

СТРУКТУРА ОРГАНИЧЕСКИХ
СОЕДИНЕНИЙ

УДК 548.736:546.94

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ОСТРОВНОГО
ЧЕТЫРЕХЪЯДЕРНОГО КОМПЛЕКСА ДИОКСОМОЛИБДЕНА (VI)
[MoO₂(L¹)]₄ (H₂L¹ = ИЗОНИКОТИНОИЛГИДРАЗОН АЦЕТИЛАЦЕТОНА)
С БОЛЬШИМИ ВНУТРИ- И МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫМИ КАНАЛАМИ© 2023 г. В. С. Сергиенко^{1,*}, В. Л. Абраменко², А. В. Чураков¹¹Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия²Луганский государственный университет им. Владимира Даля, Луганск, Россия

* E-mail: sergienko@igic.ras.ru

Поступила в редакцию 28.06.2022 г.

После доработки 06.09.2022 г.

Принята к публикации 08.09.2022 г.

Проведены синтез и исследование строения методом рентгеноструктурного анализа сольватокм-
плекса [MoO₂(L¹)]₄ диметилформамид (I). Основа структуры – лежащая на кристаллографической
оси 2 четырехъядерная комплексная молекула [MoO₂(L¹)]₄ (Ia). Каждый из двух независимых ато-
мов молибдена имеет искаженную октаэдрическую координацию с двумя лигандами *цис*-O(оксо),
двумя атомами N(L¹) двух молекул Ia в *транс*-позициях к O(оксо) и двумя атомами O(L¹) одной
комплексной молекулы в *цис*-положениях к O(оксо) и в *транс*-позициях друг к другу. Каждый ли-
ганд (L¹)²⁻ координирует два атома Mo тетрадентатным тридентатно-хелатным (2O, N) мостико-
вым (N) способом. Средние длины связей в Ia: Mo–O(оксо) 1.701, Mo–N(L¹) 2.460 (м) и 2.214 (х),
Mo–O(L¹) 1.980 Å, валентный угол O(оксо)–Mo–(оксо) 105.6°. Упорядоченная молекула диме-
тилформамида помещается в узком канале структуры. Сильно неупорядоченные (не локализован-
ные) молекулы растворителей (метанол/диметилформамид/вода) заполняют широкие каналы
структуры I.

DOI: 10.31857/S0023476123020157, EDN: BSNZIJ

ВВЕДЕНИЕ

Ацилгидразоны альдегидов и кетонов пред-
ставляют интерес в координационной химии как
амбидентные лигандные системы, существую-
щие в растворах органических растворителей и в
кристаллическом состоянии в виде прототроп-
ных таутомеров [1–3], что позволяет получать на
их основе с кислотами Льюиса комплексы раз-
личного типа и строения [4–12].

Ранее были получены моноядерные комплек-
сы диоксомолибдена (VI) с рядом ацилгидразо-
нов β-дикарбонильных соединений общего со-
става [MoO₂(L)]₄Solv. Их строение определено ме-
тодами рентгеноструктурного анализа (РСА) и
ИК-спектроскопии [13, 14]. Показано, что обра-
зование комплексов сопровождается депротони-
рованием лигандов с замыканием пяти- и шести-
членных металлоциклов. Молекулы комплексов
в кристаллах объединены межмолекулярными
водородными связями и образуют зигзагообраз-
ные цепочки.

Продолжая синтез и исследование строения
комплексных соединений диоксомолибдена (VI)

с ацилгидразонами β-дикарбонильных соедине-
ний (H₂Lⁿ), получили в среде метанол–диметил-
формамид (ДМФА) (5:1) сольватированный ком-
плекс, имеющий по данным РСА состав
[MoO₂(L¹)]₄ ДМФА (I) (H₂L = изоникотиноил-
гидразон ацетилацетона) (схема 1). Не локализо-
ванные в процессе РСА сильно неупорядоченные
молекулы растворителей (Solv) (ДМФА, метанола
и, возможно, воды), вероятно, входят в структуру
в неучтенном количестве. Выдерживание ком-
плекса при 150°C в вакууме в течение 2 ч приво-
дит к его полной десольватации.

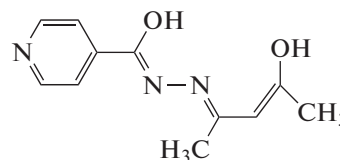
Схема 1. Строение изоникотиноилгидразона ацетил-
ацетона.

