

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕКСАХЛОРОПЛАТИНОВОДОРОДНОЙ КИСЛОТЫ С 2,2'-БИПИРИДИНОМ И 1,2,3,4-ТЕТРАГИДРОАКРИДИН-9-КАРБОНОВОЙ КИСЛОТОЙ. СТРОЕНИЕ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ

О.К. Шарутина¹✉, И.Е. Беляев¹, Д.П. Шевченко¹,
В.В. Шарутин¹, В.В. Доценко²

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

² Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

✉ sharutinaok@susu.ru

Аннотация. Продуктом реакции гексахлороплатиноводородной кислоты с 2,2'-бипиридином в смеси вода–ацетонитрил при комнатной температуре является гексахлороплатинат(IV) 2,2'-бипиридиния $[C_{10}N_2H_8\cdot H]^+{}_2[PtCl_6]^{2-}$ (I). В тех же условиях гексахлороплатиноводородная кислота протонирует 1,2,3,4-тетрагидроакридин-9-карбоновую кислоту по атому азота с образованием кристаллогидрата $[C_{28}N_2O_4H_{30}\cdot H]^+{}_2[PtCl_6]^{2-}\cdot 2H_2O$ (II). Новые комплексы с гексахлороплатинат-анионами охарактеризованы методом рентгеноструктурного анализа, проведенного на монокристалльном дифрактометре D8 Quest фирмы Bruker (MoK α -излучение, $\lambda = 0,71073$ Å, графитовый монохроматор) при 293(2)К. Центросимметричные анионы $[PtCl_6]^{2-}$ в комплексах I и II по геометрическим характеристикам мало отличаются друг от друга (связи Pt–Cl 2,3211(9)–2,3340(8) Å, углы ClPtCl 89,71(3)°–90,31(3)°). Катионом I является протонированная по одному из атомов азота молекула 2,2'-бипиридина со слабой внутримолекулярной водородной связью N–H $\cdots$ N (2,20 Å). В комплексе II катион представляет собой протонированную по атому азота гетероцикла 1,2,3,4-тетрагидро-акридин-9-карбоновую кислоту. В кристалле I наблюдаются короткие контакты, которые обусловлены слабыми межмолекулярными связями типа N–H $\cdots$ Cl (2,69 Å) и C–H $\cdots$ Cl (2,85–2,94 Å), при этом каждый анион имеет в ближнем окружении восемь катионов, а каждый катион – четыре аниона. В кристалле II можно выделить структурные единицы в виде цепочек, в которых анион образует водородные связи O–H $\cdots$ Cl (2,34 Å) через карбоксильные группы с двумя катионами, связанными с молекулами воды через протонированный атом азота N–H $\cdots$ O (1,91 Å). Между собой цепочки связаны более слабыми взаимодействиями, среди которых можно выделить водородные связи O–H $\cdots$ Cl (2,54 и 2,77 Å) между молекулами воды и анионами.

Ключевые слова: гексахлороплатиноводородная кислота, 2,2'-бипиридин, 1,2,3,4-тетрагидроакридин-9-карбоновая кислот, протонирование, рентгеноструктурный анализ

Для цитирования: Взаимодействие гексахлороплатиноводородной кислоты с 2,2'-бипиридином и 1,2,3,4-тетрагидроакридин-9-карбоновой кислотой. Строение продуктов реакции / О.К. Шарутина, И.Е. Беляев, Д.П. Шевченко и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2025. Т. 17, № 1. С. 109–117. DOI: 10.14529/chem250109

INTERACTION OF HEXACHLOROPLATINUM HYDROCHLORIC ACID WITH 2,2'-BIPYRIDINE AND 1,2,3,4-TETRAHYDROACRIDINE-9-CARBOXYLIC ACID. STRUCTURE OF REACTION PRODUCTS

O.K. Sharutina^{1✉}, I.E. Belyaev¹, D.P. Shevchenko¹, V.V. Sharutin¹, V.V. Dotsenko²

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² Kuban State University, Krasnodar, Russia

