

УДК 541.49:547.598:548.736

СТРОЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ $[\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L}^1)\text{Cl}_4]$ И $[\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L}^1)\text{Cl}_4] \cdot 0,5\text{CH}_2\text{Cl}_2$
С ХИРАЛЬНЫМ БИС- α -СУЛЬФАНИЛОКСИМОМ —
ПРОИЗВОДНЫМ ПРИРОДНОГО МОНОТЕРПЕНОИДА (+)-3-КАРЕНА (H_2L^1)

Т.Е. Кокина^{1,2}, Л.А. Глинская¹, Н.Б. Горшков^{2,3}, Н.В. Куратьева^{1,2}, И.В. Корольков^{1,2},
А.В. Ткачев^{2,3}, С.В. Ларионов^{1,2}

¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: kokina@niic.nsc.ru

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Россия

³Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, Россия

Статья поступила 26 мая 2014 г.

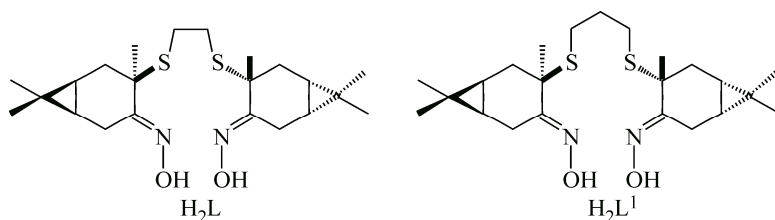
Синтезирован комплекс $[\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L}^1)\text{Cl}_4]$ (I) (H_2L^1 — хиральный бис- α -сульфанилоксим — производное природного монотерпеноида (+)-3-карена). Выращены монокристаллы I и сольвата $[\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L}^1)\text{Cl}_4] \cdot 0,5\text{CH}_2\text{Cl}_2$ (II). По данным РСА, кристаллическая структура I состоит из ацентричных молекул двухъядерного комплекса $[\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L}^1)\text{Cl}_4]$. Структура сольвата II состоит из молекул двухъядерного комплекса I и молекул CH_2Cl_2 . Координационные узлы PdCl_2NS — искаженные квадраты (трапеции). В структурах I и II фрагменты PdCl_2 находятся в *транс*oidalном положении. В I плоскости Cl_2NS двух координационных узлов практически параллельны (угол между плоскостями составляет $7,7(1)^\circ$). В сольвате II аналогичный угол равен $22,0(1)^\circ$.

DOI: 10.15372/JSC20150514

Ключевые слова: комплекс, бис- α -сульфанилоксим, Pd, кристаллическая и молекулярная структура.

В настоящее время большой интерес вызывают хиральные лиганды на основе природных терпенов, широко распространенных в растительном мире и обладающих биологической активностью, а также синтез, исследование строения и свойств координационных соединений металлов с этими лигандами [1—5]. Одним из перспективных типов таких лигандов являются хиральные диоксими [3—5]. Известно, что ахиральные диоксими и комплексы на их основе хорошо изучены и находят широкое практическое применение [6—9]. Ранее нами синтезированы и изучены двухъядерные комплексы PdCl_2 с оптически активными этилен- и пропиленди-сульфанилдиоксимами — производными природного монотерпена (–)- α -пинена [10]. Получен и исследован методом РСА сольват $[\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L})\text{Cl}_4] \cdot 3\text{CDCl}_3$, содержащий этиленди-сульфанилдиоксим H_2L — производное (+)-3-карена [11]. В двухъядерном комплексе молекула H_2L является тетраденатным хелатно-мостиковым лигандом, координационные узлы PdCl_2NS имеют форму искаженного квадрата. Следовательно, переход от производных (–)- α -пинена к производному (+)-3-карена не привел к изменению состава комплексов Pd(II). Представлялось интересным изучить влияние увеличения длины углеводородного мостика, соединяющего два атома S в дисульфанилдиоксимах (+)-3-карена, на состав и строение комплексов.

