

УДК 548.735

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ *транс*-ДИХЛОРОБИС(ЭТИЛЕНДИАМИН) РОДИЯ(III) С ОДНОЗАРЯДНЫМИ АНИОНАМИ

© 2011 И.А. Байдина*, С.Н. Воробьева, А.И. Смоленцев, А.В. Беляев

*Учреждение Российской академии наук Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск**Статья поступила 23 марта 2010 г.*

Определены кристаллические структуры соединений состава: *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]Cl₂·H₂O₂ (**I**), *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]ClO₄ (**II**) и *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]ReO₄ (**III**). Кристаллографические данные для **I**: $a = 10,860(3)$, $b = 7,795(2)$, $c = 9,023(3)$ Å; $\beta = 111,56(10)^\circ$, пространственная группа $P2_1/c$, $Z = 4$, $d_{\text{выч}} = 1,875$ г/см³; для **II**: $a = 6,593(2)$, $b = 8,309(3)$, $c = 11,922(4)$ Å, $\alpha = 83,55(10)$, $\beta = 79,80(10)$, $\gamma = 75,38(10)^\circ$, пространственная группа $P\bar{1}$, $Z = 2$, $d_{\text{выч}} = 2,106$ г/см³; для **III**: $a = 6,533(2)$, $b = 16,391(4)$, $c = 12,411(3)$ Å; $\beta = 98,30(10)^\circ$, пространственная группа $P2_1/c$, $Z = 4$, $d_{\text{выч}} = 2,749$ г/см³. Соединения исследованы методами ИК спектроскопии и РФА. Растворимость выделенных кристаллических фаз в воде уменьшается в ряду: *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]Cl₂·H₂O₂ > *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]ClO₄ > *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]ReO₄.

Ключевые слова: родий, *транс*-тетраамины, координационные соединения, кристаллическая структура.

Комплексы Rh(III) тетраминового ряда интенсивно изучали во второй половине XX века. Были разработаны методы синтеза [1–3] и изучена реакционная способность катионов [RhAm₂Cl₂]⁺ в реакциях спонтанной и индуцированной аквафикации, детально охарактеризована устойчивость как в термодинамическом, так и кинетическом смысле [4–6]. Методом рентгеноструктурного анализа были исследованы соединения *цис*- и *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]NO₃ [7]. Инертность катиона *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]⁺ в водном растворе позволяет выделять его в твердую фазу в виде солей с различными анионами с достаточно высоким выходом. В теоретическом плане исследование этих солей интересно с точки зрения изучения влияния структуры твердой фазы на геометрию комплексного катиона, а сам катион представляет интерес как хорошая модель для исследования конформационных взаимодействий в этилендиаминовом цикле.

Целью работы было получение и кристаллохимическое изучение твердых фаз катиона *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]⁺ с однозарядными анионами различной геометрии.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Соединение *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]Cl₂·H₂O₂ (**I**) синтезировали по методике, описанной в [2], но несколько модифицированной: pH регулировали добавлением раствора NaOH и вместо HNO₃ использовали HCl(конц.). Кристаллическую фазу перекристаллизовали сначала из воды, а затем из раствора HCl(конц.). Были выделены кристаллы оранжевого цвета, хорошо растворимые в воде. Полученные кристаллы неустойчивы и теряют HCl при выдерживании при комнатной температуре.

* E-mail: baidina@niic.nsc.ru

Для синтеза соединения *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]ClO₄ (**II**) к насыщенному раствору *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]NO₃, выдержанному при комнатной температуре в течение 12 ч, добавили 6 мл HClO₄ 0,94 М, через несколько часов наблюдалось образование кристаллов. Выделенные кристаллы были перекристаллизованы при нагревании из водного раствора.

Для синтеза соединения *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]ReO₄ (**III**) к раствору изомерной смеси 0,019 г *цис*- и *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]NO₃ в 5 мл H₂O добавили 0,011 г NaReO₄, изотермическое концентрирование раствора привело к образованию кристаллов, которые далее были перекристаллизованы при нагревании из подкисленного HCl водного раствора.

