

УДК 548.736:546.97:546.733:539.26

**СТРУКТУРА КОМПЛЕКСНЫХ СОЛЕЙ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][\text{Rh}(\text{NO}_2)_6]$
И $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][(\text{NO}_2)_3\text{Rh}(\mu\text{-NO}_2)_{1+x}(\mu\text{-OH})_{2-x}\text{Rh}(\text{NO}_2)_3] \cdot (2-x)(\text{H}_2\text{O})$, $x = 0,17$** **А.И. Губанов^{1,2}, Н.В. Куратьева^{1,2}, Е.Ю. Филатов^{1,2}, С.В. Коренев^{1,2}**¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, e-mail: gubanov@niic.nsc.ru²Новосибирский государственный университет

Статья поступила 8 апреля 2011 г.

С доработки — 7 ноября 2011 г.

Решены структуры двух солей $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][\text{Rh}(\text{NO}_2)_6]$ (**I**) и $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][(\text{NO}_2)_3\text{Rh}(\mu\text{-NO}_2)_{1+x}(\mu\text{-OH})_{2-x}\text{Rh}(\text{NO}_2)_3] \cdot (2-x)(\text{H}_2\text{O})$, $x = 0,17$ (**II**). Монокристаллы солей получены методом встречной диффузии через гель водных растворов $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ и $\text{Na}_3[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6]$. Структура $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][\text{Rh}(\text{NO}_2)_6]$ согласуется с данными дифракции на поликристаллическом образце плохорастворимой мелкокристаллической соли, образующейся при реакции обмена между водными растворами $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ и $\text{Na}_3[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6]$. Строение соли $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][(\text{NO}_2)_3\text{Rh}(\mu\text{-NO}_2)_{1+x}(\mu\text{-OH})_{2-x}\text{Rh}(\text{NO}_2)_3] \cdot (2-x)(\text{H}_2\text{O})$, $x = 0,17$ демонстрирует стабилизационный эффект большого катиона при образовании новых, ранее неизвестных координационных ионов $[(\text{NO}_2)_3\text{Rh}(\mu\text{-NO}_2)(\mu\text{-OH})_2\text{Rh}(\text{NO}_2)_3]^{3-}$ и $[(\text{NO}_2)_3\text{Rh}(\mu\text{-NO}_2)_2(\mu\text{-OH})\text{Rh}(\text{NO}_2)_3]^{3-}$.

Ключевые слова: родий, кобальт, комплексная соль, монокристалл, рентгенографическое исследование, стабилизация координационного иона.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование различных свойств двойных комплексных солей (ДКС) — одно из активно развивающихся направлений координационной химии [1—14]. ДКС являются промежуточными соединениями при аффинаже платиновых металлов [15], используются в аналитической химии [16, 17], применяются в качестве соединений-предшественников для приготовления наноразмерных полифазных систем [18—21]. Используют ДКС и при приготовлении катализаторов [22, 23]. Актуальными и чрезвычайно интересными являются исследования, связанные со стабилизационным эффектом большого катиона, проявляющегося при построении кристаллической решетки ДКС [24—26]. О стабилизационном эффекте впервые говорится в работе [27] и сейчас исследование влияния этого фактора приобрело новую силу в связи с развитием химии ДКС. Структурные исследования ДКС позволили обнаружить новые, более крупные, зачастую имеющие полимерную природу, координационные ионы [26, 28—30]. Стабилизация в твердом теле вновь обнаруженных ионов, которые, несомненно, существуют в качестве равновесных форм в водных растворах, происходит благодаря присутствию координационного противоиона, с которым образуются многочисленные водородные связи, помимо ионного взаимодействия.