Таблица 1. Кристаллографические характеристики, данные эксперимента и результаты уточнения структуры кристалла **I**

Брутто-формула	$C_{50}H_{58}Mo_4N_{14}O_{18}$
<i>M</i>	1526.86
<i>T</i> , К	150
Размер кристалла, мм	0.20 × 0.20 × 0.10
Сингония, пр. гр., <i>Z</i>	Моноклинная, <i>C2/c</i> , 4
<i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> , Å	38.710(2), 8.3739(3), 25.638(1)
β , град	125.169(1)
<i>V</i> , Å ³	6793.6(5)
$\rho_{\text{выч}}$, г/см ³	1.493
μ , мм ⁻¹	0.793
Дифрактометр	Bruker D8 Venture
Тип излучения; λ , Å	MoK α ; 0.7107
Тип сканирования	ω
<i>F</i> (000)	3072
$\theta_{\text{min}}-\theta_{\text{max}}$, град	2.15–29.99
Пределы <i>h</i> , <i>k</i> , <i>l</i>	–54 ≤ <i>h</i> ≤ 54, –11 ≤ <i>k</i> ≤ 11, –36 ≤ <i>l</i> ≤ 36
Общее число отражений/ <i>R</i> _{int} /число независимых отражений (<i>I</i> > 2σ(<i>I</i>))	36092/0.0294/9886
Количество переменных	394
<i>R</i> ₁ / <i>wR</i> ₁	0.0431/0.0957
<i>S</i>	1.154
$\Delta\rho_{\text{min}}/\Delta\rho_{\text{max}}$, э/Å ³	–0.814/1.096

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез H₂L¹ осуществляли конденсацией ацетилацетона и гидразида изоникотиновой кислоты в спирте [13].

Соединение I синтезировали методом лигандного обмена между ацетилацетонатом молибдена и H₂L¹ в спиртовой среде. К кипящему раствору 0.326 г (0.001 моль) MoO₂(Acac)₂ в 10 мл MeOH добавляли при перемешивании горячий раствор 0.219 г (0.001 моль) H₂L¹ в том же растворителе и 2 мл диметилформамида. Смесь кипятили с частичным упариванием в течение 10 мин и оставляли при комнатной температуре для кристаллизации. Из образовавшегося темно-красного раствора выпадали хорошо сформированные кристаллы **I**, которые отделяли на фильтре и сушили в токе аргона. При нагревании в вакууме при 150°C комплекс **I** десольватируется (с образованием несольватированной комплексной молекулы **Ia**) и плавится с разложением выше 300°C. Найдено: Mo 25.23, N 11.09, C 34.55, H 2.97 мас. %.

Для десольватированного **I** C₄₄H₄₄Mo₄N₁₂O₁₆ вычислено: Mo 25.13, N 11.01, C 34.61, H 2.90 мас. %.

Элементный анализ проводили с помощью C,H,N-анализатора Carlo-Erba 1106. Содержание молибдена в комплексе определяли прокаливанием навески до массовой формы MoO₃ [13].

РСА соединения **I** выполнен на монокристалльном автоматическом дифрактометре Bruker D8 Venture при температуре 150 К (MoK α -излучение, графитовый монохроматор). Поправка на поглощение введена на основании измерений интенсивностей эквивалентных отражений [15]. Структура расшифрована прямым методом. Все атомы, кроме атомов водорода, уточнены полноматричным анизотропным МНК по *F*² (SHELXTL [16]), в том числе одна упорядоченная молекула диметилформамида в узком канале (рис. 3). Все атомы водорода помещены в рассчитанные позиции и уточнены с использованием схемы “наездника”. В структуре имеются также широкие внутримолекулярные каналы, заполненные сильно неупорядоченными молекулами растворителей (ДМФА/метанол/вода), которые были удалены из окончательной модели уточнения с помощью процедуры SQUEEZE [17]. Установлено, что в ячейке кристалла (*V* = 1149.2 Å³) имеется свободное пространство (16.9% объема кристалла), разбитое на четыре области по 287 Å³ вокруг осей 2. Кристаллографические характеристики, данные эксперимента и результаты уточнения приведены в табл. 1. Структурные характеристики **I** депонированы в Кембриджский банк структурных данных (CCDC № 2181231).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным РСА основа структуры **I** – расположенная на кристаллографической поворотной двойной оси четырехъядерная комплексная молекула [MoO₂(L¹)]₄ (**Ia**) (рис. 1). Независимая часть комплексной молекулы – [MoO₂(L¹)]₂ – показана на рис. 2. Каждый из двух независимых атомов молибдена имеет искаженную октаэдрическую координацию с двумя лигандами *цис*-O(оксо), двумя атомами N(L¹) двух молекул **Ia** в *транс*-позициях к O(оксо) и двумя атомами O(L¹) одной комплексной молекулы в *цис*-положениях к O(оксо) и в *транс*-позициях друг к другу. Каждый лиганд (L¹)²⁻ координирует два атома Mo тетрадентатным тридентатно-хелатным {O(енол)₂,N(азометин)} мостиковым [N(изоникотинил)] способом. При координации лиганда L¹ с каждым из двух атомов молибдена замыкаются два сочлененных связью M–N металлоцикла: шестичленный MoOC₃N и пятичленный MoN₂CO. Средние длины связей в **Ia**: Mo–O(оксо) 1.701, Mo–N(L¹) 2.338, Mo–O(L¹) 1.980 Å, валентный

