

# СИНТЕЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ТЕТРА(ИЗОТИОЦИАНАТО)ДИАММИНХРОМАТА(III) ДИНИТРАТОТЕТРА(ГЕКСАМЕТИЛФОСФОРТРИАМИД)ЛАНТАНА(III)

© 2018 г. А. А. Бобровникова<sup>1</sup>, Е. В. Пересыпкина<sup>2,3</sup>,  
А. В. Вировец<sup>2,3</sup>, Т. Г. Черкасова<sup>1,\*</sup>, Э. С. Татарина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,  
Россия, 650000 Кемерово, ул. Весенняя, 28

<sup>2</sup> Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,  
Россия, 630090 Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, 3

<sup>3</sup> Национальный исследовательский Новосибирский государственный университет,  
Россия, 630090 Новосибирск, ул. Пирогова, 2

\*E-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Поступила в редакцию 15.12.2016 г.

Синтезировано новое координационное соединение  $[\text{La}(\text{HMPA})_4(\text{NO}_3)_2][\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{NCS})_4]$  (I), где HMPA –  $((\text{CH}_3)_2\text{N})_3\text{PO}$ , и проведен его РСА. Кристаллы соединения I – моноклинные, пр. гр.  $P2_1/n$ ,  $a = 15.0360(3)$ ,  $b = 15.1214(3)$ ,  $c = 26.7529(7)$  Å,  $\beta = 100.6610(10)^\circ$ ,  $V = 5977.7(9)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 2$ ,  $\rho_{\text{выч}} = 1.442$  г/см<sup>3</sup>,  $R_1 = 0.0453$  для 7344 отражений с  $F_o \geq 4\sigma(F_o)$ .

**Ключевые слова:** лантан(III), тетра(изотиоцианато)диамминхромат(III)-ион, гексаметилфосфортриамид, рентгеноструктурный анализ, ИК-спектроскопия, ДСК

DOI: 10.7868/S0044457X18010051

Известно, что первые анионные комплексы лантаноидов с гексаметилфосфортриамидом  $((\text{CH}_3)_2\text{N})_3\text{PO}$ , HMPA) состава

$[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2][\text{LnCl}_4(\text{HMPA})_2]$  (Ln = La, Nd) синтезированы в атмосфере аргона [1]. Получению молекулярных комплексов составов  $[\text{LnCl}_3(\text{HMPA})_3]$  (Ln = La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd) [2–6],  $[\text{La}(\text{NCS})_3(\text{HMPA})_4]$  [7] и  $[\text{CeCl}_4(\text{HMPA})_2]$  [8] способствовало наличие хлоридных или изотиоцианатных лигандов. В литературе известны также молекулярные нитратсодержащие комплексы  $[\text{Ln}(\text{NO}_3)_3(\text{HMPA})_3]$  [9–11]. Катионные комплексы образуются с участием нитрат-, бромид-, иодид- или трифлюорометансульфонат- ( $\text{OTf}$ ,  $\text{CF}_3\text{SO}_3^-$ ) анионов в качестве лигандов:

$[\text{Ln}(\text{NO}_3)_2(\text{HMPA})_4][\text{AgWS}_4]$  [12–22],  
 $[\text{Ln}(\text{NO}_3)_2(\text{HMPA})_4][\text{C}(\text{CN})_3]$  [23],  
 $[\text{LnBr}_2(\text{HMPA})_4]\text{Br} \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$  (Ln = La, Sm) [24],  
 $[\text{SmBr}_2(\text{HMPA})_4]\text{Br} \cdot \text{THF}$  [25],  
 $[\text{SmI}_2(\text{HMPA})_4]\text{I} \cdot (\text{CHCl}_3)_2$  [26],  
 $[\text{Sm}(\text{HMPA})_3(\text{H}_2\text{O})]\text{I}_3$ ,  
 $[\text{Sm}(\text{HMPA})_2(\text{H}_2\text{O})_5]\text{I}_3 \cdot (\text{HMPA})_2$  [150]  
и  $[\text{Ln}(\text{OTf})_2(\text{HMPA})_4]\text{OTf} \cdot \text{CHCl}_3$  [27].

