

УДК 548.73

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ $[M(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ ($M = \text{Ni}, \text{Zn}$)С.П. Храненко¹, Е.А. Быкова², А.В. Задесенец^{1,3}, С.А. Громилов^{1,3}¹Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: grom@niic.nsc.ru

²Bayerisches Geoinstitut, University of Bayreuth, Bayreuth, Germany³Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Россия

Статья поступила 29 марта 2016 г.

Изучено строение двух изоструктурных фаз $[M(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ ($M = \text{Ni}, \text{Zn}$; En — этилендиамин). Кристаллические структуры относятся к триклинной сингонии, но демонстрируют псевдогексагональный мотив упаковки. Показано, что продукт термического разложения $[\text{Zn}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ (атмосфера водорода, 400 °С) представляет собой гомогенную смесь нанокристаллических порошков цинка и рения с размерами областей когерентного рассеяния ~30 нм.

DOI: 10.15372/JSC20170113

Ключевые слова: никель, цинк, рений, этилендиамин, кристаллохимия, рентгеноструктурный анализ.

Биметаллические комплексные соли (КС) представляют интерес как удобные предшественники металлических тугоплавких наносплавов. Получение таких сплавов с участием рения путем термического разложения соответствующих КС было описано в ряде работ [1—9]. Особо следует отметить, что наносплавы образуются при температурах до 700 °С, т.е. заметно ниже температур плавления компонентов. Так, в работе [10] был получен сплав $\text{Os}_{0,5}\text{Re}_{0,5}$ при 500 °С, что в 6 раз ниже температур плавления рения и осмия (3180 и 3054 °С соответственно).

Наличие в составе КС органического лиганда-восстановителя позволяет рассчитывать на получение сплава при термическом разложении КС в инертной атмосфере He. В этом плане этилендиаминовые катионы представляют особый интерес. В [11] показано, что термическое разложение $[\text{Pt}(\text{En})_2](\text{ReO}_4)_2$ (En — этилендиамин) в атмосфере He при 880 °С приводит к образованию твердого раствора $\text{Pt}_{0,33}\text{Re}_{0,67}$.

Кристаллохимический интерес к изучению КС связан с изучением закономерностей взаимной упаковки катионных и анионных фрагментов структуры при различных соотношениях между их формами и численными соотношениями, например в структуре $[\text{Co}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_3$ соотношение комплексных катионов (КК) и перренат-анионов (соответственно и соотношение металлов) равно 1:3 [12], а в $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ 1:2 [13]. Представляется целесообразным поиск изоструктурных КС, что позволяет целенаправленно синтезировать предшественники с тремя (и более) сортами атомов металлов и варьировать их соотношения в широких пределах.

ЭКСПЕРИМЕНТ

$[\text{ZnEn}_3](\text{ReO}_4)_2$. На первом этапе синтезировали комплекс $[\text{Zn}(\text{En})_3](\text{NO}_3)_2$. 1 ммоль $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Ч), растворяли в 10 мл ацетона (ОСЧ) и вносили в раствор, охлажденный

льдом. Затем при перемешивании вносили 4 ммоль этилендиамина (Ч). Выпавший белый кристаллический осадок отсасывали на стеклянном пористом фильтре, трижды промывали ацетоном и высушивали на воздухе при комнатной температуре. Выход продукта 97—98 %. Идентификацию $[\text{Zn}(\text{En})_3](\text{NO}_3)_2$ проводили методом рентгенофазового анализа (РФА) по литературным данным [14].

На втором этапе 2 ммоль $[\text{Zn}(\text{En})_3](\text{NO}_3)_2$ (1,5 г) растворяли в 5 мл воды и вносили в раствор при перемешивании NaReO_4 (ЧДА, 4 ммоль, 1,093 г) в трех мл H_2O . Выделившийся белый кристаллический осадок отсасывали на пористом фильтре, промывали небольшим объемом воды, затем ацетоном и высушивали на воздухе при комнатной температуре. Выход продукта 71—72 %. Дополнительную порцию соединения удалось выделить при концентрировании вдвое маточного раствора. Кристаллы для проведения рентгеноструктурного исследования получали медленным испарением разбавленного водного раствора комплекса.