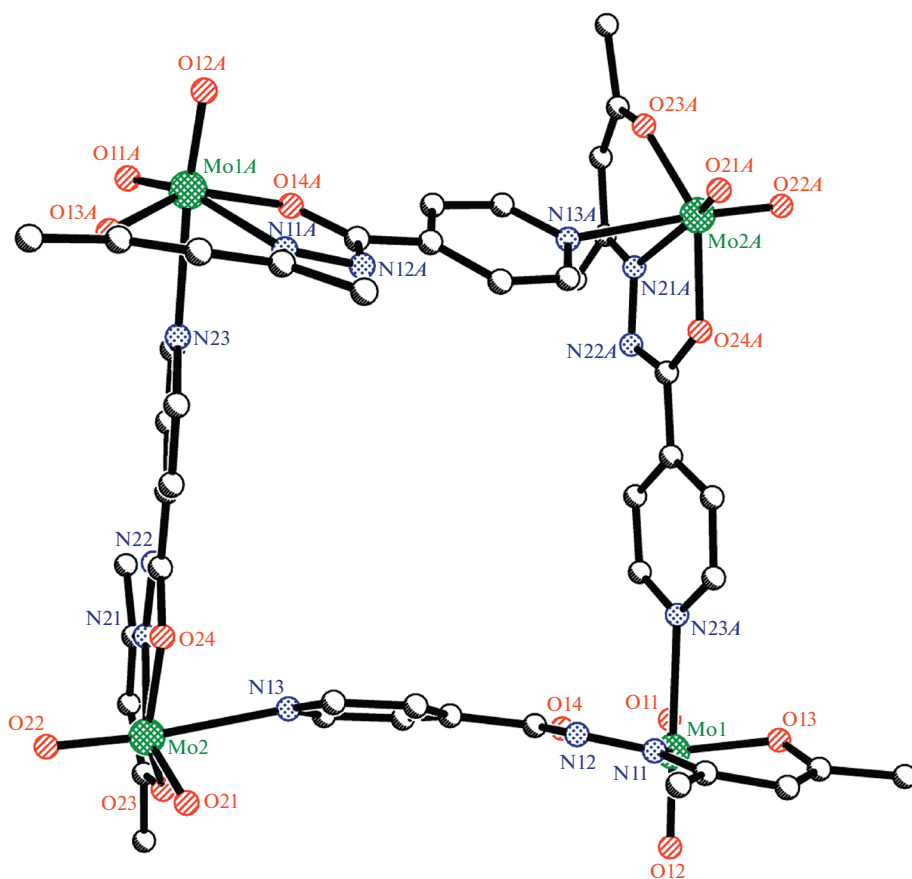


Рис. 1. Строение четырехъядерной молекулы комплекса $[\text{MoO}_2(L^1)]_4$ (**Ia**). Атомы водорода не показаны.

