

УДК 546.97:547.82:543.442.2:543.442.3

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ АНИОНА НА СТРУКТУРУ КОМПЛЕКСНЫХ СОЛЕЙ
[RhL₄Cl₂]X (L = Py, γ- и β-пиколины)****Д.Б. Васильченко^{1,2}, А.Б. Венедиктов¹, И.А. Байдина¹, С.В. Корнев^{1,2}**¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: vasilchenko@niic.nsc.ru

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Россия

Статья поступила 14 марта 2014 г.

В работе проведен анализ кристаллических структур солей [RhL₄Cl₂]X (L = Py, γ- и β-пиколины; X — различные анионы) в свете влияния на них природы аниона X. Показана ключевая роль межмолекулярных взаимодействий анионов в построении общего мотива структуры.

Ключевые слова: родий, пиридин, пиколин, рентгеноструктурный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Комплексные соединения родия с гетероциклическими лигандами обладают широким спектром интересных с практической точки зрения свойств: каталитическая активность [1], люминесценция [2], антибактериальные и противоопухолевые свойства [3, 4]. С другой стороны, данные соединения являются удобными моделями для изучения фундаментальных закономерностей в координационной химии. Наравне с исследованиями превращений в растворе [5] комплексы родия с гетероциклическими лигандами применялись для изолирования в твердую фазу неустойчивых частиц, в том числе комплексных. Например, катион [RhPy₄Cl₂]⁺ применяли для стабилизации анионов [Ag(NO₃)₂]⁻ и [H(NO₃)₂]⁻ [6—8]. Имея сравнительно простое строение, комплексные соли [RhL₄Cl₂]X при систематическом подходе могли бы продемонстрировать основные закономерности кристаллического строения подобных соединений. Однако, с точки зрения исследования кристаллических структур, комплексы родия с пиридином и его производными с алифатическими заместителями охвачены в гораздо меньшей степени, чем, например, соединения с такими лигандами, как 2,2'-бипиридил, фенантролин и др. [10]. В связи с вышесказанным было интересно провести анализ кристаллических структур солей, содержащих катионы [RhL₄Cl₂]⁺, и определить влияние состава на их строение. В настоящей работе проведено исследование солей состава [Rh(γ-Pic)₄Cl₂]HSO₄·H₂SO₄·4H₂O (I), [RhPy₄Cl₂]Sal·2H₂O (II), где Sal⁻ — салицилат-ион, [RhPy₄Cl₂]BF₄·DMFA (III), [RhPy₄Cl₂]SCN (IV), [Rh(γ-Pic)₄Cl₂]××BPh₄ (V). Синтезированные соединения изучены комплексом физико-химических методов и определены их кристаллические структуры. Проведено сравнение упаковки частиц в структурах данных соединений, а также ранее описанных солей [RhL₄Cl₂]X [9—12], в зависимости от природы аниона.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез комплексов [RhL₄Cl₂]Cl·xH₂O (L = Py и γ-Pic) из коммерческого препарата трихлорида родия (ОАО "Красноярский завод цветных металлов им. В.Н. Гулидова") проводили по

Т а б л и ц а 1

Данные элементного анализа для синтезированных соединений

Соединение	Найдено (вычислено)		
	С	Н	N
[Rh(Py) ₄ Cl ₂]SCN	45,9 (46,00)	3,8 (3,68)	12,7 (12,77)
[Rh(γ-Pic) ₄ Cl ₂]HSO ₄ ·H ₂ SO ₄ ·4H ₂ O	35,1 (35,43)	4,9 (4,83)	6,5 (6,89)
[Rh(γ-Pic) ₄ Cl ₂]BF ₄	45,6 (45,53)	4,3 (4,46)	8,9 (8,85)
[Rh(γ-Pic) ₄ Cl ₂]BPh ₄	66,9 (66,61)	5,4 (5,59)	6,2 (6,47)
[RhPy ₄ Cl ₂]Sal·2H ₂ O	49,0 (48,89)	4,2 (4,41)	8,3 (8,45)

ранее описанной методике [9—11]. Сольват гидросульфатной соли [Rh(γ-Pic)₄Cl₂]HSO₄·H₂SO₄·4H₂O получали по описанной ранее методике [12].

