³¹Р ЯМР (δ , м.д.): 25.56.

Найдено, %:	C 49.36;	H 3.93.
Для C ₃₈ H ₃₆ O ₂ P ₂ Cl ₄ Pt		
вычислено, %:	C 49.40;	H 3.90.

Синтез *транс*-дихлоро-*бис*(трифенилфосфин)платина II · CHCl₃. 0.1 г кристаллов комплекса I растворяли в 3 мл диэтилсульфоксида. Раствор концентрировали, наблюдали обесцвечивание раствора и образование бесцветных кристаллов. Выход II 0.045 г (53%), $T_{пл} = 308^{\circ}$ С. Сольват II · CHCl₃ образуется перекристаллизацией *транс*-[(Ph₃P)₂PtCl₂] из хлороформа. ИК-спектры и $T_{пл}$ комплексов II и II · CHCl₃ совпадают.

ИК-спектр II · CHCl₃ (ν , см⁻¹): 3052 (C_{Ar}-H), 1480 (C_{Ar}), 1434 (C_{Ar}). Спектр ПМР II · CHCl₃

КООРДИНАЦИОННАЯ ХИМИЯ том 48 № 6 2022

(DMSO-d₆; 600 МГц; δ, м.д.): 7.27 (м., 2H, *o*-H_{Ph}); 7.42 (м., 9H, *м*-+*p*-H_{Ph}), 7.95 (с., H, CHCl₃). ³¹Р ЯМР (δ, м.д.): 13.83.

Найдено, %:	C 48.76;	Н 3.43.
Для C ₃₇ H ₃₁ P ₂ Cl ₅ Pt		
вычислено, %:	C 48.81;	H 3.41.

РСА кристаллов комплексов I и II · CHCl₃ проведен на автоматическом четырехкружном дифрактометре D8 QUEST Bruker (Мо K_{α} -излучение, $\lambda = 0.71073$ Å, графитовый монохроматор) при 296(2) К. Структуры расшифрованы прямым методом, позиции и температурные параметры неводородных атомов уточнены в изотропном, а затем в анизотропном приближении полноматричным МНК. Атомы водорода помещены в геометрически рассчитанные положения и включены в уточнение в модели наездника. Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены по программам SMART и SAINT-Plus [27]. Все расчеты по определению и уточнению структур выполнены по программам SHELXL/PC [28] и OLEX2 [29]. Кристаллографические данные и основные параметры уточнения 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 (ССDC № 2055552 (I), 2055809 (II · CHCl₃); http://www.ccdc.cam.ac.uk).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Взаимодействие эквимолярных количеств гексагидрата гексахлороплатиноводородной кислоты с хлоридом (гидроксиметил)трифенилфосфония в смеси ацетонитрил—вода сопровождается образованием красно-коричневых кристаллов тетрахлороплатината(II) (гидроксиметил)трифенилфосфония (I) и бесцветных кристаллов *теранс*-дихлоро-*бис*(трифенилфосфин)платины (II), которые после перекристаллизации из хлороформа были выделены в виде сольвата *транс*-[PtCl₂(PPh₃)₂] (II · CHCl₃).

Очевидно, в ходе реакции происходит превращение катиона фосфония с элиминированием формальдегида, который восстанавливает Pt(IV) до Pt(II):

372

Таблица 1. Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур I и II · CHCl₃

	Значение		
Параметр	Ι	$II \cdot CHCl_3$	
M	923.50	1819.79	
<i>Т</i> , К	293.15	293.15	
Сингония	Моноклинная	Моноклинная	
Пр. группа	$P2_{1}/n$	C2/m	
a, Å	9.103(4)	12.392(6)	
b, Å	15.709(5)	14.184(7)	
<i>c</i> , Å	13.155(4)	11.660(6)	
α, град	90	90	
β, град	105.826(15)	117.550(17)	
ү, град	90	90	
$V, Å^3$	1809.8(11)	1817.1(17)	
Ζ	2	1	
ρ(выч.), г/см ³	1.695	1.663	
μ, мм ⁻¹	4.294	4.343	
<i>F</i> (000)	912.0	892.0	
Область измерений θ, град	6.104-56.998	6.596-56.996	
Число измеренных отражений	41 121	21027	
Число независимых отражений	4571	2400	
R _{int}	0.0272	0.1623	
Переменных уточнения	221	144	
GOOF	1.092	1.041	
R-факторы по $F^2 > 2\sigma(F^2)$	$R_1 = 0.0178, wR_2 = 0.0387$	$R_1 = 0.0323, wR_2 = 0.0807$	
<i>R</i> -факторы по всем отражениям	$R_1 = 0.0244, wR_2 = 0.0413$	$R_1 = 0.0323, wR_2 = 0.0807$	
Остаточная электронная плотность (min/max), e/Å ³	-0.39/0.81	-1.48/1.29	

