

УДК 54.066+542.46:661.863/.868(575.2)
DOI: 10.36979/1694-500X-2025-25-8-86-96

**ДЕРИВАТОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ХЛОРИДОВ И НИТРАТОВ
САМАРИЯ, ГАДОЛИНИЯ, ДИСПРОЗИЯ И ЭРБИЯ С МЕТИЛЕНДИАЦЕТАМИДОМ**

Б.С. Намазова, Э.А. Кожомуратова, А.Т. Дүйшонбаева, С.А. Сапалова

Аннотация. Исследована термическая устойчивость и поведение координационных соединений редкоземельных элементов для понимания их строения, свойств и возможных направлений применения в материаловедении, катализе и технологии редкоземельных материалов. Метилендиацетамид, как органический лиганд, способен образовывать стабильные комплексы, чьи термические характеристики требуют детального изучения. Установлены термохимические характеристики координационных соединений $\text{LnCl}_3 \cdot 2\text{MDAA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{MDAA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (где $\text{Ln} = \text{Sm}, \text{Gd}, \text{Dy}, \text{Er}$) и определены стадии их термического разложения. Приведены результаты термического анализа координационных соединений хлоридов и нитратов самария, гадолиния, диспрозия и эрбия с метилендиацетамидом. Выявлены температуры дегидратации, разложения лиганда и плавления. Установлены этапы термического распада и подтверждена стехиометрия комплексных соединений. Показано, что конечными продуктами термического разложения являются хлориды или оксиды соответствующих редкоземельных элементов в зависимости от исходного аниона.

Ключевые слова: термический анализ; редкоземельные элементы; метилендиацетамид; координационные соединения; дериватограмма.

**МЕТИЛЕНДИАЦЕТАМИД МЕНЕН
САМАРИЙ, ГАДОЛИНИЙ, ДИСПРОЗИЙ ЖАНА ЭРБИЙ
ХЛОРИДТЕРИНИН ЖАНА НИТРАТТАРЫНЫН КООРДИНАЦИЯЛЫК
БИРИКМЕЛЕРИНИН ДЕРИВАТОГРАФИЯЛЫК ИЗИЛДӨӨЛӨРҮ**

Б.С. Намазова, Э.А. Кожомуратова, А.Т. Дүйшонбаева, С.А. Сапалова

Аннотация. Бул иштин актуалдуулугу – сейрек кездешүүчү элементтеринин координациялык бирикмелеринин термикалык туруктуулугун жана жүрүм-турумун изилдөө маанилүүлүгүндө, анткени бул алардын түзүлүшүн, касиеттерин жана материал таанууда, катализде жана сейрек кездешүүчү элементтердин технологиясында колдонуу мүмкүнчүлүктөрүн түшүнүүгө жардам берет. Метилендиацетамид органикалык лиганд катары туруктуу комплекстерди түзүүгө жөндөмдүү, алардын термикалык өзгөчөлүктөрүн кенен иликтөө талап кылынат. Иштин максаты – $\text{LnCl}_3 \cdot 2\text{MDAA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ жана $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{MDAA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (мында $\text{Ln} = \text{Sm}, \text{Gd}, \text{Dy}, \text{Er}$) координациялык бирикмелеринин термохимиялык мүнөздөмөлөрүн аныктоо жана алардын термикалык ажыроо этаптарын изилдөө. Иште самарий, гадолиний, диспрозий жана эрбий хлориддеринин жана нитраттарынын метилендиацетамид менен түзгөн координациялык бирикмелеринин термикалык анализинин жыйынтыктары берилген. Термикалык гравиметриялык жана дериватографиялык изилдөөлөр жүргүзүлүп, дегидратация, лигандтын ажыроо жана эрүү температуралары аныкталган. Термикалык ажыроонун этаптары белгиленип, комплекстин стехиометриясы тастыкталган. Термикалык ажыроонун акыркы продуктулары катары баштапкы анионго жараша тиешелүү сейрек кездешүүчү элементтеринин хлориддери же оксиддери алынары көрсөтүлгөн.

Түйүндүү сөздөр: термикалык анализ; сейрек кездешүүчү элементтер; метилендиацетамид; координациялык бирикмелер; дериватограмма.

COORDINATION COMPOUNDS OF CHLORIDES AND NITRATES
OF SAMARIUM, GADOLINIUM, DYSPROSIUM, AND ERBIUM
WITH METHYLENEDIACETAMIDE

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

Abstract. The relevance of this work lies in the study of the thermal stability and behavior of coordination compounds of rare earth elements, which is important for understanding their structure, properties, and potential applications in materials science, catalysis, and the technology of rare earth materials. Methylene diacetamide, as an organic ligand, is capable of forming stable complexes whose thermal characteristics require detailed investigation. The purpose of this work is to establish the thermochemical characteristics of coordination compounds $\text{LnCl}_3 \cdot 2\text{MDAA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{MDAA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (where $\text{Ln} = \text{Sm, Gd, Dy, Er}$) and to determine the stages of their thermal decomposition. The work presents the results of thermal analysis of coordination compounds of chlorides and nitrates of samarium, gadolinium, dysprosium, and erbium with methylene diacetamide. Thermogravimetric and derivatographic studies were conducted, temperatures of dehydration, ligand decomposition, and melting were identified. Stages of thermal decomposition were established and the stoichiometry of the complex compounds was confirmed. It was shown that the final products of thermal decomposition are chlorides or oxides of the respective rare earth elements depending on the initial anion.