Цель данной работы — синтез и исследование строения комплекса Pd(II) с пропиленди-сульфанилдиоксимом (+)-3-карена (H_2L^1).



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для синтеза использовали $PdCl_2$ квалификации Ч; $EtOH$ — ректификат; конц. HCl , CH_2Cl_2 ХЧ, $i-PrOH$ ОсЧ; H_2L^1 , полученный по методике [13].

Синтез $[Pd_2(H_2L^1)Cl_4]$ (I). К раствору 0,044 г (0,1 ммоль) H_2L^1 в 4 мл $i-PrOH$ добавили при перемешивании теплый (~ 50 — 60 °С) раствор 0,036 г (0,2 ммоль) $PdCl_2$ в смеси 5 мл $i-PrOH$ и 0,5 мл конц. HCl . В результате смешивания растворов образуется желтый осадок. Растворитель испаряли до объема ~ 3 —4 мл. Реакционную смесь охлаждали до ~ 3 °С. Осадок отфильтровывали с отсасыванием, промывали охлажденным $i-PrOH$, высушивали в вакуумном эксикаторе. Выход 0,030 г (38 %). Найдено, %: С 34,6, Н 4,8, N 3,5, S 8,1. Для $C_{23}H_{38}Cl_4N_2O_2Pd_2S_2$ вычислено, %: С 34,8, Н 4,8, N 3,5, S 8,1.

Получение монокристаллов комплекса I и сольвата $[Pd_2(H_2L^1)Cl_4] \cdot 0,5CH_2Cl_2$ (II). К раствору 0,044 г (0,1 ммоль) H_2L^1 в 4 мл смеси $EtOH$ — CH_2Cl_2 добавляли при перемешивании теплый (~ 50 — 60 °С) раствор 0,036 г (0,2 ммоль) $PdCl_2$ в смеси 4 мл $EtOH$ и 0,5 мл конц. HCl . В результате смешивания растворов образуется желтый осадок. Растворитель испаряли до объема ~ 1 мл. Осадок отфильтровывали с отсасыванием, промывали охлажденным $i-PrOH$, высушивали в вакуумном эксикаторе. При выдерживании раствора полученного осадка в смеси $i-PrOH$ — CH_2Cl_2 при $t \sim 3$ °С образуются оранжевые кристаллы двух видов: крупные хорошо ограненные (I) и более мелкие удлиненные призматической формы (II). Кристаллы доставали из раствора и заливали вазелиновым маслом.

Микроанализы на содержание С, Н, N, S выполнены на анализаторе Euro EA 3000.

Рентгенофазовый анализ (РФА) поликристаллов проводили на дифрактометре Shimadzu XRD-7000 ($CuK\alpha$ -излучение, Ni-фильтр, диапазон 5 — $60^\circ 2\theta$, шаг $0,03^\circ 2\theta$, накопление 1 с в точке). Образцы для исследования готовили следующим образом: поликристаллы истирали в агатовой ступке в присутствии гептана; полученную суспензию наносили на полированную сторону стандартной кварцевой кюветы; после высыхания гептана образец представлял собой тонкий ровный слой (толщина ~ 100 мкм). Индексирование дифрактограмм и количественный фазовый анализ проводили с использованием монокристалльных данных.

Экспериментальные массивы рентгеновских отражений получены на автодифрактометре X8 APEX по стандартной методике при температуре 150 К. Структуры соединений I и II расшифрованы прямым методом и уточнены полноматричным МНК в анизотропном для неводородных атомов приближении по комплексу программ SHELXL-97 [14]. При уточнении структуры соединения II были обнаружены две группы пиков молекул CH_2Cl_2 с занятостью позиций, равной 0,25. В результате уточнения эти пики были идентифицированы как атомы одной молекулы CH_2Cl_2 , приходящейся на две молекулы комплекса. Позиции атомов Н при атомах С локализованы геометрически и включены в уточнение в двух структурах в модели "наездника".

