

Міністерство освіти і науки України

Національна академія наук України

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

**«АКАДЕМІЧНА Й УНІВЕРСИТЕТСЬКА НАУКА:
РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ»,
присвячена 90-річчю Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»**

Збірник наукових праць
за матеріалами

**XII Міжнародної
науково-практичної конференції**

6 грудня 2019 року

Полтава 2019

«ПРИРОДНИЧІ НАУКИ»

«ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ»

УДК 541.123 : 546.175 : 546.65

Дрючко О.Г., к.х.н., доцент, <https://orcid.org/0000-0002-2157-0526>
Стороженко Д.О., к.х.н., доцент, <https://orcid.org/0000-0001-7920-5161>
Бунякіна Н.В., к.х.н., доцент, <https://orcid.org/0000-0003-4241-5127>
Іваницька І.О., к.х.н., доцент, <https://orcid.org/0000-0003-1148-316X>
Ханюков В.О., магістр, <https://orcid.org/0000-0001-5754-5202>
Китайгора К.О., магістр, <https://orcid.org/0000-0002-3752-0865>
E-mail: dog.chemistry@gmail.com

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ФОРМУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПЕРОВСКІТОПОДІБНИХ ФАЗ З ВИКОРИСТАННЯМ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ МЕТОДІВ «М'ЯКОЇ ХІМІЇ»

Анотація. Із застосуванням комплексу фізико-хімічних методів авторами вивчено природу й особливості хімічної взаємодії, гетерогенних рівноваг (25-65°C) структурних компонентів у водно-сольових системах нітратів неодиму і магній, кальцію, стронцію, барію, як модельних системах нітратів рідкісноземельних елементів й елементів ІІА групи періодичної системи, що нині широко використовуються у синтезах, технологічних регламентах створення на їхній основі матеріалів різного призначення із заданим комплексом структурно-чутливих характеристик. Виявлена низка особливостей і закономірностей у їхній сукупній поведінці. Протікаючі конкуруючі реакції є сильнодіючим технологічним фактором, що суттєво впливає на зміну активності структурних форм Ln^{3+} .

Ключові слова: рідкісноземельні елементи, магній, лужноземельні метали, нітрати, комплексоутворення, водно-сольові системи, властивості.

UDC 541.123 : 546.175 : 546.65

Dryuchko O.G., PhD, Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0002-2157-0526>
Storozhenko D.O., PhD, Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0001-7920-5161>
Bunyakina N.V., PhD, Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0003-4241-5127>
Ivanytska I.O., PhD, Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0003-1148-316X>
Khanyukov V.O., Master student; <https://orcid.org/0000-0001-5754-5202>
Kytayhora K.O., Master student; <https://orcid.org/0000-0002-3752-0865>
E-mail: dog.chemistry@gmail.com

National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"

FORMATION OF MULTIFUNCTIONAL PEROVKITE PHASES USING SOFT CHEMISTRY LOW-TEMPERATURE METHODS

Abstract. Using the complex of physicochemical methods, the authors investigate the nature and features of chemical interaction, heterogeneous equilibria (25-65°C) of structural components

in water-salt systems of neodymium and magnesium nitrates, calcium, strontium, barium, as model systems of rare earth elements and elemental groups periodic systems, which are now widely used in syntheses, technological regulations for the creation on their basis of materials of various purposes with a given complex of structurally sensitive characteristics. A number of features and patterns in their cumulative behavior have been identified. The ongoing competitive reactions are a powerful technological factor that significantly influences the change in the activity of structural forms of Ln^{3+} .

Keywords: *rare earth elements, magnesium, alkaline earth metals, nitrates, complexation, water-salt systems, property.*

Вступ. Багатокомпонентні оксидні конструкційні і спеціального призначення матеріали зі змішаною електронною й кисневою провідністю, швидким іонним транспортом на сьогодні відіграють важливу роль у системах взаємного перетворення різних форм енергії, киснево-провідних матеріалах для конверсії природного газу, паливних елементах, багатьох каталітичних і магнітних системах, кисневих мембранах, як матеріали для високотемпературних електродів, нагрівальних елементів, у газових сенсорах тощо. Серед цих багатофункціональних матеріалів найбільше застосування знаходять складні оксиди зі структурою перовскіта ABO_3 та подвійного перовскіта $AMe^{II}B_2O_{6-\delta}$, що містять у вузлах А лантаніди, а у вузлах В - атоми d-металу. Ці сполуки є абсолютними лідерами, як за масштабом застосування, так і стосовно уваги до них з боку дослідників [1 - 6].