Keywords: thermal analysis; rare earth elements; methylenediacetamide; coordination compounds; derivatogram.

Введение. Редкоземельные элементы (РЗЭ) и их координационные соединения находят широкое применение в различных отраслях науки и техники – от материаловедения и фотоники до медицины и катализа [1–3]. Благодаря специфическим магнитным, спектральным и термическим свойствам, ионы Ln^{3+} (лантаноиды) активно изучаются в составе комплексных соединений с разнообразными лигандами. Особый интерес представляют водорастворимые комплексы, обладающие термической стабильностью и хорошо воспроизводимыми характеристиками [4].

Метилendiацетамид (MDAA) относится к амидным соединениям с двумя карбонильными группами, обладающими донорными свойствами за счёт атомов кислорода и азота. Благодаря своей способности к образованию прочных координационных связей, MDAA может выступать в роли би- или полидентатного лиганда в реакциях с редкоземельными солями [5]. Однако данные о термическом поведении координационных соединений РЗЭ с метилendiацетамидом в литературе крайне ограничены, что обуславливает актуальность настоящего исследования.

Термический анализ (ТГА и ДТА) представляет собой важный инструмент для оценки состава, устойчивости и природы превращений комплексных соединений. Этот метод позволяет с высокой точностью определить этапы дегидратации, термического разложения и плавления, а также установить массу летучих продуктов и остаточного твёрдого вещества [6, 7].

Координационные соединения редкоземельных элементов с органическими лигандами привлекают внимание исследователей благодаря их уникальным физико-химическим свойствам и высокой термической стабильности. Ранее были описаны аналогичные исследования комплексов редкоземельных металлов с различными карбоксилатами, нитриловыми и амидными лигандами, что позволило установить закономерности разложения и построение термических моделей [8–12]. Однако комплексы с MDAA до настоящего времени практически не охвачены подобными исследованиями. В настоящей работе представлены результаты термоанализа комплексных соединений хлоридов и нитратов самария, гадолиния, диспрозия и эрбия с метилendiацетамидом, которые позволяют обобщить особенности термодеструкции в зависимости от природы аниона и иона металла.

Экспериментальная часть. Координационные соединения хлоридов и нитратов редкоземельных металлов (Sm, Gd, Dy, Er) с метилendiацетамидом ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2$) были получены путём взаимодействия соответствующих солей $\text{LnCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ с раствором лиганда в мольном соотношении 1:2:2. Реакция проводилась в водной среде при перемешивании при комнатной температуре. Образовавшиеся твёрдые продукты отделяли фильтрованием, промывали холодной водой и сушили в вакууме над P_2O_5 . Полученные соединения имели общий состав: $\text{LnX}_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (где $\text{X} = \text{Cl}^-, \text{NO}_3^-$).

Термическое поведение полученных координационных соединений было исследовано методами термогравиметрического анализа (ТГА) и дифференциального термического анализа (ДТА) с использованием дериватографа системы Paulik–Paulik–Erdey. Навески массой 1,2–2,0 мг помещали в открытые платиновые тигли и нагревали в атмосфере воздуха со скоростью 10 °C/мин в диапазоне температур от 25 °C до 800–900 °C. В качестве инертного эталона использовали α -Al₂O₃.

Для каждого комплекса регистрировали температурные эффекты (эндо- и экзотермические пики) и соответствующие потери массы. На основе полученных термограмм и термогравиметрических кривых определяли стадии дегидратации, удаления органического лиганда и термического распада. Экспериментальные данные сопоставляли с теоретически рассчитанными значениями потерь массы для предполагаемой формулы комплексного соединения.

На основании термогравиметрических кривых и массы навески были рассчитаны процентные потери массы на каждой стадии. Сравнение экспериментальных и теоретических значений позволило подтвердить стехиометрию комплексов и установить конечные продукты разложения: для хлоридных комплексов – соответствующие хлориды LnCl₃, а для нитратных – оксиды Ln₂O₃.

Результаты исследования. Результаты дифференциальных и термогравиметрических анализов исследуемых комплексных соединений представлены на 8-ми рисунках и приведены в таблице 1.