угол $\text{O(оксо)}-\text{Mo}-\text{O(оксо)}$ 105.6° . Сильно неупорядоченные (не локализованные в ходе РСА) молекулы растворителей (метанол/ДМФА/вода) заполняют широкие каналы в структуре **I**. Локализованная упорядоченная молекула ДМФА занимает узкий канал (рис. 3). Отметим неравноценность длин двух пар связей $\text{Mo}-\text{N}(L^1)$: мостиковые (м) $\text{Mo}(1)-\text{N}(23A)$ 2.450(2) и $\text{Mo}(2)-\text{N}(13)$ 2.469(2) Å в среднем на 0.246 Å длиннее хелатных (х) $\text{Mo}(1)-\text{N}(11)$ 2.209(2) и $\text{Mo}(2)-\text{N}(21)$ 2.219(2) Å. Более длинные связи $\text{Mo}-\text{N}$ находятся в *транс*-положениях по отношению к более коротким связям $\text{Mo}=\text{O(оксо)}$ 1.690(2) и 1.696(2) Å, а более короткие $\text{Mo}-\text{N}$ – в *транс*-позициях по отношению к более длинным $\text{Mo}=\text{O(оксо)}$ 1.708(2) и 1.709(2) Å. Также различаются длиной, хотя и в существенно меньшей степени, чем две пары связей $\text{Mo}-\text{N}(м)$, $\text{Mo}-\text{N}(х)$, две связи $\text{Mo}-\text{O}(L^1)$ в обоих полиэдрах MoO_4N_2 в зависимости от заместителей при атомах O(енол) : $\text{Mo}-\text{O}(а)(\text{C}(\text{Me}))$ ($\text{Mo}(1)-\text{O}(13)$ 1.950(2) и $\text{Mo}(2)-\text{O}(23)$ 1.941(2) Å) в среднем на 0.068 Å короче, чем $\text{Mo}-\text{O}(б)(\text{C}(\text{Py}))$ ($\text{Mo}(1)-\text{O}(14)$ 2.013(2) и $\text{Mo}(2)-\text{O}(24)$ 2.015(2) Å).

Аналогичным с молекулой **Ia** способом построены тетраядерные комплексные молекулы в структу-

ре $[\text{MoO}_2(L^2)]_4 \cdot 0.5\text{MeCN}$ (**II**) [18], $[\text{MoO}_2(L^2)]_4 \cdot 5\text{CH}_2\text{Cl}_2$ (**III**) [19], $[\text{MoO}_2(L^2)]_4$ (**IV**) [20] (комплексы **II**, **III** – в центрах инверсии, **IV** – на четверной оси); $\text{H}_2L^2 = 2$ -оксидометоксибензальдегидизоникотингидразон, $\text{C}_{14}\text{H}_{13}\text{N}_3\text{O}_3$. Лиганд $(L^2)^{2-}$ в молекулах $[\text{MoO}_2(L^2)]_4$ структур **II–IV** выполняет такую же, как в комплексе **Ia**, тетраденатную триденатно-хелатную (2O, N) мостиковую (N) функцию. В структурах **II–IV**, так же как и в **Ia**, неравноценны две пары связей $\text{Mo}-\text{N}$: мостиковые существенно длиннее хелатных. Две связи $\text{Mo}-\text{O}(L^1)$ в каждом из двух полиэдров MoO_4N_2 тоже различаются длиной, хотя и в значительно меньшей степени. Геометрические параметры комплексов **I–IV** приведены в табл. 2. Интервал средних расстояний в структуре **I–IV**: $\text{Mo}=\text{O(оксо)}$ 1.686–1.703, $\text{Mo}-\text{N}(L^n)$ 2.431–2.2.528 (м) и 2.214–2.238 (х), $\text{Mo}-\text{O}(L^n)$ 1.909–1.945 (O(а)) и 2.005–2.014 Å (O(б)).

Известна также кристаллическая структура семи соединений (**V–XI**), содержащих четырехъядерные комплексные анионы $[\text{MoO}_2(L^n)]_4^-$ ($n = 3, 4$) иного строения, чем комплексы $[\text{MoO}_2(L^n)]_4$ ($n = 1, 2$) (**I–IV**). В двух соединениях