✉ sharutinaok@susu.ru

Abstract. The product of the reaction of hexachloroplatinic acid with 2,2'-bipyridine in a water-acetonitrile mixture at room temperature is 2,2'-bipyridinium hexachloroplatinate(IV) $[\text{C}_{10}\text{N}_2\text{H}_8\text{H}]^+[\text{PtCl}_6]^{2-}$ (**I**). Under the same conditions, hexachloroplatinic acid protonates 1,2,3,4-tetrahydroacridine-9-carboxylic acid at the nitrogen atom to form the dihydrate $[\text{C}_{28}\text{N}_2\text{O}_4\text{H}_{30}\text{H}]^+[\text{PtCl}_6]^{2-}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (**II**). New complexes with hexachloroplatinate anions were characterized by X-ray diffraction analysis at 293(2) K (Bruker D8 Quest, MoK α radiation, $\lambda = 0.71073$ Å, graphite monochromator). Centrosymmetric $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ anions in complexes **I** and **II** have similar geometric characteristics (the Pt–Cl bonds are 2.3211(9)–2.3340(8) Å, the ClPtCl angles are 89.71(3)°–90.31(3)°). Cation **I** is 2,2'-bipyridine molecule protonated at one of the nitrogen atoms with a weak intramolecular hydrogen bond N–H...N (2.20 Å). In complex **II**, the cation is 1,2,3,4-tetrahydroacridine-9-carboxylic acid protonated at the nitrogen atom of the heterocycle. The short contacts observed in crystal **I** are caused by weak intermolecular bonds of the N–H...Cl (2.69 Å) and C–H...Cl (2.85–2.94 Å) types, with each anion surrounded by eight cations and each cation surrounded by four anions. In crystal **II** chain-like structural units can be distinguished. In these chains the anion forms hydrogen bonds O–H...Cl (2.34 Å) through the carboxyl groups with two cations, which are bound to water molecules through the protonated nitrogen atom N–H...O (1.91 Å). The chains are connected to each other by weaker interactions, among which are the hydrogen bonds O–H...Cl (2.54 and 2.77 Å) between water molecules and anions.

Keywords: hexachloroplatinic acid, 2,2'-bipyridine, 1,2,3,4-tetrahydroacridine-9-carboxylic acid, protonation, X-ray diffraction analysis

For citation: Sharutina O.K., Belyaev I.E., Shevchenko D.P., Sharutin V.V., Dotsenko V.V. Interaction of hexachloroplatinum hydrochloric acid with 2,2'-bipyridine and 1,2,3,4-tetrahydroacridine-9-carboxylic acid. Structure of reaction products. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chem.* 2025;17(1):109–117. (In Russ.) DOI: 10.14529/chem250109

Введение

Основные области применения разнообразных комплексов платины, как ионных, так и молекулярных, обусловлены их каталитическими свойствами и биологической активностью. В настоящее время достаточно большое количество работ посвящено комплексам с гексахлороплатинатными анионами [1], среди которых найдены соединения, демонстрирующие противоопухолевую активность и противовоспалительные, противомикробные, противогрибковые свойства [2, 3].

Катионами в гексахлороплатинатных комплексах часто являются производные N-гетероциклов, таких как: пуриновые и пиримидиновые основания, имидазол, пиридин, пирролидин, фенантролин и др., которые выступают в роли акцепторов, образуя с гексахлороплатиноводородной кислотой системы переноса протонов.

Так, взаимодействие гексахлороплатиноводородной кислоты с метиладенином, приводит к образованию гексахлороплатината(IV) метиладениния [4], пирролидин с гексахлороплатиноводородной кислотой в водном растворе соляной кислоты при комнатной температуре образует гексахлороплатинат(IV) бис(пирролидиния) [5]. В качестве акцепторов протона могут выступать имидазолы и бензидазолы, которые при кипячении в воде с гексахлороплатиноводородной кислотой дают с высоким выходом гексахлороплатинаты(IV) замещенных имидазолия [3, 6–9]; из-

вестны аналогичные комплексы с катионами замещенного пиридиния [10–12] и фенантридина [13], полученные в смеси метанол–ацетонитрил или в этаноле. Хорошими рецепторами для гексахлороплатинат-аниона $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ являются протонированные формы аминов, амидоаминов и амидоэфиров [14–19].

Были проведены исследования [20], показывающие, что строение продуктов взаимодействия гексахлороплатиноводородной кислоты с азотсодержащими гетероциклическими соединениями может зависеть от растворителя. Так, ионный комплекс с катионом бипиридиния в реакции с 6,6'-диметил-2,2'-бипиридином (1 : 2 мольн.) образуется только в ацетонитриле, тогда как в диметилсульфоксиде и смеси диметилформамид–диметилсульфоксид–вода продуктами являются молекулярные комплексы платины(II) и платины(IV) соответственно, которые получаются в результате лигандного обмена при атомах платины. В комплексе платины(IV) азотсодержащий лиганд образует с центральным атомом ковалентную связь Pt–C (валентное взаимодействие) и донорно-акцепторную Pt...N (невалентное взаимодействие). В других работах показано, что при проведении реакций гексахлороплатиноводородной кислоты с 5,5'-диметил-2,2'-бипиридином, 6-метил-2,2'-бипиридином и 4,4'-ди-*трет*-бутил-2,2'-бипиридином в метаноле протонирования гетероциклов не наблюдается, а выделяются молекулярные комплексы, в которых лиганды координируются как N,N-бидентатные [21, 22]. Молекулярный комплекс дает реакция гексахлороплатиноводородной кислоты с монодентатным лигандом 3-фенилпиридином в метаноле [22].

Получение новых комплексов платины с азотсодержащими гетероциклическими соединениями представляет значительный научный и практический интерес.