На кривой нагревания SmCl₃·2C₅H₁₀O₂N₂·2H₂O (рисунок 1, таблица 1) наблюдаются эндотермические эффекты при температурах 99,8; 141,7; 195,4; 305,0; 379,0 и 679,0 °C. Явно выраженный глубокий термоэффект, обнаруженный при температуре 99,8 °C, связан с потерей гидратированной воды. Убыль массы по характеру кривой ТГ происходит ступенчато в зависимости от температуры и составляет от 87,1 до 99,8 °C и от 99,8 до 131 °C 0,03356 мг или 2,7 % и 0,04847 мг или 3,9 %, соответственно, от искомой навески, что указывает на две молекулы воды. С повышением температуры происходит разложение безводного комплексного соля. В пределах температур 141,7–195,4 °C и 305,0–379,0 °C убыль массы составляет 0,15962 мг или 12,85 % и 0,43198 мг или 34,76 % от взятой навески. Общая отщепленная масса 0,5916 мг соответствует двум молекулам метиленацетамида и согласуется с теоретически рассчитанными. Температура 679 °C указывает на плавление хлористого самария, подтверждением этого является остаточный продукт разложения SmCl₃ [13].

В дериватограмме Sm(NO₃)₃·2C₅H₁₀O₂N₂·2H₂O (рисунок 2, таблица 1) обнаружены эндотермические и экзотермические эффекты при температурах 118,7; 158,3 и 280,3 и 298,2; 499; 745,8 °C, соответственно. При 118,7 и 158 °C протекает процесс дегидратации, осуществляющийся с потерей массы 0,03591 мг и 0,03976 мг или 2,70 и 2,99 % от первоначально взятого количества, что соответствует двум молекулам воды. Дальнейшее повышение температуры приводит к разложению безводного соля. Термоэкзоэффекты при температурах 280,3; 298,2; 499 и 745,8 °C характеризуют выделение оксидов азота и дальнейшее разложение продуктов распада с окислением и сгоранием органических остатков. При этом убыль массы составляет 0,49229 мг или 40,37 % от искомой навески и хорошо согласуется с теоретически рассчитанными данными – 0,54665 мг или 41,14 %, что подтверждает количество двух молекул метиленацетамида. Остаточным продуктом распада является оксид самария.

Термограмма GdCl₃·2C₅H₁₀O₂N₂·2H₂O (рисунок 3, таблица 1) характеризуется эндотермическими эффектами при 115,3; 154,8; 330,1; 346,7; 601,0 °C. В первом термоэффекте происходит частичное обезвоживание комплексного соединения, которое сопровождается потерей массы, соответствующей 0,08301 мг или 3,23 % от искомого количества. Температуры 154,8; 330,1 и 346,7 °C обусловлены продолжением процесса дегидратации и удалением метиленацетамида (лиганда), а также горением продуктов распада. При этом убыль массы составляет 0,68314 мг или 69,95 % от исходного количества. Следует отметить, что по характеру кривой термогравиметрии вероятное отщепление воды происходит в молекулярном виде. Конечным продуктом разложения является хлористый гадолиний GdCl₃, который плавится при 601,0 °C и хорошо согласуется с данными работы [14].

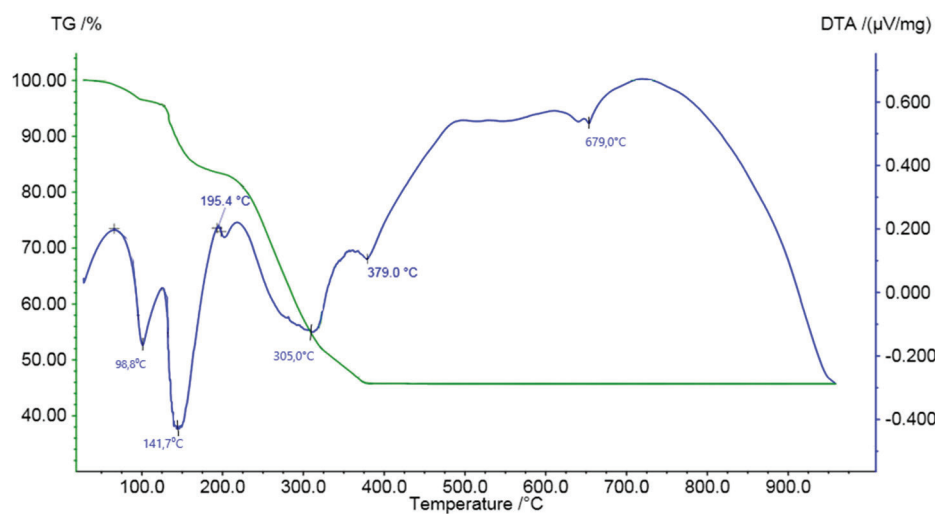


Рисунок 1 – Термогравиметрические (ТГ) и дифференциально-термические (ДТА) кривые комплекса $\text{SmCl}_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