ИК спектры регистрировали на ИК Фурье-спектрометрах Scimitar FTS-2000 и Vertex 80 (область $4000\text{—}400\text{ см}^{-1}$; таблетки, запрессованные с KBr). Основные линии: $3346_{\text{с}}$, $3285_{\text{с}}$, $3168_{\text{сл}}$, $2955_{\text{ср}}$, $2930_{\text{сл}}$, $2885_{\text{ср}}$, $1576_{\text{ср}}$, $1460_{\text{ср}}$, $1329_{\text{ср}}$, $1277_{\text{сл}}$, $1138_{\text{сл}}$, $1130_{\text{сл}}$, $1006_{\text{с}}$, $970_{\text{ср}}$, $913_{\text{с}}$, $652_{\text{ср}}$, $500_{\text{ср}}$, $462_{\text{сл}}\text{ см}^{-1}$.

β - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$. Кристаллы были получены при медленном (~6 месяцев) концентрировании маточного раствора, оставшегося после синтеза α - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$, описанного в работе [13]. По данным РФА полученный продукт представляет собой смесь α - и β -модификаций.

Рентгенодифрактометрическое исследование синтезированных продуктов проведено на дифрактометре SHIMADZU XRD7000 ($\text{CuK}\alpha$ -излучение, Ni-фильтр, сцинтилляционный детектор) при комнатной температуре. Дифрактограммы комплексных солей полностью проиндексированы по данным исследования монокристаллов. Использована программа полнопрофильного уточнения PCW [15]. Рентгенофазовый анализ продукта термического разложения $[\text{Zn}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ (атмосфера водорода, $400\text{ }^\circ\text{C}$) показал образование двухфазного продукта — гомогенной смеси нанокристаллических цинка и рения с размерами областей когерентного рассеяния ~30 нм.

Исследование монокристаллов проведено на дифрактометре X8 APEX Bruker ($\text{MoK}\alpha$ -излучение, графитовый монохроматор) при $T = 150\text{ K}$. Кристаллографические данные, условия проведения экспериментов и характеристики уточнения кристаллических структур приведены в табл. 1, основные межатомные расстояния и валентные углы — в табл. 2. Структуры решены прямым методом и уточнены в анизотропном (изотропном — для атомов водорода) приближении. Атомы водорода заданы геометрически. Все расчеты выполнены по комплексу программ SHELX-97 [16]. Координаты и тепловые параметры атомов депонированы в Кембриджский банк структурных данных CCDC [17] (соответствующие номера указаны в табл. 1) и могут быть получены по адресу www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

В ходе проведения рентгеноструктурного анализа монокристаллов была установлена изоструктурность β - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ и $[\text{Zn}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$. Обе структуры триклинные, на каждый КК $[\text{M}(\text{En})_3]^{2+}$ приходится два перренат-аниона. Далее будет дано описание кристаллической структуры β - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$. На рис. 1 показано: строение ионов, нумерация атомов, эллипсоиды тепловых колебаний и один из кратчайших межионных контактов. Координационный полиэдр центрального атома в КК представляет собой искаженный октаэдр, образованный шестью атомами азота трех бидентатных En-лигандов. Все лиганды имеют *gou*-конфигурацию — атомы углерода отклоняются от плоскостей треугольников N—M—N в разные стороны. Величины отклонений для трех лигандов даны в последней строчке табл. 2.