Комплексные соли [RhL₄Cl₂]X (L = Py и γ-Pic, X = BPh₄⁻, BF₄⁻, SCN⁻, Sal⁻) осаждали из ~0,05 М горячих растворов хлоридов солей [RhL₄Cl₂]Cl при добавлении избытка насыщенных растворов солей-осадителей: NaBPh₄, NaBF₄, KSCN, салицилат натрия. Осадки светло-желтого цвета отделяли фильтрованием на пористом стеклянном фильтре (пор. 40), промывали минимумом воды и сушили на воздухе. Выход 95—98 %.

Монокристаллы солей получали медленным охлаждением насыщенных горячих (60—80 °С) растворов соответствующих комплексов в воде ([RhPy₄Cl₂]SCN, [RhPy₄Cl₂]Sal·2H₂O), в ДМФА ([Rh(γ-Pic)₄Cl₂]BPh₄, [Rh(γ-Pic)₄Cl₂]BF₄·DMFA) и в 50%-ой серной кислоте ([Rh(γ-Pic)₄Cl₂]HSO₄·H₂SO₄·4H₂O). Все полученные соединения охарактеризованы элементным анализом (табл. 1).

Рентгенодифрактометрическое исследование поликристаллических образцов проводили на дифрактометре ДРОН-SEIFERT-RM4 (CuK_α-излучение, графитовый монохроматор на отраженном пучке, детектор сцинтилляционный с амплитудной дискриминацией). Образцы готовились нанесением суспензии в гексане на полированную сторону кюветы из плавленого кварца. В качестве внешнего эталона использовали образец поликристаллического кремния (*a* = 5,4309 Å), приготовленный аналогичным образом. Регистрацию дифрактограмм проводили в пошаговом режиме в диапазоне углов 2θ от 5 до 60°.

Экспериментальные данные для расшифровки кристаллической структуры солей получены при комнатной температуре на автоматическом четырехкружном дифрактометре Bruker-Nonius X8 Apex, оснащенном двухкоординатным CCD-детектором (MoK_α-излучение, графитовый монохроматор). Кристаллографические характеристики исследованных соединений и параметры эксперимента приведены в табл. 2. Структуры расшифрованы прямым методом и уточнены в анизотропно-изотропном (для H) приближении, атомы водорода частично локализованы из разностных синтезов, частично заданы геометрически. Все расчеты выполнены по комплексу программ SHELX-97 [13]. Дополнительные кристаллографические данные доступны из Кембриджского центра кристаллографических данных (<http://www.ccdc.cam.ac.uk/>): № 813322 для I, № 988892 для II, № 812100 для III, № 812098 для IV и № 812099 для V. По монокристалльным данным рассчитаны теоретические дифрактограммы, сравнение которых с дифракционными картинками, полученными экспериментально, показало согласие структур монокристаллов со структурой поликристаллических образцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Взаимное расположение частиц в кристаллах солей определяется несколькими параметрами, важнейшими из которых являются соотношение геометрических размеров анионов и катионов, а также наличие тех или иных взаимодействий между анионами. В рассмотренных примерах влияние второго параметра представлено образованием протяженных элементов (плоскостей или цепочек) в структурах солей за счет водородных связей, которые образуются между

Т а б л и ц а 2

Основные кристаллографические характеристики и детали рентгеноструктурного анализа соединений