Рентгенографическое исследование образцов было проведено на автоматизированном порошковом дифрактометре ДРОН-3М ($R = 192$ мм, CuK $_{\alpha}$ -излучение, Ni-фильтр, детектор сцинтилляционный с амплитудной дискриминацией, щели Соллера на первичном и отраженном пучках 2,5°) в области углов 2θ от 5 до 60°, с шагом сканирования углов 0,02°. Образцы готовили нанесением спиртовой суспензии на полированную сторону стандартной кварцевой кюветы. В качестве внешнего эталона использовали образец поликристаллического кремния ($a = 5,4309$ Å), приготовленный аналогичным образом.

ИК спектры регистрировали на ИК Фурье спектрометре SCIMITAR FTS 2000 в таблетках KBr в интервале волновых чисел 400—4000 см⁻¹.

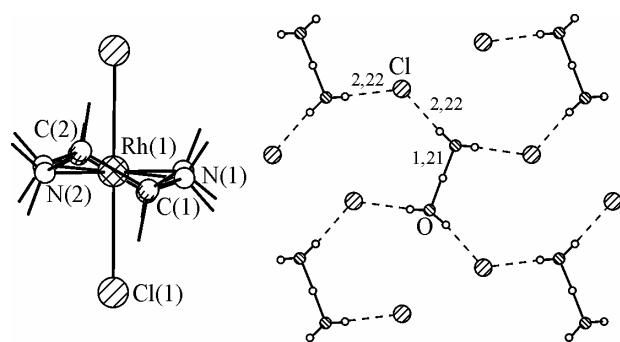
Параметры элементарных ячеек и экспериментальные интенсивности для расшифровки кристаллических структур измерены на автоматическом четырехкружном дифрактометре Bruker-Nonius X8 Apex, оснащенный двухкоординатным CCD-детектором (MoK $_{\alpha}$ -излучение, графитовый монохроматор). Кристаллографические характеристики исследованных соединений и параметры эксперимента приведены в табл. 1. Структуры расшифрованы стандартным методом тяжелого атома и уточнены в анизотропно-изотропном (для H) приближении, для соединения **I** локализованы все атомы водорода. Основные межатомные расстояния и валентные углы комплексов приведены в табл. 2. Все расчеты выполнены по комплексу программ SHELX-97 [8]. Полный набор рентгеноструктурных данных депонирован в Кембриджском банке структурных данных.

ОПИСАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР И ВЫВОДЫ

Структурными единицами соединения **I** являются комплексные катионы [Rh(en)₂Cl₂]⁺, анионы Cl⁻ и катионы H₅O₂⁺ (рис. 1). ИК спектр соединения после потери молекул HCl (см⁻¹): 452, 505, 575, 1004, 1053, 1106, 1131, 1210, 1281, 1317, 1367, 1446, 1599, 2952 ν (C—H), 3069, 3192, 3244, 3274 ν (N—H).

Центросимметричный *транс*-катион родия имеет искаженно-октаэдрическую координацию, в экваториальной плоскости находятся 4 атома N двух бидентатных еп-лигандов, апикальные позиции занимают 2 атома хлора. Средние значения длин связей Rh—Cl и Rh—N равны 2,331 и 2,061 Å соответственно. Хелатный угол N—Rh—N составляет 82,9°. Этилендиаминные металлоциклы имеют *гош*-конформацию с неравноценным смещением атомов углерода от плоскости RhN₂ (0,49 и -0,19 Å). Длины связей в еп-лигандах N—C_{sp} и C—C равны 1,492 и 1,510 Å соответственно.

