

УДК 541.49;541.572.7;548.737

Д.В. СОЛДАТОВ, К. СУВИНЬСКА, Я. ЛИПКОВСКИ, А.Г. ОГИЕНКО

**РЕНТГЕНОСТРУКТУРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСА
ДИНИТРАТОТЕТРАПИРИДИНМЕДИ(II) И ЕГО КЛАТРАТОВ
С ТЕТРАГИДРОФУРАНОМ И ХЛОРОФОРМОМ**

Методом монокристалльного РСА (дифрактометр САD-4, CuK_α -излучение с графитовым монохроматором) определены структуры комплекса $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]$ (Py — пиридин) и его клатратов с тетрагидрофураном и хлороформом (оба с мольным отношением хозяин: гость 1:2). Все три структуры молекулярные, межмолекулярные контакты ван-дер-ваальсовы. Основные структурные параметры молекулы $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]$ сохраняются. Координационный октаэдр меди(II), образованный четырьмя атомами азота пиридиновых лигандов и двумя атомами кислорода монодентатных нитратных групп в *транс*-положении, сильно искажен за счет удлинённых связей $\text{Cu}—\text{O}$ (2,46 — 2,61 Å). В фазе комплекса пиридиновые кольца молекулы почти перпендикулярны экваториальной плоскости, тогда как в клатратах конформация молекулы пропеллерная. Клатраты изоморфны между собой и другим соединениям общей формулы $[\text{MPy}_4\text{X}_2]\cdot 2\text{G}$. Проведенные исследования вскрывают родство структурных подтипов клатратов $[\text{MPy}_4\text{X}_2]\cdot 2\text{G}$ и позволяют объяснить аномальную стабильность $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]$ по сравнению с аналогичными Mn-, Co-, Ni-, Zn- и Cd-комплексами, которые реализуются только в составе клатратов.

Структурные особенности соединений $[\text{MPy}_4\text{X}_2]\cdot 2\text{Py}$ ($\text{M} = \text{M}(\text{II})$, Py — пиридин, X — однозарядный ацидолиганд) [1 — 3] позволили классифицировать их как новую группу вернеровских клатратов [4, 5]. По данным рентгеноструктурных и спектроскопических исследований десятки соединений такого состава изоморфны и имеют надмолекулярное строение. Молекулы химически несвязанного пиридина расположены в полостях кристаллического каркаса, построенного из молекул *транс*- $[\text{MPy}_4\text{X}_2]$. В соединении $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]\cdot 2\text{Py}$ нам удалось заменить несвязанный пиридин на бензол, тетрагидрофуран и хлороформ (без изменения стехиометрии) [6]. Пиридиновый клатрат кристаллизуется в ромбической системе (P-ячейка) [7]. Замена пиридина его геометрическим аналогом бензолом приводит к тетрагональной структуре [6], но мотив упаковки остается тем же, что и в клатрате с пиридином. Таким образом, матрица хозяина сохраняется при замене несвязанного пиридина, хотя способна "адаптироваться" к параметрам нового гостя.

В целях дальнейшего изучения влияния гостевого компонента на структуру клатратной фазы мы исследовали методом РСА клатраты комплекса с тетрагидрофураном и хлороформом. Объектом настоящего исследования была также молекулярная и кристаллическая структура самого комплекса-хозяина $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]$. Аналогичные комплексы других металлов не образуются в виде индивидуальных фаз [8 — 10], хотя их молекулы найдены в составе соответствующих клатратов $[\text{MPy}_4(\text{NO}_3)_2]\cdot 2\text{Py}$ ($\text{M} = \text{Mn}$ [8]; Ni [11]; Zn [12], Cd [13]).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез [CuPy₄(NO₃)₂] был описан в работе [6]. Кристаллы, пригодные для РСА, получены перекристаллизацией комплекса из горячего ацетонитрила. Со временем они выветриваются на воздухе, теряя 1 моль пиридина. Кристаллы клатратов с тетрагидрофураном и хлороформом [CuPy₄(NO₃)₂]-2G получены соответственно при охлаждении и изотермическом испарении растворов комплекса в чистом госте (G). Данные химического анализа исследованных соединений, опубликованные в работе [6], соответствуют приведенной выше стехиометрии.

