

УДК 544.344:548.1.026:548.312.4:546.654
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-4-47-55

КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НИТРАТА ЛАНТАНА С МЕТИЛЕНДИАЦЕТАМИДОМ ПРИ 298° КЕЛЬВИНА

Б.С. Намазова, Э.А. Кожомуратова, А.Т. Дүйшөнбаева

Аннотация. Исследовано взаимодействие нитрата лантана с метилендиацетамидом при 298° Кельвина в водных растворах, определены области кристаллизации и состав образующегося комплексного соединения и изучены его свойства методами физико-химического анализа. Установлено образование конгруэнтно растворимого в воде соединения $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и определены концентрационные пределы его кристаллизации в системе. Индивидуальность полученного комплексного соединения подтверждена дериватографическим анализом. На основании данных ИК-спектроскопии определен характер координации молекул метилендиацетамида в комплексном соединении и высказано предположение о его строении. По данным рентгенограммы рассчитаны интенсивности линий и межплоскостные расстояния, параметры элементарной ячейки, значение рентгеновской плотности кристаллов и установлено, что кристаллическая решетка соединения относится к моноклинной сингонии.

Ключевые слова: нитрат лантана; метилендиацетамид; соединение; физико-химические свойства; комплекс; координация; кристаллизация.

298° КЕЛВИНДЕ ЛАНТАН НИТРАТЫНЫН МЕТИЛЕНДИАЦЕТАМИД МЕНЕН БОЛГОН КООРДИНАЦИЯЛЫК БИРИКМЕСИ

Б.С. Намазова, Э.А. Кожомуратова, А.Т. Дүйшөнбаева

Аннотация. Макалада 298° Кельвин нитратынын метилендиацетамид менен суудагы эритмелерде өз ара аракеттенүүсү изилденген, кристаллдашуу аймактары жана пайда болгон комплекстүү бирикменин курамы аныкталган жана анын касиеттери физикалык-химиялык анализдин ыкмалары менен изилденген. Сууда шайкеш эрүүчү $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ кошулмасынын пайда болушу аныкталды жана анын системадагы кристаллдашуу концентрациясынын чектери аныкталды. Алынган комплекстүү кошулманын индивидуалдуулугу дериватографиялык анализ менен тастыкталат. ИК спектроскопиясынын маалыматтарынын негизинде комплекстүү кошулмадагы метилендиацетамид молекулаларынын координациясынын мүнөзү аныкталып, анын түзүлүшү болжолдонууда. Рентгенограмманын негизинде сызыктардын интенсивдүүлүгү жана тегиздиктердин аралыктары, элементардык клетканын параметрлери, кристаллдардын рентгендик тыгыздыгынын мааниси эсептелип, кошулманын кристалл торчосу моноклиникалык системага таандык экени аныкталган.

Түйүндүү сөздөр: лантан нитраты; метилендиацетамид; кошулма; физикалык-химиялык касиеттери; комплекс; координация; кристаллдашуу.

COORDINATION COMPOUNDS OF LANTANUM NITRATE WITH METHYLENDIACETAMIDE AT 298° KELVIN

B.S. Namazova, E.A. Kozhomuratova, A.T. Duishonbaeva

Abstract. The interaction of lanthanum nitrate with methylene diacetamide at 298° Kelvin in aqueous solutions was investigated; the crystallization regions and composition of the resulting complex compound were determined; and its properties were studied by physico-chemical analysis methods. The formation of the congruently water-soluble compound $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ has been established and the concentration limits of its crystallization in the system have been determined. The individuality of the resulting complex compound is confirmed by a derivatographic

analysis. Based on the IR spectroscopy data; the nature of the coordination of methylenediacetamide molecules in the complex compound was determined and its structure was suggested. Based on the X-ray data; line intensities and interplanar distances; unit cell parameters; and the value of the X-ray density of crystals were calculated; and it was found that the crystal lattice of the compound belongs to monoclinic syngony.

Keywords: lanthanum nitrate; methylenediacetamide; compound; physical and chemical properties; complex; coordination; crystallization.