Проекция кристаллической структуры вдоль оси X приведена на рис. 2. Общий характер



структуры слоистой, слои катионов родия чередуются с гофрированными слоями, образованными анионами хлора и катионами H₅O₂⁺. В анионных слоях $\sim\{(\text{Cl}^-)_2(\text{H}_5\text{O}_2^+)\}^-$ две молекулы воды связаны протоном

Рис. 1. Строение комплексного катиона *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]⁺ и анионных слоев $\sim\{(\text{Cl}^-)_2(\text{H}_5\text{O}_2^+)\}^-$

Т а б л и ц а 1

Кристаллографические данные и параметры рентгеноструктурного эксперимента

Параметр	<i>транс</i> -[Rh(en) ₂ Cl ₂]Cl ₂ ·H ₂ O ₂	<i>транс</i> -[Rh(en) ₂ Cl ₂]ClO ₄	<i>транс</i> -[Rh(en) ₂ Cl ₂]ReO ₄
Стехиометрическая формула	C ₄ H ₂₁ Cl ₄ N ₄ O ₂ Rh	C ₄ H ₁₆ Cl ₃ N ₄ O ₄ Rh	C ₄ H ₁₆ Cl ₂ N ₄ O ₄ ReRh
Молекулярный вес	401,96	393,47	544,22
Температура, К	150(2)	150(2)	100(2)
Длина волны, Å	0,71073	0,71073	0,71073
Сингония	Моноклинная	Триклинная	Моноклинная
Пространственная группа	<i>P</i> 2 ₁ / <i>c</i>	<i>P</i> -1	<i>P</i> 2 ₁ / <i>c</i>
Параметры ячейки <i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> , Å	10,860(3), 7,795(2), 9,023(3),	6,593(2), 8,309(3), 11,922(4)	6,533(2), 16,391(4), 12,411(3),
α , β , γ , град.	90, 111,56(10), 90	83,55(10), 79,80(10), 75,38(10)	90, 98,30(10), 90
Объем, Å ³	710,34(4)	620,39(4)	1314,92(6)
<i>Z</i>	4	2	4
Плотность (расчетная), г/см ³	1,879	2,106	2,749
Коэффициент поглощения, мм ⁻¹	1,944	2,027	10,863
<i>F</i> (000)	402	392	1016
Размер кристалла, мм	0,14 × 0,12 × 0,10	0,14 × 0,13 × 0,12	0,40 × 0,30 × 0,22
Диапазон сбора данных по θ , град.	от 3,30 до 30,07	от 2,54 до 27,50	от 2,07 до 31,51
Диапазон <i>h</i> , <i>k</i> , <i>l</i>	-10 ≤ <i>h</i> ≤ 15, -10 ≤ <i>k</i> ≤ 10, -12 ≤ <i>l</i> ≤ 12	-8 ≤ <i>h</i> ≤ 7, -10 ≤ <i>k</i> ≤ 10, -15 ≤ <i>l</i> ≤ 13	-8 ≤ <i>h</i> ≤ 8, -23 ≤ <i>k</i> ≤ 23, -18 ≤ <i>l</i> ≤ 13
Число измер. / независ. рефлексов	6296 / 2050 [<i>R</i> (int) = 0,0220]	4823 / 2793 [<i>R</i> (int) = 0,0177]	14885 / 3561 [<i>R</i> (int) = 0,0257]
Полнота сбора данных по $\theta = 25,00^\circ$	98,7 %	98,1 %	100,0 %
Макс. и мин. пропускание	0,8294 и 0,7725	0,7930 и 0,7645	0,2035 и 0,0975
Метод уточнения	Полноматричный МНК по <i>F</i> ²	Полноматричный МНК по <i>F</i> ²	Полноматричный МНК по <i>F</i> ²
Число рефлексов / огр. / параметров	2050 / 0 / 111	2793 / 0 / 148	3561 / 0 / 210
<i>S</i> -фактор по <i>F</i> ²	1,077	1,055	1,180
<i>R</i> -фактор [<i>I</i> > 2σ(<i>I</i>)]	<i>R</i> 1 = 0,0199, <i>wR</i> 2 = 0,0399	<i>R</i> 1 = 0,0242, <i>wR</i> 2 = 0,0524	<i>R</i> 1 = 0,0183, <i>wR</i> 2 = 0,0402
<i>R</i> -фактор (все данные)	<i>R</i> 1 = 0,0226, <i>wR</i> 2 = 0,0406	<i>R</i> 1 = 0,0286, <i>wR</i> 2 = 0,0544	<i>R</i> 1 = 0,0193, <i>wR</i> 2 = 0,0405
Макс. и мин. остаточной эл. плотности, е/Å ³	0,675 и -0,726	0,663 и -0,559	0,934 и -1,147
Код CCDC	768220	768221	768222