В работе [28] сообщается о синтезе и рентгеноструктурном исследовании соединений составов  $[\{\text{Yb}(\text{HMPA})_3\}_2(\mu\text{-SPh})_3][\text{SPh}]$  (Ph – фенил) и  $\text{Ln}(\text{SPh})_3(\text{HMPA})_3$  (Ln = Sm, Yb). Ряд комплексов лантаноидов с HMPA обладает практически важными свойствами. Так, в литературе имеется информация о биологической активности соединения  $[\text{Nd}(\text{NCS})_3(\text{HMPA})_4]$  [29] и о перспективе его использования в сельском хозяйстве в качестве стимулятора и фунгицида. В [30] описана кристаллическая структура комплекса  $[\text{Eu}(\text{NO}_3)_3(\text{HMPA})_3]$ , обладающего интенсивной трибололюминесценцией.

Цель настоящей работы – изучение взаимодействия нитрата лантана(III) с тетра(изотиоцианато)диамминхроматом(III) аммония (солью Рейнике) и HMPA. Анион  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{NCS})_4]^-$ , будучи кинетически стабильным, может способствовать образованию ионного комплекса лантана с HMPA.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

**Синтез  $[\text{La}(\text{HMPA})_4(\text{NO}_3)_2][\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{NCS})_4]$  (I).** При смешивании водных растворов 3.45 г (0.01 моль) предварительно перекристаллизованной соли Рейнеке и 1.75 мл (0.01 моль) HMPA в интервале pH 4–6 добавляли (0.01 моль)

**Таблица 1.** Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структуры [La(((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>N)<sub>3</sub>PO)<sub>4</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>][Cr(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(NCS)<sub>4</sub>]

<i>M</i> , г/моль	1298.13
Сингония	Моноклинная
Пр. гр.	<i>P</i> 2 <sub>1</sub> / <i>n</i>
<i>Z</i>	2
<i>a</i> , Å	15.0360(3)
<i>b</i> , Å	15.1214(3)
<i>c</i> , Å	26.7529(7)
β, град	100.6610(10)
<i>V</i> , Å <sup>3</sup>	5977.7(2)
ρ <sub>выч</sub> , г/см <sup>3</sup>	1.442
μ, мм <sup>-1</sup>	1.193
<i>F</i> (000)	2684
Размер кристалла, мм	0.20 × 0.12 × 0.10
Область сбора данных по θ, град	2.17–25.00
Интервалы индексов отражений	–17 ≤ <i>h</i> ≤ 15, –17 ≤ <i>k</i> ≤ 17, –27 ≤ <i>l</i> ≤ 31
Измерено отражений	29546
Независимых отражений	10420
Отражений с <i>I</i> > 2σ( <i>I</i> )	7344 ( <i>R</i> <sub>int</sub> = 0.0629)
Число уточняемых параметров	146
<i>R</i> <sub>1</sub> ( <i>I</i> > 2σ( <i>I</i> ))	0.0453
<i>wR</i> <sub>2</sub> (все отражения)	0.0965
<i>GOOF</i> (все отражения)	1.011
Остаточная электронная плотность (min/max), е/Å <sup>3</sup>	–0.862/1.021

водный раствор нитрата лантана(III). Выпавший осадок отфильтровывали, промывали холодной водой и высушивали на воздухе. Образование осадка возможно при pH 6–7 и концентрациях растворов 0.05–0.5 моль/л. При концентрациях водных растворов <0.05 моль/л осадок не выпадает, что связано с растворимостью соединения. При концентрациях >0.5 моль/л велика вероятность получения смеси, так как при такой концентрации наблюдается образование осадка гексаметилфосфортриамида лантана. При pH ≈ 8–10 происходит осаждение гидроксида лантана(III). В интервале pH 6–3 осадок не выпадает, а при более низких значениях pH растворов (pH 2) происходит образование комплекса тетра(гексаметилфосфортриамид)сольвата тетра(изотиоцианато)диамминхромата(III) аммония.