Основные кристаллографические характеристики для I и II приведены в табл. 1. Значения основных межатомных расстояний и валентных углов приведены в табл. 2 и 3. Полные таблицы координат атомов, длин связей и валентных углов депонированы в Кембриджской базе структурных данных (CCDC № 996449 (II), 996450(I) deposit@ccdc.cam.ac.uk, <http://www.ccdc.cam.ac.uk>) или могут быть получены у авторов.

Т а б л и ц а 1

Кристаллографические характеристики, детали эксперимента и уточнения структур соединений I и II

	I	II
Соединение		
Эмпирическая формула	$C_{23}H_{38}Cl_4N_2O_2Pd_2S_2$	$C_{23.5}H_{39}Cl_5N_2O_2Pd_2S_2$
M	793,27	835,74
Сингония	Моноклинная	Моноклинная
Пространственная группа	$P2_1$	$P2_1$
$a, b, c, \text{Å}; \beta$, град.	8,6209(1), 15,5811(3), 11,8506(2); 107,21(1)	7,4459(1), 15,4059(2), 14,6681(2); 90,006(1)
$V, \text{Å}^3$	1520,54(4)	1682,59(4)
$Z; \rho$ (выч.), г/см ³	2; 1,733	2; 1,650
μ , мм ⁻¹	1,695	1,613
Размеры кристалла, мм	0,24×0,22×0,03	0,2×0,08×0,04
Область сканирования, θ , град.	2,22—27,51	2,64—27,51
Число измер. / независ. отражений (R_{int})	14047 / 6925 (0,0346)	15319 / 7383 (0,0316)
Число отражений с $I > 2\sigma(I)$	5928	6838
Число уточняемых параметров	327	374
GOOF по F^2	1,002	1,038
R -фактор ($I > 2\sigma(I)$)	$R_1 = 0,0312, wR_2 = 0,0576$	$R_1 = 0,0325, wR_2 = 0,0966$
R -фактор (по всем I_{hkl})	$R_1 = 0,0434, wR_2 = 0,0640$	$R_1 = 0,0363, wR_2 = 0,0988$
Параметр абсолютной структуры	0,01(2)	0,03(3)
Остаточная электронная плотность (max / min), е/Å ³	0,438 / -0,313	0,703 / -0,455

Т а б л и ц а 2

Основные межатомные расстояния d (Å) и валентные углы ω (град.) в структуре комплекса I

Связь	d	Связь	d	Связь	d
Pd(1)—N(1)	2,022(4)	Pd(2)—N(2)	2,004(3)	N(1)—C(41)	1,279(6)
Pd(1)—S(1)	2,259(1)	Pd(2)—S(2)	2,271(1)	N(1)—O(1)	1,362(4)
Pd(1)—Cl(1)	2,279(1)	Pd(2)—Cl(4)	2,280(1)	C(1)—C(2)	1,516(5)
Pd(1)—Cl(2)	2,319(1)	Pd(2)—Cl(3)	2,316(1)	N(2)—C(42)	1,275(6)
S(1)—C(1)	1,820(3)	S(2)—C(3)	1,830(3)	N(2)—O(2)	1,380(4)
S(1)—C(31)	1,856(4)	S(2)—C(32)	1,853(4)	C(2)—C(3)	1,530(5)
Угол	ω	Угол	ω	Угол	ω
N(1)—Pd(1)—S(1)	83,8(1)	N(2)—Pd(2)—S(2)	82,7(1)	C(41)—N(1)—O(1)	116,5(4)
N(1)—Pd(1)—Cl(1)	175,6(1)	N(2)—Pd(2)—Cl(4)	176,0(1)	C(41)—N(1)—Pd(1)	123,1(3)
S(1)—Pd(1)—Cl(1)	92,08(4)	S(2)—Pd(2)—Cl(4)	93,84(4)	O(1)—N(1)—Pd(1)	120,2(3)
N(1)—Pd(1)—Cl(2)	90,7(1)	N(2)—Pd(2)—Cl(3)	90,5(1)	C(2)—C(1)—S(1)	111,2(3)
S(1)—Pd(1)—Cl(2)	174,04(5)	S(2)—Pd(2)—Cl(3)	172,69(5)	C(1)—C(2)—C(3)	115,8(3)
Cl(1)—Pd(1)—Cl(2)	93,49(6)	Cl(4)—Pd(2)—Cl(3)	93,04(6)	C(42)—N(2)—O(2)	116,4(4)
C(1)—S(1)—C(31)	103,7(2)	C(3)—S(2)—C(32)	102,2(2)	C(42)—N(2)—Pd(2)	123,3(3)
C(1)—S(1)—Pd(1)	107,7(1)	C(3)—S(2)—Pd(2)	105,4(1)	O(2)—N(2)—Pd(2)	120,1(3)
C(31)—S(1)—Pd(1)	97,7(1)	C(32)—S(2)—Pd(2)	95,9(1)	C(2)—C(3)—S(2)	110,5(3)