в центросимметричный димер H₅O₂⁺, причем протон, находясь в центре симметрии, образует две симметричные Н-связи, равные 1,21 Å. Молекула воды участвует также в двух водородных связях О—Н...Cl с внешнесферными анионами хлора, при этом расстояния Н...Cl в слое 2,42 Å. В катионных слоях комплексы родия также связаны водородными связями N—H...Cl с кратчайшими оценками N...Cl 3,32 Å. Расстояния Rh...Rh в катионном слое 5,962 Å.

Основные межатомные расстояния d (Å) и валентные углы ω (град.)

Расстояние	d	Угол	ω	Угол	ω
<i>транс</i> -[Rh _{en} Cl ₂] ₂ Cl ₂ ·H ₅ O ₂					
Rh(1)—N(1)	2,0600(14)	N(1)—Rh(1)—N(2)	82,90(6)	C(1)—N(1)—Rh(1)	108,16(10)
Rh(1)—N(2)	2,0668(14)	N(1)—Rh(1)—Cl(1)	89,31(4)	C(2)—N(2)—Rh(1)	110,06(10)
Rh(1)—Cl(1)	2,3385(4)	N(2)—Rh(1)—Cl(1)	91,49(4)	N(1)—C(1)—C(2)	107,61(14)
N(1)—C(1)	1,491(2)			N(2)—C(2)—C(1)	108,21(14)
N(2)—C(2)	1,493(2)				
C(1)—C(2)	1,510(2)				
<i>транс</i> -[Rh _{en} Cl ₂](ClO ₄)					
Rh(1)—N(1)	2,064(2)	N(1)—Rh(1)—N(2)	82,98(9)	C(4)—N(4)—Rh(2)	109,01(16)
Rh(1)—N(2)	2,067(2)	N(1)—Rh(1)—Cl(1)	90,12(6)	C(3)—N(3)—Rh(2)	107,60(16)
Rh(1)—Cl(1)	2,3324(6)	N(2)—Rh(1)—Cl(1)	89,11(6)	N(4)—C(4)—C(3)	108,2(2)
N(1)—C(1)	1,498(3)	C(1)—N(1)—Rh(1)	108,64(16)	N(3)—C(3)—C(4)	107,5(2)
N(2)—C(2)	1,474(3)	C(2)—N(2)—Rh(1)	108,76(16)	O(4)—Cl(3)—O(3)	112,5(2)
C(1)—C(2)	1,495(4)	C(2)—C(1)—N(1)	108,9(2)	O(4)—Cl(3)—O(2)	109,51(16)
Rh(2)—N(3)	2,063(2)	N(2)—C(2)—C(1)	107,7(2)	O(3)—Cl(3)—O(2)	108,57(17)
Rh(2)—N(4)	2,063(2)	N(3)—Rh(2)—N(4)	83,34(8)	O(4)—Cl(3)—O(1)	107,78(14)