Полученное вещество негигроскопично, хорошо растворимо в этиловом спирте, ацетоне, ацетонитриле, диметилсульфоксиде, диметилформамиде, устойчиво к действию толуола, *n*-ксилола, разлагается под действием концентрированных кислот-окислителей (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>).

**Химический анализ.** Содержание лантана определяли гравиметрически осаждением в виде оксалата, количество хрома – иодометрическим

титрованием. Анализ на содержание углерода и водорода выполняли методом пиролитического сжигания навески в быстром токе кислорода.

	C	H	La	Cr
Найдено, %:	26.12;	5.93;	10.60;	4.00.
Для C <sub>28</sub> H <sub>78</sub> CrN <sub>20</sub> LnO <sub>10</sub> P <sub>4</sub> S <sub>4</sub>				
вычислено, %:	25.91;	6.06;	10.70;	4.01.

**ИК-спектры** регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре «Инфралюм-ФТ 801» в области частот 4000–500 см<sup>-1</sup>, образцы запрессовывали в таблетки с KBr.

**Термические свойства** I изучали на воздухе и в атмосфере аргона на синхронном термоанализаторе NETZSCH STA 449 C Jupiter (скорость нагревания 10 град/мин, эталон – α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

**РСА.** Дифракционные данные от монокристалла I получены на автоматическом четырехкрупном дифрактометре Bruker-Nonius X8 Apex, оснащенном двухкоординатным CCD детектором, при температуре 150.0(2) К (MoK<sub>α</sub>-излучение, λ = 0.71073 Å, графитовый монохроматор). Поглощение учтено эмпирически по программе