Введение. Редкоземельные элементы и их соединения занимают особое место в нашей жизни, и области его применения весьма разнообразны [1, с. 48–56; 2, с. 144–146]. Редкоземельные элементы широко используются в различных технологических областях: в радиоэлектронике, приборостроении, машиностроении, атомной технике, химической промышленности, в металлургии и т. д. [3, с. 71–86; 4, с. 182].

Систематическое изучение комплексных соединений редкоземельных элементов с различными органическими лигандами начато довольно давно [5, с. 39–63]. Однако в литературе отсутствуют сведения о координационных соединениях метилendioацетамида с нитратами редкоземельных элементов, поэтому проведение таких исследований весьма актуальны.

Цель настоящей работы – исследование взаимодействия нитрата лантана с метилendioацетамидом в водных растворах, определение области кристаллизации и состава образующегося комплексного соединения и изучение его свойств методами физико-химического анализа.

Экспериментальная часть. Исследование растворимости в системе $\text{La}(\text{NO}_3)_3 - \text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 - \text{H}_2\text{O}$ проводили в водном термостате при 298° Кельвина в изотермических условиях. В качестве исходных веществ использовали метилendioацетамид и шестиводный нитрат лантана марки «химически чистый». Жидкие и твердые фазы анализировали на содержание лантана методом комплексонометрического титрования [6, с. 18–20; 7] и азота отгонкой по методу Кьельдаля [8, с. 68–70]. Твердые фазы идентифицировали методом «остатков» Скрейнемакенса [9, с. 117–126], а также дериватографического, рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии [10, с. 43; 11].

Результаты исследования. Данные, полученные с помощью химического анализа состава жидких и твердых фаз изотерма растворимости системы нитрат лантана – метилendioацетамид – вода, сведены в таблицу 1, по которой построена диаграмма растворимости (рисунок 1). Первая ветвь указывает на выделение в твердую фазу из насыщенных водных растворов шестиводного нитрата лантана $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Кристаллизация его заканчивается в эвтонической точке с содержанием компонентов в жидкой фазе: 57,89 % $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ и 12,41 % $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2$. С повышением концентрации метилendioацетамида начинается выделение из равновесных насыщенных водных растворов новой твердой фазы, соответствующей соединению $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Состав нового соединения подтверждается пересечением прямолинейных лучей на диаграмме в точке, отвечающей составу комплекса: $\text{La}(\text{NO}_3)_3 - 52,49\%$; $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 - 41,67\%$; $\text{H}_2\text{O} - 5,84\%$, что хорошо согласуется с найденным химическим анализом: $\text{La}(\text{NO}_3)_3 - 52,33\%$; $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 - 41,87\%$; $\text{H}_2\text{O} - 5,8\%$. Соединение растворяется в воде конгруэнтно.

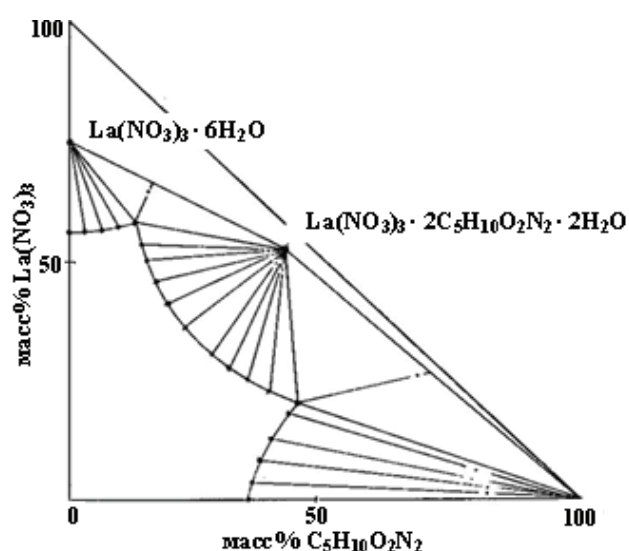
Концентрационные пределы выделения соединения по исходным компонентам составляют от 57,91–20,88 % – нитрата лантана и от 12,39 до 44,91 % – метилendioацетамида. Третья ветвь (точки 18–22) соответствует кристаллизации чистого метилendioацетамида.