Соединение	III	V	I	II	IV
Брутто-формула	$C_{27}H_{35}BCl_2F_4N_5ORh$	$C_{48}H_{48}BCl_2N_4Rh$	$C_{24}H_{40}Cl_2N_4O_{12}RhS_2$	$C_{27}H_{29}Cl_2N_4O_5Rh$	$C_{21}H_{20}Cl_2N_5RhS$
<i>M</i>	706,22	865,52	814,54	663,35	548,29
Простр. группа	<i>C</i> 2/ <i>c</i>	<i>P</i> 2 ₁ / <i>c</i>	<i>P</i> 1	<i>Pca</i> 2 ₁	<i>Pnna</i>
<i>a</i> , Å	16,9505(5)	9,6359(2)	8,8087(5)	15,240(3)	15,6317(5)
<i>b</i> , Å	15,8102(4)	17,2977(5)	14,0863(8)	7,3136(15)	15,8610(6)
<i>c</i> , Å	23,1516(6)	25,9159(7)	14,2868(6)	25,578(5)	8,9078(4)
α , град.			95,992(1)	90	90
β , град.	96,4520(10)	98,1100(10)	90,588(1)	90	90
γ , град.			6,055(2)	90	90
<i>V</i> , Å ³	6165,1(3)	4276,4(2)	1752,8(2)	2850,9(10)	2208,55(15)
$\rho_{\text{выч}}$, г/см ³	1,522	1,344	1,543	1,545	1,649
<i>Z</i>	8	4	4	4	4
Область углов θ , град.	2,04—31,55	1,42—26,40	2,15—26,37	2,67—33,23	2,57—33,13
Число отражений: всего / независимых	8828 / 6955	8740 / 6684	10824 / 7567	10830 / 8466	4210 / 3012
Диапазон индексов	$-23 \leq h \leq 22$ $-23 \leq k \leq 18$ $-31 \leq l \leq 32$	$-12 \leq h \leq 8$ $-21 \leq k \leq 21$ $-30 \leq l \leq 32$	$-10 \leq h \leq 11$ $-17 \leq k \leq 17$ $-10 \leq l \leq 17$	$-23 \leq h \leq 21$ $-11 \leq k \leq 5$ $-38 \leq l \leq 38$	$-24 \leq h \leq 13$ $-24 \leq k \leq 21$ $-13 \leq l \leq 13$
GOOF по F^2	1,039	1,014	0,951	1,041	1,037
$\Delta\rho_{\text{max}}, \Delta\rho_{\text{min}}, e/\text{\AA}^3$	0,725, -0,895	0,368, -0,320	0,434, -0,361	0,637, -0,798	0,662, -0,948
Число уточняемых параметров	396	674	871	396	180
<i>R</i> 1 и <i>wR</i> 2 для $I > 2\sigma(I)$	0,0352 и 0,0683	0,0299 и 0,0649	0,0379 и 0,0691	0,0310 и 0,0673	0,0369 и 0,0736
№ CCDC	812100	812099	813322	988892	812098

молекулами анионов и молекулами включенного растворителя. Происходит это потому, что комплексные катионы $[RhL_4Cl_2]^+$, где L — пиридин или его производные с алифатическими заместителями, в отличие, например, от аналогичных комплексов родия(III) с изоникотиновой кислотой [10, 14], не обладают функциональными группами, способными к сильному взаимодействию с окружающими молекулами в структурах.

В большинстве случаев, если анион склонен к образованию сильных водородных связей, в структуре формируются слои, состоящие из анионов, связанных между собой и (или) с молекулами растворителя. Для таких слоистых структур характерно образование тонких плоских кристаллов, форма которых обуславливает наличие текстурных эффектов на экспериментальных дифракционных картинах поликристаллических порошков. К солям такого типа относятся кристаллогидраты хлоридов $[RhL_4Cl_2]Cl \cdot nH_2O$, описанные нами ранее [10], салицилатная соль $[RhPy_4Cl_2]Sal \cdot 2H_2O$, а также сольват гидросульфатной соли следующего состава $[Rh(\gamma-Pic)_4Cl_2]HSO_4 \cdot H_2SO_4 \cdot 4H_2O$.