Экспериментальная часть

Синтез комплекса $[\text{C}_{10}\text{N}_2\text{H}_8\cdot\text{H}]^+_2[\text{PtCl}_6]^{2-}$ (I). К 20%-ному водному раствору H_2PtCl_6 (0,5 мл, 0,24 ммоль) приливали раствор 2,2'-бипиридина (0,076 г, 0,5 ммоль) в 10 мл CH_3CN при комнатной температуре и перемешивали. Цвет раствора менялся с желтого на оранжевый. Через сутки наблюдали образование оранжевых кристаллов I, которые фильтровали и сушили. Выход 0,158 г, 90 %, $T_{\text{разл}}$ 208 °С.

ИК-спектр (ν , см^{-1}): 3061, 3088, 3152, 1472, 1457, 1431, 1358, 1317, 1306, 1281, 1250, 1223, 1167, 1153, 1088, 1070, 1011, 975, 993, 922, 860, 767, 745, 725, 611, 544, 469, 407.

Синтез комплекса $[\text{C}_{28}\text{N}_2\text{O}_4\text{H}_{30}\cdot\text{H}]^+_2[\text{PtCl}_6]^{2-}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (II). К 20%-ному водному раствору H_2PtCl_6 (0,25 мл, 0,12 ммоль) приливали раствор 1,2,3,4-тетрагидро-9-акридинкарбоновой кислоты (0,055 г, 0,24 ммоль) в 20 мл CH_3CN при комнатной температуре и перемешивали, наблюдали появление ярко-желтого цвета раствора. При медленном испарении растворителя выпадали светло-оранжевые кристаллы, которые сушили при комнатной температуре. Выход 0,074 г, 69 %. $T_{\text{разл}}$ 170 °С.

ИК-спектр (ν , см^{-1}): 3289, 3169, 3032, 2957, 2870, 2718, 2698, 1884, 1756, 1719, 1705, 1651, 1637, 1597, 1531, 1495, 1460, 1450, 1425, 1416, 1365, 1335, 1304, 1259, 1242, 1188, 1171, 1153, 1084, 1005, 964, 947, 895, 854, 839, 826, 785, 766, 756, 682, 669, 631, 613, 569, 534, 499, 467, 418.

ИК-спектры соединения 1 и 2 записывали на ИК-спектрометре Shimadzu IRAffinity-1S в таблетках KBr в области 4000–400 см^{-1} .

РСА кристаллов 1 и 2 проведен на дифрактометре D8 Quest фирмы Bruker (MoK α -излучение, $\lambda = 0,71073$ Å, графитовый монохроматор) при 296(2) К. Сбор, редактирование данных и уточнение параметров элементарной ячейки, а также учет поглощения проведены по программам SMART и SAINT-Plus [23]. Все расчеты по определению и уточнению структуры выполнены по программам SHELXL/PC [24] и OLEX2 [25]. Структура определена прямым методом и уточнена методом наименьших квадратов в анизотропном приближении для неводородных атомов. Положение атомов водорода уточняли по модели наездника ($U_{\text{изо}}(\text{H}) = 1,2U_{\text{эвк}}(\text{C})$). Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (№ 2224721 (I); № 2336726 (II) deposit@ccdc.cam.ac.uk; <http://www.ccdc.cam.ac.uk>). Основные кристаллографические данные и результаты уточнения структур I и II приведены в табл. 1, длины связей и валентные углы – в табл. 2.

Таблица 1

Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур I и II

Параметр	I	II
Стехиометрическая формула	C ₂₀ H ₁₈ N ₄ Cl ₆ Pt	C ₂₈ H ₃₂ N ₂ O ₆ Cl ₆ Pt
<i>M</i>	722,17	900,35
Сингония	Триклинная	Триклинная
Пространственная группа	<i>P</i> -1	<i>P</i> -1
<i>a</i> , Å	8,535(3)	8,590(2)
<i>b</i> , Å	9,289(4)	9,464(3)
<i>c</i> , Å	9,327(4)	10,209(3)
α, град.	63,90(2)	94,565(13)
β, град.	89,013(18)	99,188(16)
γ, град.	66,571(17)	96,496(15)
<i>V</i> , Å ³	598,0(4)	810,0(4)
<i>Z</i>	1	1
ρ _{выч} , г/см ³	2,005	1,846
μ, мм ⁻¹	6,553	4,870
<i>F</i> (000)	346,0	442,0
Размер кристалла, мм	0,41 × 0,36 × 0,23	0,53 × 0,5 × 0,19
Диапазон сбора данных по 2θ, град.	5,7–96,3	6,08–54,28
Диапазон индексов	–17 ≤ <i>h</i> ≤ 17, –19 ≤ <i>k</i> ≤ 19, –19 ≤ <i>l</i> ≤ 19	–10 ≤ <i>h</i> ≤ 10, –12 ≤ <i>k</i> ≤ 12, –13 ≤ <i>l</i> ≤ 13
Число измеренных рефлексов	81064	18908
Число независимых рефлексов	11422	
<i>R</i> _{int}	0,1223	0,0410
<i>GOOF</i>	1,082	1,127
Число параметров	146	200
<i>R</i> -факторы по <i>I</i> > 2σ(<i>I</i>)	<i>R</i> ₁ = 0,0288, <i>wR</i> ₂ = 0,0589	<i>R</i> ₁ = 0,0249, <i>wR</i> ₂ = 0,0629
<i>R</i> -факторы по всем рефлексам	<i>R</i> ₁ = 0,0341, <i>wR</i> ₂ = 0,0611	<i>R</i> ₁ = 0,0249, <i>wR</i> ₂ = 0,0629
Остаточная электронная плотность (max/min), е/Å ³	0,63/–3,02	0,88/–2,34