Rh(2)—Cl(2)	2,3369(6)	N(3)—Rh(2)—Cl(2)	88,90(6)	O(3)—Cl(3)—O(1)	108,40(17)
N(4)—C(4)	1,487(3)	N(4)—Rh(2)—Cl(2)	91,34(6)	O(2)—Cl(3)—O(1)	110,08(13)
N(3)—C(3)	1,484(3)				
C(4)—C(3)	1,509(4)				
Cl(3)—O(4)	1,415(3)				
Cl(3)—O(3)	1,416(3)				
Cl(3)—O(2)	1,429(2)				
Cl(3)—O(1)	1,444(2)				
<i>транс</i> -[Rh(en) ₂ Cl ₂](ReO ₄)					
Re(1)—O(3)	1,714(2)	O(3)—Re(1)—O(2)	109,52(12)	N(2)—Rh(1)—Cl(2)	89,47(7)
Re(1)—O(2)	1,717(2)	O(3)—Re(1)—O(1)	110,02(12)	N(1)—Rh(1)—Cl(1)	90,86(7)
Re(1)—O(1)	1,724(2)	O(2)—Re(1)—O(1)	109,31(12)	N(3)—Rh(1)—Cl(1)	90,61(7)
Re(1)—O(4)	1,738(2)	O(3)—Re(1)—O(4)	109,01(11)	N(4)—Rh(1)—Cl(1)	89,69(7)
Rh(1)—N(1)	2,060(3)	O(2)—Re(1)—O(4)	109,47(11)	N(2)—Rh(1)—Cl(1)	91,08(7)
Rh(1)—N(3)	2,061(2)	O(1)—Re(1)—O(4)	109,50(11)	Cl(2)—Rh(1)—Cl(1)	178,86(3)
Rh(1)—N(4)	2,061(2)	N(1)—Rh(1)—N(3)	178,53(10)	C(1)—N(1)—Rh(1)	108,65(18)
Rh(1)—N(2)	2,064(2)	N(1)—Rh(1)—N(4)	96,43(10)	C(2)—N(2)—Rh(1)	109,03(17)
Rh(1)—Cl(2)	2,3248(6)	N(3)—Rh(1)—N(4)	83,51(10)	C(3)—N(3)—Rh(1)	107,89(18)
Rh(1)—Cl(1)	2,3368(7)	N(1)—Rh(1)—N(2)	83,08(10)	C(4)—N(4)—Rh(1)	109,18(17)
N(1)—C(1)	1,492(4)	N(3)—Rh(1)—N(2)	96,95(10)	N(1)—C(1)—C(2)	107,2(2)
N(2)—C(2)	1,491(4)	N(4)—Rh(1)—N(2)	179,09(10)	N(2)—C(2)—C(1)	108,7(2)
N(3)—C(3)	1,485(4)	N(1)—Rh(1)—Cl(2)	90,20(7)	N(3)—C(3)—C(4)	107,8(2)
N(4)—C(4)	1,493(4)	N(3)—Rh(1)—Cl(2)	88,33(7)	N(4)—C(4)—C(3)	108,3(2)
C(1)—C(2)	1,502(4)	N(4)—Rh(1)—Cl(2)	89,77(7)		
C(3)—C(4)	1,513(4)				

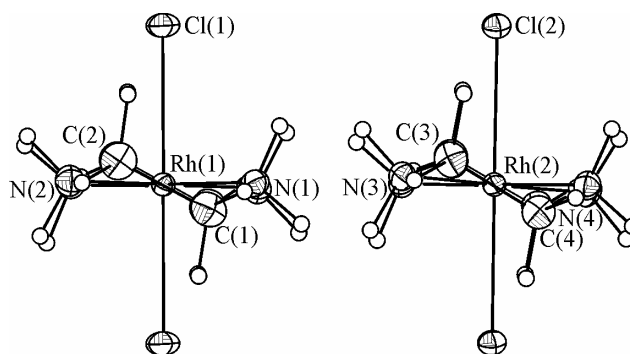
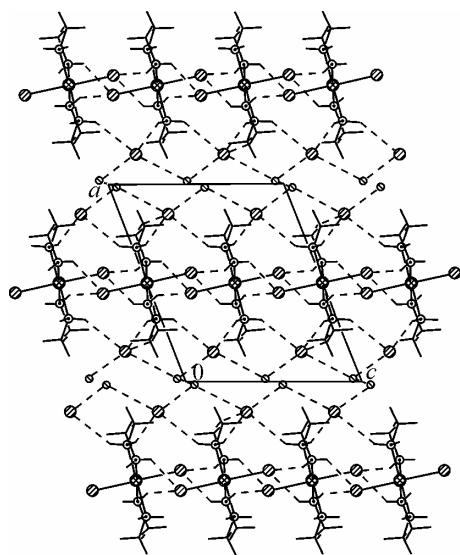