Для сольвата гидросульфатной соли $[Rh(\gamma-Pic)_4Cl_2]HSO_4 \cdot H_2SO_4 \cdot nH_2O$ обнаружены две возможные структуры, отличающиеся количеством кристаллизационной воды. Первая из них — тетрагидрат $[Rh(\gamma-Pic)_4Cl_2]HSO_4 \cdot H_2SO_4 \cdot 4H_2O$, кристаллизуется из растворов крепкой (50 %) серной кислоты, вторая — моногидрат $[Rh(\gamma-Pic)_4Cl_2]HSO_4 \cdot H_2SO_4 \cdot H_2O$, кристаллизуется при испарении изопропанольного раствора тетрагидрата. Структура моногидрата была установлена

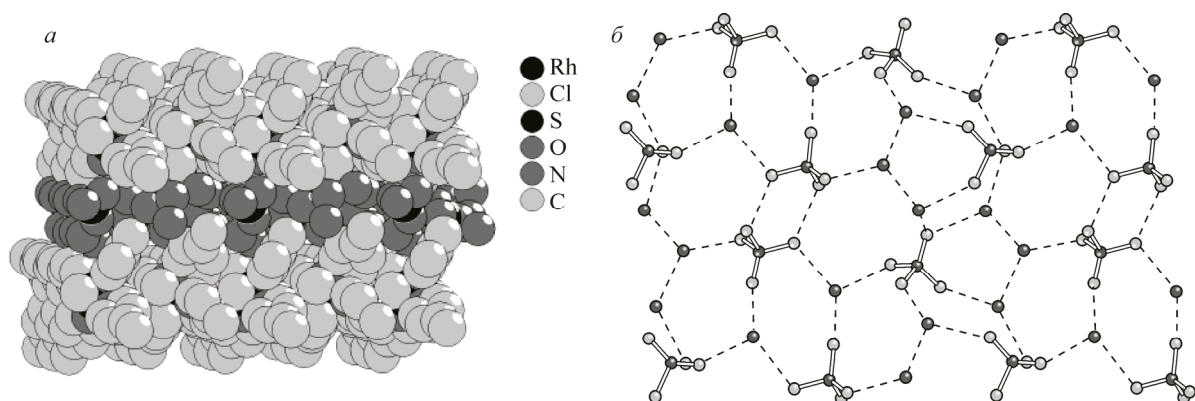


Рис. 1. Общий вид кристаллической структуры соли $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]\text{HSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (а), строение слоев $\{\text{HSO}_4^- \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}\}_n$ (б)

в работе [12], в ней комплексные катионы образуют каналы, заполняемые цепочками, построенными из молекул H_2SO_4 , H_2O и анионов HSO_4^- . В цепочках молекулы связаны друг с другом системой водородных связей. В ходе настоящей работы были выращены монокристаллы тетрагидрата и изучена их структура. Как и было предположено в вышеупомянутой работе, она построена из слоев комплексных катионов, чередующихся со слоями, состоящими из молекул H_2SO_4 , H_2O и анионов HSO_4^- , связанных между собой сеткой сильных водородных связей (рис. 1).

Связь структура—свойство ярко проявляется в случае сольватов $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]\text{HSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$: тетрагидрат обладает высокой протонной проводимостью ($\sigma = 5 \cdot 10^{-4}$ См/см, в вакууме при 25°C), проводимость моногидрата на несколько порядков ниже. Существует принципиальное отличие в строении слоев $\{\text{HSO}_4^- \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}\}_n$ и цепочек $\{\text{HSO}_4^- \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}\}_n$ описанных гидросульфатных солей. В слоях тетрагидрата можно выделить бесконечные мотивы $\dots\text{H}_3\text{O}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{H}_3\text{O}^+ \dots$, в то время как в цепочках моногидрата такие последовательности всюду ограничиваются димерными фрагментами $\text{HSO}_4^- \dots \text{HSO}_4^-$. Эта структурная особенность приводит к наличию в слоистых солях $[\text{RhL}_4\text{Cl}_2]\text{HSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ($\text{L} = \text{Py}, \gamma\text{-Pic}$) значительной протонной подвижности.