**Таблица 2.** Длины связей ( $d$ ) и величины валентных углов ( $\omega$ ) в соединении I

Связь	$d$ , Å	Валентный угол	$\omega$ , град
La(1)–O(1)	2.425(3)	O(1)La(1)O(11N)	81.54(10)
La(1)–O(2)	2.412(3)	O(1)La(1)O(12N)	76.26(10)
La(1)–O(3)	2.391(3)	O(1)La(1)O(21N)	75.39(10)
La(1)–O(4)	2.386(3)	O(1)La(1)O(22N)	124.08(11)
La(1)–O(11N)	2.599(3)	O(2)La(1)O(1)	97.93(10)
La(1)–O(12N)	2.635(3)	O(2)La(1)O(11N)	72.88(10)
La(1)–O(21N)	2.613(3)	O(2)La(1)O(12N)	122.01(11)
La(1)–O(22N)	2.629(3)	O(2)La(1)O(21N)	77.92(10)
P(1)–O(1)	1.499(3)	O(2)La(1)O(22N)	77.00(10)
P(1)–N(11)	1.653(4)	O(3)La(1)O(1)	156.47(10)
P(1)–N(12)	1.640(4)	O(3)La(1)O(2)	93.72(10)
P(1)–N(13)	1.625(4)	O(3)La(1)O(11N)	82.48(10)
P(2)–O(2)	1.498(3)	O(3)La(1)O(12N)	80.23(10)
P(2)–N(21)	1.630(4)	O(3)La(1)O(21N)	127.28(10)
P(2)–N(22)	1.620(4)	O(3)La(1)O(22N)	78.44(10)
P(2)–N(23)	1.622(4)	O(4)La(1)O(1)	89.49(10)
P(3)–O(3)	1.499(3)	O(4)La(1)O(2)	158.70(11)
P(3)–N(31)	1.627(4)	O(4)La(1)O(3)	86.92(10)
P(3)–N(32)	1.636(4)	O(4)La(1)O(11N)	128.17(10)
P(3)–N(33)	1.631(4)	O(4)La(1)O(12N)	79.11(11)
P(4)–O(4)	1.503(3)	O(4)La(1)O(21N)	84.76(10)
P(4)–N(41)	1.626(4)	O(4)La(1)O(22N)	82.29(10)
P(4)–N(42)	1.629(4)	O(11N)La(1)O(12N)	49.13(10)
P(4)–N(43)	1.631(4)	O(11N)La(1)O(21N)	139.57(10)
N(11)–C(111)	1.471(5)	O(11N)La(1)O(22N)	142.97(10)
N(11)–C(112)	1.467(6)	O(21N)La(1)O(12N)	147.35(10)
N(12)–C(121)	1.467(6)	O(21N)La(1)O(22N)	48.86(10)
N(12)–C(122)	1.458(6)	O(22N)La(1)O(12N)	152.30(10)
N(13)–C(131)	1.467(6)	N(1S)Cr(1)N(3S)	90.33(17)
N(13)–C(132)	1.458(7)	N(1S)Cr(1)N(4S)	90.85(17)
N(21)–C(211)	1.480(7)	N(1S)Cr(1)N(5S)	89.38(17)
N(21)–C(212)	1.425(6)	N(1S)Cr(1)N(6S)	89.16(17)
N(22)–C(221)	1.490(8)	N(2S)Cr(1)N(1S)	178.98(19)
N(22)–C(222)	1.429(6)	N(2S)Cr(1)N(3S)	88.91(18)
N(23)–C(231)	1.446(7)	N(2S)Cr(1)N(4S)	89.93(17)
N(23)–C(232)	1.472(7)	N(2S)Cr(1)N(5S)	89.99(17)
N(31)–C(311)	1.455(6)	N(2S)Cr(1)N(6S)	91.49(17)
N(31)–C(312)	1.465(6)	N(3S)Cr(1)N(5S)	92.66(18)
N(32)–C(321)	1.466(6)	N(3S)Cr(1)N(6S)	88.15(18)
N(32)–C(322)	1.459(6)	N(4S)Cr(1)N(3S)	178.47(19)
N(33)–C(331)	1.453(6)	N(4S)Cr(1)N(5S)	88.34(17)
N(33)–C(332)	1.456(6)	N(4S)Cr(1)N(6S)	90.88(17)
N(41)–C(411)	1.468(6)	N(6S)Cr(1)N(5S)	178.33(17)

**Таблица 3.** Геометрические параметры водородных связей в структуре  $[\text{La}(\text{HMPA})_4(\text{NO}_3)_2][\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{NCS})_4]$ 

Контакт D—H...A	Расстояние, Å			Угол DHA, град	Координаты атома A
	D—H	H...A	D...A		
N(5S)—H(5S2)...O(23N)	0.91	2.39	3.167(6)	143	$-x+1/2, y+1/2, -z+3/2$
N(5S)—H(6S3)...N(21)	0.91	2.69	3.474(7)	145	$-x+1/2, y+1/2, -z+3/2$
N(6S)—H(6S1)...O(13N)	0.91	2.38	3.052(5)	130	$-x+1, -y+1, -z+2$
N(6S)—H(6S2)...O(12N)	0.91	2.38	3.033(5)	129	$-x+1, -y+1, -z+2$
N(6S)—H(6S3)...N(11)	0.91	2.40	3.233(5)	153	$-x+1, -y+1, -z+2$

SADABS [31]. Структура расшифрована прямым методом и уточнена полноматричным МНК по  $F^2$  в анизотропном приближении для неводородных атомов по комплексу программ SHELXTL [32].

Кристаллографические характеристики и детали дифракционного эксперимента для I приведены в табл. 1, длины связей и величины валентных углов — в табл. 2, геометрические параметры водородных связей — в табл. 3.

Координаты атомов и величины тепловых параметров депонированы в Кембриджском банке структурных данных (код CCDC 1515479) [33].