Все рентгеноструктурные исследования проводили на дифрактометре CAD-4 с CuK_α-излучением и графитовым монохроматором. Монокристаллы клатратов закрепляли внутри линдемановских капилляров для предотвращения их разложения. В случае клатрата с хлороформом данные об отражениях были исправлены с учетом интенсивности контрольных рефлексов, которая упала за время эксперимента примерно наполовину (чем объясняется сравнительно низкое качество полученного массива). Другие детали использованной методики по поиску элементарной ячейки и сбору данных, решению и уточнению структур даны в работе [14]. Краткий перечень параметров эксперимента и определенных структур дан в табл. 1. Координаты неводородных атомов приведены в табл. 2 — 4, схемы нумерации атомов — на рис. 1.

Т а б л и ц а 1

Основные параметры определенных структур и РСА эксперимента

Соединение	[CuPy ₄ (NO ₃) ₂]	[CuPy ₄ (NO ₃) ₂]-2C ₄ H ₈ O	[CuPy ₄ (NO ₃) ₂]-2CHCl ₃
Эмпирическая формула	C ₂₀ H ₂₀ CuN ₆ O ₆	C ₂₈ H ₃₆ CuN ₆ O ₈	C ₂₂ H ₂₂ Cl ₆ N ₆ O ₆
<i>M</i>	504,0	648,2	742,7
Система кристалла	Ромбическая	Ромбическая	Моноклинная
Пр.гр.	<i>Pnma</i> (52)	<i>Ccca</i> (68)	<i>C2/c</i> (15)
Параметры элементарной ячейки			
<i>a</i> , Å	8,607(5)	12,879(6)	14,444(7)
<i>b</i> , Å	9,453(5)	14,98(1)	14,198(6)
<i>c</i> , Å	15,27(1)	16,333(4)	15,756(6)
β, град			93,01(4)
<i>V</i> , Å ³	2177(1)	3151(3)	3227(2)
<i>Z</i>	4	4	4
<i>F</i> (000)	1036	1356	1500
<i>d</i> _{выч} , г/см ³	1,538	1,366	1,529
Размеры кристалла, мм	0,25×0,3×0,35	0,25×0,35×0,35	0,5×0,5×0,5
μ(CuK _α), см ⁻¹	18,6	14,6	59,2
Число независимых рефлексов:			
использовано (<i>I</i> > 0)	1938	1373	2665
интенсивных (<i>I</i> > 2σ _{<i>I</i>})	1283	695	1514
Число параметров уточнения	182	117	249
<i>R</i> (по интенсивным данным)	0,072	0,072	0,098
Остаточные экстремумы*, e/Å ³	-0,6/ +0,6	-0,3/ +0,5	-0,6/ +1,1

* Во всех структурах максимумы вблизи атомов меди.

Т а б л и ц а 2

Координаты ($\times 10^4$) и эквивалентные изотропные тепловые параметры
 $U = 1/3(U_{11}+U_{22}+U_{33}) (\text{Å}^2 \times 10^3)$ неводородных атомов в структуре $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]$

Атом	x/a	y/b	z/c	U
Cu	6201(1)	2500	2500	46(1)
N(1)	7612(4)	2500	2500	42(1)
C(11)	8109(4)	2029(5)	3362(5)	51(1)
C(12)	9056(5)	2018(5)	3384(6)	56(2)
C(13)	9539(5)	2500	2500	54(2)
N(2)	4797(4)	2500	2500	43(1)
C(21)	4322(5)	1785(4)	3024(5)	49(1)
C(22)	3357(5)	1765(5)	3050(7)	59(2)
C(23)	2884(7)	2500	2500	67(3)
N(3)	6212(3)	1373(3)	1320(4)	41(1)
C(31)	6159(5)	1516(4)	103(5)	52(2)
C(32)	6204(5)	768(4)	-736(5)	55(2)
C(33)	6269(5)	-135(4)	-316(5)	56(2)
C(34)	6299(5)	-295(4)	939(6)	63(2)
C(35)	6270(5)	478(4)	1724(5)	54(2)
N(4)	6195(4)	740(4)	5204(4)	55(1)
O(41)	6147(4)	1357(3)	4404(5)	75(1)
O(42)	6175(5)	940(6)	6263(4)	127(3)
O(43)	6235(7)	-81(5)	4842(7)	198(5)

Т а б л и ц а 3

Координаты ($\times 10^4$) и эквивалентные изотропные тепловые параметры
 $U = 1/3(U_{11}+U_{22}+U_{33}) (\text{Å}^2 \times 10^3)$ неводородных атомов в структуре $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2] \cdot 2\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$