$$[Ph_{3}PCH_{2}OH]Cl + H_{2}PtCl_{6} \cdot 6H_{2}O \xrightarrow{\overset{l) CH_{3}CN-H_{2}O}{2) CHCl_{3}}} [Ph_{3}PCH_{2}OH]_{2}[PtCl_{4}] + mpahc - [PtCl_{2}(PPh_{3})_{2}] \cdot CHCl_{3}.$$

$$(I) \qquad (II \cdot CHCl_{3})$$

В [30] представлен процесс образования формальдегида и трифенилфосфина при обработке (гидроксиметил)трифенилфосфония карбонатом калия: При растворении кристаллов комплекса I в диэтилсульфоксиде (Et_2SO) наблюдали постепенное обесцвечивание раствора и образование бесцветных кристаллов комплекса II, а не предполагаемый продукт встраивания молекулы растворителя в координационную сферу платины:

$$Ph_{3}P^{+}CH_{2}OH \xrightarrow{K_{2}CO_{3}} [CH_{2}O] + Ph_{3}P$$

$$[Ph_3PCH_2OH]_2[PtCl_4] \xrightarrow{Et_2SO} mpa_{Hc} - [PtCl_2(PPh_3)_2] + 2CH_2O + 2HCl.$$
(I)
(II)

Превращение комплекса I в II заслуживает подробного изучения. Измерение температуры плавления комплекса I в отрытом капилляре показало, что при 195–197°С происходит обесцвечива-

	•	17 71 5				
Связь	<i>d</i> , Å	Связь	d, Å			
		I	•			
Pt(1)Cl(1)	2.3121(11)	P(1)–C(11)	1.790(2)			
Pt(1)Cl(1')	2.3121(11)	P(1)–C(1)	1.794(2)			
Pt(1)-Cl(2)	2.3044(10)	P(1)–C(21)	1.796(2)			
Pt(1)-Cl(2')	2.3044(10)	P(1)–C(7)	1.822(2)			
II · CHCl ₃						
Pt(1)–P(1)	2.3224(17)	P(1)-C(11)	1.854(4)			
Pt(1)–P(2)	2.3223(17)	P(1)–C(1)	1.796(4)			
Pt(1)–Cl(1)	2.3119(18)	P(1)–C(21)	1.828(4)			
Pt(1)–Cl(2)	2.3119(18)					
Угол	ω, град	Угол	ω, град			
	_	I				
Cl(1')Pt(1)Cl(1)	180.0	C(11)P(1)C(1)	109.28(10)			
Cl(2)Pt(1)Cl(1')	90.43(3)	C(11)P(1)C(21)	110.02(10)			
Cl(2')Pt(1)Cl(1')	89.57(3)	C(11)P(1)C(7)	107.95(12)			
Cl(2')Pt(1)Cl(1)	90.43(3)	C(1)P(1)C(21)	110.90(10)			
Cl(2)Pt(1)Cl(1)	89.57(3)	C(1)P(1)C(7)	109.81(11)			
Cl(2)Pt(1)Cl(2')	180.0	C(21)P(1)C(7)	108.84(11)			
II · CHCl ₃						
P(2) Pt(1)P(1)	180.0	Cl(1)Pt(1)Cl(2)	180.0			
Cl(1)Pt(1)P(2)	87.48(5)	C(11)P(1) Pt(1)	109.48(15)			
Cl(2)Pt(1)P(1)	87.47(5)	C(21)P(1) Pt(1)	113.41(17)			
Cl(1)Pt(1)P(1)	92.52(5)	C(1)P(1)C(1)	119.6(2)			
Cl(2)Pt(1)P(2)	92.53(5)	C(1)P(1)Pt(1)	118.95(16)			

Таблица 2. Основные длины связей и валентные углы в структурах I и II · CHCl₃

ние красно-коричневых кристаллов комплекса. Полное разложение кристаллов наблюдается при 308–310°С. Мы предположили, что в указанном интервале температуры комплекс I переходит в комплекс II.

Для оценки термического поведения комплексов был использован метод ДСК в интервале температур 0–380 К.