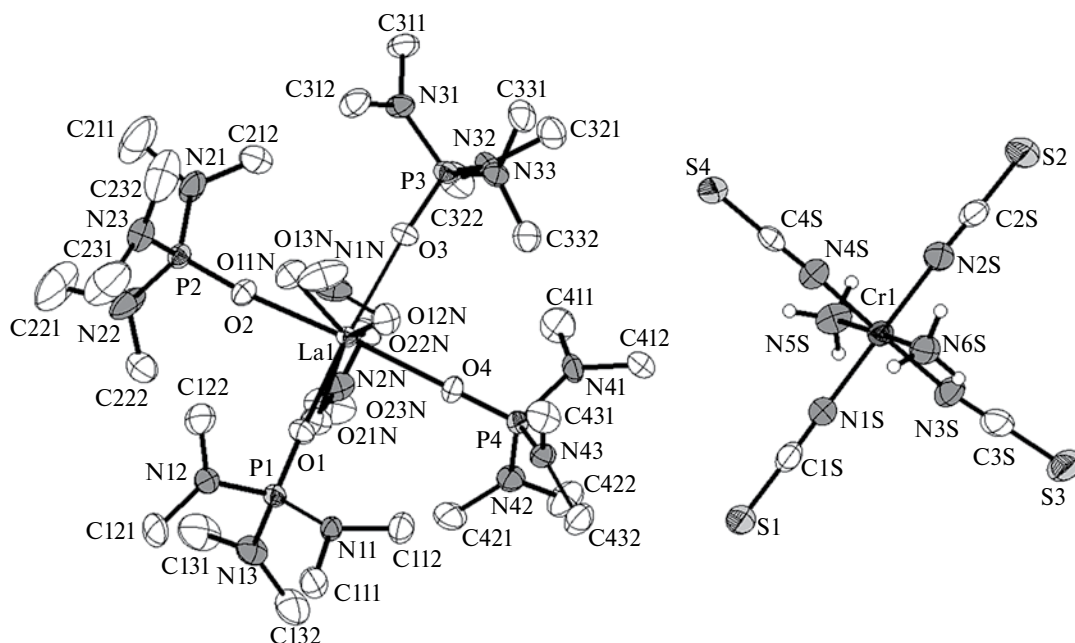
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основные частоты полос поглощения в ИК-спектре соединения I ( $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ ): 3222 (с.), 2932 (ср.), 2813 (ср.), 2087 (с.), 1614 (с.), 1455 (с.), 1302

(с.), 1262 (с.), 1186 (с.), 1100 (с.), 1066 (ср.), 994 (с.), 757 (с.), 696 (ср.).

Значения частот  $\nu(\text{CN})$ ,  $\nu(\text{CS})$   $\delta(\text{NCS})$  характеризуют образование изотиоцианатных комплексов [34, 35].

Наличие в органической молекуле фосфора вызывает появление в ИК-спектре полос при 1201 и 1296  $\text{см}^{-1}$ , из которых наибольший вклад в колебание  $\text{P}=\text{O}$  приходится на частоту 1201  $\text{см}^{-1}$ . В спектре соединения I эти частоты регистрируются при 1302, 1262  $\text{см}^{-1}$ . Понижение частоты колебаний группы  $\text{P}=\text{O}$  на  $\sim 60 \text{ см}^{-1}$  по сравнению со спектром лиганда указывает на смещение электронной плотности в молекуле лиганда к центральному иону лантаноида, что обусловлено образованием связи  $\text{Ln}-\text{O}$ . Установлено также, что частота валентных колебаний  $\nu(\text{PNC})$  смещена к более

**Рис. 1.** Строение и нумерация атомов в структуре  $[\text{La}(\text{HMPA})_4(\text{NO}_3)_2][\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{NCS})_4]$ .