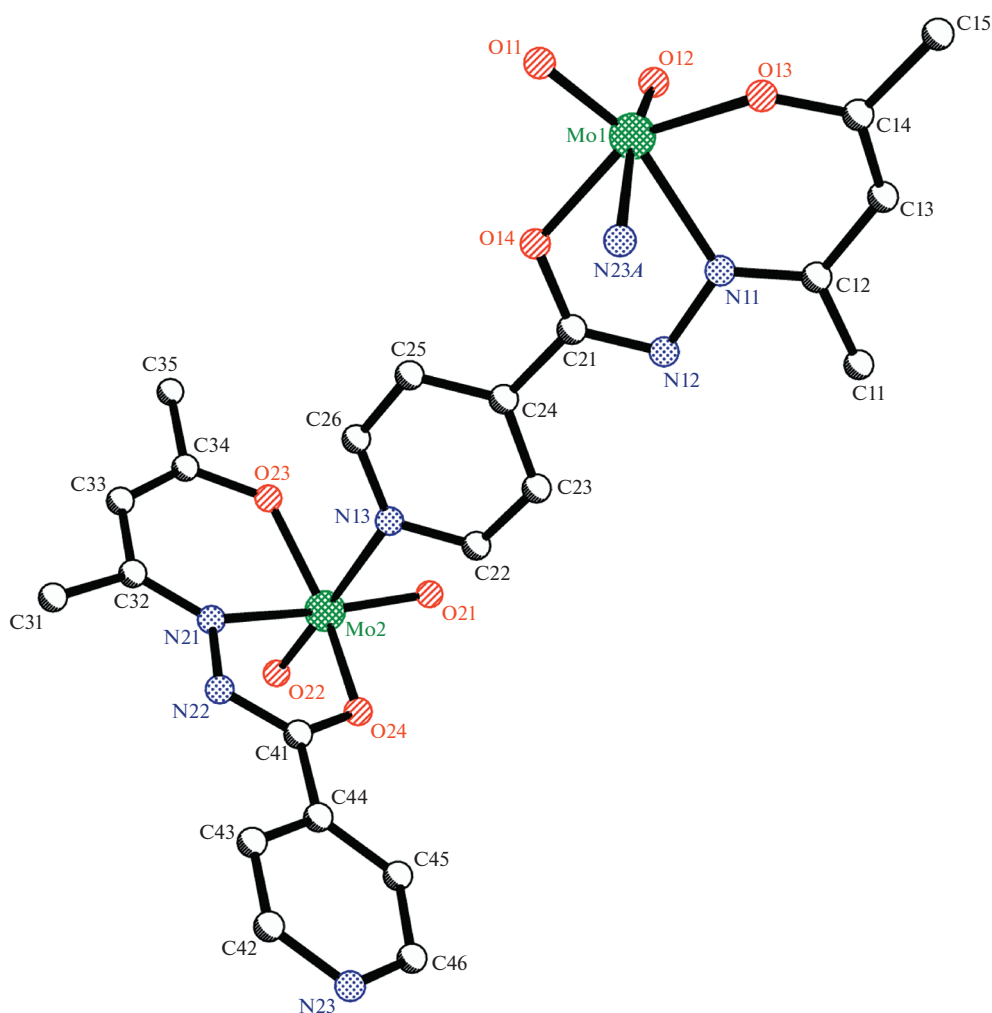


Рис. 2. Независимая часть комплексной молекулы $[\text{MoO}_2(L^1)]_2$ (Ia). Атомы водорода не показаны.

$(\text{XPh}_4)^+[\text{MoO}_2(L^3)]_4 \cdot 7\text{-}m\text{H}_2\text{O} \cdot m\text{C}_3\text{OH}$ ($X = \text{P}$, $m = 4$ (V) и $X = \text{As}$, $m = 3$ (VI) [21]), как и в пяти соединениях Кат $^+[\text{MoO}_2(L^4)]_4 \cdot m\text{CH}_3\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ [22],

лиганды L^n ($n = 3, 4$) выполняют тетраденатную (4O) бис(хелатно)-мостиковую (2O, 2O) функцию, замыкая по два пятичленных металлоцикла MoOC_2O . Цис-диоксолиганды дополняют иска-

Таблица 2. Средние геометрические параметры (Å) в тетраэдрных комплексах соединений $[\text{MoO}_2(L^n)]_4 \text{ Solv}$ ($n = 1, 2$; $\text{Solv} = \text{DMFA}, \text{CH}_3\text{OH}, \text{MeCN}, \text{CH}_2\text{Cl}_2$)

Соединение	Mo=O(оксо)	Mo–O(L^n) _{цис}	Mo–N(L^n) _{транс}	Литература
$[\text{MoO}_2(L^1)]_4 \cdot x\text{DMFA} \cdot y\text{H}_2\text{O}$ (I)	1.701	1.945 (фенол) 2.014 (енол)	2.460 (м) 2.214 (х)	Настоящая работа
$[\text{MoO}_2(L^2)]_4 \cdot 0.5\text{MeCN}$ (II)	1.696	1.932 (фенол) 2.007 (енол)	2.528 (м) 2.237 (х)	[18]
$[\text{MoO}_2(L^2)]_4 \cdot 5\text{CH}_2\text{Cl}_2$ (III)	1.703	1.990 (фенол) 2.009 (енол)	2.439 (м) 2.237 (х)	[19]
$[\text{MoO}_2(L^2)]_4$ (IV)	1.686	1.909 (фенол) 2.005 (енол)	2.431 (м) 2.238 (х)	[20]