Атом	x/a	y/b	z/c	U
Cu	5000	2500	2500	71(1)
N(1)	5000	1148(5)	2500	71(2)
C(11)	4269(6)	677(6)	2111(4)	81(2)
C(12)	4246(8)	-240(7)	2109(5)	101(3)
C(13)	5000	-706(8)	2500	100(3)
N(2)	5000	2500	1245(3)	69(2)
C(21)	5824(6)	2242(5)	819(4)	83(2)
C(22)	5857(6)	2235(5)	-28(4)	91(2)
C(23)	5000	2500	-450(4)	81(3)
N(3)	7795(6)	2500	2500	77(2)
O(31)	6906(6)	2500	2500	156(4)
O(32)	8238(6)	2631(6)	1880(4)	200(4)
		<i>Хозяин</i>		
O(1G)	7500	0	-406(6)	195(6)
C(1G)	6742(9)	-296(8)	32(7)	173(5)
C(2G)	6970(10)	-227(10)	863(6)	197(7)
		<i>Гость</i>		

Т а б л и ц а 4

Координаты ($\times 10^4$) и эквивалентные изотропные тепловые параметры
 $U = 1/3(U_{11}+U_{22}+U_{33})$ ($\text{\AA}^2 \cdot 10^3$) неводородных атомов в структуре [CuPy₄(NO₃)₂] $\cdot 2\text{CHCl}_3$

Атом	x/a	y/b	z/c	U
<i>Хозяин</i>				
Cu	0	2688(1)	2500	51(1)
N(1)	0	4105(6)	2500	59(2)
C(11)	732(8)	4609(7)	2740(6)	77(3)
C(12)	782(11)	5595(7)	2738(7)	101(4)
C(13)	0	6073(13)	2500	107(6)
N(2)	0	1272(6)	2500	49(2)
C(21)	-642(7)	791(6)	2883(5)	67(2)
C(22)	-662(9)	-187(7)	2888(7)	91(3)
C(23)	0	-663(11)	2500	104(6)
N(3)	300(5)	2693(5)	3782(3)	57(2)
C(31)	-175(7)	3251(7)	4299(5)	75(3)
C(32)	26(7)	3276(9)	5164(5)	94(4)
C(33)	739(7)	2746(9)	5516(5)	87(3)
C(34)	1239(6)	2193(8)	4978(5)	72(3)
C(35)	1000(5)	2158(5)	4129(4)	53(2)
N(4)	-2480(6)	2795(6)	2557(5)	83(2)
O(41)	-1704(4)	2751(5)	2897(4)	82(2)
O(42)	-3216(7)	2702(6)	2944(7)	133(3)
O(43)	-2565(7)	3152(10)	1812(6)	169(5)
<i>Гость</i>				
1-я ориентация, 23(2) %				
Cl(1)	-2644(16)	989(34)	4474(11)	102(10)
Cl(2)	-929(14)	413(30)	5297(16)	90(9)
Cl(3)	-2630(17)	34(21)	6075(14)	88(7)
C(1G)	-2042(16)	843(24)	5461(14)	50(18)
2-я ориентация, 24(2) %				
Cl(1A)	-2729(17)	277(32)	4462(15)	185(13)
Cl(2A)	-1021(16)	911(26)	5291(23)	127(9)
Cl(3A)	-2404(22)	27(29)	6254(17)	135(12)
C(1GA)	-2211(18)	761(26)	5392(16)	104(42)
3-я ориентация, 53(2) %				
Cl(1B)	-2474(8)	1507(9)	4567(7)	108(3)
Cl(2B)	-987(10)	480(21)	5395(16)	158(10)
Cl(3B)	-2852(11)	-96(7)	5634(16)	144(6)
C(1GB)	-2125(12)	871(15)	5487(15)	102(26)