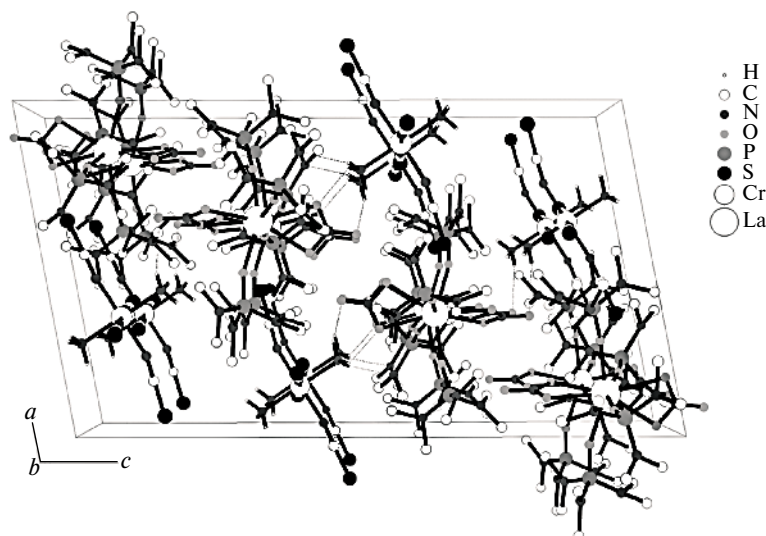


Рис. 2. Кристаллическая упаковка в  $[\text{La}(\text{HMPA})_4(\text{NO}_3)_2][\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{NCS})_4]$ .

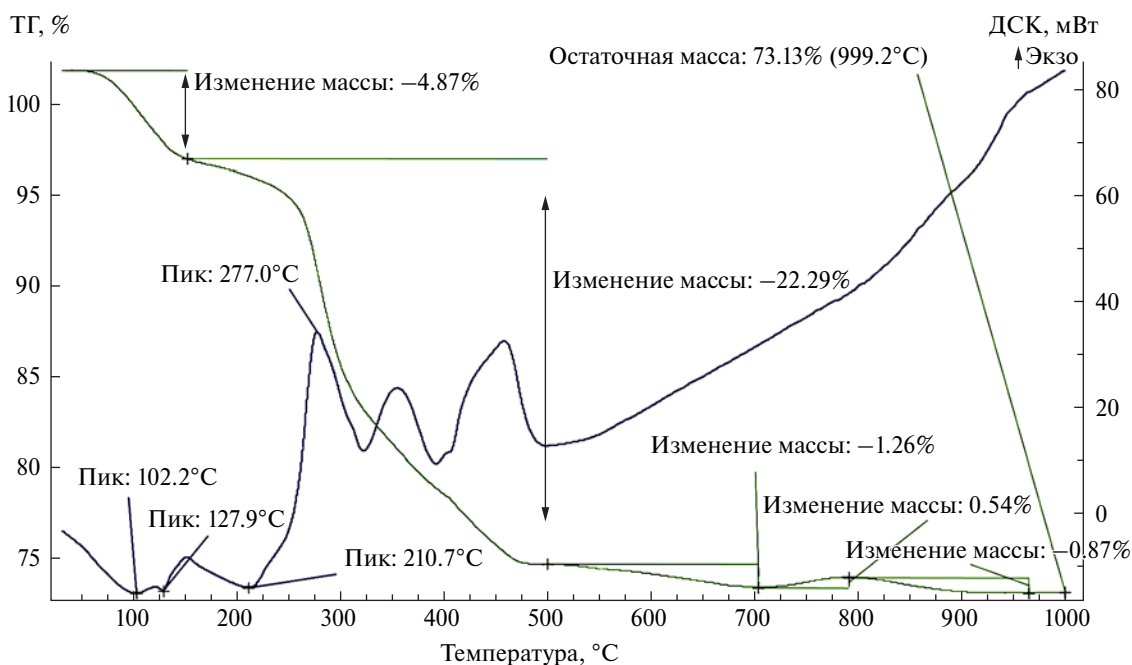


Рис. 3. Кривые нагревания на воздухе соединения состава  $[\text{La}(\text{HMPA})_4(\text{NO}_3)_2][\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{NCS})_4]$ .