Системні дослідження будови, фундаментальних властивостей, дефектної структури й кисневої нестехіометрії перовскітоподібних фаз з частковими ізоморфними заміщеннями в підрешітках А і В на інші елементи вказують, що такі модифікації призводять до істотної зміни всіх цільових характеристик цих сполук (електричних, магнітних, каталітичних та інших властивостей).

Пропоноване дослідження є результатом аналізу відомостей про системні дослідження, виконані за останні 15 років, і присвячені вивченню кисневої нестехіометрії, дефектної структури, технології одержання й обумовлених ними властивостей перовскітоподібних оксидів РЗЕ (Ln), магнію, лужноземельних елементів (Ca, Sr, Ba) і d-металів (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, ін.).

Більшість досліджень РЗЕ-вмісних складних оксидів спрямовані, головним чином, на вивчення широкого спектру фізичних властивостей, а технології виготовлення дрібнодисперсних таких матеріалів приділяється недостатньо уваги, хоча вона є невід'ємною частиною створення ефективних матеріалів та відіграє виняткову роль у формуванні різних структурно-чутливих властивостей.

Нині з'ясовуються способи керування технічними параметрами таких матеріалів шляхом вибору складу, умов синтезу і наступного оброблення. Широта функціональних задач, принципів і способів їхнього вирішення, відсутність матеріалів, що повністю задовольняють весь комплекс технічних і технологічних вимог обумовлюють відсутність універсальних методів їхнього вирішення. Одержання досконалих таких матеріалів зумовлює використання нанорозмірних частинок речовин – складових компонентів технологічних сумішей, а це, у свою чергу, підвищує інтерес до низькотемпературних способів їхнього синтезу «хімічними методами» із використанням рідких багатокомпонентних нітратних систем.

Існуючі способи отримання перовскітів складні й трудомісткі, часто дають продукти з низькими значеннями питомої поверхні й виявляють властивості, що не відповідають вимогам багатьох можливих напрямів застосувань. Нині для одержання перовскітів використовують традиційну керамічну технологію, методи співосадження, золь-гель, складних ефірних полімерних попередників (методика Пекіні, синтез керамічних порошків), гліцин-нітратний, механохімічний, плазмохімічний та інші. Одним з нових перспективних підходів є використання в процесі синтезу стадії мікрохвильового оброблення прекурсорів.

Слід також зазначити, що комбіноване використання методів «м'якої хімії» для синтезу багатокомпонентних оксидів у сучасному виконанні – це потужний арсенал, концентроване спрямування зусиль на одночасне вирішення цілої низки невід'ємно важливих складових завдань (іноді суперечливих) та знаходження ефективних шляхів їхнього фундаментального, технічного та технологічного вирішення. Це дає можливість поєднувати:

- одержання дрібно розмірних складових багатокомпонентних систем;
- здійснення легкої гомогенізація реакційних систем;
- безпосередню взаємодію структурних компонентів у предоставленому реакційному просторі;
- легкість підбору складу й умов реалізації таких процесів;
- проведення перетворень з великими швидкостями (і навіть за ланцюговим механізмом);
- енергетичну низькозатратність технологічних схем таких перетворень, малої енергії активації реагуючих речовин;
- легкість апаратурної їх реалізації простими засобами;
- вплив техніко-технологічних чинників і способів одержання на варіювання комплексу вихідних цільових властивостей та досконалість будови продуктів синтезу.

Тому набуті новітні знання й технічні можливості піднімають на більш високий рівень досконалість, відтворюваність, прогнозованість характеристик таких синтезованих продуктів та відкривають нові перспективи їхнього практичного застосування.