Примечание. Длины связей C—C находятся в интервале 1,491(6)—1,550(5) Å.

Т а б л и ц а 3

Основные межатомные расстояния d (Å) и валентные углы ω (град.) в структуре комплекса II

Связь	d	Связь	d	Связь	d
Pd(1)—N(1)	2,035(4)	Pd(2)—N(2)	2,025(4)	C(1)—C(2)	1,527(7)
Pd(1)—S(1)	2,252(1)	Pd(2)—S(2)	2,250(1)	C(31)—C(101)	1,539(7)
Pd(1)—Cl(2)	2,287(2)	Pd(2)—Cl(4)	2,273(1)	Cl(1S)—C(1S)	1,605(9)
Pd(1)—Cl(1)	2,305(2)	Pd(2)—Cl(3)	2,326(1)	Cl(4S)—C(2S)	1,614(9)
S(1)—C(1)	1,820(4)	S(2)—C(3)	1,812(5)	C(2)—C(3)	1,538(6)
S(1)—C(31)	1,864(4)	S(2)—C(32)	1,861(5)	C(32)—C(102)	1,549(6)
N(1)—C(41)	1,265(6)	N(2)—C(42)	1,269(6)	C(1S)—Cl(2S)	1,617(9)
N(1)—O(1)	1,399(4)	N(2)—O(2)	1,372(5)	Cl(3S)—C(2S)	1,598(9)
Угол	ω	Угол	ω	Угол	ω
N(1)—Pd(1)—S(1)	82,4(1)	N(2)—Pd(2)—S(2)	84,1(1)	C(31)—S(1)—Pd(1)	96,2(2)
N(1)—Pd(1)—Cl(2)	173,4(1)	N(2)—Pd(2)—Cl(4)	174,0(1)	C(2)—C(1)—S(1)	108,0(3)
S(1)—Pd(1)—Cl(2)	91,02(6)	S(2)—Pd(2)—Cl(4)	91,05(5)	C(1)—C(2)—C(3)	113,9(3)
N(1)—Pd(1)—Cl(1)	92,3(1)	N(2)—Pd(2)—Cl(3)	90,8(1)	Cl(1S)—C(1S)—Cl(2S)	128(1)
S(1)—Pd(1)—Cl(1)	174,00(6)	S(2)—Pd(2)—Cl(3)	173,32(4)	C(32)—S(2)—Pd(2)	97,1(1)
Cl(2)—Pd(1)—Cl(1)	94,37(7)	Cl(4)—Pd(2)—Cl(3)	94,33(5)	C(2)—C(3)—S(2)	110,5(3)
C(1)—S(1)—C(31)	105,2(2)	C(3)—S(2)—C(32)	106,3(2)	Cl(3S)—C(2S)—Cl(4S)	133(1)
C(1)—S(1)—Pd(1)	100,7(2)	C(3)—S(2)—Pd(2)	108,9(2)		