высоким значениям ( $994\text{ см}^{-1}$ ) относительно колебаний в свободном НМРА ( $982\text{ см}^{-1}$ ).

Интенсивная полоса при  $757\text{ см}^{-1}$  относится к валентным колебаниям амидных комплексов металлов [34].

Рефлексы нитратного иона проявляются в виде полос при  $1463\text{--}1301$ ,  $1038\text{ см}^{-1}$ , деформационное колебание нитратного иона – при  $815\text{ см}^{-1}$ . В ИК-спектре комплекса I эти частоты регистрируются при  $1455$ ,  $1100$ ,  $1066\text{ см}^{-1}$ .

Рентгеноструктурный анализ кристаллических продуктов взаимодействия нитрата лантана(III) с тетра(изотиоцианато)диамминхроматом(III) аммония в водно-гексаметилфосфортриамидном растворе показал наличие нового соединения I ионного типа (рис. 1). Молекулярная структура соединения построена из комплексных динитратотетра(гексаметилфосфортриамид)лантан(III)-катионов и комплексных тетра(изотиоцианато)диамминхромат(III)-анионов.

Строение катиона в I подобно найденному в комплексе  $[\text{Sm}(\text{HMPA})_4(\text{NO}_3)_2][\text{C}(\text{CN})_3]$  [23]. Ион лантана координирует восемь атомов кислорода. Координационный полиэдр лантана упрощенно можно представить как тетрагональную бипирамиду, четыре экваториальные позиции в которой заняты атомами кислорода четырех монодентатных HMPA-лигандов. Каждая из двух аксиальных позиций расщеплена на две и занята двумя атомами кислорода  $\text{NO}_3$ -групп. Такое взаимное расположение лигандов обусловлено, на наш взгляд, стерическими напряжениями, возникающими между объемными HMPA-лигандами.

В кристаллической упаковке соединения I реализуется система водородных связей  $\text{N}-\text{H}\cdots\text{O}$  и  $\text{N}-\text{H}\cdots\text{N}$  (рис. 2) между концевыми атомами кислорода  $\text{NO}_3$ -групп и атомами азота HMPA-лигандов катиона, выступающими в качестве акцепторов, и  $\text{NH}_3$ -группами анионов, выступающими в качестве доноров (табл. 3).

Процесс термоллиза I носит сложный характер и включает несколько стадий. На кривой ДСК (рис. 3) можно выделить по крайней мере шесть экстремумов, соответствующих максимальной скорости протекающих процессов, при температурах 375, 401, 484, 550, 628, 731 К.

Первая стадия термодеструкции протекает в температурном интервале 368–403 К ( $\Delta m = 2.65\%$ ). Данный эффект соответствует процессу удаления связанной воды, которая появляется в ходе пробоподготовки. Тепловой эффект на термограммах с размерностью Дж/г отнесен к навеске образца.

В ИК-спектре продукта разложения при 473 К присутствуют все полосы поглощения ИК-спектра соединения I.

Основная потеря массы происходит в диапазоне 403–773 К и начинается относительно пологим участком кривой ТГ (рис. 3) с переходом на круто ниспадающий участок: кривая ДТГ фиксирует максимальную скорость потери массы при 550 К. На кривой ДСК обсуждаемый диапазон представлен тремя экзоэффектами с экстремумами при 484, 550, 628 К, обусловленными термодеструкцией образца и испарением продуктов разложения. Потеря массы на данном этапе ( $\Delta m = 22.29\%$ ) соответствует разложению молекул HMPA и анионных частей комплекса. В ИК-спектре продукта разложения I при 673 К отсутствуют основные полосы поглощения изотиоцианатных групп и групп  $\text{PO}$ . При температурах  $>773$  К наблюдается медленное окисление продуктов разложения соединения ( $\Delta m = 1.26$  и  $0.54\%$ ).