В настоящей работе приведены кристаллические структуры двух солей, полученных при взаимодействии в одинаковых условиях двух одинаковых реагентов: $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ и $\text{Na}_3[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6]$. В результате встречной диффузии в геле образовались монокристаллы. Из общей массы было отобрано несколько качественных кристаллов, которые, как оказалось, имеют две различные структуры. При этом структура $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][\text{Rh}(\text{NO}_2)_6]$ (**I**) согласуется с дан-

ными дифракции на поликристаллическом образце плохо растворимой мелкокристаллической соли, образующейся при реакции обмена между водными растворами $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ и $\text{Na}_3[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6]$, что подтверждено соотношением расчетной дифрактограммы монокристалла с экспериментальной для массивного образца поликристаллов. Стабилизация двух обнаруженных анионов $[(\text{NO}_2)_3\text{Rh}(\mu\text{-NO}_2)(\mu\text{-OH})_2\text{Rh}(\text{NO}_2)_3]^{3-}$ и $[(\text{NO}_2)_3\text{Rh}(\mu\text{-NO}_2)_2(\mu\text{-OH})\text{Rh}(\text{NO}_2)_3]^{3-}$ в соли **II** происходит за счет образования большого количества слабых водородных связей между координированным аммиаком и атомами кислорода нитрит-ионов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез монокристаллов проводили встречной диффузией водных растворов $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ и $\text{Na}_3[\text{Rh}(\text{NO}_2)_6]$ с концентрацией $\sim 0,01$ М через крахмальный гель, помещенный в U-образную трубку при комнатной температуре в темноте. Кристаллы, подходящие для монокристалльного исследования, образовывались в течение 4—7 дней.

Исследование монокристаллов проведено на автоматическом дифрактометре Bruker Nonius X8 APEX [31] (MoK_α -излучение $0,71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор, CCD-детектор) при 150 К. Интенсивности отражений измерены методом ϕ -сканирования узких ($0,5^\circ$) фреймов. Поглощение учтено эмпирически по программе SADABS [31].

Кристаллические структуры **I** и **II** расшифрованы стандартным прямым методом. Окончательное уточнение проведено полноматричным МНК в анизотропном приближении для всех

Т а б л и ц а 1

Кристаллографические данные и условия дифракционных экспериментов для **I** и **II**

	I	II
Соединение		
Стехиометрическая формула	H18CoN12O12Rh	$\text{H18CoN13,17O17,95Rh2}$
Молекулярный вес	540,10	754,55
Сингония	Моноклинная	Тетрагональная
Пространственная группа	$P2/c$	$P4_32_12$
Параметры ячейки $a, b, c, \text{ \AA}; \beta$, град.	10,3397(12), 7,4227(8), 14,6370(11); 134,872(4)	11,9838(1), 11,9838(1), 30,2347(6); 90
Объем, \AA^3	796,11(14)	4342,05(10)
Z	2	8
Плотность (расчетная), г/см^3	2,253	2,309
Коэффициент поглощения, мм^{-1}	2,170	2,366
$F(000)$	540	2966
Размер кристалла, мм	0,15×0,10×0,08	0,14×0,12×0,12
Диапазон сбора данных по θ , град.	от 2,74 до 27,53	от 1,83 до 29,60
Диапазон h, k, l	$-13 \leq h \leq 13, -9 \leq k \leq 9,$ $-18 \leq l \leq 17$	$-13 \leq h \leq 16, -16 \leq k \leq 16,$ $-34 \leq l \leq 41$
Число измеренных рефлексов	5693	38797
Число независимых рефлексов	1843 [$R(\text{int}) = 0,0575$]	6113 [$R(\text{int}) = 0,0256$]
Полнота сбора данных по $\theta = 25,00^\circ$, %	99,4	100,0
Макс. и мин. пропускание	0,8456 и 0,7367	0,7644 и 0,7329
Число рефлексов / огр. / параметров	1843 / 0 / 166	6113 / 14 / 382
S -фактор по F^2	1,131	1,093
R -фактор [$I > 2\sigma(I)$]	$R1 = 0,0562, wR2 = 0,1122$	$R1 = 0,0310, wR2 = 0,0719$
R -фактор (все данные)	$R1 = 0,0891, wR2 = 0,1200$	$R1 = 0,0357, wR2 = 0,0738$
Параметр абсолютности структуры		0,03(2)
Макс. и мин. остаточной эл. плотности, e/\AA^3	0,856 и $-0,726$	0,971 и $-0,574$