Пр и м е ч а н и е. Длины связей C—C находятся в интервале 1,461(8)—1,579(7) Å.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При взаимодействии PdCl_2 с H_2L^1 в среде *i*-PrOH образуется комплекс I с мольным соотношением $\text{PdCl}_2:\text{H}_2\text{L}^1 = 2:1$. Следовательно, при увеличении длины углеводородного мостика в лиганде состав нового комплекса Pd(II) не изменился по сравнению с $\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L})\text{Cl}_4$ [11]. Для получения монокристаллов был проведен синтез, аналогичный синтезу комплекса I, но в среде EtOH— CH_2Cl_2 . В результате выделен продукт, который, по данным РФА, содержит две фазы: комплекс I и сольват II в соотношении 0,6:0,4 соответственно. При растворении этого продукта в смеси *i*-PrOH— CH_2Cl_2 и дальнейшей кристаллизации были выращены монокристаллы соединений I и II. Методом РФА доказана идентичность монокристаллов I и полученной при синтезе поликристаллической фазы этого соединения.

По данным РСА, кристаллическая структура соединения I состоит из изолированных ацентричных молекул двухъядерного комплекса $[\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L}^1)\text{Cl}_4]$. Структура соединения II построена из молекул двухъядерного комплекса I и некоординированных молекул CH_2Cl_2 , причем на две молекулы комплекса I приходится одна молекула CH_2Cl_2 . Следует отметить, что в ранее изученной структуре сольвата $[\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L})\text{Cl}_4] \cdot 3\text{CDCl}_3$ (III) на одну молекулу комплекса приходится три молекулы CDCl_3 [11].

Структура молекулы комплекса I показана на рис. 1. Комплекс в соединении II имеет аналогичную структуру с незначительно отличающимися межатомными расстояниями (см. табл. 2). В молекуле $[\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L}^1)\text{Cl}_4]$ каждый атом Pd координирует по одному атому S и N тетрадентатного хелатно-мостикового лиганда H_2L^1 , а также два атома Cl в *цис*-положении. В результате координации H_2L^1 замыкаются два пятичленных хелатных цикла PdC_2NS . Координационные узлы PdCl_2NS представляют собой искаженные квадраты (трапеции) с интервалом расстояний: N...S 2,834—2,863, 2,827—2,867 Å, Cl...Cl 3,337—3,346, 3,368—3,373 Å, S...Cl 3,267—3,325, 3,228—3,238 Å в I и II соответственно. Средние отклонения атомов

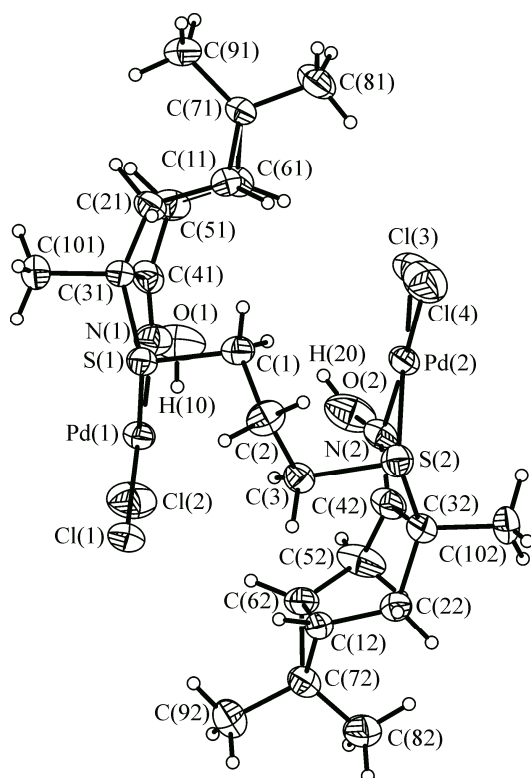


Рис. 1. Строение двухъядерной молекулы $\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L}^1)\text{Cl}_4$ в кристаллической структуре соединения **I** с обозначениями неводородных атомов

от среднеквадратичных плоскостей узлов PdNSCl_2 равны 0,031(1) и 0,038(1) Å для **I**; 0,026(1) и 0,063(1) Å для **II**. В структурах **I** и **II** фрагменты PdCl_2 находятся в *трансoidalном* положении.