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания № 10.782.2014К Министрства образования и науки Российской Федерации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Petricek S. // Acta Chim. Slov. 2005. V. 52. P. 398.
2. Radonovich L.J. // J. Inorg. Nucl. Chem. 1973. V. 35. P. 2745.
3. Zhang X.W. // Inorg. Chim. Acta. 1987. V. 139. P. 103.
4. Hou Z. // Chem. Lett. 1991. V. 20. P. 265.
5. Petricek S. // Polyhedron. 2000. V. 19. P. 199.
6. Barr D. // Angew. Chem. Int. Ed. 1990. V. 29. Is. 3. P. 285.
7. Preez J.G.H. // Inorg. Chim. Acta. 1978. V. 26. P. 59.
8. Petricek S. // Z. Anorg. Allg. Chem. 2005. V. 631. P. 1947.
9. Скопенко В.В., Зуб Ю.Л., Садиков Г.Г., Порай-Кошиц М.А. // Укр. хим. журн. 1983. Т. 49. С. 675.
10. Буквецкий Б.В., Мирочник А.Г., Жихарева П.А., Карасев В.Е. // Журн. структ. химии. 2010. Т. 51. № 6. С. 1200.
11. Цинцадзе Г.В., Джавахишвили З.О., Александров Г.Г., Стручков Ю.Т. // Коорд. химия. 1982. Т. 8. С. 367.
12. Tang G., Zhang J., Zhang C. // Acta Crystallogr. 2008. V. 64E. P. m478.
13. Zhang J. // Acta Crystallogr. 2012. V. 68E. P. m843.
14. Zhang J. // Acta Crystallogr. 2011. V. 67E. P. m1365.
15. Zhang J. // Acta Crystallogr. 2010. V. 66E. P. m1479.
16. Zhang J. // Acta Crystallogr. 2012. V. 68E. P. m770.
17. Zhang J., Qian J., Cao Y., Zhang C. // Acta Crystallogr. 2007. V. 63E. P. m2386.
18. Zeng J., Tang G., Wei C. // Acta Crystallogr. 2011. V. 67E. P. m1724.
19. Wei H., Zhang J., Zhang C. // Acta Crystallogr. 2013. V. 69E. P. m43.
20. Wei H., Zhang J., Zhang C. // Acta Crystallogr. 2010. V. 66E. P. m1657.
21. Tang G., Zhang J., Zhang C., Lu L. // Acta Crystallogr. 2008. V. 64E. P. m399.
22. Zhang J., Meng S., Song Y. et al. // New J. Chem. 2011. V. 35. P. 328.
23. Скопенко В.В., Капишук А.А. // Коорд. химия. 1985. Т. 11. С. 1202.
24. Asakura K. // Bull. Chem. Soc. Jpn. 2001. V. 74. P. 731.
25. Cabrera A. // Polyhedron. 1998. V. 17. P. 193.
26. Imamoto T. // Chem. Lett. 1995 V. 24. P. 949.
27. Imamoto T. // Chem. Lett. 1996. V. 25. P. 875.
28. Mashima K. // Inorg. Chem. 1996. V. 35. № 1. P. 93.

29. Джавахишвили З.О. // Сообщ. АН ГрузССР. 1981. Т. 104. № 3. Р. 637.
30. <http://www.moscowuniversityclub.ru/home.asp?artId=9307>
31. *Sheldrick G.M.* SADABS, Program for empirical X-ray absorption correction. Bruker-Nonius. 1990–2004.
32. *Sheldrick G.M.* // *Acta Crystallogr.* 2008. V. 64. P. 112.
33. *Groom C.R., Bruno I.J., Lightfoot M.P., Ward S.C.* // *Crystallogr.* 2016. V. 72. P. 171.
34. *Наканиси К.* Инфракрасные спектры и строение органических соединений. М.: Мир, 1965. 233 с.
35. *Накамото К.* ИК спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1991. 536 с.