Наведені методи ґрунтуються на виділенні цільових продуктів з різною дисперсністю частинок нанорозмірів (20 – 60 нм), що не забезпечується керамічною технологією (100 нм і вище), за рахунок різних хімічних реакцій взаємодії між структурними компонентами систем із водних розчинів солей, які містять катіони різних металів у необхідному співвідношенні. Як приклад, на рис. 1 наведена послідовність новітніх операцій приготування перовскітоподібних оксидних фаз РЗЕ і 3d-елементів каталітичного призначення провідними корейськими компаніями [6]. За таким регламентом відсутність помольних операцій при підготовці вихідної шихти забезпечує високу чистоту кінцевих продуктів.

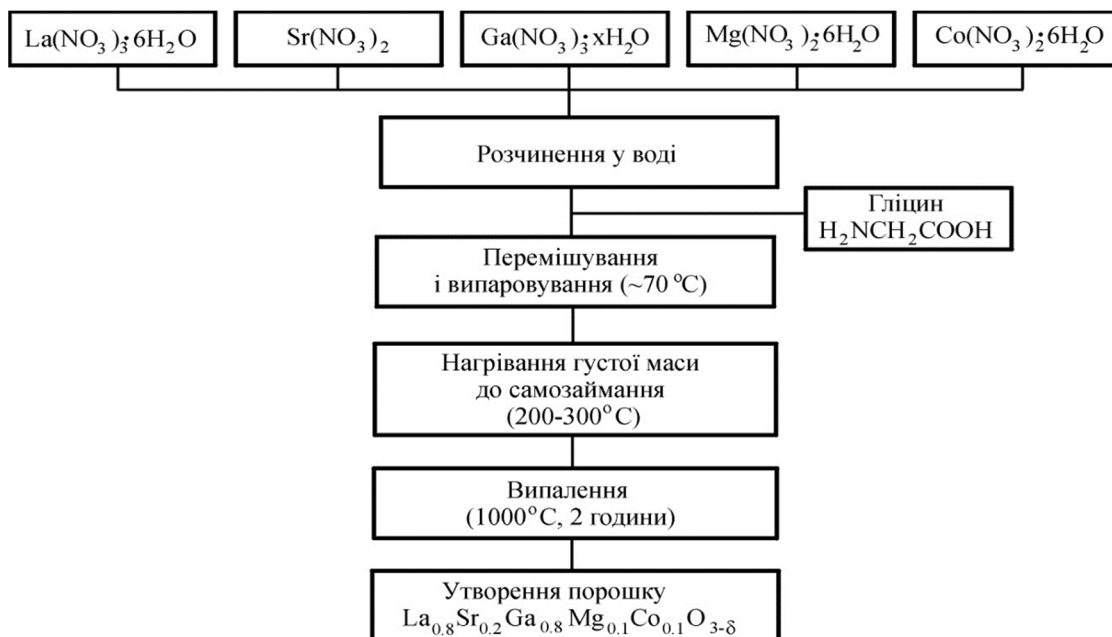


Рисунок 1 – Послідовність операцій формування перовскітоподібних оксидних фаз $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{Mg}_{0.1}\text{Co}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ гліцин-нітратним методом

Мета роботи. Метою проведення цієї роботи було дослідження кооперативних процесів взаємодії між структурними компонентами у ході формування перовскітоподібних оксидних фаз рідкісноземельних і перехідних елементів у підготовчих стадіях з використанням нітратів елементів різної електронної структури та знаходження можливих прийомів впливу на рідкофазні і твердофазні системи, оснований на термічній активації реагентів, з метою відтворення їх структурно-чутливих характеристик.

Одержані власні результати та відомості за тематикою дослідження вказують на можливість керування фізичними властивостями РЗЕ-вмісних багатокомпонентних перовскітоподібних фаз варіюванням розміром частинок як за рахунок використання методів формування, так і за рахунок зміни температури й інших технологічних факторів їхнього синтезу.