Длины связей $\text{Pd}-\text{N}$, $\text{Pd}-\text{Cl}$, $\text{Pd}-\text{S}$ и величины валентных углов в **I** и **II** близки к найденным в структуре **III** [11]. Пятичленные хелатные циклы PdC_2NS имеют конформацию *конверта*: атомы C(31), C(32) отклоняются от плоскостей из четырех других атомов на 0,496(5) и 0,601(5) Å в **I** и на 0,646(5) и 0,504(5) Å в **II**. Оба шестичленных карбоцикла в **I** и **II** имеют конформацию искаженной *ванны*. В **I** атомы C(21) и C(51), C(22) и C(52) отклоняются от плоскости из четырех атомов карбоцикла на 0,478(6), 0,698(7) Å и 0,461(7), 0,663(7) Å. В **II** те же атомы C отклоняются на 0,470(8), 0,661(8) Å и 0,462(8), 0,643(7) Å. Диметилциклопропановые фрагменты примыкают к шестичленным карбоциклам общими ребрами C(11)—C(61) и C(12)—C(62), углы при этом составляют 140,8 и 139,5° в **I**, 139,5 и 138,2° в **II**. В структурах **I** и **II** имеются сравнительно короткие расстояния между атомами O оксимных групп и атомами Cl ($\text{O}-\text{H}\cdots\text{Cl}$ 3,013 и 3,035 Å в **I** и 3,079, 3,025 Å в **II**) при сумме ван-дер-ваальсовых радиусов Cl и O, равной 3,30 Å [15]. Однако угол при атоме H ($\text{O}(2)\text{H}(20)\text{Cl}(3)$), равный 105° в **I**, а также большие величины отклонений атомов от среднеквадратичных плоскостей в **II**, равные 0,116 Å, не позволяют сделать вывод о наличии внутримолекулярных контактов $\text{O}-\text{H}\cdots\text{Cl}$. В структурах **I** и **II** в мостиках $(\text{CH}_2)_3$ угол при атоме C(2) составляет 115,6° в **I** и 113,9° в **II**.

Взаимное расположение молекул $[\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L}^1)\text{Cl}_4]$ в кристаллах **I** и **II** представлено на рис. 2 и 3 в проекции на плоскость (100). Кратчайший контакт $\text{C}\cdots\text{Cl}$ между соседними молекулами в **I** равен 3,885 Å при сумме ван-дер-ваальсовых радиусов Cl и C 3,5 Å [15]. В процессе роста кристаллов соединения **II** при упаковке молекул комплекса **I** образуются полости, в которых размещаются разупорядоченные молекулы CH_2Cl_2 в общих позициях. В структуре **II** ближайший контакт атомов Cl молекул CH_2Cl_2 с атомами C метильных групп комплекса составляет