Гидрат салицилатной соли $[\text{RhPy}_4\text{Cl}_2]\text{Sal} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ также обладает слоистой структурой (рис. 2), однако отличается особой укладкой катионов в слоях. В структурах солей $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]\text{HSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]\text{Cl} \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$ наблюдается сонаправленность осей $\text{Cl}-\text{Rh}-\text{Cl}$ комплексных катионов при укладке в слои, в то время как в слоистой структуре

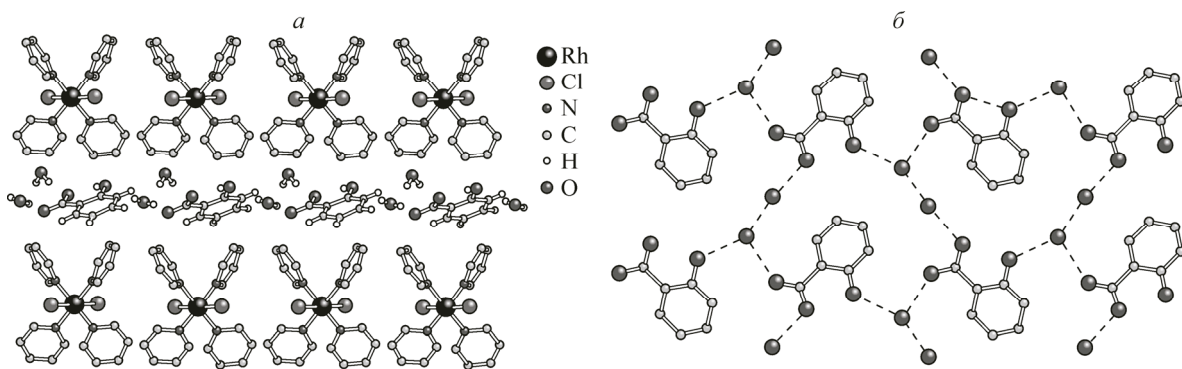


Рис. 2. Общий вид кристаллической структуры соли $[\text{RhPy}_4\text{Cl}_2]\text{Sal} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (а) и слоев $(\text{Sal} \cdot 2\text{H}_2\text{O})^-$ (б) в составе этой структуры

Рис. 3. Общий вид кристаллической структуры соли $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]\text{BF}_4 \cdot \text{DMFA}$

салицилатной соли комплексные катионы располагаются "неколлинеарно", образуя своего рода паркетную укладку. В свою очередь, анионы в слоях связаны системой водородных связей с молекулами воды и формируют прочную двумерную структуру. Расстояния между соседними слоями катионов (расстояние между плоскостями, содержащими атомы Rh конкретного слоя катионов) во всех слоистых солях близки: 13,7 Å для $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]\text{HSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 13,1 Å для $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]\text{Cl} \cdot 4,5\text{H}_2\text{O}$; 12,8 Å для $[\text{RhPy}_4\text{Cl}_2]\text{Sal} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и определяются, в основном, размерами и расположением молекул анионов.

Ранее было показано, что тетраэдрические анионы XO_4^- ($\text{X} = \text{Re}, \text{Mn}, \text{Cl}$) образуют с катионом $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]^+$ ряд изоструктурных солей [10, 15], без включения растворителей. При этом анионы XO_4^- располагаются в полостях, образующихся при упаковке катионов $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]^+$. Анион BF_4^- значительно меньше размера данных полостей и поэтому не может образовать устойчивую структуру, аналогичную солям $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]\text{XO}_4$. Вследствие этого соль $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]\text{BF}_4$ кристаллизуется из H_2O и ДМФА в виде сольватов. На рис. 3 представлен общий вид структуры сольвата $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]\text{BF}_4 \cdot \text{DMFA}$. Анионы BF_4^- и молекулы ДМФА располагаются в каналах, образованных комплексными катионами. Включение растворителя в структуру соли позволяет получить более плотную упаковку частиц.