С целью идентификации была исследована растворимость в органических растворителях. Полученное комплексное соединение хорошо растворяется в этаноле, несколько хуже в эфире, ацетоне и нерастворимо в бензоле и четыреххлористом углероде. Таким образом, выделенное комплексное соединение растворимо в жидкостях с большой диэлектрической проницаемостью.

Плотность кристаллов определяли пикнометрическим методом по объему вытесняемой жидкости. В качестве индифферентного растворителя был применен четыреххлористый углерод. Плотность $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $d = 1,39 \text{ г/см}^3$.

Таблица 1 – Данные по растворимости в системе $\text{La}(\text{NO}_3)_3 - \text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 - \text{H}_2\text{O}$

№	Состав жидкой фазы, масс. %		Состав твердого остатка, масс. %		Молекулярный состав кристаллизующейся фазы
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2$	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2$	
1	55,80	-	75,03	-	$\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
2	56,81	2,62	70,33	0,88	
3	57,12	6,18	70,08	2,01	
4	57,61	9,43	71,02	2,67	
5	57,93	12,36	72,44	3,81	
6	57,89	12,41	64,38	14,82	$\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
7	57,91	12,39	53,01	39,63	$\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
8	54,82	13,62	52,49	40,18	
9	50,33	14,40	52,25	39,37	
10	46,59	16,68	52,11	40,46	
11	41,61	19,23	51,82	41,18	
12	36,13	22,56	51,44	40,77	
13	31,19	27,91	51,40	41,52	
14	28,72	30,96	51,39	41,54	
15	25,58	33,39	50,15	41,67	
16	20,88	44,91	47,76	42,64	
17	20,82	44,87	26,09	68,87	$\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2$
18	20,79	44,84	8,17	78,54	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2$
19	18,76	42,59	6,38	79,40	
20	13,64	40,15	4,87	78,78	
21	8,76	37,93	4,59	81,42	
22	-	35,53	-	-	

Рисунок 1 – Изотерма растворимости системы $\text{La}(\text{NO}_3)_3 - \text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 - \text{H}_2\text{O}$

Термограмму синтезированного комплексного соединения нитрата лантана с метилendioацетамидом записывали на дериватографе системы Ф. Паулик, И. Паулик и Л. Эрдей в атмосфере воздуха при нагревании от 20 °С до 1000 °С. Скорость нагрева – 10 град/мин. Эталонным веществом являлся оксид алюминия. Результаты дифференциальных и термогравиметрических анализов исследуемого комплексного соединения $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ представлены на рисунке 2 и в таблице 2.

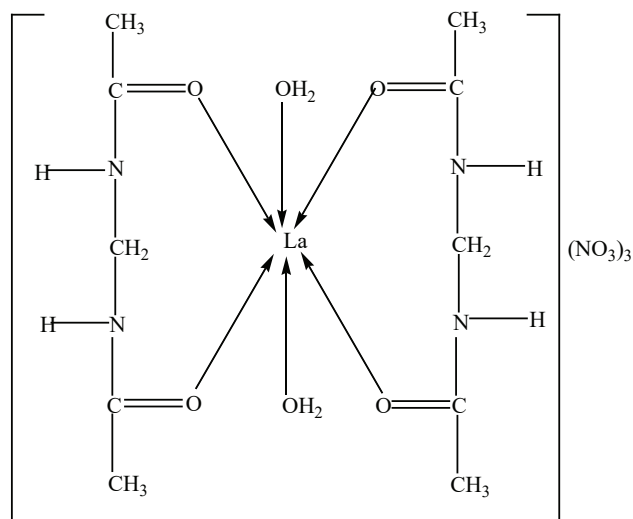
Процесс обезвоживания протекает с эндотермическим эффектом при 162 °С. Убыль массы составляет 0,06668 мг или 5,82 % от исходного количества. Экзотермические эффекты, проявленные при температурах в виде плеча 255,2 °С, глубокий выраженный 294,4 °С и небольшой 465 °С обусловлены выделением оксидов азота и дальнейшим разложением продуктов распада с окислением и сгоранием органических остатков.