Таке вивчення уможливорює розуміння особливостей і можливостей конкретних регламентів формування структурно-чутливих фізичних властивостей твердих розчинів перовскітоподібних оксидів, перспективних для практичного використання. При цьому, встановлена розмірна залежність найбільш значущих властивостей таких матеріалів дає відповідь, чи необхідно одержувати даний матеріал (клас матеріалів) з нанодисперсною структурою та як змінити його склад, вміст чи спосіб формування для отримання відчутних змін в його структурі, морфології, властивостях.

Найновітніші дані про результати подібних досліджень далеко нерівноцінні, у ряді випадків вони зумовлені великими експериментальними складнощами, часом носять суперечливий характер і не дають повного уявлення про комплексують здатність рідкісноземельних елементів у подібних об'єктах. Однозначній інтерпретації перебігу вище вказаних процесів часто заважає також інконгруентний характер розчинності (плавлення) утворюваних проміжних фаз, одночасне співіснування декількох метастабільних форм продуктів термолізу; утворення гетеро-фаз, залежність їхньої форми існування від передісторії самого процесу (можливий аморфний чи погано закристалізований стан прекурсорів [5]), складність процесів, протікаючих на границях зерен у полікристалічних системах, які визначаються особливостями хімічної взаємодії компонентів систем, нерівноважністю протікання перетворень та наявністю лімітуючих їх стадій та іншими існуючими чинниками. Тому наявні відомості щодо стану і можливих напрямків удосконалення технологій створення оксидних РЗЕ-вмісних поліфункціональних матеріалів, існуючі вимоги до їхньої стабільності й відтворюваності властивостей ініціювали проведення нашого дослідження.

Методика дослідження. У роботі для оцінки можливості керування вказаними процесами й одержання матеріалів із заданими властивостями у якості модельних вивчені системи $Me(NO_3)_2 - Ln(NO_3)_3 - H_2O$ ($Me - Mg, Ca, Sr, Ba; Ln - Nd$) (див. табл. 1, 2), компоненти яких задають технічні характеристики продукту синтезу або модифікують його фізичні властивості. Вибір для дослідження нітрату неодиму (як представника рідкісноземельних елементів церієвої підгрупи) обумовлений існуючими статистичними даними про найбільшу вірогідність зміни складу чи структури сполук, утворюваних неодимом, при переході по природному ряду від лантану до лютецію. Вибір значень температурних перерізів 25, 50, 65°C для вивчення ізотерм розчинності систем обумовлений нестійкістю гексагідрата нітрату неодиму і початком плавлення його у кристалізаційній воді при 68°C, вище якої він перебуває у рідкому сильно в'язкому метастабільному стані.

Для з'ясування характеру хімічної взаємодії і фазових рівноваг у водно-сольових системах досліджуваних нітратів (прекурсорів багатокомпонентних оксидних поліфункціональних матеріалів) у повних концентраційних співвідношеннях в температурному діапазоні існування розчинів використаний метод добавок, описаний в [7, 8] і оснований на дослідженні розчинності як однієї з властивостей найбільш „чутливих“ до виявлення фазових перетворень у системах, що є одночасно параметром їхнього стану, і до того ж простими доступними нині експериментальними методами. Метод дозволяє знайти

межі саморозвитку, до яких прямує у конкретних умовах в рівноважному стані ізольована система заданого складу. З метою підвищення достовірності одержуваних даних використане одночасне комплексне дослідження розчинності компонентів систем, густини і відносного показника заломлення світла їхніх розчинів. Виявлена добра узгодженість одержаних результатів.

Рівновага фаз досягалася протягом 1-2 діб. У якості вихідних солей використовували гідратовані і безводні нітрати вказаних елементів марки «ч.д.а.».