При анализе кристаллической структуры α - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ (кристаллоструктурные характеристики см. в табл. 3) в работе [13] были выделены характерные четверки перренат-анионов, образующие паркетную укладку с расстояниями $\text{Re}\dots\text{Re}$ 4,315 и 4,703 Å. Принципиальное отличие β - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ — наличие двух типов перренат-анионов (рис. 2). Анионы, содержа-

Кристаллографические характеристики

Формула	β -[Ni(En) ₃](ReO ₄) ₂	[Zn(En) ₃](ReO ₄) ₂
Брутто-формула	C ₆ H ₂₄ N ₆ O ₈ Re ₂ Ni	C ₆ H ₂₄ N ₆ O ₈ Re ₂ Zn
Вес форм. единицы	739,42	746,08
<i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> , Å	8,3936(5), 9,0102(5), 14,1600(6)	8,4393(3), 9,0561(3), 14,2055(5)
α , β , γ , град.	72,715(1), 79,594(1), 63,021(1)	72,004(2), 79,743(2), 63,142(1)
Пр. гр.	<i>P</i> -1	<i>P</i> -1
<i>Z</i> ; <i>V</i> , Å ³	2; 909,93(8)	2; 920,24(6)
<i>d</i> _{выч} , г/см ³	2,699	2,693
Размер кристалла, мм	0,09×0,06×0,06	0,12×0,07×0,03
Диапазон сбора данных по θ , град.	2,62—30,51	1,51—30,50
<i>N</i> измер. / независ. рефлексов	8640 / 5366	11216 / 5569
<i>N</i> независимых рефлексов [<i>I</i> > 2σ(<i>I</i>)]	4447	4763
<i>R</i> _{интегр.}	0,0192	0,0214
Полнота сбора данных (2θ = 50°), %	98,1	99,9
Число уточняемых параметров	208	208
<i>S</i> -фактор по <i>F</i> ²	1,018	0,990
<i>R</i> ₁ / <i>wR</i> ₂ [<i>I</i> > 2σ(<i>I</i>)]	0,0272 / 0,0510	0,0209 / 0,0387
<i>R</i> ₁ / <i>wR</i> ₂ (все данные)	0,0384 / 0,0534	0,0280 / 0,0402
CCDC №	1468087	1468088

Геометрические характеристики [M(En)₃](ReO₄)₂

Параметр	β -[Ni(En) ₃](ReO ₄) ₂	[Zn(En) ₃](ReO ₄) ₂
<i>M</i> —N, Å	2,115(3)—2,137(4)	2,175(3)—2,219(2)
(<i>M</i> —N) _{ср.} , Å	2,125	2,199
\angle N— <i>M</i> —N, град.	81,20(13)—81,63(14)	78,9(1)—79,9(1)
(\angle N— <i>M</i> —N) _{ср.} , град.	81,48	79,5
N—C, Å	1,470(4)—1,486(4)	1,477(4)—1,489(4)
(N—C) _{ср.} , Å	1,481	1,482
C—C, Å	1,508(7)—1,523(6)	1,501(5)—1,526(4)
(C—C) _{ср.} , Å	1,513	1,515
Re—O, Å	1,708(4)—1,734(3)	1,708(2)—1,731(3)
(Re—O) _{ср.} , Å	1,720	1,723
\angle O—Re—O, град.	107,9(2)—111,8(2)	107,95(12)—111,42(13)
(\angle O—Re—O) _{ср.} , град.	109,5	109,47
Δ , Å*	−0,393 / 0,323; −0,308 / 0,437; −0,285 / 0,420	−0,406 / 0,299; −0,337 / 0,391; −0,257 / 0,450

* Отклонения атомов углерода от плоскостей треугольников азот—металл—азот для трех лигандов.

щие атомы Re(1), образуют цепочки, внутри которых расстояния Re...Re 4,51 и 4,67 Å; анионы, содержащие Re(2), располагаются парами, в них расстояния Re...Re 4,13 Å. Кратчайшее расстояние между атомами кислорода, принадлежащими соседним перренат-анионам, равно 2,96 Å.