При нагревании на кривой ДСК I наблюдаются тепловые эффекты: интенсивный эндотермический сигнал в интервале $165-225^{\circ}$ С и сигнал малой интенсивности, переходящий в экзотермический при 290-320°С. На кривой ДСК комплекса II · CHCl₃ наблюдается экзотермический сигнал при 295-340°С. При проведении термогравиметрического анализа, кривая ТГ I показывает потерю веса 13.91% при $165-215^{\circ}$ С, соответствующую высвобождению 2CH₂O и HCl (теор. 13.51%). Процесс превращения, согласно данным калориметрии, начинается при 171° С (рис. 1). Плавление вещества происходит при 305° С (температура плавления *транс*-[PtCl₂(PPh₃)₂] 310° С [31]. Кривая ТГ II · CHCl₃ показывает потерю веса 15.51% в диапазоне температур $300-360^{\circ}$ С, связанную с высвобождением сольватной молекулы растворителя, после 310° С ТG-кривая плавно падает. Полученные данные дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа подтверждают неустойчивость комплекса I и его превращение в II · CHCl₃ при термической обработке.

Строение синтезированных комплексов доказано методами спектроскопии ИК, ЯМР ¹H, ³¹P, элементным и рентгеноструктурным анализами.

ИК-спектры и $T_{\Pi\Pi}$ бесцветных кристаллов комплексов II и II · CHCl₃, полученных по схемам 3 и 1 соответственно, идентичны. ИК-



Рис. 1. ДСК-, ТГ-кривые комплекса І.

спектры соединений I и II · CHCl₃ содержат характерные полосы валентных колебаний углеродного скелета ароматических фрагментов: 1484, 1438 см⁻¹ для I и 1480, 1434 см⁻¹ для II · CHCl₃, а также наблюдаются полосы средней интенсивности при 3039 см⁻¹ (I), 3052 см⁻¹ (II · CHCl₃), соответствующие валентным колебаниям C_{Ar} —H. В спектре комплекса I присутствует уширенная полоса при 3255 см⁻¹, обусловленная валентными колебаниями связи v(O–H).

В спектрах ЯМР ¹Н в области слабого поля (7.36–7.67 м.д.) наблюдаются сигналы протонов фенильных колец. Мультиплетный сигнал протона гидроксильной группы – ОН комплекса I фиксируется при 4.80 м.д. Спектр II · CHCl₃ содержит сигнал сольватной молекулы CHCl₃ в виде синглета в области 7.95 м.д. В спектрах ЯМР ³¹Р наблюдаются одиночные сигналы фосфора при 25.56 м.д. (I) и 13.83 м.д. (II · CHCl₃).

По данным PCA, катион $[Ph_3PCH_2OH]^+$ комплекса I имеет тетраэдрическую координацию атома фосфора с арильными лигандами и гидроксиметильным заместителем в вершинах тетраэдра (рис. 2а). Гидроксиметильная группа разупорядочена по двум положениям. Углы CPC близки к теоретическому значению 108.84(11)°–110.90(10)°. Расстояние $P-C_R$ (1.822(2) Å) больше, чем длины связей $P-C_{Ar}$ (1.790(2)–1.796(2) Å). С целью минимизирования внутримолекулярных взаимодействий плоскости трех фенильных колец повернуты друг к другу почти перпендикулярно, наклоны составляют: 88.94° между C(1)–C(6) и

С(11)-С(16), 87.17° между С(11)-С(16) и С(21)-С(26), 77.81° между С(1)-С(6) и С(21)-С(26).

Плоско-квадратная координация атома платины в анионе $[PtCl_4]^{2-}$ не искажена. Анион высокосимметричен, имеет симметричные плоскости Cl(1)PtCl(2) и Cl(1')PtCl(2'). Атом платины располагается в центре инверсии, длины связей Pt-Cl составляют 2.304(10), 2.312(11) Å, что несколько меньше суммы ковалентных радиусов атомов платины и хлора (2.35 Å) [32] и практически не отличаются от аналогичных анионов $[PtCl_4]^{2-}$ [21, 23]. Транс-углы ClPtCl равны 180°, иис-углы ClPtCl 89.57(3)° и 90.43(3)°. Наличие коротких контактов между катионами и анионами является особенностью строения галогеноплатинатов тетраорганилфосфония. Каждый катион связан с двумя анионами слабыми межионными контактами C_{Ar}-H…Cl 2.77-2.853 Å, O-H…Cl 2.35-2.87 Å (рис. 3). Каждый катион взаимодействует с двумя соседними катионами, образуя цепочки из катионов. Так, мета-протоны фенильного кольца образуют слабые контакты с атомами углерода фенильного кольца С-Н···С_{Аг} (2.82 Å) и атомами кислорода С-Н…О (2.52 Å) соседних катионов. Между катионами и анионами присутствуют опорные контакты C-O···Cl (3.13 Å, что составляет 95% от суммы ван-дер-ваальсовых радиусов контактирующих атомов) [33]. Каждый анион окружен четырьмя катионами, образуя цепочку, экранированную с обеих сторон цепочками катионов, вдоль кристаллографической оси с. Короткие контакты между анионами отсутствуют ввиду большого размера фосфониевых катионов.