Таблица 2

Длины связей и валентные углы в структурах I и II

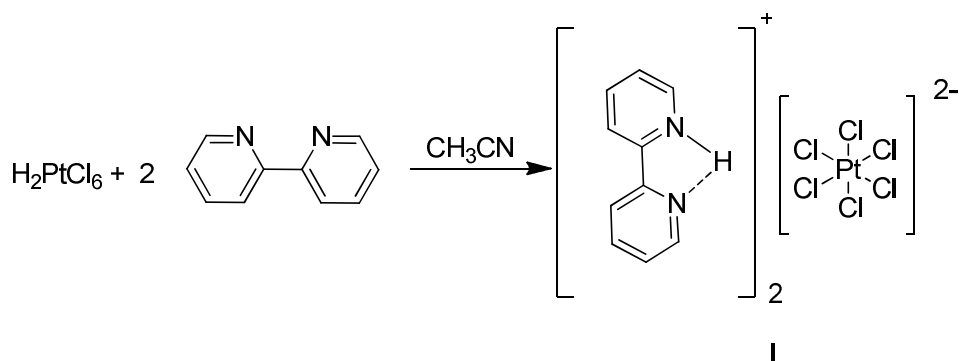
Связь	<i>d</i> , Å	Угол	ω, град.
I			
Pt(1)–Cl(1)	2,3280(9)	Cl1–Pt1–Cl1 ¹	179,999(2)
Pt(1)–Cl(1 ¹)	2,3280(9)	Cl2–Pt1–Cl2 ¹	180,0
Pt(1)–Cl(2)	2,3340(8)	Cl3–Pt1–Cl3 ¹	180,0
Pt(1)–Cl(2 ¹)	2,3340(8)	Cl1–Pt1–Cl2	90,31(3)
Pt(1)–Cl(3)	2,3231(11)	Cl1 ¹ –Pt1–Cl2	89,68(3)
Pt(1)–Cl(3 ¹)	2,3231(11)	Cl1–Pt1–Cl2 ¹	89,69(3)
N(1)–C(1)	1,343(3)	Cl1 ¹ –Pt1–Cl2 ¹	90,31(3)
N(1)–C(5)	1,350(2)	Cl3–Pt1–Cl1 ¹	90,03(3)
N(2)–C(6)	1,336(2)	Cl3 ¹ –Pt1–Cl1 ¹	89,97(3)
N(2)–C(10)	1,340(3)	Cl3–Pt1–Cl1	89,97(3)
Преобразования симметрии: ¹ –X, 2–Y, 1–Z			
II			
Pt(1)–Cl(1)	2,3211(9)	Cl1–Pt1–Cl1 ¹	180,0
Pt(1)–Cl(1 ¹)	2,3211(9)	Cl2–Pt1–Cl2 ¹	180,0
Pt(1)–Cl(2)	2,3260(10)	Cl3–Pt1–Cl3 ¹	180,0
Pt(1)–Cl(2 ¹)	2,3260(10)	Cl1–Pt1–Cl2	89,71(3)
Pt(1)–Cl(3)	2,3303(10)	Cl1 ¹ –Pt1–Cl2	90,29(3)

Окончание табл. 2

Связь	$d, \text{\AA}$	Угол	$\omega, \text{град.}$
Pt(1)–Cl(3 ¹)	2,3303(10)	Cl1–Pt1–Cl2 ¹	90,29(3)
N(1)–C(6)	1,370(4)	Cl1 ¹ –Pt1–Cl2 ¹	89,71(3)
N(1)–C(11)	1,327(4)	Cl3–Pt1–Cl1 ¹	89,88(3)
Преобразования симметрии: ¹ 1–X,–Y,1–Z			