атомов, кроме атомов водорода. Все вычисления были выполнены по комплексу программ SHELXTL [32]. Атомы водорода аммиака локализованы из карты разностного электронного синтеза и уточнены в приближении жесткого тела. Для координированных гидроксогрупп и кристаллизационных молекул воды (структура II) атомы водорода не локализованы. Параметры экспериментов и уточнения структур приведены в табл. 1. Основные длины связей — в табл. 2.

Рентгенодифрактометрическое исследование поликристаллических образцов синтезированных соединений проводили на дифрактометре ДРОН RM4 ($\text{CuK}\alpha$ -излучение, графитовый монохроматор $d_{hkl} = 3,345 \text{ \AA}$, комнатная температура). Образцы готовили, растирая в агатовой ступке в присутствии этанола. Полученную суспензию наносили на полированную сторону стандартной кварцевой кюветы. После высыхания образец представлял собой тонкий ровный слой толщиной ~ 100 мкм. В качестве внешнего эталона использовали образец поликристаллического кремния ($a = 5,4309 \text{ \AA}$), приготовленный аналогичным образом. Регистрацию дифрактограмм проводили в пошаговом режиме ($\Delta 2\theta = 0,1^\circ$), в диапазоне углов 2θ от 5 до 60° .

Т а б л и ц а 2

Основные межатомные расстояния (\AA) для I и II

I		II			
Rh(1)—N(1N)	2,033(7)	Rh(1)—N(1N)	2,011(4)	N(2N)—O(21N)	1,213(5)
Rh(1)—N(1N)#1*	2,033(7)	Rh(1)—N(2N)	2,034(4)	N(2N)—O(22N)	1,231(5)
Rh(1)—N(1)	2,035(14)	Rh(1)—N(3N)	2,043(4)	N(3N)—O(31N)	1,153(6)
Rh(1)—N(1)#1	2,035(14)	Rh(1)—N(4N)	2,057(4)	N(3N)—O(32N)	1,265(6)
Rh(1)—N(3)	2,022(14)	Rh(1)—N(5N)	2,17(2)	N(3N)—O(33N)	1,184(10)
Rh(1)—N(3)#1	2,022(14)	Rh(2)—N(6N)	1,987(4)	N(3N)—O(34N)	1,222(10)
Rh(1)—N(2)	2,044(16)	Rh(2)—N(7N)	1,977(4)	N(4N)—O(41N)	1,297(5)
Rh(1)—N(2)#1	2,044(16)	Rh(2)—N(8N)	1,986(3)	N(4N)—O(42N)	1,211(4)
Rh(1)—N(4)#1	2,060(15)	Rh(1)—O(1)	2,037(3)	N(5N)—O(51N)	1,29(3)
Rh(1)—N(4)	2,060(15)	Rh(1)—O(6)	2,043(4)	N(5N)—O(52N)	1,20(3)
Co(1)—N(11)	1,929(9)	Rh(2)—O(1)	2,067(4)	N(6N)—O(61N)	1,210(6)
Co(1)—N(11)#2	1,929(9)	Rh(2)—O(6)	2,070(4)	N(6N)—O(62N)	1,226(5)
Co(1)—N(12)	1,938(7)	Rh(2)—O(41N)	2,084(3)	N(7N)—O(71N)	1,174(6)
Co(1)—N(12)#2	1,938(7)	Rh(2)—O(51N)	2,13(2)	N(7N)—O(72N)	1,218(7)
Co(1)—N(13)	1,963(6)	Rh(1)—Rh(2)	3,0168(4)	N(8N)—O(81N)	1,218(5)
Co(1)—N(13)#2	1,963(6)	Co(3)—N(1)	1,953(3)	N(8N)—O(82N)	1,224(5)
N(1N)—O(11N)	1,229(12)	Co(3)—N(2)	1,962(4)	O(3W)—O(3W)#3	1,17(4)
N(1N)—O(12N)	1,192(11)	Co(3)—N(3)	1,957(3)	O(3W)—O(4W)	1,18(3)
N(1)—O(1)	1,24(2)	Co(3)—N(4)	1,962(3)	O(4W)—O(5W)	1,17(3)
N(1)—O(2)	1,27(3)	Co(3)—N(5)	1,954(4)	O(5W)—O(6W)	1,27(3)
N(2)—O(3)	1,21(2)	Co(3)—N(6)	1,965(3)	O(5W)—O(6W)#3	1,49(3)
N(2)—O(4)	1,33(2)	N(1N)—O(11N)	1,240(5)	O(6W)—O(6W)#3	0,93(3)
N(3)—O(5)	1,238(19)	N(1N)—O(12N)	1,195(6)	O(6W)—O(5W)#3	1,49(3)
N(3)—O(6)	1,366(16)				
N(4)—O(6)	1,247(16)				
N(4)—O(7)	1,16(2)				