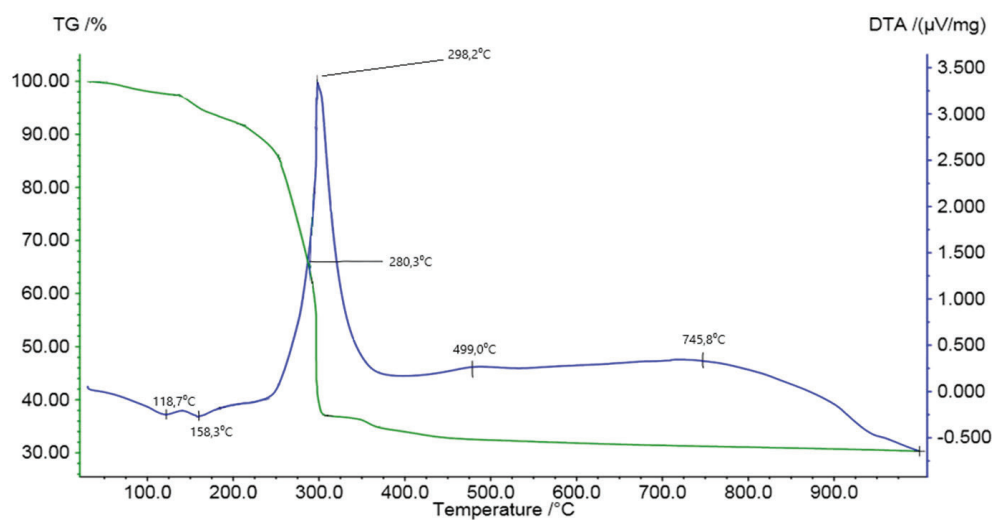


Рисунок 2 – Термогравиметрические (ТГ) и дифференциально-термические (ДТА) кривые комплекса $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

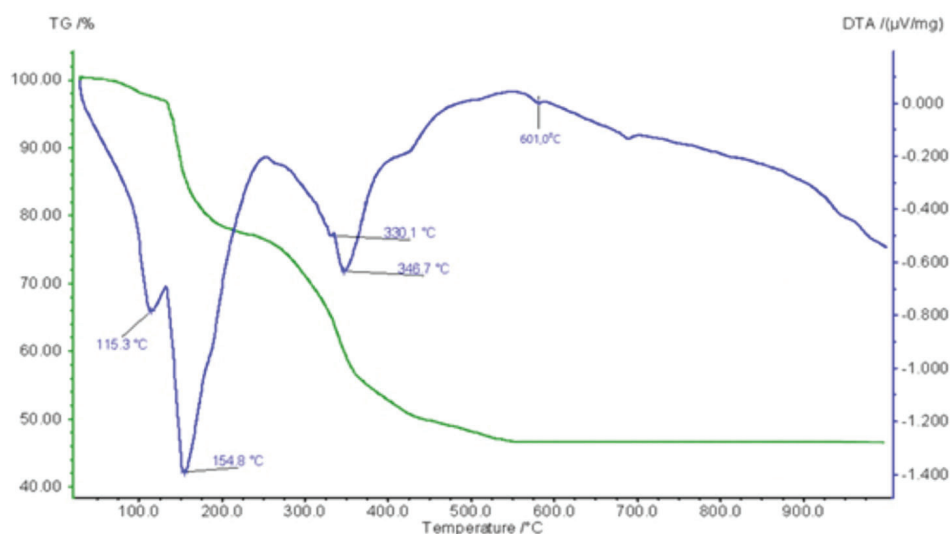


Рисунок 3 – Термогравиметрические (ТГ) и дифференциально-термические (ДТА) кривые комплекса $\text{GdCl}_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Таблица 1 – Данные дериватографических исследований

№ п/п	Комплексные соединения	Термоэффект, (°C)		Убыль массы		Превращения, происходящие в веществе
		Эндотер- мический	Экзотер- мический	в %	в мг	
1	$\text{SmCl}_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	99,8	-	6,50	0,08203	Дегидратация $2\text{H}_2\text{O}$
		141,7 195,4	-	12,85	0,15962	Отщепление 2-й молекулы лиганда
		305 379	-	34,76	0,43198	
		679	-	-	-	Плавление SmCl_3
2	$\text{Sm}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	118,7 158,3	- -	2,70 2,99	0,03591 0,03976	Дегидратация $2\text{H}_2\text{O}$
			280,3 298,2	40,37	0,49229	Удаление 2-й молекулы лиганда
			499 745,8	25,43	0,37891	Сгорание органических остатков. Окисление самария до Sm_2O_3
3	$\text{GdCl}_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	115,3	-	3,23	0,08301	Удаление 1-й молекулы H_2O
		154,8 330,1 346,7	-	69,95	0,68314	Удаление 2-й молекулы H_2O и двух молекул $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2$
		601,0	-	-	-	Плавление GdCl_3