Рис. 2 (слева). Проекция кристаллической структуры *транс*- $[\text{Rh}(\text{en})_2\text{Cl}_2]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ вдоль оси Y

Рис. 3 (справа). Строение двух кристаллографически независимых катионов *транс*- $[\text{Rh}(\text{en})_2\text{Cl}_2]^+$ в составе структуры *транс*- $[\text{Rh}(\text{en})_2\text{Cl}_2]\text{ClO}_4$ с соответствующей нумерацией атомов

Структурными единицами соединения **II** являются комплексные катионы $[\text{Rh}(\text{en})_2\text{Cl}_2]^+$ и анионы ClO_4^- , строение катионов с нумерацией атомов показано на рис. 3. ИК спектр (см^{-1}): 623 $\delta(\text{ClO}_4)$, 992, 1056, 1077 $\nu(\text{ClO}_4)$, 1209, 1288, 1454, 1580, 1730, 2955 $\nu(\text{C—H})$, 3257, 3297 $\nu(\text{N—H})$.

В структуре обнаружены два кристаллографически независимых катиона родия, имеющих *транс*-конфигурацию. Геометрия комплексных катионов такая же, как в соединении **I**. Атомы Rh, расположенные в центрах симметрии, окружены четырьмя атомами N двух еп-лигандов и двумя находящимися в *транс*-положении атомами хлора, образуя вытянутый октаэдр. Средние значения длин связей Rh—Cl и Rh—N равны 2,335 и 2,064 Å соответственно. Среднее значение для хелатных углов металлоциклов N—Rh—N составляет 83,1°, отклонения остальных валентных углов на атомах Rh от 90° не превышают 1,3°. Этилендиаминовые металлоциклы имеют *гош*-конформацию с неравноценным смещением атомов углерода от плоскостей RhN_2 : 0,27, –0,41 Å для Rh(1) и 0,24, –0,47 Å для Rh(2). Длины связей в этилендиаминовых лигандах N—C_{ср} и C—C_{ср} составляют 1,486 и 1,502 Å.

В тетраэдрическом перхлорат-анионе максимальное различие длин связей Cl—O (1,415—1,444) не превышает 0,029 Å, валентные углы меняются в интервале 107,8—112,5°. Расстояние Cl...Cl между центрами ближайших анионов 5,077 Å.

Общий характер упаковки ионов в кристаллической структуре показан на рис. 4. Структурные фрагменты объединены в кристалле водородными связями типа N—H...O и C—H...O между группами NH₂ и CH₂ катионов и атомами кислорода анионов, их минимальные оценки составляют 2,96 (2,04) и 3,13 (2,50) Å. Кратчайшее расстояние между центрами катионов и анионов Rh...Cl равно 4,704 Å, а между центрами катионов Rh...Rh — 5,961 Å.

Теоретическая дифрактограмма, рассчитанная для соединения **II** по монокристалльным данным, совпадает с экспериментальной, что свидетельствует об однофазности продукта.