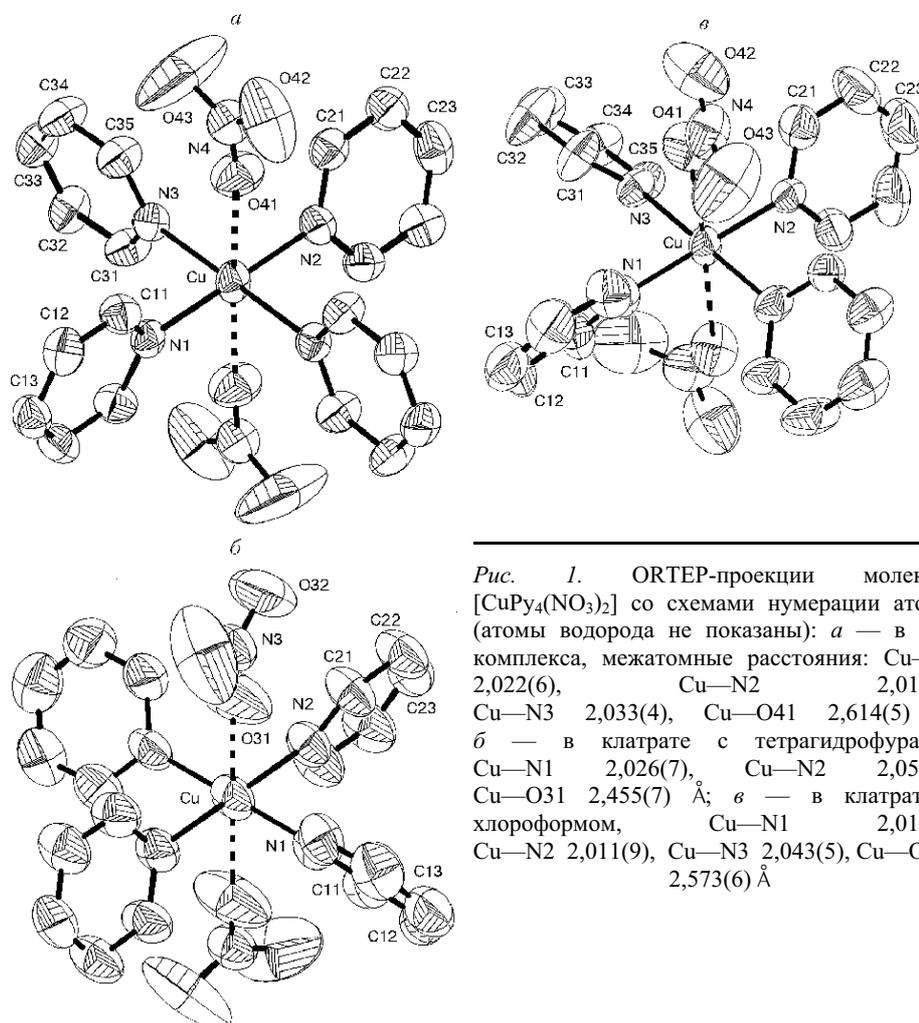


Рис. 1. ORTEP-проекция молекулы $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]$ со схемами нумерации атомов (атомы водорода не показаны): *a* — в фазе комплекса, межатомные расстояния: Cu—N1 2,022(6), Cu—N2 2,010(6), Cu—N3 2,033(4), Cu—O41 2,614(5) Å; *b* — в клатрате с тетрагидрофураном, Cu—N1 2,026(7), Cu—N2 2,051(5), Cu—O31 2,455(7) Å; *в* — в клатрате с хлороформом, Cu—N1 2,013(9), Cu—N2 2,011(9), Cu—N3 2,043(5), Cu—O41 2,573(6) Å

ОПИСАНИЕ СТРУКТУР

Комплекс $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]$ кристаллизуется в ромбической системе с четырьмя молекулами на элементарную ячейку. Судя по межатомным расстояниям, молекулы взаимодействуют друг с другом только ван-дер-ваальсовыми силами. Атом меди (см. рис. 1, *a*) имеет искаженное *транс*-октаэдрическое окружение четырьмя атомами азота пиридиновых лигандов в экваториальной плоскости (расстояния Cu—N 2,01—2,03 Å) и двумя атомами кислорода монодентатных нитратогрупп (расстояние Cu—O 2,61 Å). Таким образом, связь с кислородом очень слабая, и состояние нитрата промежуточное между лигандным и ионным (подобная ситуация найдена и для комплекса-хозяина в клатрате $[\text{Cu}(\text{MePy})_4(\text{NCS})_2] \cdot 2\text{MePy}$, где MePy — 4-метилпиридин [15]). Координационные углы отклоняются от прямых не более чем на $0,6^\circ$. Молекула лежит на двойной оси, которая проходит вдоль связей N1—Cu—N2 и параллельна оси *a* кристалла. В целом по способу упаковки молекул фаза комплекса не имеет ничего общего с клатратами, которые этот комплекс образуют (рис. 2). Полости молекулярного размера в структуре отсутствуют.