* Операторы симметрии, используемые для генерации эквивалентных атомов: #1 $-x, -y, -z$, #2 $-x+1, -y+1, -z$, #3 $-y, -x, -z+1/2$.

Уточнение параметров решетки проводили полнопрофильным методом по всему массиву отражений с использованием прикладной программы PowderCell v.2.4 [33].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

В ходе эксперимента было обнаружено, что синтезированное вещество состоит, как минимум, из двух фаз. Из общей массы были отобраны два типа кристаллов. Хорошо ограненные кристаллы совершенного вида имеют бóльшие параметры ячейки ($a = b \approx 11,98 \text{ \AA}$, $c = 30,2 \text{ \AA}$) и отнесены к соли II. Ее существование не обнаруживается при анализе рентгенограммы поликристаллов, индиферирование которой приводит нас к уменьшенной ячейке с примитивными параметрами около $a = 10,4$, $b = 7,4$, $c = 14,5 \text{ \AA}$, $\beta = 134,8^\circ$. В это же время попытки адекватного описания структуры I по данным от монокристаллов, индиферированных в меньшей ячейке в различных группах тетрагональной сингонии, не приводят к удовлетворительным результатам. Такое описание дает только общую картину расположения самых многоэлектронных атомов Rh и Co, а также части первой координационной сферы, при этом нет никакой ясности о ее полном строении. То есть, можно определить, каким количеством донирующих атомов окружены центральные атомы, но понять, к какому сорту частиц они принадлежат, невозможно на достоверном уровне. Успешным оказалось решение структуры в триклинной сингонии, отвечающей тетрагональной псевдосимметрии *более сильного* разупорядочения, с последующим увеличением симметрии до моноклинной с помощью комплекса программ PLATON [34].

Структура I. Структура *гексанитрородиата гексаамминкобальта(III) I* (рис. 1) является островной, с отдельными комплексными катионами и анионами. Строение катионов гексаамминкобальта(III) типичное для таких соединений, малоискаженное октаэдрическое. В структуре присутствует один независимый катион гексаамминкобальта(III), занимающий положение центра инверсии. В строении аниона гексанитрородиата(III) тоже ничего необычного нет — традиционный малоискаженный координационный октаэдр со средним расстоянием Rh—N $2,051(14) \text{ \AA}$, что характерно для всех соединений, содержащих его. При этом из карты разностной электронной плотности можно выделить два положения ориентации координационных полиэдров атомов родия, с поворотом на половину координационного угла, т.е. около 45° , вокруг одной из осей октаэдра (Rh1—N1N) с половинной заселенностью разупорядоченных позиций.