Примечание. H_2L^1 = изоникотинолгидразон ацетилацетон, $\text{C}_{11}\text{H}_{13}\text{N}_3\text{O}_2$; H_2L^2 = оксиметокси бензальдегидизоникотинолгидразон, $\text{C}_{14}\text{H}_{13}\text{N}_3\text{O}_2$; м – мостиковый; х – хелатный.

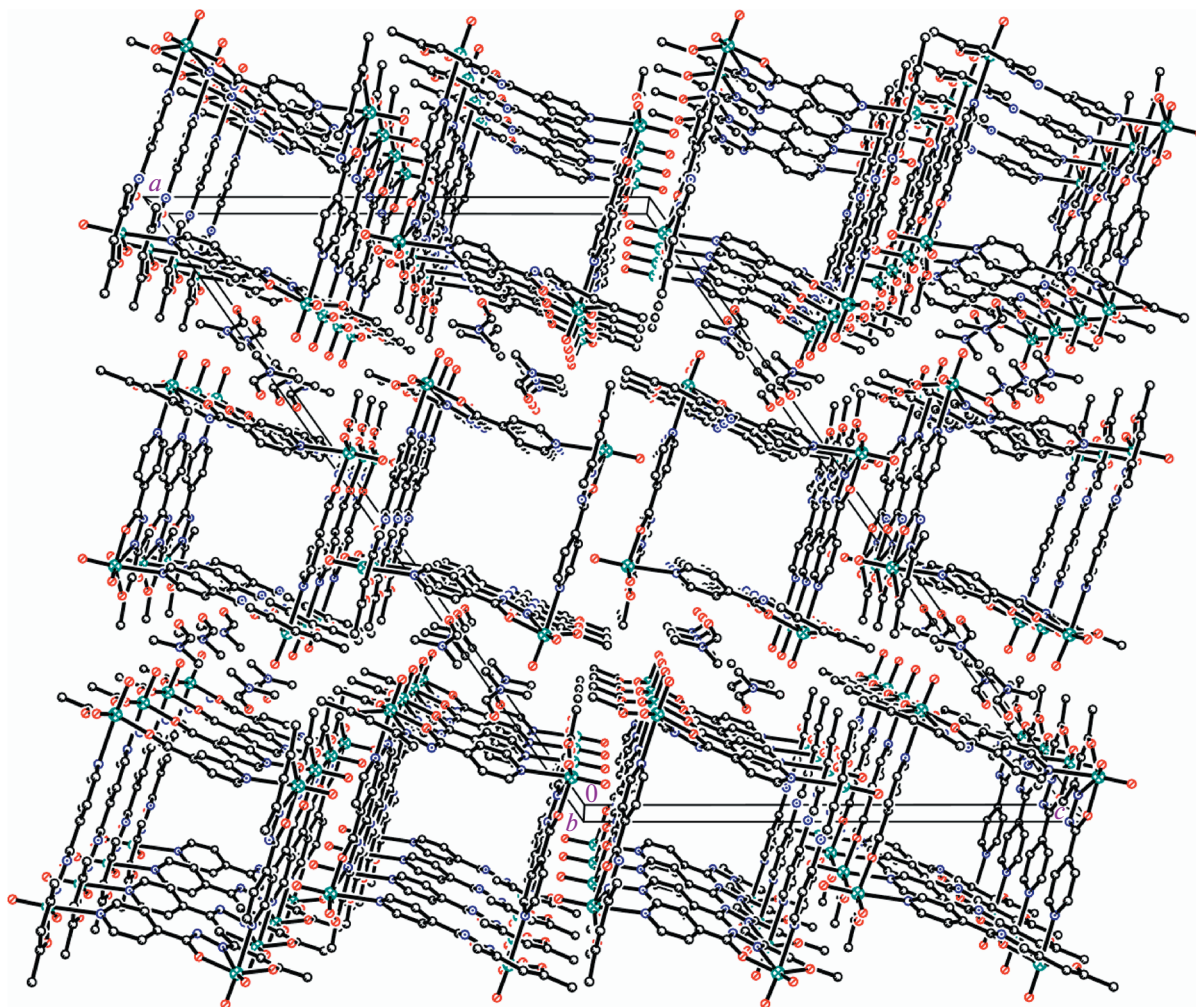


Рис. 3. Упаковка структурных единиц – четырехъядерных молекул комплексов $[\text{MoO}_2(L^1)]_4$ (**Ia**) – в кристалле **I**. Атомы водорода не показаны.