При этом масса образца довольно резко уменьшается и составляет 0,78043 мг или 68,13 % от исходной навески. Остаточным продуктом является оксид лантана (La_2O_3), что хорошо согласуется с теоретически рассчитанными данными – 26,06 %.

Для определения способа координации молекул метилendioацетамида к катиону лантана были сняты ИК-спектры поглощения нитрата лантана, метилendioацетамида и комплекса (рисунки 3, 4, таблица 3).

Сравнение спектров показало, что полоса поглощения при 1700, 1678 cm^{-1} , принадлежащая валентным колебаниям группы $\nu(\text{C}=\text{O})$ метилendioацетамида, смещается в спектре комплекса в сторону длинноволновой области до 1626 cm^{-1} . Смещение полос поглощения связи $\text{C}=\text{O}$ обусловлено эффектом координации молекул метилendioацетамида ионам лантана через атомы кислорода карбонильных групп [11]. Это подтверждается упрочнением связи $\text{C}-\text{N}$. Полосы поглощения, соответствующие валентному колебанию $\nu(\text{C}-\text{N})$, смещается в коротковолновую область от 1379 до 1384 cm^{-1} в комплексе (таблица 3).

Далее, при сравнении ИК-спектров соединения и метилendioацетамида наблюдаются характеристические частоты в области колебаний нитрат-иона NO_3^- . Группа NO_3^- , будучи монодентатной, дает три полосы валентных колебаний NO [12]. В спектрах соединения наблюдаются полосы при 1493 cm^{-1} , полосы, при 1039 cm^{-1} накладываются с полосой $\rho(\text{NH}_2)$ метилendioацетамида. Отсюда можно сделать вывод о том, что нитрат-ион находится во внешней сфере комплекса. Исходя из вышеизложенного, предполагаемые строения комплексных соединений можно представить в следующем виде:



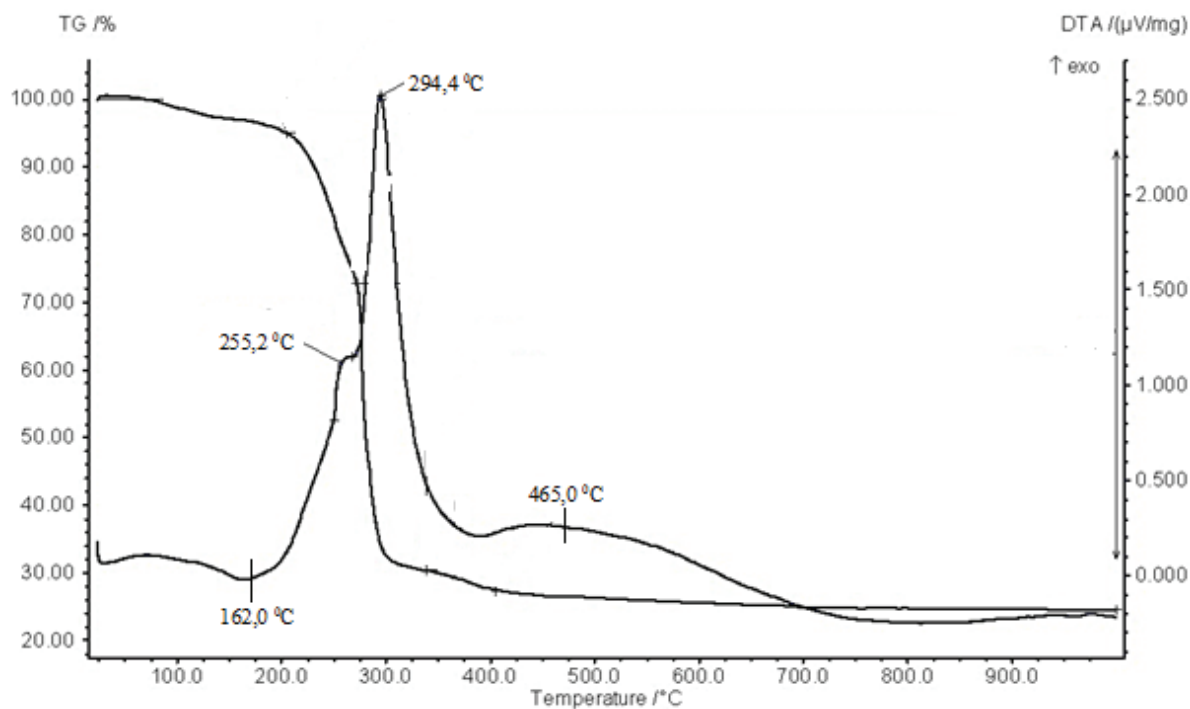


Рисунок 2 – Дериватограмма соединения $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Таблица 2 – Данные дериватографического исследования нового комплексного соединения $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

№ п/п	Комплексные соединения	Термоэффект, (°C)		Убыль массы		Превращения, происходящие в веществе
		эндо- терми- ческий	экзо- терми- ческий	в%	в мг	
1	$\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	162,0	-	5,82	0,06668	Дегидратация $2\text{H}_2\text{O}$
			255,2 294,4 465,0	68,13	0,78043	Разложение $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2$ Сгорание органических остатков и окисление лантана до La_2O_3

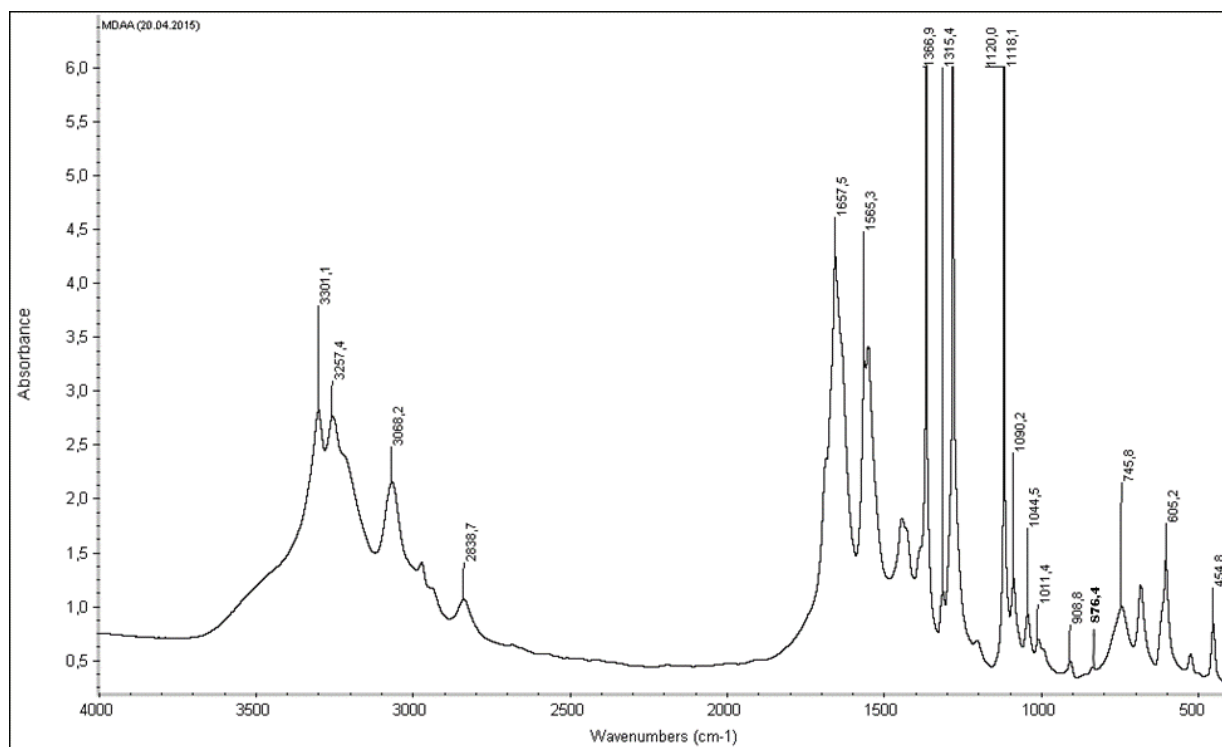


Рисунок 3 – ИК-спектры поглощения соединения $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