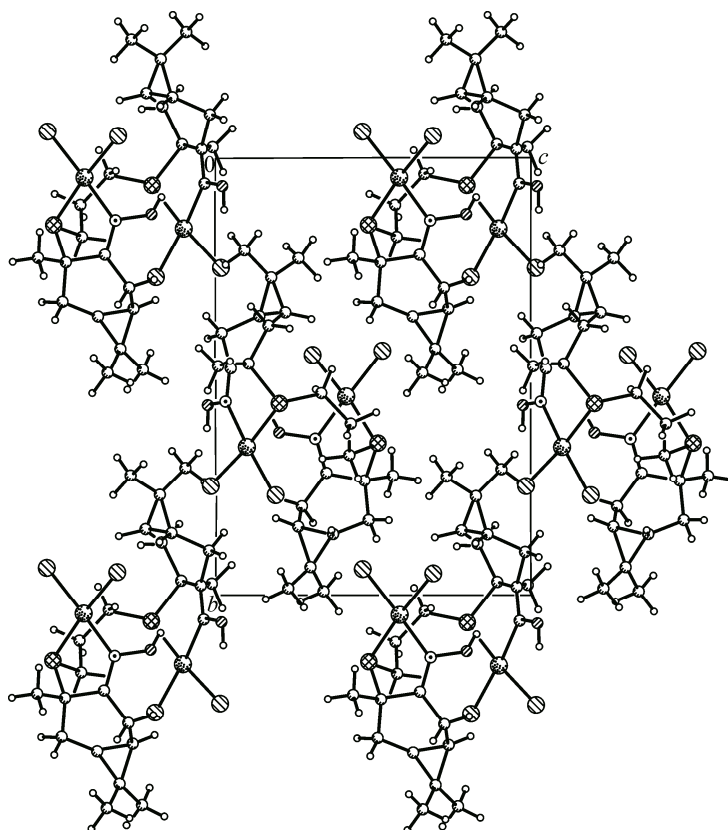


Рис. 2. Проекция кристаллической структуры $\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L}^1)\text{Cl}_4$ соединения **I** на плоскость (100)

3,634 Å. Следовательно, соединение **II** можно считать сольватом. Сопоставление взаимного пространственного расположения двухъядерных молекул комплекса в структурах **I** и **II** показало, что между молекулами нет прочных Н-связей.

Строение хелатных циклов PdC_2NS и шестичленных карбоциклов в **I** и сольвате **II** практически одинаковое. В то же время имеются значительные различия в расположении двух металлодержащих фрагментов в соединениях **I** и **II**. Так, если в молекуле комплекса **I** расстояние $\text{Pd}\dots\text{Pd}$ равно 5,068 Å, то в сольвате **II** это расстояние заметно больше (5,236 Å). В **I** угол между двумя плоскостями Cl_2NS координационных узлов составляет всего 7,7(1)°, т.е. плоскости практически параллельны. В сольвате **II** аналогичный угол равен 22,0(1)°. По-видимому, эти отличия связаны с присутствием молекул CH_2Cl_2 в структуре **II** и приводят к увеличению объема элементарной ячейки соединения **II** на 162 Å³ (см. табл. 1) по сравнению с **I**.

В сольвате **III** угол между плоскостями координационных узлов комплекса $[\text{Pd}(\text{H}_2\text{L})\text{Cl}_4]$, равный 107°, значительно больше, чем в **I** и **II**. Это свидетельствует о вращении двух металлодержащих фрагментов в молекуле комплекса вокруг связи С—С в мостике $(\text{CH}_2)_2$ [11], что можно связать со стерическим отталкиванием этих фрагментов. В связи с этим в **III** расстояние $\text{Pd}\dots\text{Pd}$ также значительно больше (6,259 Å), чем в **I** и **II**, имеющих мостик $(\text{CH}_2)_3$ [11]. Таким образом, увеличение в H_2L^1 длины углеводородного мостика, соединяющего два атома S в дисульфанилдиоксимах, по сравнению с H_2L , а также наличие молекул растворителя в кристаллических структурах **II** и **III**, существенно сказалось на строении двухъядерных молекул комплексов. Следует отметить, что **I** и **II** имеют моноклинную симметрию, тогда как **III** — ромбическую [11].