4	$\text{Gd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	140,0	-	2,99	0,03610	Удаление 1 молекулы H_2O
		184,7	290,4 510			Удаление 2-й молекулы H_2O и начало разложение $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2$. Сгорание органических остатков и окисление гадолиния до Gd_2O_3
5	$\text{DyCl}_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	122,4 144,7	-	6,4	0,07935	Дегидратация $2\text{H}_2\text{O}$
		150,4 304,6	-	12	0,14889 0,16129	Начало разложения $\text{DyCl}_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2$. Удаление 1-й молекулы лиганда с разложением
		333,3	-	23,0	0,28538	Удаление 1-й молекулы лиганда в молекулярном виде
		676	-	-	-	Плавление DyCl_3
6	$\text{Dy}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	166,6	-	5,68	0,06924	Дегидратация $2\text{H}_2\text{O}$
			241,3 296	40,47	0,49351	Удаление 2-й молекулы лиганда
			481 723	31,15	0,37994	Сгорание органических остатков. Окисление диспрозия до Dy_2O_3 .
7	$\text{ErCl}_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	125	-	6,4	0,07986	Дегидратация $2\text{H}_2\text{O}$
		137,6 330 370	-	45,7	0,57013	Удаление 2-й молекулы лиганда
		745	-	-	-	Плавление ErCl_3
8	$\text{Er}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	112 166	- -	2,09 3,49	0,03493 0,05833	Дегидратация $2\text{H}_2\text{O}$
			259,6 266	40,67	0,67979	Удаление 2-й молекулы лиганда
			508 734	24,79	0,41436	Сгорание органических остатков. Окисление эрбия до Er_2O_3

В термограмме $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рисунок 4, таблица 1) выявлены эндотермические и экзотермические эффекты при температурах 140; 184,7; 290,4; 510 °С, соответственно, обезвоживание комплексного соединения наблюдается при 140 °С. Убыль массы в процессе дегидратации составляет 0,03610 мг или 2,99 % от искомой навески и соответствует одной молекуле воды. Температура 184,7 °С указывает на удаление оставшейся воды и начале разложения безводного соединения. Глубокий при температуре 290,4 °С и небольшой при 510 °С экзотермические эффекты обусловлены образованием оксидов азота и дальнейшим разложением продуктов распада с окислением и сгоранием органических остатков. Процессы превращения осуществляются с потерей массы, соответствующей 0,80396 мг или 66,58 %. Остаточным продуктом разложения является оксид гадолиния Gd_2O_3 .

На кривой нагревания соединения $\text{DyCl}_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рисунок 5, таблица 1) наблюдаются эндоэффекты при температурах 122,4; 144,7; 150,4; 304,6; 333,3 и 676 °С. Первый отчетливый термоэффект связан с потерей воды. На кривой термогравиметрии видно, что масса убывает на 6,4 % или на 0,07935 мг от первоначально взятой навески, что и подтверждает количество, соответствующее двум молекулам воды. Температура 144,7 °С указывает на начало разложения безводного соединения.

С повышением температуры в диапазоне 150,4–304,6 °С происходит отщепление одной молекулы лиганда с разложением. Потери массы составляют 12,0 % или 0,14889 мг и 13,0 % или 0,16129 мг от искомой навески. По характеру кривой ТГ при температуре 333,3 °С удаляется вторая молекула лиганда от комплексообразователя, по-видимому, в молекулярном виде, убыль массы которой равна 23 % или 0,28538 мг, что соответствует одной молекуле $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2$. В последнем термоэффекте происходит плавление хлористого диспрозия и хорошо согласуется с температурными данными, приведенными в [15].

На дифрактограмме $\text{Dy}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рисунок 6, таблица 1) видно, что при эндотермическом эффекте при 166,6 °С отщепляются две молекулы воды с массой 0,06924 мг или 5,68 % от искомой навески, что хорошо согласуется с теоретически рассчитанным данными – 5,59 %. С повышением температуры обнаружено плечо при температуре 241,3 °С, а также глубоко выраженные при 296,0 °С, незначительно проявленные при 481 °С и 723 °С экзотермические эффекты, которые указывают на разложение безводного соединения, протекающее с выделением оксида азота, сгоранием органических остатков и окислением продуктов распада.