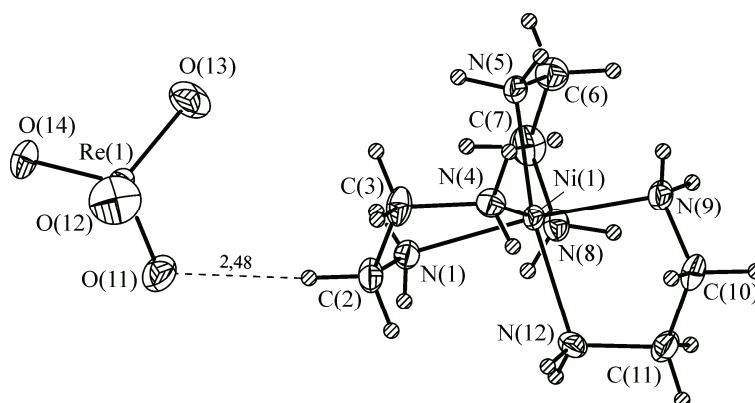


Рис. 1. Нумерация атомов и эллипсоиды тепловых колебаний (кроме атомов H) в кристаллической структуре β -[Ni(En)₃](ReO₄)₂. Второй симметрически независимый анион (ReO₄)⁻ не показан. Штриховой линией показан межйонный контакт O...H—C

Т а б л и ц а 3

Кристаллоструктурные характеристики комплексных солей, содержащих [Ni(En)₃]²⁺

Формула	α -[Ni(En) ₃](ReO ₄) ₂	[Ni(En) ₃](ClO ₄) ₂ ·H ₂ O	[Ni(En) ₃](MoO ₄)	[Ni(En) ₃](NO ₃) ₂	[Ni(En) ₃](SO ₄)
Ссылка	[13; 17, XEMWET01]	[17, TENNIP]	[17, GAWSIG01]	[22; 17, YUXZIB05]	[24; 17, TENNIS10]
<i>a</i> , Å	*	**	16,0024(16)	8,8647	8,946(5)
<i>c</i> , Å			9,9608(19)	11,3595	9,634(5)
Пр. гр.	<i>P</i> 2 ₁ / <i>c</i> (№ 14)	<i>Pbca</i> (№ 61)	<i>P</i> -3 <i>c</i> 1 (№ 165)	<i>P</i> 6 ₃ 22 (№ 182)	<i>P</i> -31 <i>c</i> (№ 163)
<i>Z</i>	4	8	6	2	2
<i>V</i> , Å ³	1858,68	3662.3	2209,00	773,07	667,72
<i>V</i> / <i>Z</i> , Å ³	464,67	457,79	368,17	386,53	333,86
<i>d</i> _{выч.} , г/см ³	2,642	1,559	1,799	1,56	1,666
Ni—N, Å	2,114—2,136	2,099—2,141	2,132; 2,156	2,132	2,214(6)
∠N—Ni—N, град.	81,16—81,21	80,79—82,24	81,0—79,9	81,90	82,1(2)
N—C, Å	1,470—1,475	1,401—1,527	1,403—1,486	1,470	1,476(9)
C—C, Å	1,473—1,498	1,399—1,462	1,549, 1,554	1,471	1,544(9)
Ni...Ni, Å	7,195; 8,400	8,522; 9,016	7,275; 7,334	7,646	7,241

* *a* = 8,3868, *b* = 15,7749, *c* = 14,2747 Å, β = 100,204°.

** *a* = 17,043, *b* = 15,992, *c* = 13,496 Å.

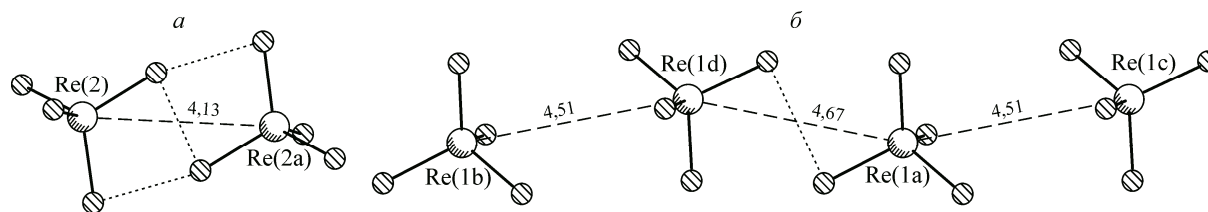


Рис. 2. Взаимное расположение анионов (ReO₄)⁻ в структуре β -[Ni(En)₃](ReO₄)₂. Анионы, содержащие Re(2), располагаются парами (а), содержащие атомы Re(1) образуют цепочки (б). Числовые значения соответствуют расстояниям Re...Re.