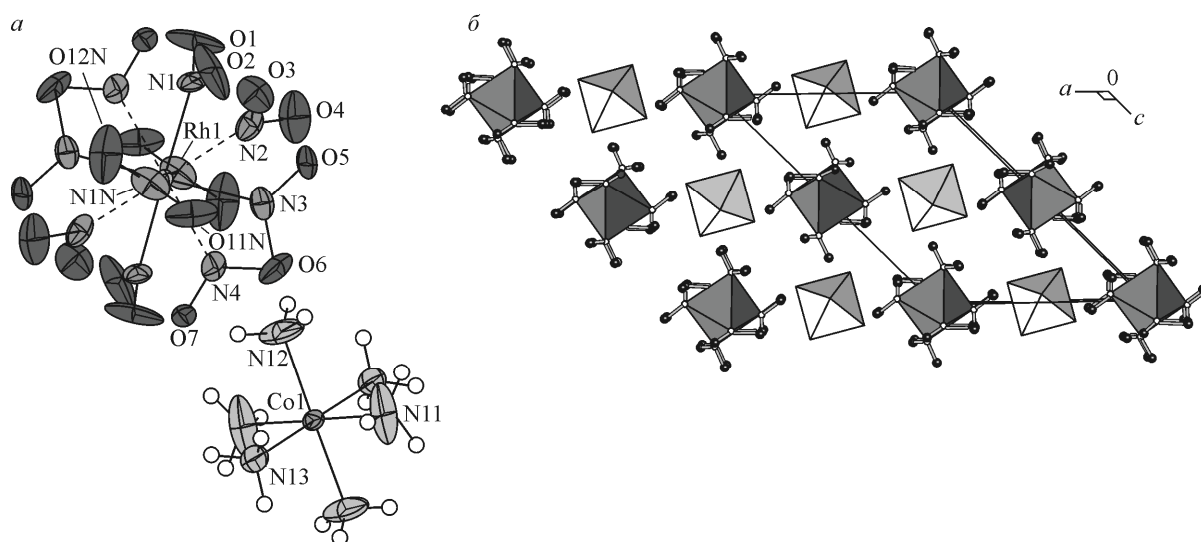


Рис. 1. Структура I: строение независимой части, эллипсоиды тепловых колебаний приведены для 50 % вероятности (а), проекция упаковки на плоскости ac (б).

При прорисовке опущены альтернативные позиции атомов, атомы водорода и кристаллизационные молекулы воды. Катионы представлены светлыми полиэдрами, анионы — темными