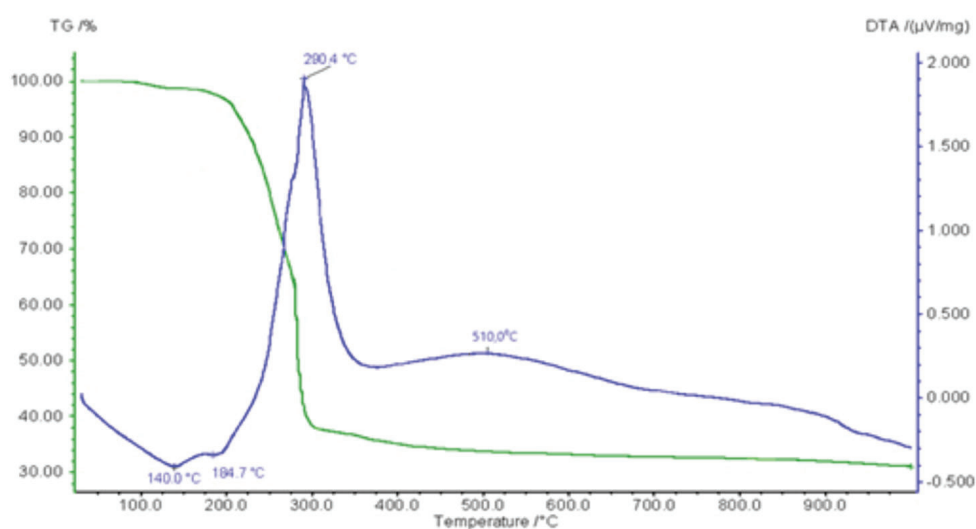


Рисунок 4 – Термогравиметрические (ТГ) и дифференциально-термические (ДТА) кривые комплекса $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

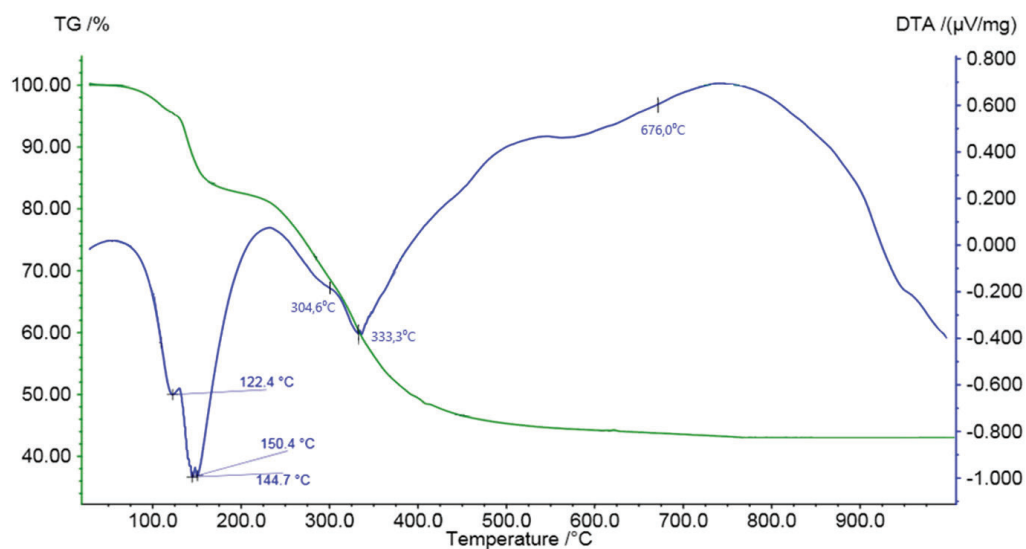


Рисунок 5 – Термогравиметрические (ТГ) и дифференциально-термические (ДТА) кривые комплекса $\text{DyCl}_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

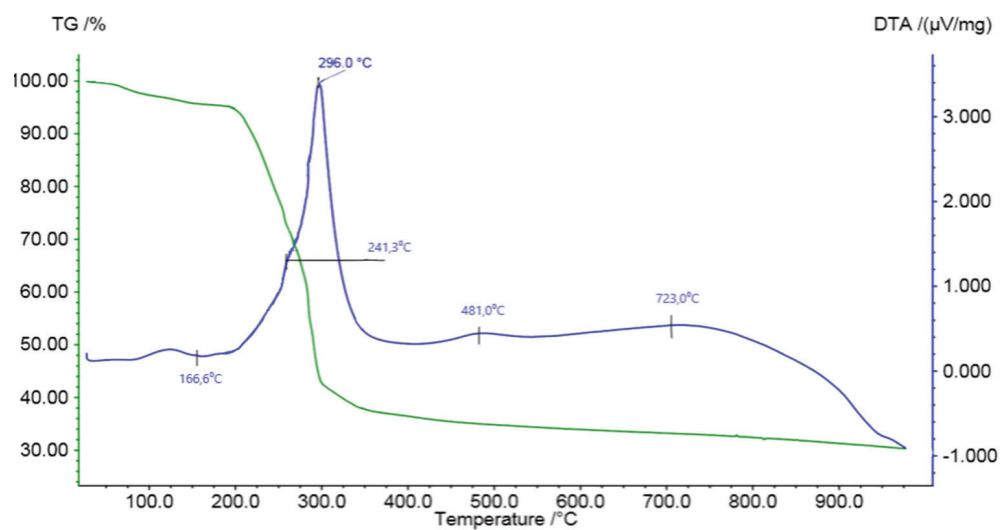


Рисунок 6 – Термогравиметрические (ТГ) и дифференциально-термические (ДТА) кривые комплекса $\text{Dy}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Последние сопровождаются потерей массы 0,49351 мг или 40,47 % от первоначально взятой навески. Конечным продуктом является оксид диспрозия.