Структурными единицами соединения **III** являются комплексные катионы $[\text{Rh}(\text{en})_2\text{Cl}_2]^+$ и анионы ReO_4^- с соотношением металлов 1:1, их строение с нумерацией атомов показано на рис. 5. ИК спектр (см^{-1}): 503 $\delta(\text{ReO}_4)$, 794, 895, 923 $\nu(\text{ReO}_4)$, 1003, 1057, 1126, 1208, 1285, 1315, 1368, 1447, 1583, 2943 $\nu(\text{C—H})$, 3134, 3225, 3277 $\nu(\text{N—H})$.

Катион родия, имея *транс*-конфигурацию, не имеет элементов симметрии, его октаэдрическая координация образована четырьмя атомами N двух бидентатных еп-лигандов и двумя находящимися в *транс*-позициях атомами хлора. Средние значения длин связей Rh—Cl и Rh—N равны 2,331 и 2,061 Å соответственно. Отклонения валентных углов от 90° на атоме Rh не пре-

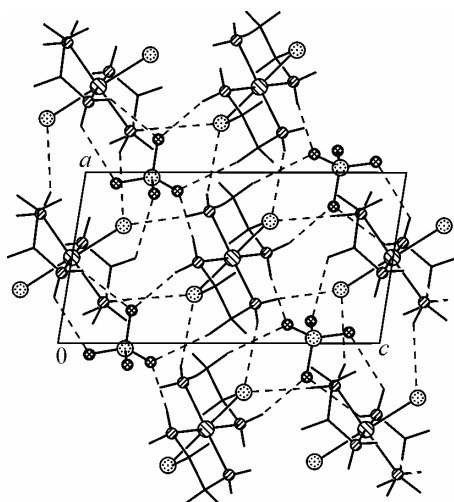


Рис. 4 (слева). Проекция кристаллической структуры *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]ClO₄ вдоль оси *Y*

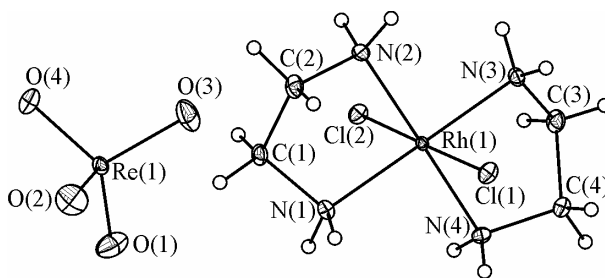


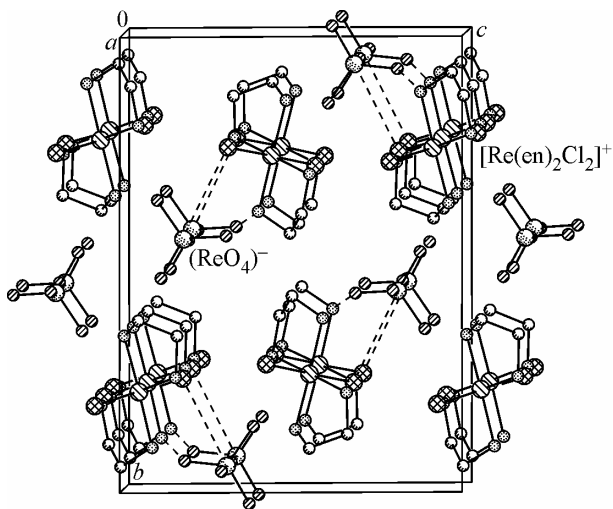
Рис. 5 (справа). Строение структурных единиц *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]ReO₄ с соответствующей нумерацией атомов

Т а б л и ц а 3

Структурные характеристики *транс*-дихлорбис(этилендиаминовых) комплексов родия(III)