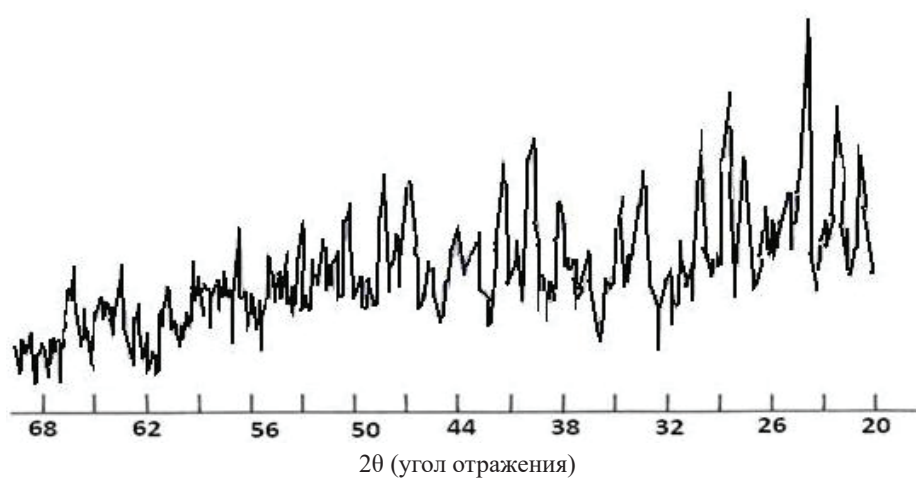


Рисунок 4 – Дифрактограмма соединения $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Таблица 3 – Основные колебательные частоты (см⁻¹) в ИК-спектрах поглощения метиленадиацетида и комплексного соединения (L = C₅H₁₀O₂N₂)

C ₅ H ₁₀ O ₂ N ₂	La(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O	La(NO ₃) ₃ ·2L·2H ₂ O	Отнесение
3415, 3351		3395	$\nu_{as}(\text{NH}) + \nu(\text{OH})$
3190	-	3262	$\nu_s(\text{NH}) + \nu(\text{OH})$
2890	-	2501, 2361	$\nu(\text{CH}_2) + \nu_{as}(\text{CH})$
1700, 1678	1642	1626	$\nu(\text{CO}) + \delta(\text{H}_2\text{O})$
1595	-	1553	$\delta(\text{NH}_2)$
-	1495	1442	$\nu_a(\text{NO}_2)$
1379	-	1384	$\nu(\text{CN})$
1320	1331	1317	$\delta_s(\text{CH}_3), \nu_3(\text{NO}_2)$
1280	-	1118	$\delta(\text{CCN}), \delta(\text{CN})$
1150	-	1088	$\nu(\text{CN}), \delta(\text{NH})$
1065	-	1039, 1031	$\rho(\text{CH}_3)$
1015, 1025	1045	-	$\rho(\text{NH}_2) + \nu_1(\text{NO})$
925, 897		918, 850, 818, 732	$\nu(\text{CCN}), \nu(\text{CC}), \delta(\text{NO})$
605	-	658, 600	$\nu(\text{CCN}), \delta(\text{NCO})$
435	-	451	$\delta(\text{CCN}), (\text{CCO}), (\text{OCN})$

Таким образом, исследование инфракрасных спектров поглощения позволили установить, что в новом синтезированном комплексном соединении связь металл-лиганд осуществляется через кислород карбонильной группы. Ацидолиганд находится в некоординационной сфере. Молекулы кристаллизационной воды координационно связаны с металлом.

Расшифровку дифрактограммы (рисунок 4) соединения проводили путем сравнения экспериментального набора значений углов отражения (2θ), межплоскостного расстояния (d_{hkl}) и интенсивностей линий (I/I_0) из рентгеновских спектров [13, с. 176–181; 14]. Данные РФА также подтверждают индивидуальность соединения, которое характеризуется собственным набором межплоскостных расстояний и относительных интенсивностей, которые приведены в таблице 4.

