

УДК 548.736

**[Ru(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>](MoO<sub>4</sub>)Cl·3H<sub>2</sub>O И [M(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>](ReO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O (M = Ru, Ir).  
СИНТЕЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА****С.П. Храненко<sup>1</sup>, Е.А. Быкова<sup>1</sup>, К.В. Юсенко<sup>1,2</sup>, А.П. Тютюнник<sup>3</sup>, С.А. Громилов<sup>1,4</sup>**<sup>1</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск

E-mail: grom@niic.nsc.ru

<sup>2</sup>Solid-chem GmbH, Bochum, Germany<sup>3</sup>Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург<sup>4</sup>Новосибирский государственный университет, Научно-образовательный комплекс "Наносистемы и современные материалы"

Статья поступила 16 октября 2012 г.

Методом рентгеноструктурного анализа определены кристаллические структуры комплексных солей [Ru(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>](MoO<sub>4</sub>)Cl·3H<sub>2</sub>O и [M(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>](ReO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O (M = Ru, Ir). Изучены особенности взаимной упаковки фрагментов.

**Ключевые слова:** рутений, молибден, рений, иридий, комплексная соль, кристаллохимия, рентгеноструктурный анализ.

В литературе известно не так много кристаллических структур с участием комплексных катионов [M(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>3+</sup> (M — металл платиновой группы), в их числе несколько примеров биметаллических солей [1—3]. Такие катионы также предложено использовать в качестве тяжелых фрагментов при решении фазовой проблемы в кристаллографии ДНК и РНК [см., например, 4—6]. Соли с относительно простыми анионами: Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, C<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> [7, 8] активно используют при получении наноразмерных металлических частиц (см., например, [9]). Кристаллическое строение солей гексамминов платиновых металлов с более сложными неорганическими анионами изучено плохо, что в первую очередь связано с трудностью получения как самих гексамминов, так и их солей с различными крупными анионами в кристаллическом виде и тем более в виде монокристаллов, пригодных для рентгеноструктурного анализа. Можно указать лишь несколько примеров таких солей: [Rh(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sub>3</sub>[Rh(Sn<sub>6</sub>Cl<sub>22</sub>)·4H<sub>2</sub>O [10], [Ir(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]××[Co(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O [11], [Rh(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>](ReO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O, [Rh(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>](MoO<sub>4</sub>)Cl·3H<sub>2</sub>O и [Rh(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]××(WO<sub>4</sub>)Cl [12]. При термическом разложении подобных биметаллических солей с комплексными катионами [M(NH<sub>3</sub>)<sub>5</sub>Cl]<sup>2+</sup> и [M(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>+</sup> [13—20] получен ряд уникальных бинарных и тернарных металлических систем в нанокристаллическом состоянии. Синтез изоструктурных солей открывает перспективы для получения полиметаллических сплавов сложного состава, в том числе в метастабильном состоянии.

При получении [Ru(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>](ReO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O 0,2 ммоль [Ru(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]Cl<sub>3</sub> растворяли в 15 мл аммиачно-водного раствора (1:2) и вносили в него при перемешивании кристаллический NaReO<sub>4</sub> (0,6 ммоль, ХЧ). Через 1—2 мин после растворения NaReO<sub>4</sub> наблюдали выпадение белого кристаллического осадка. Его отфильтровывали, промывали дважды ледяной водой, ацетоном и высушивали на воздухе до постоянного веса. При получении [Ru(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>](MoO<sub>4</sub>)Cl·3H<sub>2</sub>O 0,2 ммоль [Ru(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]Cl<sub>3</sub> растворяли в 5 мл аммиачно-водного раствора (1:2) и вносили в него

Кристаллоструктурные характеристики  $[M(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ( $M = \text{Co}, \text{Ru}, \text{Rh}, \text{Ir}$ )\*