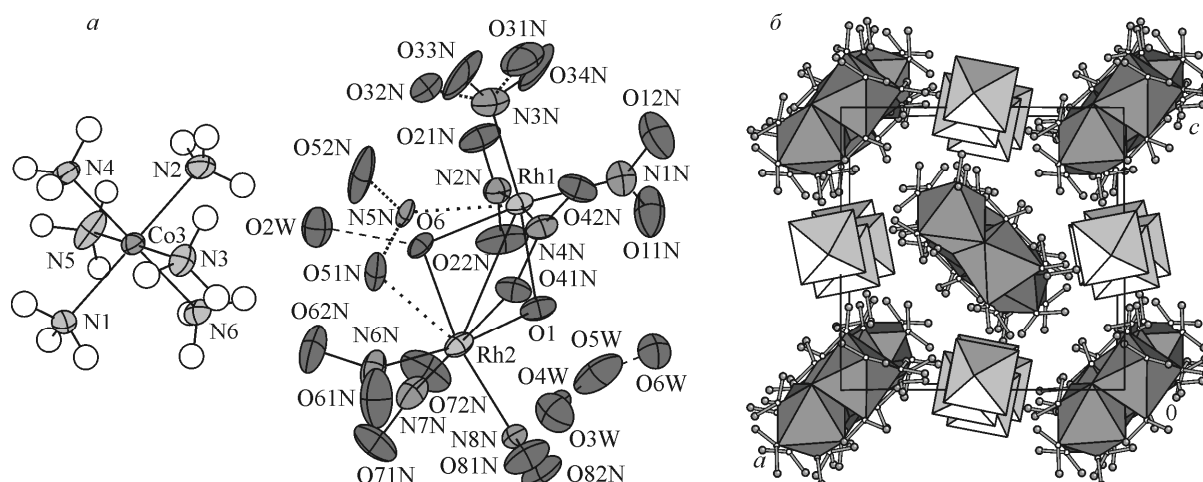


Рис. 2. Структура II: строение независимой части, эллипсоиды тепловых колебаний приведены для 50 % вероятности (а) (пунктирной линией обозначена водородная связь, точками — альтернативное положение лиганда), проекция упаковки на плоскости ac (б).

При прорисовке опущены альтернативные позиции атомов, атомы водорода и кристаллизационные молекулы воды. Катионы представлены светлыми полиэдрами, анионы — темными

Атомы родия занимают еще одну систему центров инверсии группы.

Упаковка комплексных катионов и анионов является псевдослоистой вдоль оси b , с чередованием катонных и анионных слоев. Если рассматривать мотив катионно-анионной упаковки, то он относится к типу CsCl.

Структура II. В целом структура представляется островной, в ней присутствуют крупные структурные единицы — биядерные анионные гидроксонитрокомплексы родия(III) и катионы гексаамминкобальта(III) (рис. 2). В то время как строение катионов гексаамминкобальта(III) является традиционным, биядерный комплекс родия обнаружен нами впервые, и поэтому его строение представляет интерес. Атомы родия в биядерном комплексе связаны тремя мостиковыми лигандами: нитрит-ионом, гидроксид-ионом и третье положение статистически занято μ -гидроксид-ионом или нитрит-ионом, координирующим атомы родия, с одной стороны, как N-донорный лиганд, с другой — как O-донорный, одновременно с этим гидроксид-ион образует водородную связь с молекулой кристаллизационной воды. Заселенности позиций гидроксид-иона и связанной с ним молекулой воды и нитрит-иона уточнены в предположении, что координационное место занято нацело. Дополнительно к трем мостиковым лигандам, каждый атом родия донирован тремя нитрит-ионами через атом азота, образующими слегка искаженную октаэдрическую координационную сферу вокруг каждого атома родия. Таким образом, формулу соединения можно представить как $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][(\text{NO}_2)_3\text{Rh}(\mu\text{-NO}_2)_{1+x}(\mu\text{-OH})_{2-x}\text{Rh}(\text{NO}_2)_3] \cdot (2-x)(\text{H}_2\text{O})$, где $x = 0,17$. Дальнейшая упаковка катионов и анионов осуществляется по типу CsCl. Кристаллизационные молекулы воды занимают пустоты, окруженные четырьмя комплексными катионами и двумя комплексными анионами, располагающимися в вершинах искаженного октаэдра. Водородные связи средней силы (2,76—2,89 Å) образуются между кристаллизационными молекулами воды и координированными гидроксид- и нитрит-ионами. Также образуется большое количество слабых водородных связей между координированными молекулами аммиака и атомами кислорода нитрит-ионов и кристаллизационных молекул воды.

Хочется отметить, что тип упаковки в двух исследованных структурах один и тот же. Различие заключается в самих комплексных частицах. Если катионная часть одинакова для обеих структур, то анионная различается. Чем и объясняется небольшое метрическое несоответствие решеток, в узлах которых лежат атомы родия (I) и центры масс биядерных комплексов родия (II). Так, $c_{\text{II}} \sim 4b_{\text{I}}$, $a_{\text{II}} = b_{\text{II}} \sim (a_{\text{I}} + c_{\text{I}})$.