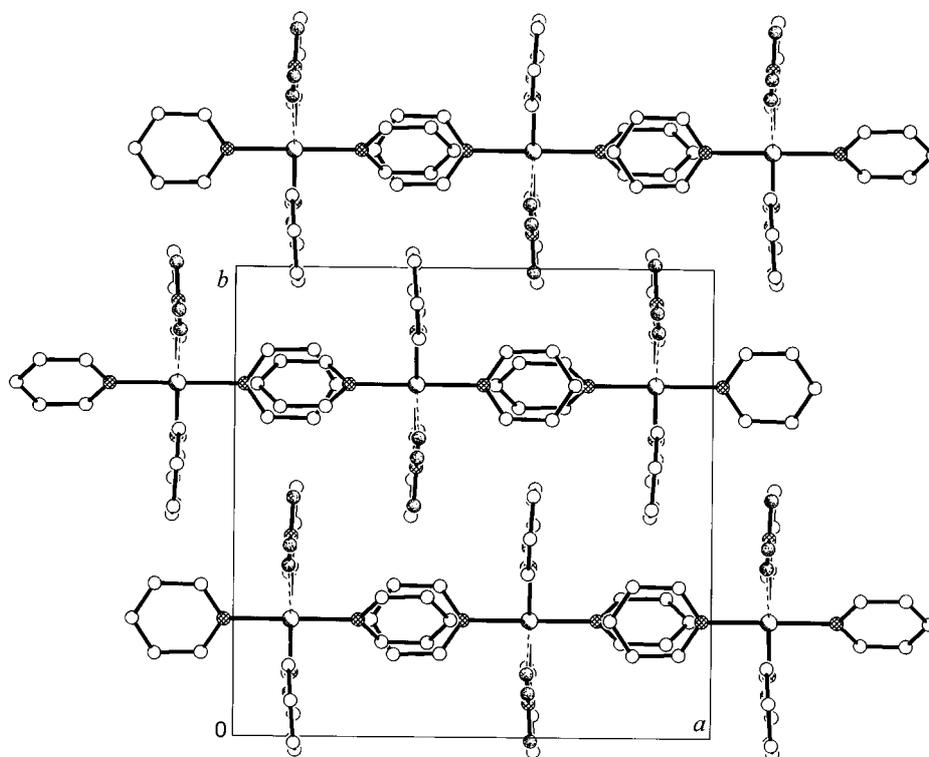


Рис. 2. Структура фазы $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]$ вдоль оси c (атомы водорода не показаны)

Клатрат с тетрагидрофураном ($[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2] \cdot 2\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$) кристаллизуется в ромбической системе, в пространственной группе $Ccca$, как и подавляющее число соединений $[\text{MPy}_4\text{X}_2] \cdot 2\text{Py}$. В частности, клатрат изоструктурен соединениям $[\text{MPy}_4(\text{NO}_3)_2] \cdot 2\text{Py}$ ($\text{M} = \text{Mn}$ [8]; Ni [11]; Zn [12], Cd [13]). Тип упаковки молекулярный; расстояния между атомами отдельных молекул не меньше сумм их ван-дер-ваальсовых радиусов. Гостевые молекулы тетрагидрофурана расположены в расширениях каналов, простирающихся параллельно оси a (рис. 3, a). Как и в аналогичных клатратах с пиридиновым гостем, дипольные моменты соседних по каналу молекул тетрагидрофурана параллельны и направлены противоположно. Молекулярная структура комплекса-хозяина (см. рис. 1, b) подобна таковой в неклатратной фазе, хотя искажена меньше (расстояния $\text{Cu}-\text{N}$ и $\text{Cu}-\text{O}$ равны 2,03—2,05 и 2,46 Å соответственно). Молекула имеет симметрию 222, двойные оси совпадают с направлениями координационных связей.

Клатрат с хлороформом ($[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2] \cdot 2\text{CHCl}_3$) представляет собой искаженный вариант структуры с тетрагидрофураном. Это первый представитель семейства клатратов $[\text{MPy}_4\text{X}_2] \cdot 2\text{G}$, кристаллизующийся в моноклинной системе (все до сих пор известные — либо ромбические, либо тетрагональные). Очевидно, искажения связаны с формой молекулы хлороформа. Заметим, что пространственная группа клатрата $C2/c$ является подгруппой ромбической группы $Ccca$, и матрица хозяина клатрата с хлороформом сохраняет основные черты строения клатратов семейства $[\text{MPy}_4\text{X}_2] \cdot 2\text{G}$. Гостевые молекулы хлороформа также расположены внутри каналов, идущих вдоль оси a (см. рис. 3, b). Интересно, что молекула хло-