<i>M</i>	Co	Ru	Rh	Ir
<i>a</i> , Å	9,9797(3)	10,0556(3)	10,0556(1)	10,0619
<i>b</i> , Å	12,6994(3)	12,8485(4)	12,81648(1)	12,818
<i>c</i> , Å	14,7415(4)	15,0227(5)	14,9250(1)	14,938
$\beta$ , град.	102,870(1)	102,783(2)	102,7656(8)	102,7327
<i>V</i> , Å <sup>3</sup>	1821,35(9)	1892,8(1)	1875,94(3)	1879,22
$d_{\text{выч}}$ , г/см <sup>3</sup>	3,456	3,473	3,511	3,821
<i>M</i> —N, Å	1,961—1,968	2,04—2,14	1,98—2,12	1,97—2,05
$\angle \text{N—M—N}$ , град.	88,3—90,6	86,3—93,7	88,3—92,1	88—92
Re—O, Å	1,718—1,724	1,44—1,99	1,62—1,89	1,73—1,75
$\angle \text{O—Re—O}$ , град.	108,2—110,9	85,5—128,8	103,5—112,2	108—111
Ссылка	[1, № 421686]	[1, № 425255]	[23]	[1, № 424948]

\* Пр. группа  $C2/c$ ,  $Z = 4$ .

при перемешивании кристаллический  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (0,2 ммоль) (ХЧ). Через 1—2 мин после растворения наблюдали помутнение реакционной смеси и выпадение белого осадка с желтоватым оттенком. Его отфильтровывали, промывали небольшим объемом ледяной воды, ацетоном и высушивали на воздухе до постоянного веса. Маточный раствор помещали в эксикатор над твердой NaOH, через сутки отбирали кристаллы для проведения рентгеноструктурного исследования. При получении  $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  реакционную смесь водных растворов  $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  (синтезирован по методике [21]) и  $\text{NH}_4\text{ReO}_4$  (взяты в мольном соотношении 1:3) выдерживали при комнатной температуре на воздухе. Выпавший кристаллический осадок в виде бесцветных иголок отделяли на пористом стеклянном фильтре, промывали небольшим количеством ледяной воды, ацетоном и высушивали на воздухе. Во всех случаях выход продуктов ~90—95 %.

Рентгенодифрактометрическое исследование поликристаллов проведено на дифрактометре ARL X'TRA ( $\text{CuK}\alpha$ -излучение, полупроводниковый детектор, комнатная температура). Установлено, что синтезированные соли  $[M(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ( $M = \text{Ru}, \text{Ir}$ ) изоструктурны ранее изученным фазам с  $M = \text{Co}$  [22] и Rh [23]. Кристаллографические данные солей этого ряда приведены в табл. 1. Дифрактограмма  $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6](\text{MoO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  проиндексирована по аналогии с дифрактограммами изоструктурных солей  $[M(\text{NH}_3)_6](\text{MoO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$   $M = \text{Co}$  [24] и Rh [23].

**$[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .** Для уточнения кристаллической структуры было проведено дополнительное исследование на дифрактометре STADI-P ( $\text{CuK}\alpha_1$ -излучение, геометрия "на прохождение", мини-PSD, интервал углов  $2\theta$  2—120°, шаг сканирования  $\Delta 2\theta = 0,02^\circ$ , комнатная температура). В качестве внешнего стандарта был использован поликристаллический кремний ( $a = 5,43075(5)$  Å). Уточнение кристаллической структуры проводили с использованием программного комплекса GSAS [25]. Профиль линии аппроксимировали функцией псевдо-Войта. Уровень фона задавали в виде комбинации из пятнадцати полиномов Чебышева. Структура  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  была использована в качестве стартовой модели при уточнении. Поглощение в образце было скорректировано с использованием функции для плоского образца в геометрии "на прохождение". Тепловые параметры атомов кислорода и азота были связаны и уточнялись как одна переменная. Преимущественная ориентация в направлении  $[1\ 0\ 1]$  корректировалась функцией March—Dollase. Уточнение проведено до  $wR_p = 4,01$ ,  $R_p = 2,82$ ,  $R(F^2) = 3,71$ ,  $\text{СН}^2 = 6,160$  %. Основные геометрические характеристики (межатомные расстояния и валентные углы) даны в табл. 1. На рис. 1 представлены результаты полнопрофильного уточ-