Штриховыми линиями показаны контакты O...O < 3,4 Å

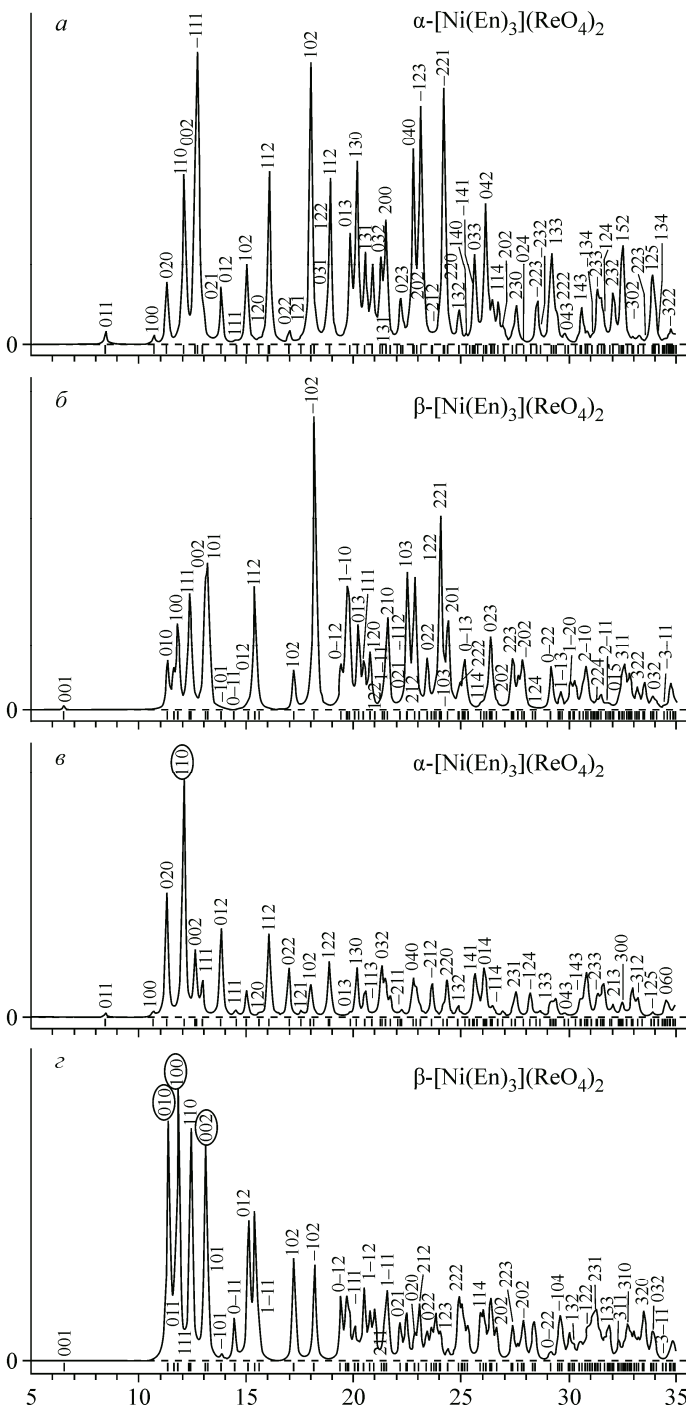


Рис. 3. Теоретические дифрактограммы для α - и β - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$: результаты расчета по всем атомам (*а*, *б*); только по атомам Ni (*в*, *г*). Выделены индексы отражений от плоскостей, образующих подрешетку, которой следуют атомы Ni