Соль $[\text{RhPy}_4\text{Cl}_2]\text{SCN}$ кристаллизуется в ячейке с тетрагональной симметрией, в которой комплексные катионы образуют вдоль оси c канал, где располагаются цепочки анионов SCN^- . Расстояние $\text{S} \dots \text{N} = 6,115 \text{ \AA}$ между соседними молекулами дает основание считать, что анионы не связаны слабыми взаимодействиями друг с другом (рис. 4).

Известно, что наиболее устойчивые кристаллические структуры солей образуются при сочетании противоионов близкого размера. Эти соединения являются труднорастворимыми,

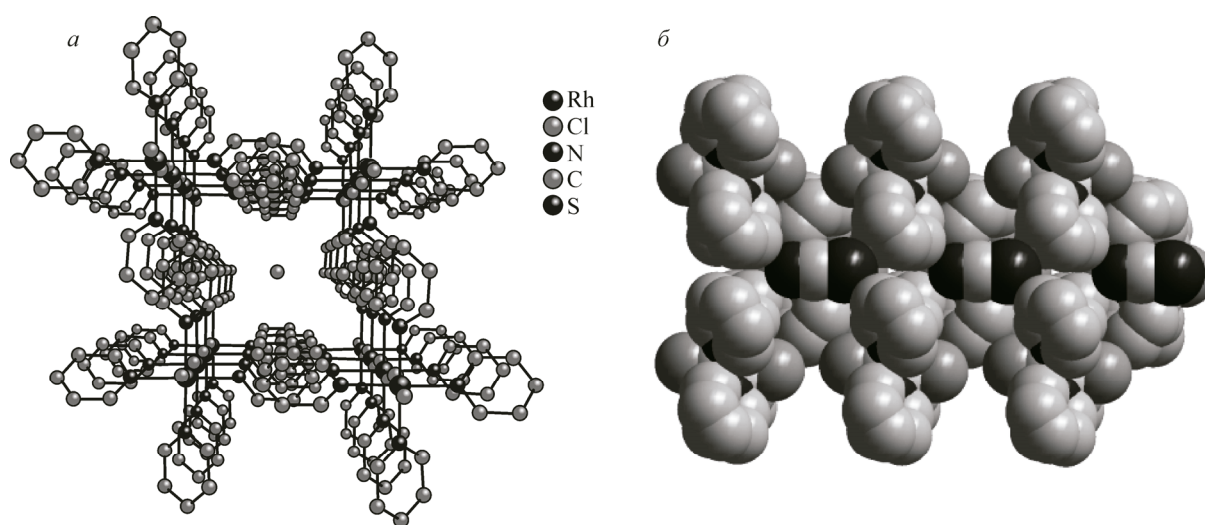
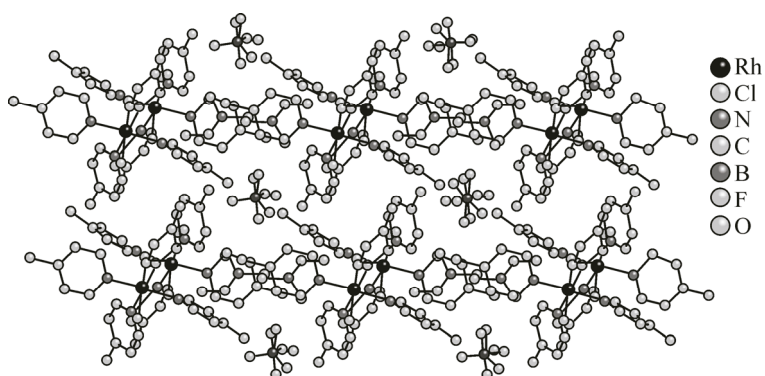