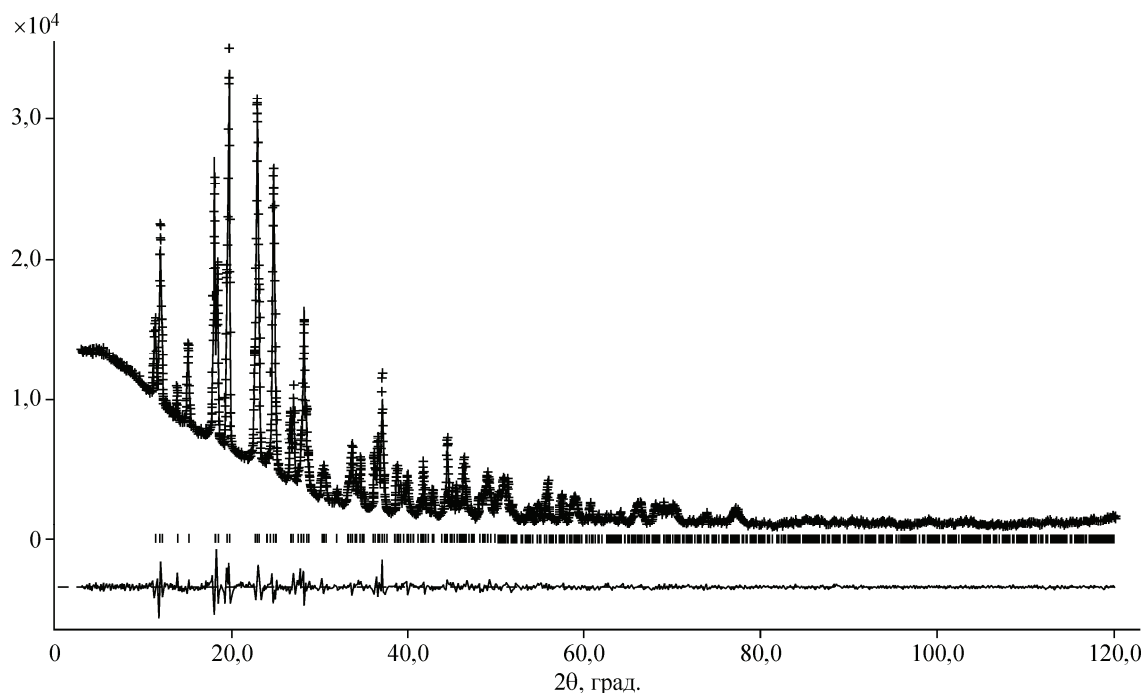


Рис. 1. Результат полнопрофильного уточнения дифрактограммы  $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

нения: экспериментальная, теоретическая и разностная дифрактограммы. Координаты базисных атомов, их эквивалентные тепловые факторы, межатомные расстояния, валентные углы и характеристики уточнения кристаллических структур депонированы в Неорганический банк кристаллоструктурных данных ICSD (Fachinformationszentrum Karlsruhe, B-76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Germany; e-mail [crysdata@fiz-karlsruhe.de](mailto:crysdata@fiz-karlsruhe.de)) [ 1 ] под № 425255.