Обсуждение результатов

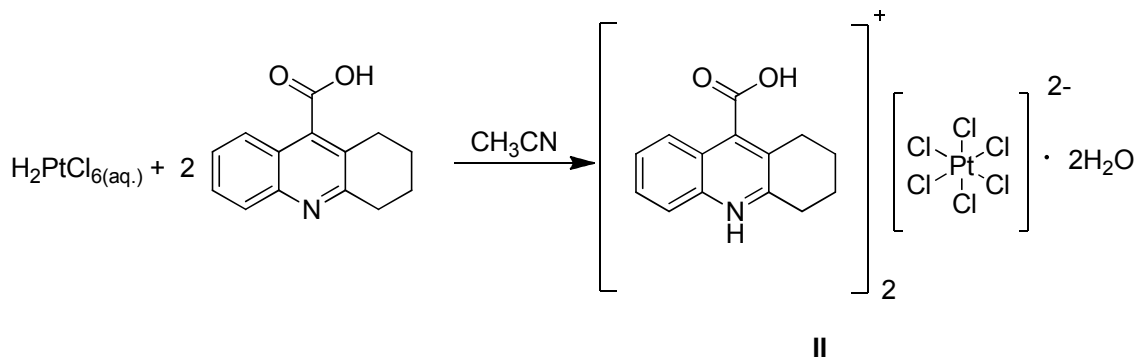
Установлено, что гексахлороплатиноводородная кислота взаимодействует с 2,2'-бипиридином в смеси вода – ацетонитрил при комнатной температуре с образованием комплексной соли гексахлороплатината 2,2'-бипиридиния (I), выход которой составил 90 %.



Соединение I представляет собой оранжевые кристаллы, разлагающиеся при 208 °С.

Ранее было показано, что аналогично протекает реакция с 6,6'-диметил-2,2'-бипиридином [20].

Гексахлороплатиноводородная кислота протонирует 1,2,3,4-тетрагидроакридин-9-карбоновую кислоту по атому азота гетероцикла в растворе вода-ацетонитрил с образованием ионного комплекса II.



Комплекс кристаллизуется из смеси растворителей в форме гидрата на две молекулы воды. Выход составил 69 %. Кристаллы светло-оранжевого цвета начинают разлагаться при 170 °С.

Строение комплексов I и II было установлено методом рентгеноструктурного анализа.

Катион 2,2'-бипиридиния комплекса I образован протонированной формой 2,2'-бипиридина (водород присоединяется к одному из эндоциклических атомов азота) (рис. 1). Плоскости гетероциклов [C(1)C(2)C(3)C(4)C(5)N(1)] и [C(6)C(7)C(8)C(9)C(10)N(2)] составляют угол 20,53°. Связи N–C в протонированном гетероцикле (1,343(3) и 1,350(2) Å) несколько длиннее аналогичных связей в пиридиновом фрагменте (1,336(2) и 1,340(3) Å). Внутримолекулярную водородную связь N(1)–H...N(2) в катионе можно оценить как слабую, поскольку расстояние H...N составляет 2,20 Å.

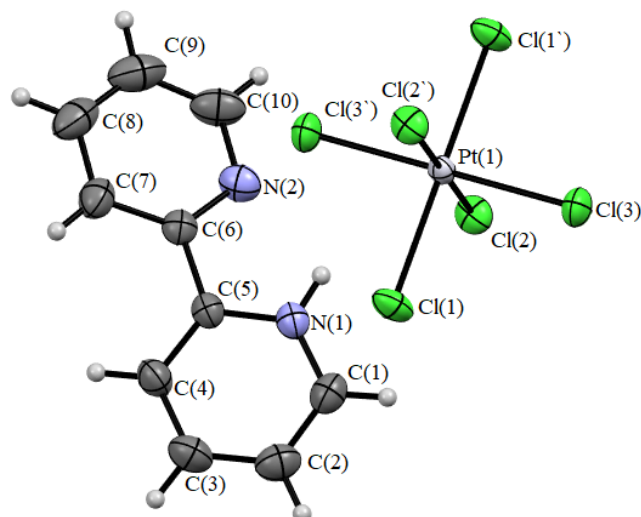


Рис. 1. Строение комплекса I
(эллипсоиды смещения с вероятностью 50 %)

В II катион представляет собой протонированную по атому азота 1,2,3,4-тетрагидроакридин-9-карбоновую кислоту (рис. 2). Угол между плоскостями конденсированных ароматических циклов составляет $1,41^\circ$, выход атомов углерода из средней плоскости двух циклов варьирует от 0,005 до 0,022 Å, атом азота выходит из этой плоскости на 0,014 Å. Карбоксильная группа практически перпендикулярна плоскости ароматического кольца (угол равен $83,58^\circ$). Конформация *кресло* циклогексанового фрагмента искажена: атомы C(4)C(5)C(6)C(1) образуют плоскость, из которой перечисленные атомы отклоняются на 0,006 – 0,014 Å, в то время как атомы C(2) и C(3) выходят из плоскости в противоположные стороны на 0,438 и 0,267 Å соответственно.