Термограмма $\text{ErCl}_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рисунок 7, таблица 1) характеризуется эндотермическими эффектами при температуре 125; 137,6; 330; 370; 745 °С. На кривой термограммы выявлена отчетливая область удаления массы, равной 6,4 % или 0,07986 мг от искомой навески, которая соответствует двум молекулам воды. Процесс дегидратации происходит при 125 °С. Далее с повышением температуры с 137,6 до 370 °С происходит отщепление лиганда с общей массой 45,7 % или 0,57013 мг от первоначально взятой навески, что и подтверждает количественное содержание двух молекул метиллендиацетамида. По характеру кривой ТГ видно, что вероятно одна молекула лиганда отрывается от комплексообразователя одновременно с разложением, а вторая – в молекулярном виде. Последний термоэффект при 745 °С указывает на плавление хлористого эрбия и очень близок к данным, приведенным в работе [15].

На термограмме $\text{Er}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (рисунок 8, таблица 1) видно, что обезвоживание комплексного соля происходит в эндотермических эффектах при температурах 112 и 166 °С. Потеря массы в процессе дегидратации составляет 0,09326 мг или 5,58 % от исходного количества, что соответствует двум молекулам воды.

Экзотермические эффекты, проявленные в виде плеча при 259,6 °С и глубоко выраженные при 266,0 °С и небольшие при 508 и 734 °С, обусловлены удалением лиганда, выделением оксидов азота, сгоранием органических остатков и окислением продуктов распада. При этом взятая исходная масса уменьшается на 0,67979 мг или 40,67 %. Остатком продукта разложения является оксид эрбия.

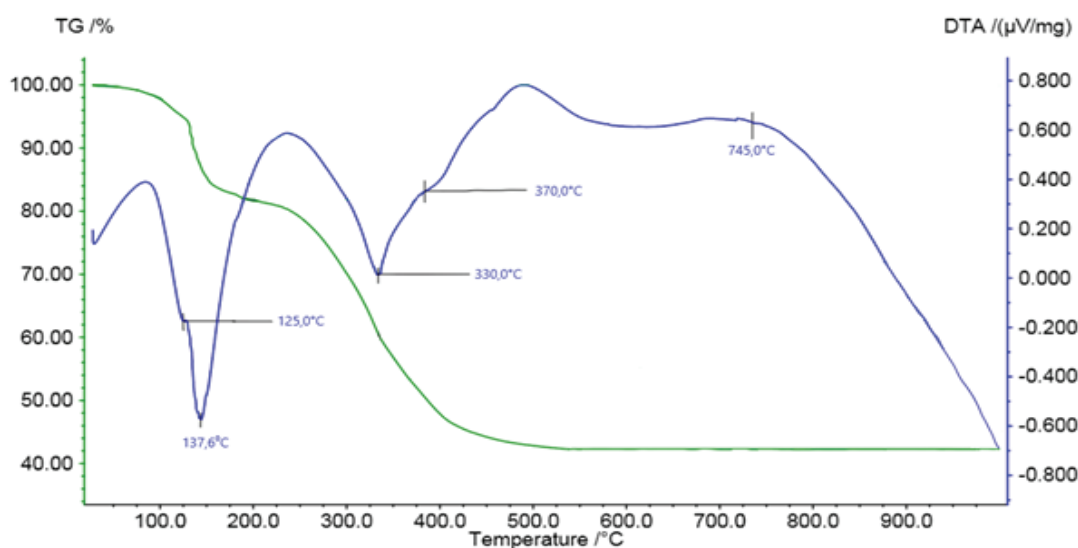


Рисунок 7 – Термогравиметрические (ТГ) и дифференциально-термические (ДТА) кривые комплекса $\text{ErCl}_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