**$[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .** Монокристаллы соли, пригодные для рентгеноструктурного анализа, получить не удалось. Уточнение кристаллической структуры проведено по схеме, апробированной нами ранее на примере нескольких двойных комплексных солей [ 26 ]. Исходную модель строили с помощью комплекса программ FOX [ 27 ]. Дифрактограмму соли индицировали по аналогии с  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , затем уточняли параметры элементарной ячейки. Для решения кристаллической структуры в качестве стартовой модели использовали правильный октаэдр  $\text{IrN}_6$  с расстояниями  $\text{Ir}-\text{N}$  2,05 Å и правильный тетраэдр  $\text{ReO}_4$  с расстояниями  $\text{Re}-\text{O}$  1,75 Å, которые располагали произвольно в элементарной ячейке. На нулевом цикле уточнения было проведено разложение профиля дифрактограммы на одиночные отражения методом Ле Бэйла [ 28 ], когда интенсивности рассматриваются как уточняемые параметры. Полученные профильные параметры линий в дальнейшем не уточнялись. Затем при зафиксированной геометрии октаэдров (межатомные расстояния варьировались в пределах  $\pm 0,02$  Å, а валентные углы  $\pm 0,1^\circ$ ) было проведено 5 независимых циклов поиска модели методом Монте-Карло (каждый цикл состоял из  $10^6$  шагов). В результате суммарный *R*-фактор составил ~10 %, что свидетельствует о правильности нахождения модели. Уточнение структурных и профильных параметров методом Ритвельда проводили с помощью комплекса программ Jana2006 [ 29 ]. На первом этапе были уточнены параметры фона (полином Чебышева шестой степени), параметры профиля линий в виде функции псевдо-Войта, параметры ячейки, сдвиг нуля гониометра и сдвиг образца относительно оси гониометра. На втором этапе были уточнены структурные параметры катионов и анионов с использованием указанных ранее ограничений на длины связей и валентные углы. Параметры тепловых колебаний были заданы для всех атомов одинаковыми ( $U_{\text{изо}} = 0,03 \text{ \AA}^2$ ) и на этом этапе не уточнялись. Положение молекул кристаллизационной воды определяли анализом разностной карты Фурье. С помощью функции March—Dollase была

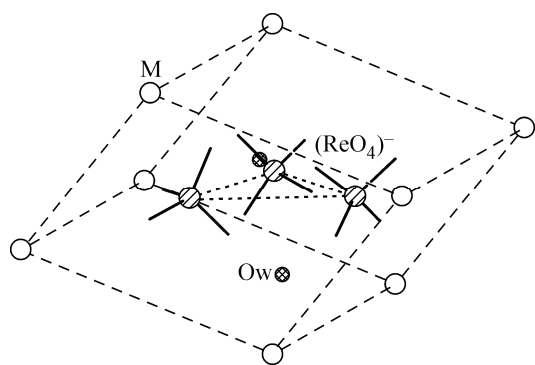


Рис. 2. Схема взаимного расположения фрагментов в кристаллических структурах  $[M(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ( $M = \text{Co}, \text{Ir}, \text{Rh}, \text{Ru}$ ).

Центральные атомы комплексных катионов следуют узлам искаженной ромбоэдрической решетки с параметрами  $a_T \approx 8,1 \text{ \AA}$  и  $\alpha_T \approx 104^\circ$ . Амминогруппы не показаны

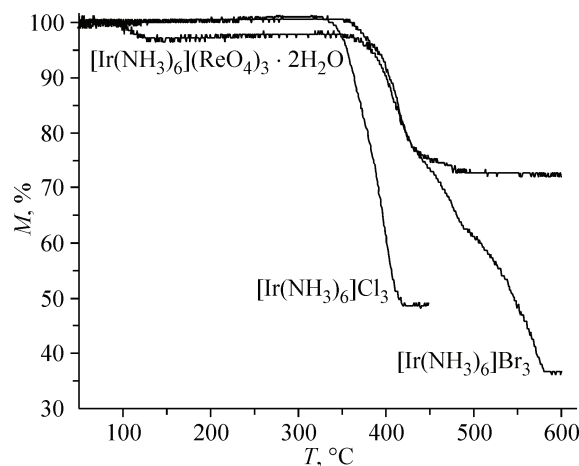


Рис. 3. Кривые термического разложения ряда солей, содержащих комплексный катион  $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$

учтена преимущественная ориентация кристаллитов в образце в направлении  $[1\ 0\ 1]$ . Результаты уточнения:  $R_p = 6,33$ ,  $R_{wp} = 8,76$ ,  $R_f = 6,89$ ,  $R_{fw} = 8,66$  и  $R_b = 12,77$  %. Основные геометрические характеристики (межатомные расстояния и валентные углы) представлены в табл. 1. Такой подход, сочетающий использование известных структурных фрагментов с фиксированной геометрией и поиск их взаимного расположения методом Монте-Карло в прямом пространстве, позволяет быстро и надежно решать островные кристаллические структуры ДКС любой сложности. Рентгеноструктурные характеристики  $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  депонированы в ICSD [1] под № 424948.