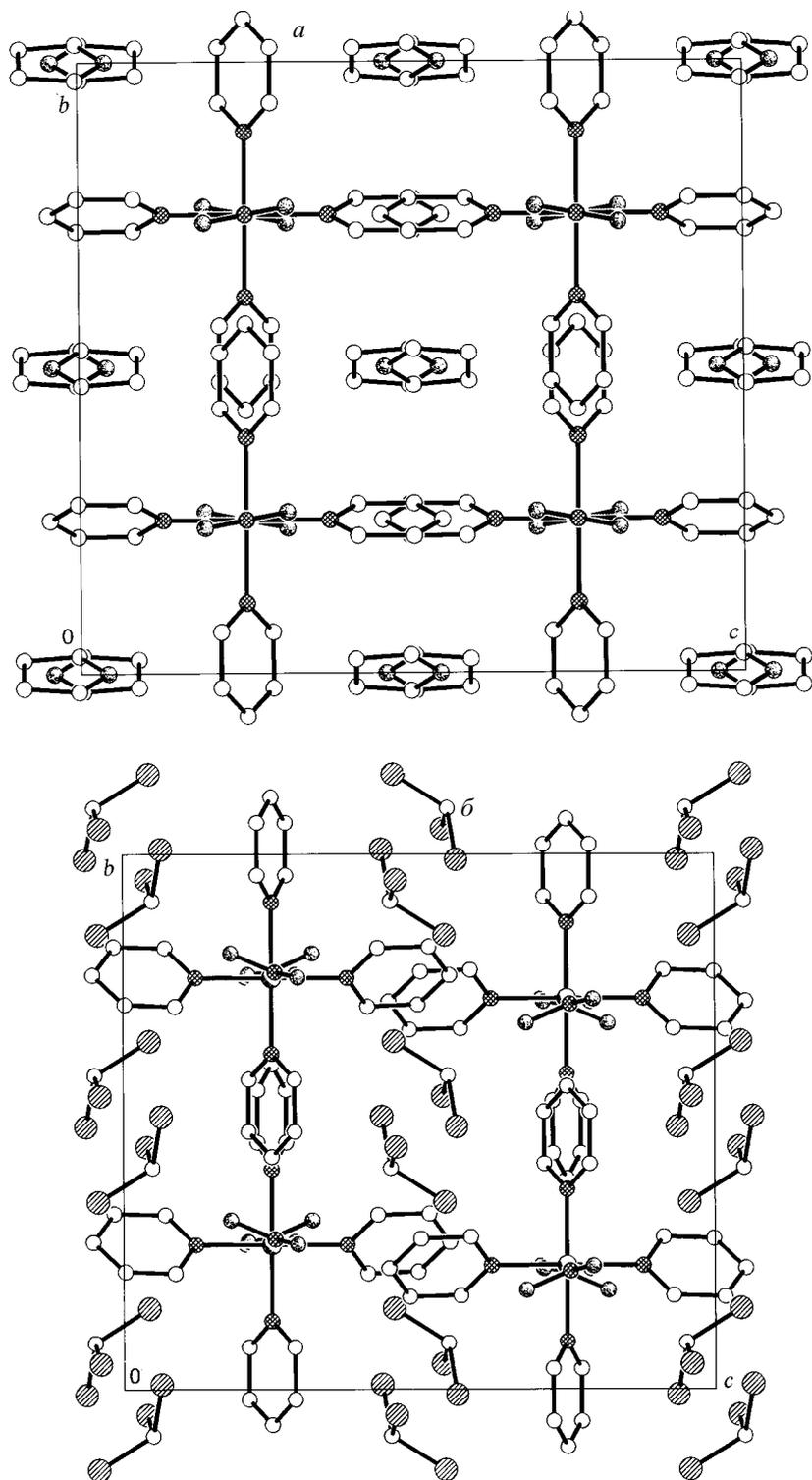


Рис. 3. Структуры клатратов $[\text{CuPu}_4(\text{NO}_3)_2]$ с тетрагидрофураном (а) и хлороформом (б) вдоль оси канала (атомы водорода не показаны)

роформа разупорядочена около трех положений, что, по-видимому, является следствием несоответствия геометрии полости параметрам гостя. Молекула комплекса (см. рис. 1, в) по структуре очень близка к таковой в неклатратной фазе; она лежит на двойной оси кристалла, которая проходит вдоль связей N1—Cu—N2. Координационные углы отклоняются от прямых не более чем на 0,2 Å.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Структура молекулы [CuPu₄(NO₃)₂] в разных фазах

В отличие от других комплексов [MPu₄(NO₃)₂], Cu-комплекс получен в составе нескольких клатратов и также в виде индивидуальной фазы, не содержащей молекул иного сорта. Данные этой работы вместе с литературными позволяют провести сравнение структурных особенностей молекулы [CuPu₄(NO₃)₂] в разных фазах и попытаться ответить на вопрос, почему аналогичные комплексы других металлов в чистом виде получить не удается.