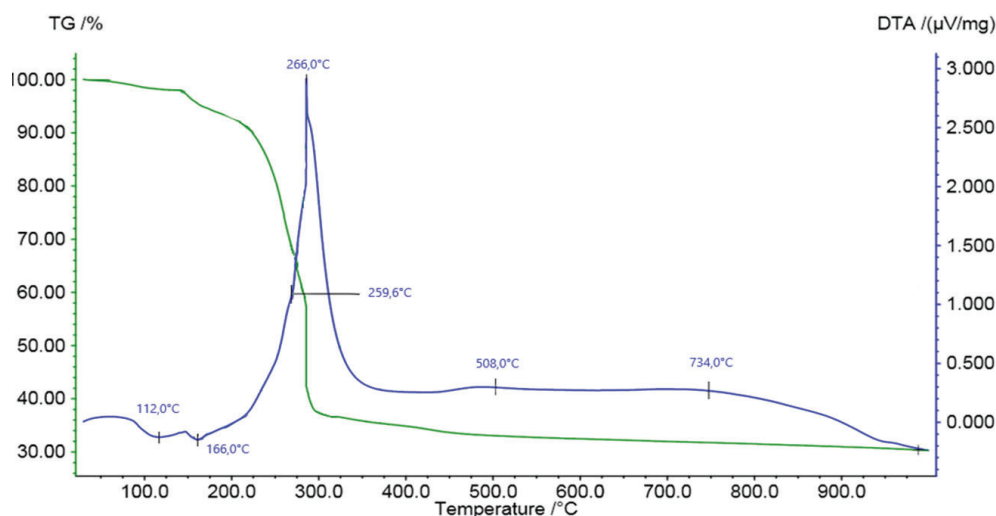


Рисунок 8 – Термогравиметрические (ТГ) и дифференциально-термические (ДТА) кривые комплекса $\text{Er}(\text{NO}_3)_3 \cdot 2\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Закключение. Результаты проведённого термоанализа показали, что координационные соединения редкоземельных элементов с метилендиацетамидом дегидратируются в интервале температур 90–160 °С с последующим разложением органического лиганда. Для хлоридов Ln^{3+} конечным продуктом является соответствующий хлорид металла, тогда как для нитратных комплексов – оксид редкоземельного элемента. Данные термогравиметрии и величины массовых потерь хорошо согласуются с предполагаемой стехиометрией комплексов $\text{LnX}_3 \cdot 2\text{MDAA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Полученные результаты расширяют представление о термической устойчивости подобных соединений и подтверждают возможность существования термодинамически устойчивых комплексов с одинаковой структурой для различных ионов Ln^{3+} .

Поступила: 27.05.2025; рецензирована: 10.06.2025; принята: 12.06.2025.

Литература

1. Каганович Б.М. Редкоземельные элементы: свойства и применение / Б.М. Каганович, Е.Н. Курбатова. М.: Наука, 2010. 256 с.
2. Cotton S. Lanthanide and Actinide Chemistry / S. Cotton // John Wiley & Sons. 2006. 221 p.
3. Atwood D.A. The Rare Earth Elements: Fundamentals and Applications / D.A. Atwood // Chichester: Wiley, 2012. 642 p.
4. Петричко М.И. Комплексные соединения нитратов редкоземельных элементов с диметилформамидом / М.И. Петричко, И.А. Караваев, Е.В. Савинкина, М.С. Григорьев и др. // Журнал неорганической химии. 2023. Т. 68. № 4. С. 482–491. URL: <https://sciencejournals.ru/view-issue/?j=nergkhim&y=2023&v=68&n=4> (дата обращения: 28.05.2025).
5. Нуралиева Г.А. Изучения комплексных соединений гетеролиганда 3d-металлов на основе тиосемикарбазида и карбоновой кислоты / Г.А. Нуралиева, О. Умирзокова, М. Алиева // Universum: химия и биология. 2021. № 10(88). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/12322> (дата обращения: 27.05.2025).
6. Султонова С.Ф. Синтез смешанных гетеролигандных соединений ацетамида и ацетилацетона с хромом universum: химия и биология / С.Ф. Султонова // Электрон. научн. журн. 2022. № 12(102). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/14562> (дата обращения: 28.05.2025).

7. Шарипова Л.А. ИК-спектроскопический и термический анализ смешаннолигандного комплексного соединения нитрата цинка с формамидом и ацетамидом / Л.А. Шарипова, М.Р. Ибрагимова, Т.А. Азизов, Ф.К. Маматова // Матер. респуб. научн.-практ. конф. "Актуальные проблемы современной химии". Бухара, 4–5 декабря 2020 г. Бухара, 2020. С. 102. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50419251> (дата обращения: 28.05.2025).
8. Кашеев В.А. Термогравиметрический анализ в химии координационных соединений / В.А. Кашеев // Российский химический журнал. 2015. Т. 59. № 2. С. 92–101.
9. Глазкова Л.В. Термические превращения лантаноидных комплексов с органическими лигандами / Л.В. Глазкова, И.А. Носкова // Журнал общей химии. 2017. Т. 87. № 6. С. 1098–1104.
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). С. 43–46. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_45583815_88535439.pdf (дата обращения: 28.05.2025).
11. Лохова С.С. Термогравиметрическое исследование некоторых комплексных соединений моноазинов с солями / С.С. Лохова, З.А. Кубатиева, Л.Н. Гутиева, А.Р. Лохов // Инновационные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Владикавказ, 2021. Ч. 2. С. 37–40. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45781945> (дата обращения: 28.05.2025).
12. Клеман К. Термохимические свойства неорганических веществ / К. Клеман, Г. Браун. М.: Мир, 1977. 592 с.
13. Haynes W.M. (Ed.). CRC Handbook of Chemistry and Physics, 95th Edition / W.M. Haynes (Ed.). Boca Raton: CRC Press, 2014. P. 4–91.
14. Герасимов Я.И. Физико-химические свойства неорганических веществ / Я.И. Герасимов, Л.А. Федорова. М.: Химия, 1981. 233 с.
15. Лидин Р.А. Химические свойства неорганических веществ: справочник / Р.А. Лидин, В.А. Молочко, В.А. Андреев. М.: Химия, 2000. 248 с.