В работе [23] был проведен анализ мотива упаковки фрагментов в изоструктурной соли  $[\text{Rh}(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Использование методики "катионных подрешеток" [30] было затруднено близостью размеров и "веса" ионов. Кроме этого в упаковке участвуют молекулы воды. При поиске трансляционной подрешетки был применен подход, использованный в работе [31] — вычисление теоретической дифрактограммы только для определенных сортов атомов. Так, исключив из расчета атомы рения, кислорода и водорода, находим, что комплексные катионы должны следовать узлам подрешетки, образованной пересечением трех семейств плоскостей:  $\{-1\ 1\ 1\}$ ,  $\{-1\ -1\ 1\}$  и  $\{0\ 0\ 2\}$ . Искомая подрешетка построена на векторах:  $\mathbf{a}_T = -\mathbf{a}/2 + \mathbf{b}/2$ ,  $\mathbf{b}_T = -\mathbf{a}/2 - \mathbf{b}/2$ ,  $\mathbf{c}_T = \mathbf{a}/2 + \mathbf{c}/2$ . Полученные метрики:  $a_T = 8,15$ ,  $b_T = 8,15$ ,  $c_T = 8,03 \text{ \AA}$ ,  $\alpha_T = 105,1$ ,  $\beta_T = 105,1$ ,  $\gamma_T = 103,7^\circ$  свидетельствуют о том, что решетку можно рассматривать как псевдоромбоэдрическую. Обращаясь к структуре, легко обнаруживаем такой мотив в расположении комплексных катионов  $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  (рис. 2).

Продуктом термализации соли  $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в атмосфере водорода является гексагональный твердый раствор  $\text{Ir}_{0,25}\text{Re}_{0,75}$ :  $a = 2,761(5)$ ,  $c = 4,397(6) \text{ \AA}$ ,  $P6_3/mmc$ ,  $V/Z = 14,51(8) \text{ \AA}^3$ . В атмосфере гелия соль разлагается в две хорошо разделенные стадии (рис. 3). На первой стадии при температуре  $100\text{--}120^\circ\text{C}$  происходит потеря  $3,1$  мас.%, что соответствует потери двух молекул воды, которая составляет  $3,3$  мас.%. Относительно высокая температура дегидратации говорит о сильных водородных связях между молекулами воды и катионами  $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ . На второй стадии при температурах  $350\text{--}500^\circ\text{C}$  происходит полное разложение соли. Эту стадию можно условно разделить на две. Первая соответствует потере лигандов, координированных к иридию, с образованием металлического иридия в смеси с оксидами рения, на второй происходит разложение оксидов рения с образованием смеси твердых растворов переменного состава. Подобные превращения солей с перренатными анионами были подробно изучены нами ранее в [32]. Разложение  $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6](\text{ReO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  протекает при более высоких температурах, чем хлоридных или бромидных аналогов, что связано с некоординирующей природой пер-

Т а б л и ц а 2

Кристаллоструктурные характеристики  $[M(\text{NH}_3)_6](\text{MoO}_4)\text{Cl}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$   
( $M = \text{Co}, \text{Rh}, \text{Ru}$ )

$M$	Co	Ru	Rh
$T, \text{K}$	298(2)	150(2)	150(2)
$a, \text{Å}$	18,408(2)	18,892(6)	18,6907(3)
$b, \text{Å}$	8,672(1)	8,907(2)	8,8111(2)
$c, \text{Å}$	8,661(1)	8,377(2)	8,3443(2)
$V, \text{Å}^3$	1382,59	1409,6(7)	1374,19(5)
$d_{\text{выч}}, \text{г/см}^3$	1,972	2,133	2,197
$M-\text{N}, \text{Å}$	1,964—1,972	2,113—2,126	2,070—2,076
$\angle \text{N}-M-\text{N}, \text{град.}$	88,9—90,6	88,54—91,22	89,12—91,14
$\text{Mo}-\text{O}, \text{Å}$	1,753—1,760	1,777—1,787	1,763—1,777
$\angle \text{O}-\text{Mo}-\text{O}, \text{град.}$	107,7—111,6	108,29—111,43	108,31—111,43
Ссылка	[ 24 ]	[ 1, № 425256 ]	[ 23 ]

\* Пр. группа  $Pnma$ ,  $Z = 4$ .