Табл. 5 дает представление о том, как варьирует геометрия молекулы [CuPu₄(NO₃)₂] в разных фазах. Длина экваториальных координационных связей Cu—N_{Pu} практически постоянна (около 2,03 Å). В то же время длина связи медь — нитрат существенно больше в каждой из структур и, кроме того, сильно изменяется, до 0,2 Å в ряду. Кажется, этот параметр определяет и цвет фазы. Что касается угла координации нитрата, то в высокосимметричных фазах лиганд расположен строго аксиально (подчиняясь структурным особенностям этих фаз), в

Т а б л и ц а 5

Длины координационных связей и некоторые конформационные параметры молекулы [CuPu₄(NO₃)₂] в разных фазах

Параметры	[CuPu ₄ (NO ₃) ₂]	Клатраты [CuPu ₄ (NO ₃) ₂]:2G			
		G = Бензол**	G = Тетрагидрофуран**	G = Пиридин**	G = Хлороформ**
Цвет соединения	Фиолетово-сиреневый	Темно-синий	Синий	Синий	Фиолетово-сиреневый
Система и тип ячейки кристалла	Ромбическая, <i>P</i>	Тетрагональная, <i>I</i>	Ромбическая, <i>C</i>	Ромбическая, <i>P</i>	Моноклинная, <i>C</i>
Cu—N _{Pu} (среднее), Å	2,02	2,03	2,04	2,03	2,03
Углы ЭКВ*-Pu	+69, +86, +86, +86	+63, +63, +63, +63	+56, +70, +56, +70	+52, +65, +58, +65	+49, +62, +49, +67
Cu—O _{нитрат} , Å	2,61	2,47	2,46	2,42	2,57
Угол Cu—O—N(O ₂)	171	180	180	140	140
Литература	Данная работа	[6]	Данная работа	[7]	Данная работа

*Экваториальная плоскость молекулы (через атом меди и четыре атома азота пиридиновых лигандов).

** Гость (G).

других — сильно отклоняется от оси комплекса. В фазах клатратов пиридиновые кольца комплекса развернуты симбатно относительно экваториальной плоскости на углы 49—70°. Этот пропеллерный тип конформации весьма характерен для тетрапиридиновых октаэдрических комплексов. Вместе с тем в неклатратной фазе комплекса молекула имеет качественно иной конформационный тип. Три из четырех пиридиновых колец развернуты почти перпендикулярно экваториальной плоскости, что становится возможным благодаря сильному удалению аксиально координированного нитрата.

На основании приведенного здесь рассмотрения можно предположить, что именно природа центрального атома, т.е. возможность значительного удлинения и варьирования длины связи медь — нитрат, ответственна за то, что матрица хозяина сохраняется, легко приспосабливаясь к разным гостям, и даже в отсутствие гостя хозяин образует собственную фазу. Последнее требует еще большего удлинения (до 2,6 Å) аксиальной связи. Представить подобную ситуацию для комплексов двухвалентных Mn, Fe, Co, Ni, Zn и Cd затруднительно, столь сильное тетрагональное искажение координационного полиэдра для них нехарактерно. Только комплекс меди способен так изменить свою геометрию, чтобы обеспечить достаточно плотную упаковку и большой энергетический выигрыш за счет невалентных взаимодействий.

Структурные особенности клатратов $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]\cdot 2\text{G}$