женную октаэдрическую координацию атома металла MoO_6 . Расстояния $\text{Mo}-\text{O}(L^n)$ в соединениях **V–XI** разбиваются на две группы: более короткие в *цис*-позициях к $\text{O}(\text{оксо})$ (*транс* друг к другу) и более длинные в *транс*-положениях к $\text{O}(\text{оксо})$. Средние длины связей в структурах **V–XI**: $\text{Mo}=\text{O}(\text{оксо})$ 1.703–1.722, $\text{Mo}-\text{O}(L^n)$ 1.988–2.015 Å (*цис* к $\text{O}(\text{оксо})$) и 2.000–2.206 Å (*транс* к $\text{O}(\text{оксо})$).

Дискретные комплексные анионы $[\text{MoO}_2(L^n)]_4^-$ ($n = 3, 4$) в структурах **V–XI**, как и аналогичные комплексные молекулы в **I–IV**, – примерно квадратные металлоциклы [4 + 4]. Расстояния $\text{Mo}\dots\text{Mo}$ близки к 12.8 Å соединений вольфрама (**Va**, **VIa**), сходных с составом **V**, **VI**. Лиганд $(L^3)^{3-}$ – 2,7-диоксо-3-оксо-3Н-ксантен-6-олат ($\text{C}_{13}\text{H}_5\text{O}_5$) отличается от лиганда $(L^4)^{3-}$ – 2,7-диоксо-3-оксо-9-фенил-3Н-ксантен-6-олат ($\text{C}_{19}\text{H}_9\text{O}_5$) только замещением одного атома водорода (в позиции 9) фенильной группой. Кристаллы **VII** изоструктур-

ны двум кристаллам соединений вольфрама близкого состава (**VIIa**, **VIIb**). Также изоструктурны друг другу кристаллы соединений молибдена **VIII–X** и близкие к ним по составу кристаллы трех комплексов вольфрама (**VIIIa–Xa**).

Интересно сопоставить строение и основные геометрические параметры исследованного в работе четырехъядерного соединения $[\text{MoO}_2(L^1)]_4$ и одноядерного комплекса $[\text{MoO}_2(L^1)]\text{CH}_3\text{OH}$, определенного при комнатной температуре (**XIIa** [23]) и 150 К (**XIIб**) [24]. Гидразоновое основание Шиффа – лиганд $(L^1)^{2-}$ – в структуре моноядерного комплекса выполняет тридентатно-хелатную функцию (O_2N), замыкая, как и в исследованном тетраядерном комплексе, два сочлененных связью $\text{Mo}-\text{N}$ металлоцикла – шестичленный MoOC_3N и пятичленный MoN_2CO . Аналогичные с комплексом **Ia** связи металл–лиганд L^1 в молекуле **XII** сопоставимы по длине: $\text{Mo}-\text{N}$ 2.214 (**Ia**), 2.219 (**XIIa**), 2.216 (**XIIб**); $\text{Mo}-$