Одной из важнейших операций после определения межплоскостных расстояний, является индексирование рентгенограмм. После этого можно определить структурные параметры элементарной ячейки. Экспериментально вычисленное I/I_0 и d были использованы для установления Миллеровских индексов ($h k l$), а также для определения кристаллографических параметров элементарной ячейки (a, b, c) и углов β между составляющими гранями. Определение индексов интерференции «методом проб» проводят разными способами для разных сингоний.

Прежде чем вычислить параметры кристаллических решеток, были вычислены теоретические межплоскостные расстояния d (Å), они с точностью совпадали с экспериментальными данными.

Установлено, что соединение имеет индивидуальную кристаллическую решетку и относится к моноклинной сингонии.

Таблица 4 – Данные рентгенофазового анализа соединения $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

θ	I	$d(\text{\AA})_{\text{эксп.}}$	$d(\text{\AA})_{\text{теор.}}$	h	k	l	Сингония
10,12	79	4,3822	4,3846	1	1	3	Моноклинная a = 10,1885 b = 12,3479 c = 13,9081 $\cos\beta = 108^\circ 02'$ $\sin\beta = 90^\circ 02'$ Z = 2
10,86	86	4,0868	4,0911	0	3	0	
10,93	95	4,0609	4,0612	2	0	3	
11,49	84	3,8655	3,8715	0	3	1	
11,51	100	3,8618	3,8624	1	0	3	
11,55	98	3,8457	3,8361	1	2	3	
11,58	94	3,8358	3,8348	2	2	2	
12,32	80	3,6087	3,5998	1	3	1	
12,99	66	3,4255	3,4259	2	3	0	
13,04	90	3,4126	3,4179	3	1	1	
13,2	87	3,3720	3,3728	0	1	4	
14,04	64	3,1739	3,1695	3	1	3	
14,84	74	3,0064	3,0047	0	4	1	
15,46	60	2,8886	2,8855	3	2	3	
15,58	58	2,8669	2,8655	3	1	4	
16,28	68	2,7467	2,7482	1	3	4	
16,91	77	2,6472	2,6472	3	2	4	
17,12	75	2,6157	2,6198	3	3	0	
18,05	62	2,4851	2,4791	2	4	3	
18,33	65	2,4484	2,4470	4	0	4	
18,79	63	2,3905	2,3915	1	5	1	
19,28	54	2,3320	2,3338	2	3	5	
19,8	69	2,2731	2,2815	3	4	0	
21,95	60	2,0599	2,0577	5	0	0	
22,71	51	1,9944	1,9976	3	5	0	

Закключение. Изотермическим методом растворимости при 298⁰ Кельвина изучено гетерогенное равновесие в системах нитрат лантана–метилендиацетамид–вода.

Выяснено, что метилендиацетамид с нитратом лантана в водной среде образует конгруэнтно растворимые в воде соединения с соотношением компонентов 1:2:2 $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Индивидуальность полученного соединения была доказана определением их плотности, растворимости в органических растворителях и методом дериватографического, рентгенофазового анализа и ИК-спектроскопии.

На основе исследования термогравиметрического анализа комплексного соединения был обнаружен процесс дегидратации при высокой температуре, который указывает на координирование молекул воды к катиону соли.

Принимая во внимание литературные данные и результаты ИК-спектроскопии комплексного соединения, было установлено, что метилендиацетамид координирован к ионам лантана через кислород карбонильной группы.

Индивидуальность и кристалличность комплекса $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ подтверждена рентгенофазовым анализом и относится к моноклинной сингонии.

Поступила: 29.01.2025; рецензирована: 12.02.2025; принята: 14.02.2025.