Подавляющее большинство структурно охарактеризованных соединений $[\text{MPy}_4\text{X}_2]\cdot 2\text{Py}$ изоморфны и могут быть разделены на три типа. Тетрагональному типу принадлежит клатрат $[\text{NiPy}_4(\text{NCS})_2]\cdot 2\text{Py}$ (пр. гр. $I4_1/acd$) [16], сюда же можно отнести и клатрат $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]$ с бензолом (см. табл. 5). По-видимому, тетрагональная структура реализуется для комплексов, имеющих увеличенный аксиальный размер, причём в первом случае это достигается за счет длины самого лиганда X (X = NCS), а во втором — благодаря сильному удлинению аксиальных координационных связей. Подавляющее большинство клатратов относятся к ромбическому C-типу (пр. гр. $Ccca$, около тридцати соединений с различными M и X [14]). Из изученных в данной работе к этому типу относится клатрат с тетрагидрофураном. Наконец, к ромбическому P-типу принадлежат клатраты $[\text{MPy}_4(\text{N}_3)_2]\cdot 2\text{Py}$ (M = Co, Ni; пр. гр. $Pnna$) [2], низкотемпературная форма $[\text{CdPy}_4(\text{NO}_3)_2]\cdot 2\text{Py}$ ($Pcca$) [13] и приведенный в табл. 5 клатрат $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]$ с пиридином. Таким образом, варьирование гостя в $[\text{CuPy}_4(\text{NO}_3)_2]\cdot 2\text{Py}$ (в данной группе соединений это первый изученный ряд с варьированием гостя) привело к получению всех трех типов соединений $[\text{MPy}_4\text{X}_2]\cdot 2\text{Py}$. Это доказывает то, что упомянутые типы являются вариациями одной и той же структуры хозяйской матрицы. Более того, с хлороформом получена новая, моноклинная разновидность структуры. Искажения молекулы здесь больше, но и она по мотиву упаковки аналогична остальным.

Работа осуществлена в рамках Договора о сотрудничестве и прямых связях между Институтом неорганической химии СО РАН и Институтом физической химии Польской АН. Исследования выполнены благодаря Федеральной целевой программе "Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997–2000 гг." (разд. 1.4.4.3.6, проект № 274). Авторы признательны Ю.А. Дядину за ценные замечания по этой работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солдатов Д.В., Липковски Я. // Журн. структур. химии. – 1995. – **36**. – С. 1070 – 1073. (J. Struct. Chem. – 1995. – **36**. – P. 979 – 982.)
2. Soldatov D.V., Lipkowski J. // J. Incl. Phenom. – 1998. – **30**. – P. 99 – 109.
3. Soldatov D.V., Ripmeester J.A. // Supramol. Chem. – 1998. – **9**. – P. 175 – 181.
4. Schaeffer W.D., Dorsey W.S., Skinner D.A., Christian C.G. // J. Amer. Chem. Soc. – 1957. – **79**. – P. 5870 – 5876.
5. Lipkowski J. // Comp. Supr. Chem. – Exeter: Pergamon, 1996. – **6**. – P. 691 – 714.
6. Soldatov D.V., Dyadin Yu.A., Lipkowski J., Ogiienko A.G. // Mendeleev Comm. – 1997. – P. 11 – 13.
7. Beurskens G., Martens C.F., Nolte R.J.M. et al. // J. Chem. Crystallogr. – 1995. – **25**. – P. 425 – 427.
8. Солдатов Д.В., Липковски Я. // Журн. структур. химии. – 1998. – **39**. – С. 292 – 299. (J. Struct. Chem. – 1998. – **39**. – P. 238 – 243.)
9. Ukrainitseva E.A., Soldatov D.V., Logvinenko V.A., Dyadin Yu.A. // Mendeleev Comm. – 1997. – P. 102 – 104.
10. Dyadin Yu.A., Soldatov D.V., Logvinenko V.A., Lipkowski J. // J. Coord. Chem. – 1996. – **37**. – P. 63 – 75.
11. Солдатов Д.В., Липковски Я., Грачев Е.В. // Журн. структур. химии. – 1995. – **36**. – С. 912 – 918. (J. Struct. Chem. – 1995. – **36**. – P. 830 – 836.)
12. Losier P., Zaworotko M.J. // J. Chem. Crystallogr. – 1996. – **26**. – P. 277 – 280.
13. Солдатов Д.В., Колесов Б.А., Липковски Я., Дядин Ю.А. // Журн. структур. химии. – 1997. – **38**. – С. 976 – 987. (J. Struct. Chem. – 1997. – **38**. – P. 819 – 828.)
14. Солдатов Д.В., Логвиненко В.А., Дядин Ю.А., Липковски Я., Сувиньска К. // Там же. – 1999. – **40**, № 5. – С. 938 – 956.
15. Липковски Я., Кислых Н.В., Дядин Ю.А., Шелудякова Л.А. // Там же. – 1999. – **40**, № 5. – С. 957 – 966.
16. Солдатов Д.В., Липковски Я. // Там же. – 1995. – **36**. – С. 1074 – 1082. (J. Struct. Chem. – 1995. – **36**. – P. 983 – 990.)

Институт неорганической химии СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 3
Новосибирск 630090
Институт физической химии ПАН,
Варшава, Польша
E-mail: clat@che.nsk.su

Статья поступила
3 февраля 1999 г.