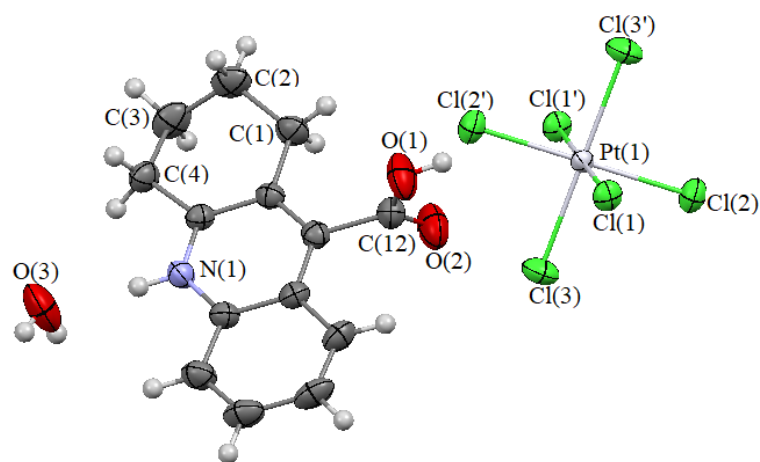


Рис. 2. Строение комплекса II (эллипсоиды смещения с вероятностью 50 %)

Связи C(12)–O(1) и C(12)–O(2) в карбоксильной группе существенно различаются (1,313(5) и 1,190(5) Å), что соответствует одинарной и двойной связи соответственно и свидетельствует об отсутствии делокализации электронной плотности. Угол O(1)–C(12)–O(2) равен $126,3(4)^\circ$. Расстояния N–C в протонированном гетероцикле составляют 1,327(4) и 1,370(4) Å. Связи C–C в циклогексановом фрагменте (1,499(7)–1,534(6) Å), как и следовало ожидать, превосходят аналогичные связи в ароматических циклах (1,363(6)–1,423(5) Å), что соответствует sp^3 - и sp^2 -типам гибридизации атомов углерода.

Геометрия анионов $[PtCl_6]^{2-}$ в I и II практически одинакова и мало отличается от строения анионов в других комплексах с гексахлороплатинатными анионами [1]. Анионы центросиммет-

ричны. В **I** и **II** связи Pt–Cl равны 2,3231(11), 2,3280(9), 2,3340(8) Å и 2,3211(9), 2,3260(10), 2,3303(10) Å; углы ClPtCl составляют 89,68(3)°, 89,97(3)°, 90,09(3)°, 90,31(3)° и 89,71(3)°, 89,88(3)°, 90,12(3)°, 90,29(3)°.

Пространственная структура **I** сформирована таким образом, что каждый анион имеет в ближнем окружении восемь катионов, а каждый катион – четыре аниона; короткие контакты обусловлены слабыми межмолекулярными связями типа N–H...Cl (2,69 Å) и C–H...Cl (2,85–2,94 Å) (рис. 3).