Литература

1. *Amangeldy kyzy A.* Study of rare earth in the coals of the shubarkol deposit /A. Amangeldy kyzy, A.N. Kopyayeva, N.S. Askarova, D.S. Ozhigin, V.S. Portnov // Karaganda Technical University. Комплексное использование минерального сырья. 2021. № 4 (319). URL: <https://kims-imio.kz/wp-content/uploads/2019/04/2021-4-full-journal.pdf> (дата обращения: 21.01.2025).
2. *Bashiri A.* Rare earth elements recovery using selective membranes via extraction and rejection / A. Bashiri, A. Nikzad, R. Maleki, M. Asadnia, A. Razmjou // Membranes. 2022. Т. 12. № 1. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0375/12/1/80> (дата обращения: 21.01.2025).
3. *Lerche D.* Rare earth elements of sinking particulate matter in the japan trench / D. Lerche, Y. Nozaki // Earth and Planetary Science Letters. 1998. Т. 159. № 1-2. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=6662> (дата обращения: 21.01.2025).
4. *Караваяев И.А.* Координационные соединения нитратов редкоземельных элементов с амидными лигандами – перспективные материалы для получения оксидов редкоземельных элементов / И.А. Караваяев, Е.В. Савинкина, М.Н. Давыдова, М.С. Григорьев, Г.А. Бузанов // XXVIII межд. Чугаевская конф. по координационной химии. М., 2021. URL: <http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/Chugaev2021.pdf> (дата обращения: 25.01.2025).
5. *Парпиев Н.А.* Координационные соединения металлов с формамидом / Н.А. Парпиев, М.Г. Цинцадзе, Ю.А. Харитонов, О.Ф. Ходжаев, А.Ю. Цивадзе. Ташкент: ФАН, 1980.
6. *Баймухамбетова Ю.Р.* Комплексонометрическое титрование / Ю.Р. Баймухамбетова, М.В. Белоусова, В.Ф. Торосян // Актуальные вопросы науки и практики. Уфа, 2023. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59677573> (дата обращения: 21.01.2025).
7. ОФС.1.2.3.0015.15 Комплексонометрическое титрование. URL: <https://pharmacopoeia.ru/ofs15-kompleksonometricheskoe-titrovanie/> (дата обращения: 27.01.2025).
8. *Никишова Е.С.* Определение общего азота в почвах методом Кьельдаля / Е.С. Никишова // Фундаментальные и прикладные исследования в физике, химии, математике и информатике. Вып. 22. Кемерово, 2021. URL: <https://kemsu.ru/science/conference/xvi-xlvi-international-scientific-conference-of-students-and-young-scientists-education-science-inno/fundamental.pdf> (дата обращения: 25.01.2025).
9. *Крылова С.А.* Аналитическая химия. Количественные методы химического анализа / С.А. Крылова, И.В. Понурко, З.И. Костина. Магнитогорск: Магнитог. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова. URL: <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000444160> (дата обращения: 25.01.2025).
10. *Джуманазарова З.К.* Дериватографическое исследование координационных соединений нитрата магния с амидами / З.К. Джуманазарова, З.А. Рахманова, М.А. Кыстаубаева // Мировая наука. 2021. № 3 (48). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/derivatograficheskoe-issledovanie-koordinatsionnyh-soedineniy-nitrata-magniya-s-amidami/viewer> (дата обращения: 27.01.2025).
11. *Шаринова Л.Л.* ИК-спектроскопический и термический анализ смешаннолигандного комплексного соединения нитрата-цинка с формамидом и ацетамидом / Л.Л. Шаринова, М.Р. Ибрагимова, Т.А. Азизова, Ф.К. Мамытова // Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн., 2023. № 3(105). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/15090> (дата обращения: 27.01.2025).
12. *Накамото К.* ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений / К. Накамото. М.: Мир, 1991. 536 с.
13. *Алтыбаева Д.Т.* Рентгенофазовый анализ продуктов разложения комплексных соединений хлоридов марганца, кобальта, никеля с гексаметилентетрамином и диметил-сульфоксидом / Д.Т. Алтыбаева, М.Р. Мирзаева // Вестник Ошского гос. ун-та. 2014. № 1. URL: <http://vestnik.oshtu.kg/images/Journal/2020-2/aktualnye-problemy-himii/26.%20Altybaeva%20D.T.,%20Borkoeva%20N.,%20Abdullaeva%20M.D..pdf> (дата обращения: 21.01.2025).
14. *Ковба Л.М.* Рентгенофазовый анализ / Л.М. Ковба, В.К. Трунов. М.: Московский ун-т, 1976. 72 с.