Комплекс	Сингония, ПГС, <i>Z</i>	Длина связи, Å		Валентный угол N—Rh—N, град.	Отклонение атомов C(1) и C(2) от плоскости RhN(1)N(2), Å
		Rh—Cl	Rh—N		
<i>транс</i> -[Rh(en) ₂ Cl ₂]Cl ₂ ·H ₅ O ₂	Моноклинная, <i>P</i> 2 ₁ / <i>c</i> , 4	2,338(5)	2,060(0) 2,067(8)	82,90(6)	0,49 и -0,19
<i>транс</i> -[Rh(en) ₂ Cl ₂]NO ₃ *	Моноклинная, <i>P</i> 2 ₁ / <i>n</i> , 2	2,335(2)	2,067(6) 2,065(6)	83,6	-0,40 и 0,81
<i>транс</i> -[Rh(en) ₂ Cl ₂]ClO ₄	Триклинная, <i>P</i> ₁ , 2	2,332(6) 2,336(6)	2,064(2) 2,067(2) 2,063(2)	82,98(9) 83,34(8)	0,27 и -0,41 0,24 и -0,47
<i>транс</i> -[Rh(en) ₂ Cl ₂]ReO ₄	Моноклинная, <i>P</i> 2 ₁ / <i>c</i> , 4	2,325(6) 2,337(7)	2,060(3) 2,061(2) 2,064(2)	83,51(10) 83,08(10)	-0,25 и 0,43

* По данным [7].



вышают 6,9°. Этилендиаминовые металлоциклы имеют *gosh*-конформацию с неравноценным смещением атомов углерода от плоскости RhN₂ (-0,25, 0,43 Å). Длины связей в лигандах N—C_{ср} и C—C_{ср} составляют 1,490 и 1,507 Å.

В тетраэдрическом рениевом анионе максимальное различие длин связей Re—O (1,714—1,738) не превышает 0,024 Å, максимальное различие в валентных углах не превышает 1°. Расстояние Re...Re между ближайшими рениевыми анионами 4,992 Å.

Рис. 6. Общий характер упаковки ионов в кристаллической структуре *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]ReO₄

Общий характер упаковки ионов в кристаллической структуре показан на рис. 6. В структуре катионы и анионы связаны между собой системой Н-связей типа N—H...O и C—H...O, их минимальные оценки 2,91 (2,03) — 3,22 (2,81) Å. Кратчайшие расстояния Rh...Re и Rh...Rh равны 5,183 и 6,235 Å соответственно.

В результате проведенного исследования были выделены 3 кристаллические фазы, основу которых составляет катион *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]⁺: *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]Cl₂·H₅O₂, *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]××ClO₄ и *транс*-[Rh(en)₂Cl₂]ReO₄. Анализ структурных данных, представленных в табл. 3, показал, что во всех структурах строение комплексного катиона практически одинаково: этилендиаминовые фрагменты находятся в несимметричной *gosh*-конфигурации с расположением атомов углерода выше и ниже плоскости RhNN.

Авторы выражают благодарность А.В. Алексееву за проведение РФА и Н.И. Алферовой за получение ИК спектров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Johnson S., Basolo F. // Inorg. Chem. — 1962. — 1. — P. 925.
2. Пещевицкий Б.И., Беляев А.В., Двуреченская С.Я. // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. — 1972. — 2, № 7. — С. 138.
3. Двуреченская С.Я., Беляев А.В., Пещевицкий Б.И. // Журн. неорганической химии. — 1974. — 19, № 3. — С. 2411.
4. Венедиктов А.Б., Беляев А.В. // Координационная химия. — 1976. — 2, № 10. — С. 1414.
5. Беляев А.В., Венедиктов А.Б., Пещевицкий Б.И. // Координационная химия. — 1979. — 5, № 7. — С. 1071.
6. Беляев А.В., Венедиктов А.Б. // Координационная химия. — 1981. — 7, № 10. — С. 1505.
7. Байдина И.А., Подберезская Н.В., Беляев А.В., Бакакин В.В. // Журн. структурной химии. — 1979. — 20, № 6. — С. 1096.
8. Sheldrick G.M. SHELX-97 and SHELXL. Program for refinement of Crystal Structure. — Germany: University of Göttingen, 1997.