Рис. 2. Общий вид комплексов: I (а), II · CHCl₃ (б).

Дихлоро-*бис*(трифенилфосфин)платина известна в *цис*- и *транс*-изомерных формах [34, 35], причем *транс*-изомер получают фотохимической изомеризацией комплекса *цис*-[PtCl₂(PPh₃)₂] [31].

Структуры триклинной модификации *транс*дихлоро-*бис*(трифенилфосфин)платины и орторомбической модификации, содержащей две молекулы дихлорметана, представлены в [31] и [35] соответственно.

Кристаллы комплекса *транс*-[PtCl₂(PPh₃)₂] II · · CHCl₃ имеют моноклинную модификацию. Атом платины комплекса II · CHCl₃ имеет плоско-квадратную координацию, объемные фосфиновые лиганды имеют *транс*-ориентации (рис. 26). Длины связей и валентные углы комплекса II · · CHCl₃ близки к аналогичным в *транс*-[PtCl₂(PPh₃)₂] [34] и *транс*-[PtCl₂(PPh₃)₂] · 2CH₂Cl₂ [35]. Длины связей Pt-P равны 2.3224(17), (2.3163(11) Å [34], 2.3095(7) Å [35], Pt-Cl - 2.3119(18), 2.2997(11) Å [34], 2.3086(7) Å [35]. Атомы платины имеют исплоско-квадратную каженную геометрию: P(1)PtCl(1) 87.47(5)° (87.88(4)° [34], 86.62(3)° [35]) и P(1)PtCl(2) 92.52(5)° (92.12(4)° [34], 93.38(3)° [35]), *транс*-углы P(1)PtP(2) и Cl(1)PtCl(2) равны 180° (ⁱ 1 - x, 1 - y, 2 - z). Полученные значения несколько отличаются от подобных в цис-[PtCl₂(PPh₃)₂], в котором присутствуют пространственные затруднения [31]. Длины связи P-С варьируют в интервале 1.796(4)-1.854(4) Å, величина угла C(1)P(1)Pt 118.95(16)° значительно отклоняется от двух других углов (109.48(15)° и 113.41(17)°). Сольватная молекула хлороформа разупорядочена по четырем позициям с заселенностью 0.25. Одно фенильное кольцо разупорядочено по двум положениям со вкладами 0.5/0.5, два других фенильных кольца – по двум положениям с вкладами 0.48/0.52.

Кристаллическая структура комплекса II · CHCl₃ стабилизируется межмолекулярными контактами C–H···H 2.1 Å и C–H···C 2.3, 2.8 Å (рис. 4). Пространственная сетка кристалла образуется за счет водородных связей с участием атома водорода сольватной молекулы хлороформа и атома хлора молекулярного комплекса C–H(7)···Cl(2) (2.9 Å).

Таким образом, реакция гексахлороплатиноводородной кислоты с хлоридом (гидроксиметил)трифенилфосфония в смеси ацетонитрил—вода сопровождается восстановлением платины(IV) до платины(II). Образование смеси комплексных соединений платины(II): $[Ph_3PCH_2OH]_2[PtCl_4]$ и *mpaнc*-[PtCl_2(PPh_3)_2] обусловлено превращением катиона, сопровождающееся элиминированием формальдегида, который выполняет роль восстановителя. Особенности строения полученных комплексов изучены с помощью PCA.

Показано, что комплекс тетрахлороплатината(II) (гидроксиметил)трифенилфосфония (I) неустойчив при растворении в диэтилсульфоксиде или при нагревании и переходит в молекулярный комплекс *транс*-дихлоро-*бис*(трифенилфосфин)платины (II).

Данные реакции являются новыми и легкими методами синтеза *транс*-дихлоро-*бис*(трифенил-фосфин)платины, который используется в качестве промежуточного соединения в синтезе других платиновых комплексов.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.



Рис. 3. Упаковка катионов и анионов в кристалле комплекса І.