Рис. 4. Центральная проекция ячейки структуры соли $[\text{RhPy}_4\text{Cl}_2]\text{SCN}$ (а) и упаковка цепочек анионов SCN^- (б) в каналах структуры (см. текст)



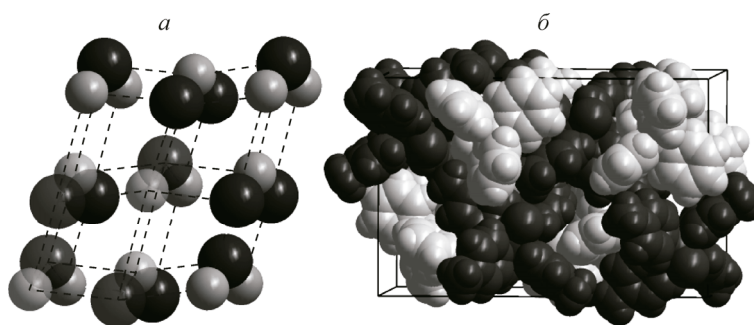


Рис. 5. Относительное расположение атомов бора (серые) и родия (черные) в структуре соли $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]\text{BPh}_4$ (а), упаковка частиц в структуре соли (б), катионы и анионы обозначены такими же цветами, как и соответствующие атомы на рисунке (а)

имеют высокие температуры плавления и нелетучи. Молекулы катиона $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]^+$ и аниона BPh_4^- являются сравнимыми по размеру и образуют низкорастворимую в воде соль $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]\text{BPh}_4$.

Кристаллическая структура этой соли с точки зрения расположения центральных атомов аниона и катиона может быть рассмотрена как сильно искаженная решетка NaCl (рис. 5). Вокруг каждого аниона BPh_4^- на расстоянии 8—10 Å (Rh...B) располагаются шесть катионов $[\text{Rh}(\gamma\text{-Pic})_4\text{Cl}_2]^+$, образуя искаженный октаэдр BRh_6 . С другой стороны, наличие массивных ароматических фрагментов в составе ионов приводит к тому, что укладка частиц в структуре подчиняется общему для структур органических соединений правилу А.И. Китайгородского, "выступ—впадина" [16]. Перекристаллизация данной соли как из ДМФА, так и из воды не приводит к образованию сольватов.

ВЫВОДЫ

Суммируя полученные данные, можно утверждать, что взаимная упаковка частиц в солях $[\text{RhL}_4\text{Cl}_2]\text{X}$ определяется природой аниона X. Наличие геометрического соответствия между размером полостей, образующихся при регулярной упаковке катионов $[\text{RhL}_4\text{Cl}_2]^+$, и размером анионов SCN^- , ReO_4^- , BF_4^- , BPh_4^- позволяет последним находиться в этих полостях, будучи равномерно окруженными гетероциклическими лигандами. Размер и форма этих полостей может меняться в зависимости от взаимного расположения катионов $[\text{RhL}_4\text{Cl}_2]^+$, создавая эффективные места локализации анионов различной формы. При этом несоответствие в размерах и форме структурообразующих элементов компенсируется в ряде случаев включением в структуры молекул растворителя. Любое взаимодействие между анионами и молекулами растворителя приводит к образованию протяженных элементов, нарушающих плотную упаковку частиц.