Хімічний аналіз рідких і твердих фаз, «залишків» проводили на вміст іонів Nd^{3+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} . Вміст Ln^{3+} визначали трилонометрично; Mg^{2+} – об’ємним методом; Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} – комплексонометричним титруванням замісника у фільтраті, звільненого від Ln^{3+} аміачним буфером. Одержані експериментальні дані з вивчених систем для окремих іонів перераховувались на сольовий вміст, узагальнювались, зводились у таблиці 1, 2 і згідно з принципом відповідності наносились на політермічні діаграми розчинності систем. Графічне відображення складу твердих фаз, що утворюються в системах, проводили за Скрейнемакерсом [7, 8]. Хімічний аналіз виділених в монокристалічному вигляді подвійних нітратів підтверджує співвідношення між масами елементів у наведених вище формулах. Їхню індивідуальність підтверджували також кристалооптичним, рентгенофазовим, термографічним, ІЧ-спектрометричним та іншими методами аналізу.

Результати експерименту та їхнє обговорення. У системах з використанням комплексу фізико-хімічних методів встановлено закономірності комплексоутворення лантанодів; кількість, склад, характер розчинності, температурні та концентраційні межі кристалізації фаз; побудовано політермічні діаграми розчинності (таблиці 1, 2).

Дані про характер взаємодії структурних компонентів у системах нітратів елементів церієвої підгрупи і Mg , Ca , Sr , Ba свідчать про те, що лише у магнієвих системах в температурному інтервалі існування розчинів утворюються конгруентно розчинні $[\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6]_3[\text{Ln}(\text{NO}_3)_6]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, в інших – нові тверді фази не утворюються (системи евтонічного типу).

Кальцієву систему в інтервалі температур 50–65 °С у повних концентраційних співвідношеннях солей вивчити не вдалося внаслідок перебування досліджуваних сумішей не у кристалічному, а в клеєподібному стані.

Для систем стронцію, барію характерна близькість складів евтонічних і фігуративних точок розчинності гексагідрату нітрату неодиму. З підвищенням температури склад їхніх нон варіантних точок міняється мало. При цьому спостерігається висолююча дія нітрату неодиму по відношенню до нітратів стронцію і барію.

У потрійних РЗЕ-вмісних системах нітратних попередників, що є невід’ємними складовими більш складних багатокомпонентних систем обмінні хімічні перетворення починаються вже в рідкій фазі, з моменту розчинення компонентів у воді – сильному полярному розчиннику. Механізм утворення координаційних сполук можна пояснити з позицій конкуруючих процесів заміщення молекул води у найближчому оточенні Ln^{3+} на NO_3^- -групи, розупорядкування структури розчинів введенням двох зарядних катіонів Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , впливу температурного фактору. Ступінь повноти заміщення залежить від природи Ln^{3+} , присутніх катіонів Me^{2+} , властивостей електроннодонорних атомів кисню та просторової будови лігандів, концентрації електролітів і температури. Спостерігаються відмінності у комплексоутворюючій здібності елементів церієвої й ітрієвої підгруп, ітрію. Усі виявлені магнієві комплексні нітрати лантанодів церієвої підгрупи синтезовані в монокристалічному виді (розміром 4-30 мм), вивчено їхні оптимальні умови одержання і форми росту. Досліджено їхню атомно-кристалічну будову, форми координаційних поліедрів, типи координації лігандів, низку властивостей. Кристали таких сполук побудовані з іонів двох типів $[\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ і $[\text{Ln}(\text{NO}_3)_6]^{3-}$, зв’язаних Н-зв’язками молекул води, що входять до складу комплексів, і «вільних».

Таблиця 1.

Данні з вивчення фазових рівноваг у системі $Mg(NO_3)_2 - Nd(NO_3)_3 - H_2O$ при 25 – 65°C