O(a) 1.946, 1.959, 1.960; Mo–O(б) 2.014, 2.016, 2.009 Å. В структуре **XII**, как и в **Ia**, связи Mo–O(a) заметно короче (на 0.057, 0.049 Å в **XIIa** и **XIIб** соответственно), чем Mo–O(б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Строение одноядерного фрагмента четырехъядерной молекулы **Ia** сопоставимо по длинам связей металл–лиганд с моноядерной молекулой **XII** и отличается от последней функцией лиганда $(L^1)^{2-}$ – тетрадентатной трис(хелатно)-мостиковой (O_2N_2) в $[MoO_2(L^1)]_4$ и тридентатной трис(хелатно)-мостиковой (O_2N) в $[MoO_2(L^1)]$. Отметим также, что замена двухзарядного лиганда – основания Шиффа L^1 на L^2 – не меняет строения четырехъядерной комплексной молекулы $[MoO_2(L^n)]_4$ ($n = 1, 2$) и основных межзатомных расстояний.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИОНХ РАН в области фундаментальных научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kargar H., Kia R., Froozandeh F. et al. // Acta Cryst. E. 2011. V. 67. P. o209. <https://doi.org/org/10.1107/S160053681005275X>
2. Kargar H., Kia R., Moghadamm M., Tahir M.N. // Acta Cryst. E. 2011. V. 67. P. o367. <https://doi.org/org/10.1107/S1600536811000948>
3. Paciorek P., Szklarzewicz J., Trzewik B. et al. // J. Org. Chem. 2021. V. 86. P. 1649. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.0c02451>
4. Коган В.А., Зеленцов В.В., Ларин Г.М., Луков В.В. Комплексы переходных металлов с гидразонами. Физико-химические свойства и строение. М.: Наука, 1990. 112 с.
5. Гарновский А.Д., Васильченко И.С., Гарновский Д.А. Современные аспекты синтеза металлокомплексов. Основные лиганды и методы. Ростов-на-Дону: ЛаПО, 2000. 355 с.
6. Banße W., Ludwig E., Shilde U., Uhlemann E. // Z. Anorg. Allg. Chem. 1995. B. 621. № 8. S. 1275.
7. Nandy M., Shit S., Rizzoli C. et al. // Polyhedron. 2015. V. 88. P. 63. <https://doi.org/org/10.1016/j.poly.2014.12.017>
8. Bikas R., Darvishvand M., Kuncser V. et al. // Polyhedron. 2020. V. 190. P. 114751. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2020.114751>
9. Hosseini-Monfared H., Bikas R., Sanchiz J. et al. // Polyhedron. 2013. V. 61. P. 45. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2013.05.033>
10. Goorchibeygi S., Bikas R., Soleimani M. // J. Mol. Struct. 2022. V. 1250. Pt 1. P. 131774. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.131774>
11. Бурлов А.С., Власенко В.Г., Чальцев Б.В. и др. // Координац. химия. 2021. Т. 47. № 7. С. 391. <https://doi.org/10.31857/S0132344X2107001X>
12. Hossain S.M., Lakma A., Pradhan R.N. // Dalton Trans. 2017. V. 46. № 37. P. 12612. <https://doi.org/10.1039/c7dt02433a>
13. Сергиенко В.С., Абраменко В.Л., Чураков А.В., Суражская М.Д. // Журн. неорган. химии. 2021. Т. 66. № 12. С. 1732. <https://doi.org/10.31857/S0044457X21120151>
14. Сергиенко В.С., Абраменко В.Л., Чураков А.В., Суражская М.Д. // Журн. общ. химии. 2022. Т. 92. № 6. С. 954. <https://doi.org/10.31857/S0044460X22060142>
15. Krause L., Herbst-Irmer R., Sheldrick G.M., Stalke D. // J. Appl. Cryst. 2015. V. 48. P. 3.
16. Sheldrick G.M. // Acta Cryst. C. 2015. V. 71. P. 3. <https://doi.org/10.1107/S2053229614024218>
17. Spek A.T. // Acta Cryst. C. 2015. V. 71. P. 9.
18. Vrdoliak V., Mandarić M., Hrenar T. et al. // Cryst. Growth Design. 2019. V. 19. P. 3000. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.9b00231>
19. Vrdoliak V., Prugovecki B., Malkovic-Calogovic D. et al. // Cryst. Growth Design. 2013. V. 13. P. 3773. <https://doi.org/10.1921/cg400782c>
20. Vrdoliak V., Prugovecki B., Malkovic-Calogovic D. et al. // Cryst. Growth Design. 2010. V. 10. P. 1373. <https://doi.org/10.1021/cg901382h>
21. Sutton A., Abrahams B.F., Hudson T.A., Robson R. // New J. Chem. 2020. V. 44. P. 11437. <https://doi.org/10.1039/d0nj02413a>
22. McCormick L.J., Abrahams B.F., Boughton B.A. // Inorg. Chem. 2014. V. 53. P. 1721. <https://doi.org/10.1021/ic402860r>
23. Nandy M., Shit S., Rizzoli C. et al. // Polyhedron. 2015. V. 88. P. 63.
24. Сергиенко В.С., Абраменко В.Л., Чураков А.В., Суражская М.Д. // Журн. неорган. химии. 2021. Т. 66. № 12. С. 1732. <https://doi.org/10.31857/S0044457X21120151>