Следует отметить, что как хлоридные, так и гидросульфатные соли обладают хорошей (10—20 г/л) растворимостью в воде, в то время как соли, содержащие ионы XO_4^- (X = Re, Mn, Cl) и SCN^- , слаборастворимы в воде и характеризуются плохой смачиваемостью. Это свидетельствует об устойчивости структур солей к сольватации, поскольку в них наиболее гидрофильные элементы (анионы) со всех сторон окружены молекулами, имеющими гидрофобную поверхность (катионы $[\text{RhL}_4\text{Cl}_2]^+$). С другой стороны, в гидросульфатных и хлоридных солях взаимодействия анионов с молекулами растворителей приводят к наличию в их структурах протяженных элементов (слоев, цепочек). Выходы этих элементов на поверхность кристаллитов солей, подобно классическим дефектам, облегчают протекание процессов растворения. Ситуация выравнивается при использовании в качестве растворителя ДМФА, который за счет двойственного характера его строения (наличие полярной гидрофильной и гидрофобных групп) одинаково хорошо растворяет любые соли $[\text{RhL}_4\text{Cl}_2]\text{X}$ (L = Py, $\beta\text{-Pic}$, $\gamma\text{-Pic}$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pardey A.J., Longo C. // *Coord. Chem. Rev.* – 2010. – **254**. – P. 254 – 272.
2. Sprouse S., King K.A., Spellane P.J., Watts R.J. // *J. Amer. Chem. Soc.* – 1984. – **106**. – P. 6647 – 6653.
3. Dobroschke M., Geldmacher Y., Ott I., Harlos M., Kater L., Wagner L., Gust R., Sheldrick W.S., Prokop A. // *Chem. Med. Chem.* – 2009. – **4**. – P. 177 – 187.
4. Gillard R.D., Jesus J.D.P., Mohamed A.Y.A. // *Transit. Met. Chem.* – 1989. – **14**. – P. 258 – 260.
5. Gillard R.D., Heaton B.T., Vaughan D.H. // *J. Chem. Soc. A.* – 1971. – P. 1840.
6. Gillard R.D., Hanton L.R., Mitchell S.H. // *Polyhedron.* – 1990. – **9**. – P. 2127 – 2133.
7. Faithful D., Gillard R.D., Tuck D.G., Ugo R. // *J. Chem. Soc. A.* – 1966. – P. 1185 – 1188.
8. Al-Zamil N.S., Evans E.H.M., Gillard R.D., James D.W., Jenkins T.E., Lancashire R.J., Williams P.A. // *Polyhedron.* – 1982. – **1**. – P. 525 – 534.
9. Васильченко Д.Б., Байдина И.А., Филатов Е.Ю., Коренев С.В. // *Журн. структур. химии.* – 2009. – **50**, № 2. – С. 349 – 357.
10. Коренев С.В., Васильченко Д.Б., Байдина И.А., Филатов Е.Ю., Венедиктов А.Б. // *Изв. АН. Сер. химия.* – 2008. – № 8. – С. 1598 – 1605.
11. Васильченко Д.Б., Филатов Е.Ю., Байдина И.А., Плюснин П.Е., Коренев С.В. // *Координац. химия.* – 2010. – **36**, № 5. – С. 347 – 352.
12. Васильченко Д.Б., Коренев С.В., Байдина И.А., Дребуцак В.А., Мороз Н.К., Козлова С.Г., Улихин А.С., Уваров Н.Ф. // *Электрохимия.* – 2012. – **47**, № 5. – С. 672 – 677.
13. Sheldrick G.M. // *Acta Crystallogr.* – 2008. – **A64**. – P. 112 – 122.
14. Vasilchenko D.B., Venediktov A.B., Korenev S.V., Filatov E.Yu., Baidina I.A., Nadolinnyi V.A. // *J. Mol. Struct.* – 2012. – **1026**. – P. 8 – 16.
15. Venediktov A.B., Vasilchenko D.B., Yushina I.V., Nedoseykina T.I., Filatov E.Yu., Korenev S.V. // *Polyhedron.* – 2011. – **30**. – P. 1201 – 1206.
16. *Китайгородский А.И.* Молекулярные кристаллы. – М.: Наука, 1971.