рената. Если  $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  (см. рис. 3) разлагается практически в одну стадию, то разложение бромида  $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6]\text{Br}_3$  протекает в три стадии, которые можно описать следующей схемой:  $[\text{Ir}(\text{NH}_3)_6]\text{Br}_3 \rightarrow [\text{Ir}(\text{NH}_3)_3\text{Br}_3] \rightarrow \text{Ir}$ , однако эти стадии накладываются на восстановление иридия координированными молекулами аммиака [ 33 ].

**$[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6](\text{MoO}_4)\text{Cl}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .** Из синтезированного продукта был отобран монокристалл удовлетворительного совершенства с размерами 0,14×0,12×0,06 мм. Его исследование проведено на автоматическом дифрактометре Bruker X8 APEX ( $\text{MoK}_\alpha$ -излучение, графитовый монохроматор, область углов  $\theta$  от 2,66 до 32,97°, 10175 экспериментальных и 2782 независимых отражений,  $R_{\text{инт}} = 0,0475$ ) при  $T = 150(2)$  К. Структура уточнена в анизотропном приближении. Атомы Н частично локализованы экспериментально, а частично заданы геометрически. Все расчеты выполнены по комплексу программ SHELXTL [ 34 ]. При окончательном полноматричном уточнении 100 структурных параметров значения факторов расходимости составили:  $R_1 = 0,0533$ ,  $wR_2 = 0,0653$ , для 2136 отражений с  $I \geq 2\sigma(I)$   $R_1 = 0,0325$ ,  $wR_2 = 0,0610$ ,  $S$ -фактор по  $F^2$  — 1,030. Кристаллографические характеристики, основные межатомные расстояния и валентные углы даны в табл. 2. Рентгеноструктурные характеристики  $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6](\text{MoO}_4)\times \text{Cl}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  депонированы в ICSD [ 1 ] под № 425256.

В построении кристаллической структуры (рис. 4) участвуют комплексные катионы  $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ , анионы  $\text{MoO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$ , а также молекулы кристаллизационной воды. В работе

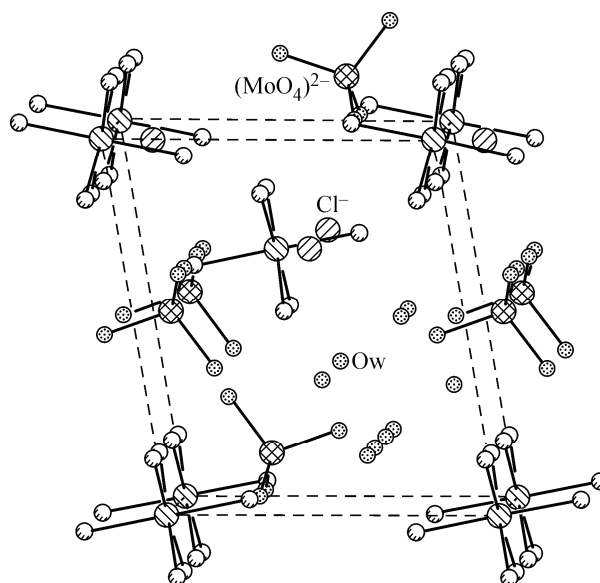


Рис. 4. Схема взаимного расположения фрагментов в кристаллических структурах  $[M(\text{NH}_3)_6](\text{MoO}_4)\text{Cl}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  ( $M = \text{Co}, \text{Rh}, \text{Ru}$ ).