Исходя из того, что перренат-анионы по размерам существенно уступают КК, при определении мотива построения структур α - и β - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ в первую очередь необходимо ориентироваться на поиск взаимного расположения именно катионов. Так как "вес" (т.е. число электронов) центрального атома КК заметно меньше веса атома рения, использование методики выделения трансляционной подрешетки [18], основанной на анализе индексов hkl сильнейших рефлексов дифрактограммы, невозможен. На рис. 3, *а*, *б* показаны теоретические дифрактограммы α - и β - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$. Для выделения вклада катионов были рассчитаны дифрактограммы только по атомам Ni. Использование такого подхода для ряда примеров было описано в [19, 20]. В результате расчета наиболее интенсивные отражения указывают на плоскости, наиболее заселенные конкретными атомами; в нашем случае это атомы никеля. Среди таких плоскостей с помощью программы [21] находим такие тройки, для которых матрица, составленная из индексов hkl , имеет детерминант, равный числу атомов Ni, приходящихся на элементарную ячейку, т.е. числу Z . Далее среди всех возможных вариантов находим такой, в котором подрешетка наиболее симметричная. Для моноклинной структуры α - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ такой вариант получен (см. рис. 3, *в* и табл. 3)

с использованием трех семейств кристаллографических плоскостей с индексами $(1\ 1\ 0)$ и $(-1\ 1\ 0)$, $(0\ 0\ 2)$. Первые два семейства связаны элементом симметрии. Параметры псевдогексагональной подъячейки: $a_T = 8,87$, $b_T = 8,87$, $c_T = 7,12\ \text{\AA}$, $\alpha_T = 85,1$, $\beta_T = 94,9$, $\gamma_T = 56,5^\circ$.

В случае β - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ подъячейка с близкими линейными и угловыми параметрами — $a_T = 8,39$, $b_T = 9,01$, $c_T = 7,08\ \text{\AA}$, $\alpha_T = 72,7$, $\beta_T = 79,6$, $\gamma_T = 63,0^\circ$ — получена при использовании тройки плоскостей (см. рис. 3, *г*) с индексами $(1\ 0\ 0)$ и $(0\ 1\ 0)$ и $(0\ 0\ 2)$. Вектора трансляционной подрешетки: $\mathbf{a}_T = \mathbf{a}$, $\mathbf{b}_T = \mathbf{b}$, $\mathbf{c}_T = \mathbf{c}/2$. Ее узлам должны следовать атомы Ni, действительно линейные параметры подъячейки хорошо коррелируют с расстояниями Ni...Ni: 8,394, 9,010 и 7,088 \AA . Так как угол γ_T близок к 60° , а $a_T \approx b_T$, можно рассмотреть упаковку кристаллической структуры