t, °C	Точки складу	Насичений розчин				Склад «залишку», мас. %		Тверді фази*
		Склад, мас. %		Властивості		Mg(NO ₃) ₂	Nd(NO ₃) ₃	
		Mg(NO ₃) ₂	Nd(NO ₃) ₃	d x 10 ³ , кг/м ³	n			
25	1 A ₁	41,69	0,00	1,389	1,4100	57,61	0,00	А
	2					56,60	0,89	Те ж
	3					49,50	9,26	А+В
	4 } B ₁	41,16	1,21	1,394	1,4104	40,93	23,74	Те ж
	5 }					31,27	39,05	В
	6	34,99	8,87	1,192	1,4073	30,02	40,86	Те ж
	7	24,83	23,55	1,469	1,4166	31,06	41,74	« - »
	8	16,26	35,81	1,698	1,4342	29,37	41,00	« - »
	9	7,44	48,33	1,739	1,4417	27,97	42,49	« - »
	10					27,8	42,81	« - »
	11 } C ₁	4,18	55,29	1,982	1,4532	7,81	66,30	В+Б
	12 }					1,17	72,02	Б
	13 D ₁	0,00	58,49	1,887	1,4551	0,00	75,25	Б
50	1 A ₂	45,35	0,00	1,383	1,4129	57,80	0,00	А
	2					56,62	0,00	Те ж
	3					53,84	6,95	А+В
	4 } B ₂	43,64	1,96	1,467	1,4144	44,10	18,78	Те ж
	5 }					37,32	27,83	« - »
	6	38,75	5,42	1,417	1,4112	30,61	39,61	В
	7	30,88	16,06	1,460	1,4141	29,86	40,09	Те ж
	8	21,70	32,39	1,561	1,4253	28,18	41,03	« - »
	9	13,68	43,35	1,718	1,4382	27,16	42,67	« - »
	10	8,67	51,20	1,727	1,4472	26,62	44,23	« - »
	11					26,23	45,14	« - »
	12 } C ₂	2,73	62,90	1,900	1,4659	17,50	54,83	В+Б
	13 }					3,93	68,04	Те ж
	14 D ₂	0,00	66,16	1,974	1,4667	0,00	75,28	Б
65	1 A ₃	48,52	0,00			57,45	0,00	А
	2					56,39	2,64	А+В
	3 } B ₃	45,94	1,99			48,68	11,48	А+В
	4 }					34,50	32,86	Те ж
	5	40,67	6,63			29,35	39,33	В
	6	24,96	27,58			26,96	41,40	Те ж
	7	11,16	47,11			27,83	42,87	« - »
	8					19,39	54,99	В+Б
	9 } C ₃	2,29	68,27			5,19	68,97	Те ж
	10 }					0,84	73,30	« - »
	11 D ₃					0,00	75,26	Б

* А – $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$; Б – $Nd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$; В – $[Mg(H_2O)_6]_3[Ln(NO_3)_6]_2 \cdot 6H_2O$

Таблиця 2.

Данні з вивчення фазових рівноваг у системі $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2 - \text{Nd}(\text{NO}_3)_3 - \text{H}_2\text{O}$ при 25 – 65 °С

t, °С	Точки складу	Насичений розчин				Склад „залишку”, мас, %		Тверді фази*
		Склад, мас, %		Властивості		Sr(NO ₃) ₂	Nd(NO ₃) ₃	
		Sr(NO ₃) ₂	Nd(NO ₃) ₃	d x 10 ³ , кг/м ³	n			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	1 A ₁	44.6	0.00	1.539	1.4068	99.87	0.00	А
	2	41.66	5.12	1.541	1.4084	99.32	0.00	“-”
	3	30.71	17.66	1.547	1.4129	97.56	0.79	“-”
	4	20.86	29.99	1.550	1.4164	95.87	1.52	“-”
	5	12.58	41.84	1.569	1.4299	95.60	1.69	“-”
	6					95.72 52.50 19.05	2.80 34.84 59.51 70.62	“-”
	7 } B	5.94	56.97	1.873	1.4548			A+B
	1							“-”
	8 } 9							“-”
		10 C ₁	0.00	58.49	1.887	1.4551	0.00	75.25
50	1 A ₂	48.03	0.00	1.487	1.4055	99.91	0.00	А
	2	39.75	10.75	1.544	1.4079	99.23	0.57	“-”
	3	29.35	20.28	1.589	1.4184	97.57	1.39	“-”
	4	14.38	43.08	1.623	1.4298	96.45	1.87	“-”
	5					94.90 13.73 7.26	3.40 64.75 9.76	“-”
	6 } B ₂	3.88	65.34	1.850	1.4691			“-”
	7							“-”
		8 C ₂	0.00	66.16	1.974	1.4667	0.00	75.28
65	1 A ₃	48,60	0,00			99,92	0,00	А
	2	33,85	13,40			98,23	0,69	“-”
	3	25,84	23,91			98,11	0,85	“-”
	4	10,93	40,17			97,50	1,38	“-”
	5	4,97	53,11			95,85	1,69	“-”
	6	2,35	61,72			95,30	2,18	“-”
	7					94,89 10,39 3,64	2,23 67,78 72,88	“-”
	8 } B ₃	2,52	68,39					A+B
	9							“-”
		10 C ₃	0,00	71,58			0,00	72,26