Центральные атомы комплексных катионов следуют узлам искаженной ромбоэдрической решетки с параметрами  $a_T \approx 7,7 \text{ Å}$  и  $\alpha_T \approx 109,5^\circ$ . Атомы водорода не показаны

[ 23 ] был проведен анализ взаимного расположения комплексных катионов в изоструктурной соли  $[\text{Rh}(\text{NH}_3)_6](\text{MoO}_4)\text{Cl}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Показано, что наиболее симметричная подрешетка образуется при пересечении семейств плоскостей  $\{2\ 1\ 0\}$ ,  $\{2\ 0\ 1\}$  и  $\{0\ 1\ 1\}$ . Подрешетка построена на векторах:  $\mathbf{a}_T = \mathbf{a}/4 + \mathbf{b}/2 - \mathbf{c}/2$ ,  $\mathbf{b}_T = \mathbf{a}/4 - \mathbf{b}/2 + \mathbf{c}/2$ ,  $\mathbf{c}_T = -\mathbf{a}/4 + \mathbf{b}/2 + \mathbf{c}/2$ . В нашем случае параметры подъячейки:  $a_T = b_T = c_T = 7,73 \text{ \AA}$ ,  $\alpha_T = 114,3$ ,  $\beta_T = 109,6$ ,  $\gamma_T = 104,6^\circ$ , что позволяет рассматривать ее как искаженную ромбоэдрическую с  $\langle a_T \rangle = 7,73 \text{ \AA}$  и  $\langle \alpha_T \rangle = 109,5^\circ$  (расчеты выполнены по программе [ 34 ]). Значение угла позволяет перейти к псевдообъемно-центрированной подъячейке с параметрами  $a_T \approx 8,91 \text{ \AA}$  и  $\alpha_T = 90^\circ$ . Такой мотив взаимного расположения комплексных катионов действительно хорошо просматривается на рис. 4.