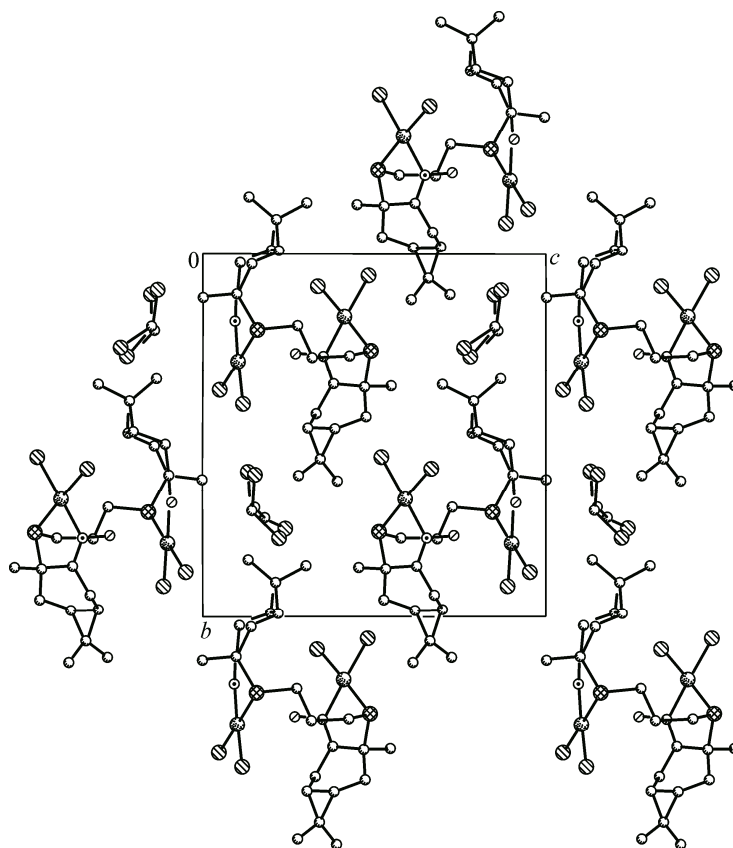


Рис. 3. Проекция кристаллической структуры $\text{Pd}_2(\text{H}_2\text{L})\text{Cl}_4 \cdot 0,5\text{CH}_2\text{Cl}_2$ соединения II на плоскость (100)

Авторы выражают благодарность О.С. Кошечевой и А.П. Зубаревой за проведение С, Н, N, S анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Von Zelewsky A., Mamula O. // J. Chem. Soc., Dalton Trans. – 2000. – N 3. – P. 219.
2. Mamula O., von Zelewsky A. // Coord. Chem. Rev. – 2003. – **242**. – P. 87.
3. Ткачев А.В. // Рос. хим. журн. – 1998. – **42**, № 1-2. – С. 42.
4. Ларионов С.В., Ткачев А.В. // Рос. хим. журн. – 2004. – **48**, № 4. – С. 154.
5. Ларионов С.В. // Координац. химия. – 2012. – **38**, № 1. – С. 3.
6. Пешкова В.М., Савостина В.М., Иванова Е.К. Оксимы. – М.: Наука, 1977.
7. Lumme P., Elo H. // Inorg. Chim. Acta. – 1984. – **92**. – P. 241.
8. Jurisson S., Schlemper E.O., Troutner D.E. et al. // Inorg. Chem. – 1986. – **25**, N 4. – P. 543.
9. Chaudhuri P. // Coord. Chem. Rev. – 2003. – **243**. – P. 143.
10. Кокина Т.Е., Шелудякова Л.А., Ткачев А.В. и др. // Журн. общей химии. – 2011. – **81**, № 8. – С. 1306.
11. Кокина Т.Е., Мячина Л.И., Глинская Л.А. и др. // Координац. химия. – 2008. – **34**, № 2. – С. 120.
12. Ларионов С.В., Кокина Т.Е., Агафонцев А.М. и др. // Координац. химия. – 2007. – **33**, № 7. – С. 525.
13. Горшков Н.Б., Агафонцев А.М., Ткачев А.В. // Изв. АН. Сер. хим. – 2010. – № 7. – С. 1434.
14. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. A. – 2008. – **64**, N 1. – P. 112.
15. Савельева З.А., Клевова Р.Ф., Глинская Л.А. и др. // Координац. химия. – 2009. – **35**, № 2. – С. 130.
16. Бацанов С.С. // Журн. неорганической химии. – 1991. – **36**, № 12. – С. 3015.