Для соли II характерно наличие двух комплексных двухцентровых родиевых анионов. Соль II лучше рассматривать не как индивидуальное соединение, ибо нет данных о наличии

дальнего порядка в чередовании анионов $[(\text{NO}_2)_3\text{Rh}(\mu\text{-NO}_2)(\mu\text{-OH})_2\text{Rh}(\text{NO}_2)_3]^{3-}$ и $[(\text{NO}_2)_3\text{Rh}(\mu\text{-NO}_2)_2(\mu\text{-OH})\text{Rh}(\text{NO}_2)_3]^{3-}$, а как твердый раствор двух двойных комплексных солей $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6] \times [(\text{NO}_2)_3\text{Rh}(\mu\text{-NO}_2)(\mu\text{-OH})_2\text{Rh}(\text{NO}_2)_3] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6][(\text{NO}_2)_3\text{Rh}(\mu\text{-NO}_2)_2(\mu\text{-OH})\text{Rh}(\text{NO}_2)_3] \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Наличие большого количества водородных связей между координационными ионами оказывает благоприятное влияние на стабилизацию родиевых комплексных анионов. Для координационных соединений родия известны олигомерные формы, фиксируемые в растворах физико-химическими методами [35—37]. В нашем случае нам удалось зафиксировать димерные формы родия, устойчивые и в твердом теле.

Исследования выполнялись в рамках Интеграционного проекта СО РАН № 64 при частичной финансовой поддержке Государственного контракта № 11.519.11.3021, выполняемого в рамках Федеральной целевой программы "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 годы", при финансовой поддержке Государственного контракта № 02.740.11.0628 от 29.03.2010 г., выполняемого в рамках Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009—2013, в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований 11-03-00168-а. Авторы признательны за оказанную финансовую поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громилов С.А., Шушарина Е.А., Плюснин П.Е. и др. // Журн. структур. химии. – 2010. – **51**, № 4. – С. 800 – 804.
2. Байдина И.А., Макотченко Е.В., Шушарина Е.А. и др. // Журн. структур. химии. – 2010. – **51**, № 6. – С. 544 – 551.
3. Храненко С.П., Шушарина Е.А., Смоленцев А.И. и др. // Журн. структур. химии. – 2010. – **51**, № 3. – С. 601 – 604.
4. Ильин М.А., Емельянов В.А., Байдина И.А. // Журн. структур. химии. – 2010. – **51**, № 1. – С. 105 – 112.
5. Корольков И.В., Мартынова С.А., Юсенко К.В. и др. // Журн. неорган. химии. – 2010. – **55**, № 9. – С. 1429 – 1433.
6. Юсенко К.В., Шушарина Е.А., Громилов С.А. // Журн. структур. химии. – 2010. – **51**, № 5. – С. 969 – 975.
7. Raj Pal Sharma, Ajnesh Singh, Paloth Venugopalan et al. // J. Mol. Struct. – 2010. – **975**. – P. 1 – 4.
8. Shusharina E., Khranenko S., Plusnin P. et al. // Acta Crystallogr. – 2010. – **A66**. – P. 192.
9. Nedoseykina T., Plyusnin P., Shubin Y. et al. // J. Therm. Anal. & Calor. – 2010. – **102**, N 2. – P. 703 – 708.
10. Korolov I., Martynova S., Yusenko K. et al. // Acta Crystallogr. – 2009. – **A65**. – P. 284 – 285
11. Мартынова С.А., Юсенко К.В., Корольков И.В. и др. // Журн. структур. химии. – 2009. – **50**, № 1. – С. 126 – 132.
12. Надолинный В.А., Небогатикова Н.А., Плюснин П.Е. и др. // Журн. структур. химии. – 2009. – **50**, № 5. – С. 951 – 954.
13. Храненко С.П., Шушарина Е.А., Громилов С.А. и др. // Журн. структур. химии. – 2009. – **50**, № 6. – С. 1257 – 1259.
14. Плюснин П.Е., Байдина И.А., Шубин Ю.В. и др. // Журн. неорган. химии. – 2008. – **53**, № 11. – С. 1844 – 1852.
15. Гринберг А.А. Введение в химию комплексных соединений. – М.—Л.: Химия, 1966.
16. Чугаев Л.А. Химия комплексных соединений. – М.: Наука, 1979.
17. Креймер С.Е., Ломехов А.С. // Заводск. лабор. – 1962. – **XXVIII**, № 10. – С. 1192 – 1193.
18. Filatov E.Yu., Yusenko K.V., Vikulova E.S. et al. // Z. Kristallogr. – 2009. – **30**, Suppl. – S. 263 – 268.
19. Shubin Yu., Korenev S., Zadesenez A. et al. // Acta Crystallogr. – 2009. – **A65**. – P. 339.
20. Yusenko K.V., Korolov I.V., Martynova S.A. et al. // Z. Kristallogr. – 2009. – **30**, Suppl. – S. 269 – 275.
21. Мартынова С.А., Юсенко К.В., Корольков И.В. и др. // Журн. неорган. химии. – 2007. – **52**, № 11. – С. 1843 – 1848.
22. Снытников П.В., Юсенко К.В., Корнев С.В. и др. // Кинетика и катализ. – 2007. – **48**, № 2. – С. 276 – 281.
23. Чуракова Е.М., Бадмаев С.Д., Снытников П.В. и др. // Кинетика и катализ. – 2010. – **51**, № 6. – С. 893 – 897.
24. Beauchamp D.A., Loeb S.J. // Chem. — A Europ. J. – 2002. – **8**, N 22. – P. 5084 – 5088.