Авторы выражают благодарность ведущему инженеру-технологу Е.С. Викуловой и к.х.н. М.А. Ильину за помощь при проведении синтеза.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Inorganic Crystal Structure Database*, ICSD, Release 2008, Fachinformationszentrum Karlsruhe, D—1754 Eggenstein—Leopoldshafen, Germany, 2008.
2. *Powder Diffraction File*. PDF-2/Release 2009 // International Centre for Diffraction Data. — USA, 2009.
3. *Allen F.H.* // *Acta Crystallogr.* — 2002. — **B58**, N 3-1. — P. 380 — 388.
4. *Keel A.Y., Rambo R.P., Batey R.T., Kieft J.S.* // *Structure.* — 2007. — **15**. — P. 761 — 772.
5. *Kazantsev A.V., Krivenko A.A., Harrington D.J., Holbrook R., Adams P.D.* // *Proc. Nat. Acad. Sci.* — 2005. — **102**, N 38. — P. 13392 — 13397.
6. *Cruse W., Saludjian P., Neuman A., Prangé T.* // *Acta Crystallogr.* — 2001. — **D57**. — P. 1609 — 1613.
7. *Gorol M., Mösch-Zanetti N.C., Noltemeyer M., Roesky H.W.* // *Z. Anorg. Allg. Chem.* — 2000. — **626**. — S. 2318 — 2324.
8. *Reynolds P.A., Delfs C.D., Figgis B.N., Engelhardt L.M., Moubaraki B., Murray K.S.* // *J. Chem. Soc. Dalton Trans., Inorg. Chem.* — 1992. — P. 2029 — 2032.
9. *Patel H., Bajaj H.C., Jasra R.V.* // *J. Nanopart. Res.* — 2008. — **10**. — P. 625 — 632.
10. *Kimura T., Sakurai T.* // *J. Solid State Chem.* — 1980. — **34**. — P. 369 — 376.
11. *Filatov E.Yu., Yusenko K.V., Vikulova E.S., Plyusnin P.E., Shubin Yu.V.* // *Z. Kristallogr.* — 2009. — **30**, Suppl. — S. 263 — 268.
12. *Храненко С.П., Быкова Е.А., Алексеев А.В., Тютюнник А.П., Громилов С.А.* // *Журн. структур. химии.* — 2012. — **53**, № 3. — С. 527 — 533.
13. *Громилов С.А., Корнев С.В., Байдина И.А., Корольков И.В., Юсенко К.В.* // *Журн. структур. химии.* — 2002. — **43**, № 3. — С. 527 — 533.
14. *Корнев С.В., Венедиктов А.Б., Шубин Ю.В., Громилов С.А., Юсенко К.В.* // *Журн. структур. химии.* — 2003. — **44**, № 1. — С. 58 — 73.
15. *Юсенко К.В., Громилов С.А., Байдина И.А., Корольков И.В., Корнев С.В.* // *Журн. структур. химии.* — 2005. — **46**, № 1. — С. 111 — 117.
16. *Armentano D., Martínez-Lillo J.* // *Inorg. Chim. Acta.* — 2012. — **308**. — P. 118 — 134.
17. *Корольков И.В., Губанов А.И., Громилов С.А.* // *Журн. структур. химии.* — 2005. — **46**, № 3. — С. 492 — 500.
18. *Корольков И.В., Громилов С.А., Юсенко К.В., Байдина И.А., Корнев С.В.* // *Журн. структур. химии.* — 2005. — **46**, № 6. — С. 1095 — 1102.
19. *Юсенко К.В., Корольков И.В., Громилов С.А., Корнев С.В.* // *Журн. структур. химии.* — 2007. — **48**, № 2. — С. 385 — 388.
20. *Корольков И.В., Губанов А.И., Юсенко К.В., Байдина И.А., Громилов С.А.* // *Журн. структур. химии.* — 2007. — **48**, № 3. — С. 530 — 536.
21. *Galsbol F., Hansen S.K., Simonsen K.* // *Acta Chim. Scand.* — 1990. — **44**. — P. 796 — 801
22. *Байдина И.А., Филатов Е.Ю., Макотченко Е.В., Смоленцев А.И.* // *Журн. структур. химии.* — 2012. — **53**, № 1. — С. 117 — 123.
23. *Храненко С.П., Быкова Е.А., Алексеев А.В., Тютюнник А.П., Громилов С.А.* // *Журн. структур. химии.* — 2012. — **53**, № 3. — С. 527 — 533.
24. *Sharma R.P., Bala R., Sharma R., Venugopalan P.* // *J. Coord. Chem.* — 2004. — **57**. — P. 1563 — 1569.
25. *Larson A.C., Von Dreele R.B.* // "GSAS" LANSCE, MS-H805, Los Alamos Natl. Lab. Los Alamos, NM 87545.

26. Юсенко К.В., Шушарина Е.А., Громилов С.А. // Журн. структур. химии. – 2010. – **51**, № 5. – С. 963 – 969.
27. Favre-Nicolin V., Černý R. // J. Appl. Crystallogr. – 2002. – **35**. – P. 734 – 743; <http://objcryst.sourceforge.net>.
28. Le Bail A. Structure Determination from Powder Diffraction Database (1994–2004), <http://www.crystal.org/iniref.html>.
29. Petříček V., Dušek M., Palatinus L. Jana2006. The crystallographic computing system. – Institute of Physics. – Praha, Czech Republic. – 2006; <http://www-xray.fzu.cz/jana/jana.html>.
30. Борисов С.В. // Журн. структур. химии. – 1986. – **27**, № 3. – С. 164 – 167.
31. Громилов С.А., Борисов С.В. // Журн. структур. химии. – 2003. – **44**, № 4. – С. 724 – 742.
32. Корольков И.В., Задесенец А.В., Громилов С.А., Юсенко К.В., Байдина И.А., Корнев С.В. // Журн. структур. химии. – 2006. – **47**, № 3. – С. 503 – 511.
33. Wendlandt W.W., Smith J.P. / The thermal properties of transition metal ammine complexes. – Amsterdam: ELSEVIER publ, 1976. – 235 p.
34. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. – 2008. – **A64**, N1. – P. 112 – 122.
35. Громилов С.А., Быкова Е.А., Борисов С.В. // Кристаллография. – 2011. – **56**, № 6. – С. 1013 – 1018.