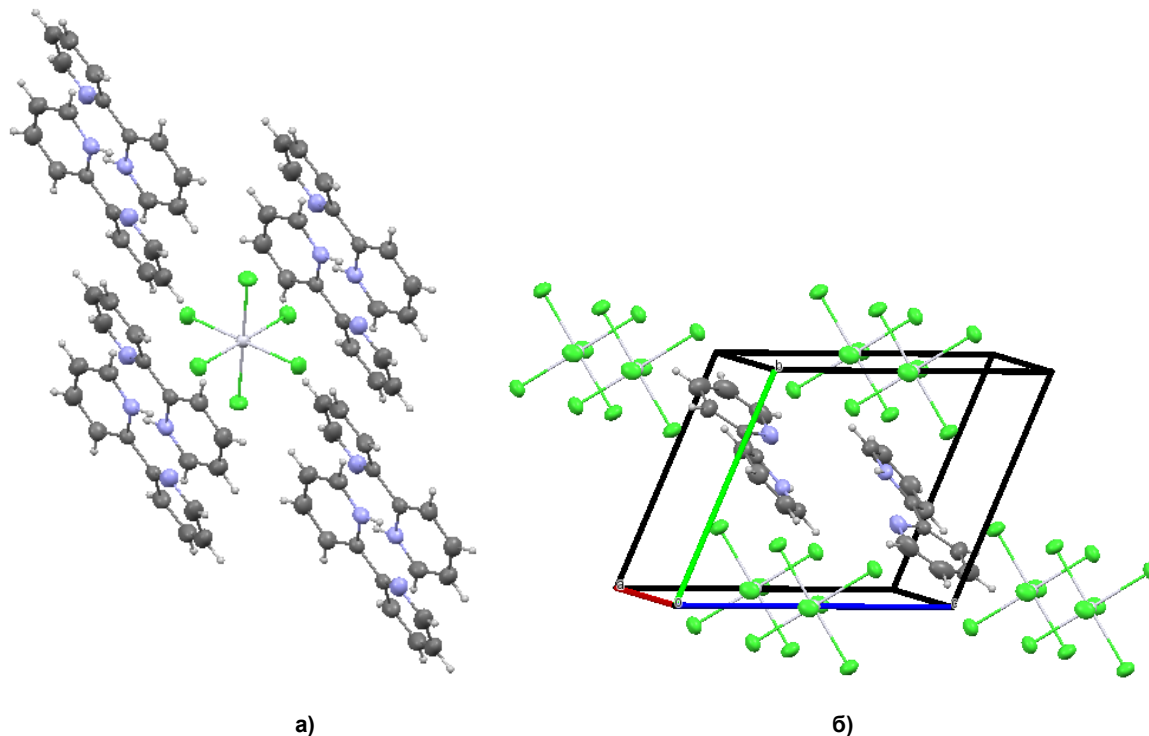


Рис. 3. Окружение аниона (а) и катиона (б) в кристалле **I**

В кристалле **II** участие в формировании структуры принимают молекулы воды. Можно выделить цепочки, в которых два катиона, анион и две молекулы воды связаны посредством водородных связей O–H...Cl (2,34 Å), N–H...O (1,91 Å) (рис. 4). Расположение цепочек относительно кристаллографической оси *a* показано на рис. 5.

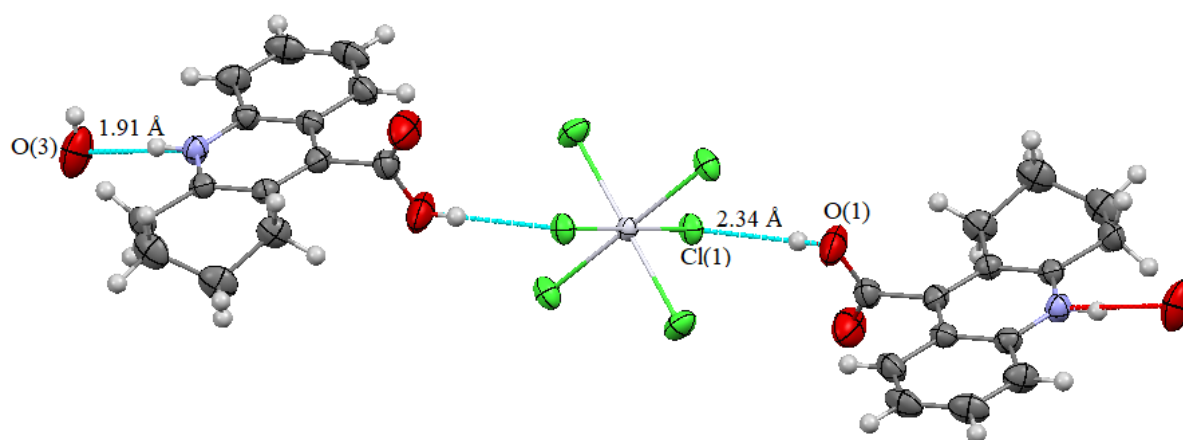


Рис. 4. Система водородных связей в кристалле комплекса **II**

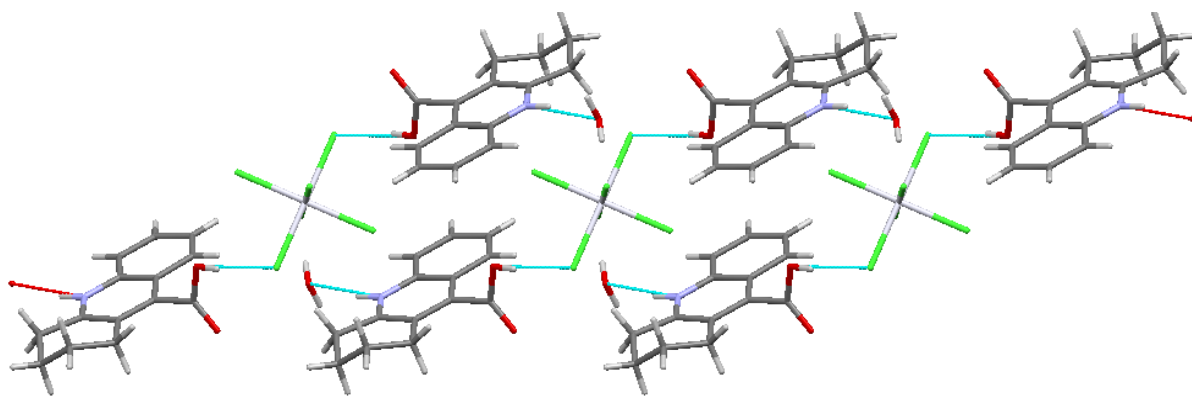


Рис. 5. Расположение структурных единиц в кристалле II относительно кристаллографической оси *a*

Между собой цепочки связаны более слабыми взаимодействиями, среди которых можно выделить водородные связи $O-H\cdots Cl$ (2,54 и 2,77 Å) между молекулами воды и анионами.