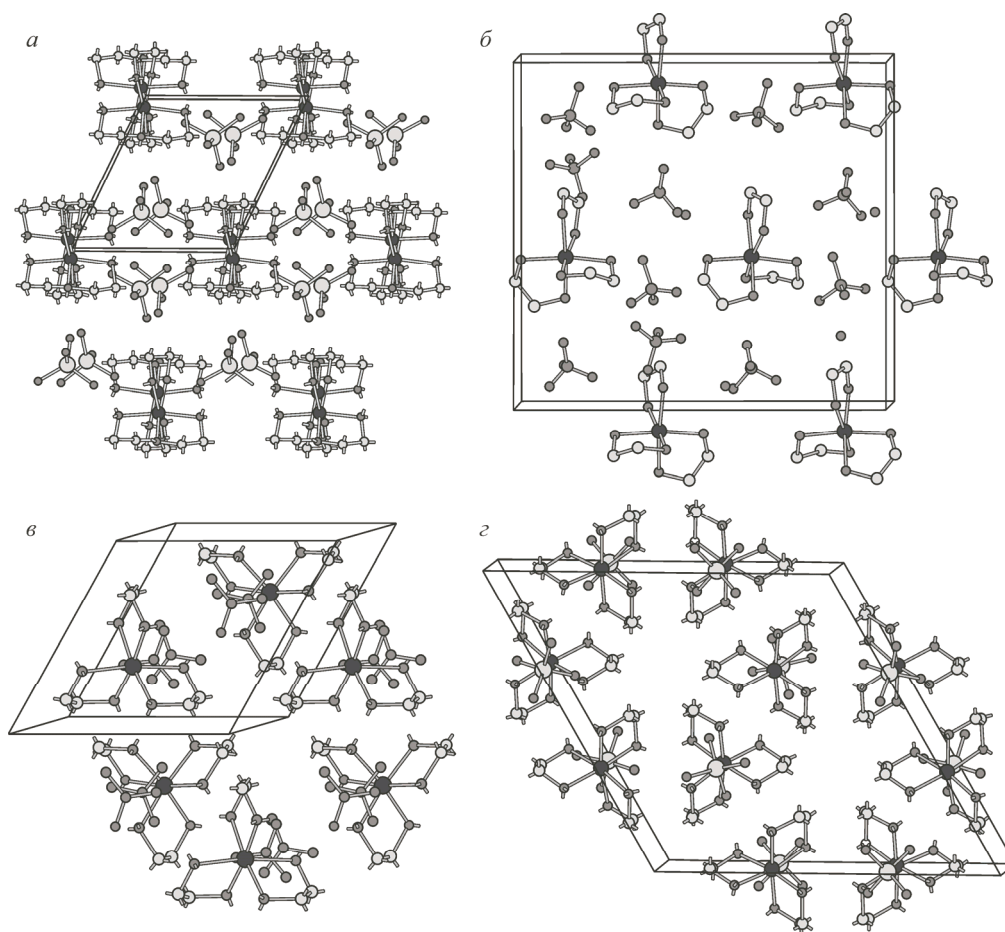


Рис. 4. Сравнение мотивов построения структур: β - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ (а), $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ClO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (б), $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{NO}_3)_2$ (в) и $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{MoO}_4)$ (г). Атомы водорода не показаны

β - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ в направлении оси c (рис. 4, а). Мотив расположения атомов Ni (следовательно и КК) действительно близок и его можно характеризовать как псевдогексагональный.

Рассмотрим по этой же схеме упаковку кристаллической структуры $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ClO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [17, TENNIP]. Кристаллоструктурные характеристики даны в табл. 3. На ромбическую элементарную ячейку приходится 8 формульных единиц. Параметры трансляционной подъячейки: $a_T = b_T = 9,03$, $c_T = 6,75 \text{ \AA}$, $\alpha_T = \beta_T = 90$, $\gamma_T = 56,3^\circ$ и выражения для соответствующих векторов подрешетки: $\mathbf{a}_T = \mathbf{a}/4 + \mathbf{b}/2$, $\mathbf{b}_T = -\mathbf{a}/4 + \mathbf{b}/2$, $\mathbf{c}_T = \mathbf{c}/2$ позволяют рассматривать ее как псевдогексагональную в направлении оси z . Сравнивая эти метрики с найденными в α - и β - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$, можно отметить удовлетворительное сходство. На рис. 4, б показано взаимное расположение фрагментов структуры $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ClO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в слое. Очевидно, что именно расположение КК является доминирующим при построении рассмотренных структур. Расположение анионов и молекул воды можно считать подчиненным.

Сравнивая мотив упаковки структур α - и β - $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ с $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{NO}_3)_2$ (см. рис. 4, в), можно отметить их принципиальное отличие: в этой гексагональной структуре меньшие по размеру анионы сдвигаются и в таком виде чередуются с КК в направлении оси z . Такой же способ упаковки демонстрируют $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{SO}_4)$ и $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{MoO}_4)$ (см. рис. 4, г). Кристаллографические характеристики указанных структур даны в табл. 3.

Таким образом, в настоящей статье установлена изоструктурность комплексных солей $[\text{Ni}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$ и $[\text{Zn}(\text{En})_3](\text{ReO}_4)_2$. Проведен сравнительный кристаллохимический анализ