25. *Raj P. Sharma, Ajnesh Singh, Anju Saini et al.* // *J. Mol. Struct.* – 2010. – **980**. – P. 261 – 266.
26. *Abrahams B.F., Haywood M.G., Robson R.* // *Chem. Commun.* – 2004. – **10**, N 8. – P. 938 – 939.
27. *Basolo F.* // *Coord. Chem. Rev.* – 1968. – **3**, N 2. – P. 213 – 223.
28. *Sharma R.P., Sharma R., Kumar A. et al.* // *Inorg. Chem Commun.* – 2009. – **12**, N 10. – P. 945 – 947.
29. *Gubanov A.I., Kuratieva N.V.* // *Acta Crystallogr.* – 2007. – **C63**. – P. i83 – i85.
30. *Shusharina E., Rybinskaya A., Plusnin P. et al.* // *Acta Crystallogr.* – 2010. – **A66**. – P. S192 – S193.
31. *Bruker AXS Inc.* (2004). APEX (Version 1.08), SAINT (Version 7.03) and SADABS (Version 2.11). Bruker Advanced X-Ray Solutions. – Madison, Wisconsin, USA.
32. *Sheldrick G.M.* // *Acta Crystallogr.* – 2008. – **A64**. – P. 112 – 122.
33. *Kraus W., Nolze G.* PowderCell 2.4, Program for the representation and manipulation of crystal structures and calculation of the resulting X-ray powder patterns, Federal Institute for Materials Research and Testing, Berlin, Germany, 2000.
34. *Spek A.L.* // *Acta Crystallogr.* – 1990. – **A46**. – P. 34. PLATON—A Multipurpose Crystallographic Tool. – Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.
35. *Беляев А.В., Федотов М.А., Воробьева С.Н.* // *Координац. химия.* – 2009. – **35**, № 11. – С. 834 – 839.
36. *Read M.C., Glaser J., Sandström M. et al.* // *Inorg. Chem.* – 1992. – **31**, N 20. – P. 4155 – 4159.
37. *Drljaca A., Spiccia L., Krouse H.R. et al.* // *Inorg. Chem.* – 1996. – **35**, N 4. – P. 985 – 990.