Выводы

Таким образом, в результате реакций гексахлороплатиноводородной кислоты с органическими соединениями, включающими азотсодержащие гетероциклы, протекающих в водно-ацетонитрильных растворах, наблюдается образование гексахлороплатинатных комплексов с катионами, представляющими собой протонированную по азоту форму исходных молекул. Кристаллическая и молекулярная структуры двух неизвестных ранее комплексов установлены методом рентгеноструктурного анализа.

Список источников

1. Кембриджская база структурных данных (CSD, Version 1.19). <https://www.ccdc.cam.ac.uk>
2. Lakomska I., Wojtczak A., Sitkowski J. et al. // Polyhedron. 2008. V. 27. P. 2765. DOI: 10.1016/j.poly.2008.05.032
3. Zhao J., Chen F., Han Y. et al. // Molecules. 2018. V. 23, No. 6. P. 1397. DOI: 10.3390/molecules23061397
4. Gaballa A., Schmidt H., Hempel G. et al. // J. Inorg. Biochem. 2004. V. 98. P. 439. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2003.12.005
5. Ishida H., Furukawa Y., Sato S., Kashino S. // J. Mol. Struct. 2000. V. 524, No. 1. P. 95. DOI: 10.1016/S0022-2860(99)00456-1
6. Valle G., Ettorre R. // Acta Cryst. 1998. C54, 4. P. 448. DOI: 10.1107/S0108270197015965
7. Elmali, A., Elerman Y., Eren G. et al. // Z. Naturforsch. 2005. V. 60, No. 2. P. 164. DOI: 10.1515/znb-2005-0206
8. Dacheng L., Daojie L. // Anal. Sci. 2003. V. 19, N. 7. P. 1089. DOI: 10.2116/analsci.19.1089
9. Hasan M., Kozhevnikov I.V., Siddiqui M.R.H. et al. // Inorg. Chem. 2001. V. 40, No. 4. P. 795. DOI: 10.1021/ic000606o
10. Zordan F., Espallargas G.M., Brammer L. // Cryst. Eng. Comm. 2006. V. 8. P. 425. DOI: 10.1039/B602518H
11. Amani V., Rahimi R., Khavasi H.R. // Acta Cryst. 2008. E64, 9. P. m1143. DOI: 10.1107/S1600536808025257
12. Kalateh K., Ebadi A., Abedi A. et al. // Acta Cryst. 2008. E64, 10. P. m1267. DOI: 10.1107/S160053680802881X
13. Karaca S., Akkurt M., Safari N., Amani V. // Acta Cryst. 2009. E65, 2. P. m235. DOI: 10.1107/S1600536809002736
14. Yilmaz V.T., Icbudak H., Howie R.A. // Acta Cryst. 1997. C53, 3. P. 294. DOI: 10.1107/S0108270196011341
15. Макотченко Е.В., Байдина И.А., Громилов С.А. // Журн. стр. химии. 2007. Т. 48, № 6. С. 1222. EDN: IJDWWZ

16. *Mareque-Rivas J., Brammer L.* // J. Inorg. Chem. 1998. V. 37. P. 4756.
DOI: 10.1021/ic9805269
17. *Carson I., MacRuary K.J., Doidge E.D., Ellis R.J.* // J. Inorg. Chem. 2015. V. 54. P. 8685.
DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b01317
18. *Bell K.J., Westra A.N., Warr R.J. et al.* // Angew. Chem., Int. Ed. 2008. V. 47. P. 1745.
DOI: 10.1002/anie.200703272
19. *Warr R.J., Bell K.J., Gadzhieva A. et al.* // J. Inorg. Chem. 2016. V. 55. P. 6247.
DOI: 10.1021/acs.inorgchem.6b00848
20. *Abedi A., Amani V., Safari N. et al.* // J. Organometal. Chem. 2015. V. 799–800. P. 30.
DOI: 10.1016/j.jorgchem.2015.08.023
21. *Amani V., Safari N., Khavasi H.R., Akkurt M.* // Polyhedron. 2009. V. 28, No. 14. P. 3026.
DOI: 10.1016/j.poly.2009.06.053
22. *Zare Dehnavi M., Ostad S.N., Abedi A.* // Inorgan. Chimica Acta. 2019. V. 486. P. 594.
DOI: 10.1016/j.ica.2018.11.023
23. Bruker. SMART and SAINT-Plus. Versions 5.0. Data Collection and processing software for the SMART system. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA, 1998.
24. 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.
25. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al.* // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339.
DOI: 10.1107/S0021889808042726

Шарутина Ольга Константиновна – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: sharutinaok@mail.ru

Беляев Игорь Евгеньевич – студент кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: katalist01@gmail.com

Шевченко Дмитрий Павлович – аспирант кафедры теоретической и прикладной химии, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: Shepherd56@gmail.com

Шарутин Владимир Викторович – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия. E-mail: sharutin50@mail.ru

Доценко Виктор Викторович – доктор химических наук, доцент, заведующий кафедрой органической химии и технологий, Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия. E-mail: victor_dotsenko@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17 октября 2024 г.

The article was submitted 17 October 2024.