Рис. 4. Межмолекулярные взаимодействия в комплексе II · CHCl₃.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Д.А. Жеребцову за проведение дифференциально-сканирующей калориметрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. *Кулинчик Т.В.* // Медицинские технологии, оценка и выбор. 2013. Т. 1. С. 87.
- 2. *Hizal S., Hejl M., Jakupec M.A. et al.* // Inorg. Chem. Acta. 2019. V. 491. P. 76.
- 3. Varbanov H.P., Jakupec M.A., Roller A. et al. // J. Med. Chem. 2013. V. 56. P. 330.
- 4. *Gramatica P., Papa E., Luini M. et al.* // J. Biol. Inorg. Chem. 2010. V. 15. P. 1157.
- 5. Galanski M., Jakupec M.A., Keppler B.K. // Current Medicin. Chem. 2005. V. 12. P. 2075.

КООРДИНАЦИОННАЯ ХИМИЯ том 48 № 6 2022

- 6. Johnstone T.C., Suntharalingam K., Lippard S.J. // Chem. Rev. 2016. V. 116. № 5. P. 3436.
- Öğütçü H., Yetim N.K., Özkan E.H. // Pol. J. Chem. Tech. 2017. V. 19. P. 74.
- 8. *Watanabe T., Takano M., Ogasawara A. et al.* // Antimicrob. Agents. Chemother. 2000. V. 44. P. 2853.
- Ura Y., Gao G., Bao F. et al. // Organometallics. 2004. V. 23. P. 4804.
- 10. Lukin R.Yu., Kuchkaev A.M., Sukhov A.V. et al. // Polymers. 2020. V. 12. № 10. P. 2174.
- 11. *Meister T.K., Riener K., Gigler P. et al.* // ACS Catal. 2016. V. 6. P. 1274.
- Troegel D., Stohrer J. // Coordination Chemistry Reviews. 2011. V. 255. P. 1440.
- Cotton F.A., Francis R. // J. Am. Chem. Soc. 1960. V. 82. P. 2986.
- Meek D.W., Straub D.K., Drago R.S. // J. Am. Chem. Soc. 1960. V. 82. P. 6013.
- Bokach N.A., Izotova Yu.A., Haukka M. // Acta Crystallogr. E. 2007. V. 63. P. 1261.
- Popa A., Davidescu C., Trif R. et al. // React. Funct. Polym. 2003. V. 55. P. 151.
- 17. *Masayo I., Tomoo I., Biyuuki K.* Patent JP 2002308713. 2002.
- 18. Satoshi H., Hideto O. Patent JP 2000263706. 2000.
- 19. *Galkina I.V., Egorova S. //* Medical Almanac. Pharmacy. 2009. V. 8. P. 142.
- Cambridge Crystallografic Datebase. Cambridge. Release. 2021.
- Kuzniak-Glanowska E., Glosz D., Niedzielski G. et al. // Dalton Trans. 2021. V. 50. P. 170.

- 22. Albrecht C., Steinborn D., Lis T. // CSD Communication. 2019. 1895372.
- 23. Suslonov V.V., Eliseeva A.A., Novikov A.S. et al. // CrystEngComm. 2020. V. 22. № 24. P. 4180.
- 24. Rheingold A.L. CSD Communication. 2017. 1573034.
- 25. Ткачёва А.Р., Шарутин В.В., Шарутина О.К. и др. // Журн. общ. химии. 2019. Т. 89. № 89. С. 1414 (*Tkacheva A.R., Sharutin V.V., Sharutina O.K. et al.* // J. Gen. Chem. 2019. V. 89. Р. 1816).
- Черняев И.И. Синтез комплексный соединений металлов платиновой группы. М.: Наука. 1964. 340 с.
- 27. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1998.
- SHELXTL/PC. Versions 5.10. An Integrated System for Solving, Refining and Displaying Crystal Structures from Diffraction Data. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1998.
- 29. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. at al. // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339.
- 30. *Huang W., Xu J. //* Synth. Commun. 2015. V. 45. P. 1777.
- Johansson M.H., Otto S. // Acta Crystallogr. C. 2000. V. 56. P. 12.
- 32. Cordero B., Gomez V., Platero-Prats A.E. et al. // Dalton Trans. 2008. V. 21. P. 2832.
- Mantina M., Chamberlin A.C., Valero R. et al. // J. Phys. Chem. A. 2009. V. 113. P. 5806.
- 34. Fun H.K., Chantrapromma S., Liu Y.C. et al. // Acta Crystallogr. E. 2006. V. 62. P. 1252.
- Sunkel K., Bernhartzeder S., Birk U. // Z. Naturforsch. 2012. B. V. 67. P. 557.