структур КС, содержащих $[\text{Ni}(\text{En})_3]^{2+}$. Показан простой способ получения гомогенной смеси нанокристаллических порошков цинка и рения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев А.В., Корнев С.В., Лисойван В.И., Громилов С.А.* // Пат. 1410378 РФ, МКИ4 В 22 F 9/16. (РФ). № 4144926. Заяв. 10.10.86. Опубл. 30.03.88. Бюл. № 17.
2. *Корнев С.В., Байдина И.А., Корольков И.В., Громилов С.А.* // Журн. структур. химии. – 2002. – **43**, № 3. – С. 527 – 533.
3. *Губанов А.И., Корнев С.В., Громилов С.А., Шубин Ю.В.* // Журн. неорган. химии. – 2003. – **48**, № 3. – С. 407 – 412.
4. *Громилов С.А., Корнев С.В., Корольков И.В., Юсенко К.В., Байдина И.А.* // Журн. структур. химии. – 2004. – **45**, № 3. – С. 508 – 515.
5. *Юсенко К.В., Громилов С.А., Корольков И.В., Байдина И.А., Романенко Г.В., Корнев С.В.* // Журн. неорган. химии. – 2004. – **49**, № 4. – С. 568 – 573.
6. *Юсенко К.В., Громилов С.А., Байдина И.А., Корольков И.В., Корнев С.В.* // Журн. структур. химии. – 2005. – **46**, № 1. – С. 111 – 117.
7. *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.
8. *Громилов С.А., Юсенко К.В., Шушарина Е.А.* // Журн. структур. химии. – 2007. – **48**, № 5. – С. 957 – 962.
9. *Байдина И.А., Макотченко Е.В., Шушарина Е.А., Плюснин П.Е., Смоленцев А.И., Громилов С.А.* // Журн. структур. химии. – 2010. – **51**, № 3. – С. 544 – 551.
10. *Юсенко К.В., Корольков И.В., Громилов С.А., Корнев С.В.* // Журн. структур. химии. – 2007. – **48**, № 2. – С. 385 – 388.
11. *Храненко С.П., Куратьева Н.В., Громилов С.А.* // Журн. структур. химии. – 2015. – **56**, № 2. – С. 367 – 371.
12. *Байдина И.А., Филатов Е.Ю., Макотченко Е.В., Смоленцев А.И.* // Журн. структур. химии. – 2012. – **53**, № 1. – С. 117 – 123.
13. *Быкова Е.А., Храненко С.П., Громилов С.А.* // Журн. структур. химии. – 2012. – **53**, № 1. – С. 186 – 190.
14. *Neill D., Riley M.J., Kennard C.H.L.* // Acta Crystallogr. – 1997. – **C53**. – P. 701.
15. *Kraus W., Nolze G.* // J. Appl. Cryst. – 1996. – **29**. – P. 301 – 302.
16. *Sheldrick G.M.* // Acta Crystallogr. – 2008. – **A64**, N 1. – P. 112 – 122.
17. *Allen F.H.* // Acta Crystallogr. – 2002. – **B58**, N 3-1. – P. 380 – 388.
18. *Борисов С.В.* // Журн. структур. химии. – 1986. – **27**, № 3. – С. 164 – 167.
19. *Громилов С.А., Борисов С.В.* // Журн. структур. химии. – 2003. – **44**, № 4. – С. 724 – 742.
20. *Громилов С.А.* Определение структурных мотивов координационных соединений на основе точных рентгендифрактометрических данных поликристаллов. Автореф. дисс. ... докт. физ.-мат. наук. – Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2004.
21. *Громилов С.А., Быкова Е.А., Борисов С.В.* // Кристаллография. – 2011. – **56**, № 6. – С. 1013 – 1018.
22. *Macchi P., Burgi H.-B., Chimpri A.S., Hauser J., Gal Z.* // J. Appl. Crystallogr. – 2011. – **44**. – P. 763.
23. *Jameson G.B., Schneider R., Dubler E., Oswald H.R.* // Acta Crystallogr., Sect. B: Struct. Crystallogr. Cryst. Chem. – 1982. – **38**. – P. 3016.
24. *Mazhar-Ul-Haque, Caughlan C.N., Emerson K.* // Inorg. Chem. – 1970. – **9**, N 11. – P. 2421 – 2424.
25. *Singh R., Gautam R.K.* // J. Indian Chem. Soc. – 1987. – **64**. – P. 631.