* А – Sr(NO₃)₂; В – Nd(NO₃)₃·6H₂O.

Висновки. 1. Результати дослідження свідчать, що процеси одержання оксидних РЗЕ-вмісних конструкційних і функціональних матеріалів різного призначення із використанням нітратів елементів різної електронної структури хімічним змішуванням вихідних компонентів при спільному виділенні продуктів із рідкої фази послідовним чи сумісним

осадженням з наступним термообробленням відбуваються стадійно, через утворення низки проміжних фаз. Їхній склад, вміст і поведінка в кожному конкретному випадку потребують попередніх системних емпіричних знань про їхню сумісну поведінку в повних концентраційних співвідношеннях у заданому температурному інтервалі.

2. Виявлено відмінності в поведінці структурних компонентів у системах лантаноїдів церієвої й ітрієвої підгруп, у їхньому характері взаємодії, стадійності, особливостях і закономірностях перебігу.

3. Одержані нові знання становлять основу для:

- пошуку способів збільшення активності Ln-форм;
- з'ясування природи послідовних термічних перетворень у нітратних РЗЕ-вмісних багатокомпонентних системах різних агрегатних станів у ході їхнього термооброблення; умов утворення й існування, властивостей проміжних фаз; впливаючих факторах; можливих способів керування одержання цільового продукту;

- у разі створення сучасних досконалих низькозатратних технологій синтезу функціональних матеріалів різного призначення із відтворювальними властивостями

Література

1. Мазуренко Е.А. Координационные соединения металлов – прекурсоры функциональных материалов / Е.А. Мазуренко, А.И. Герасемчук, Е.К. Трунова и др. // Укр. хим. журн. – 2004. – Т. 70. – № 7. – С. 32 – 37.

2. Фізико-хімічні аспекти використання РЗЕ-вмісних нітратних систем при синтезі конструкційної і функціональної кераміки / О.Г. Дрючко, Д.О. Стороженко, Н.В. Бунякіна та ін. // Зб. наукових праць ВАТ «УкрНДІВ імені А.С. Бережного». – Х.: Каравела, 2010. – № 110. – С. 58 – 63.

3. Белоус А.Г. Сложные оксиды металлов для сверхвысокочастотных и высокопроницаемых диэлектриков / А.Г. Белоус // Теорет. и эксперим. химия. – 1998. – Т. 34. – № 6 – С. 3 – 21.

4. Пашин С.Ф. Влияние катионного замещения в твердых растворах $YBa_{2-x}Sr_xCu_3O_y$ на температуру сверхпроводимости / С.Ф. Пашин, Е.В. Антипов, Л.М. Ковба // Сверхпроводимость: физика, химия, техника. – 1990. – Т. 3. – №10. – С. 2386 – 2389.

5. Кудренко Е.О. Структура прекурсоров сложных оксидов РЗЭ, полученных методом термолитиза растворителя / Е.О. Кудренко, И.М. Шмытько, Г.К. Струкова // Физика твердого тела. – 2008. – Т. 50. – Вып. 5. – С. 924 – 930.

6. Preparation and characterization of $La_{0.8}Sr_{0.2}Ga_{0.8}Mg_{0.1}Co_{0.1}O_{3-\delta}$ electrolyte using glycine-nitrate process / K.-M. Ok, K.-L. Kim, T.-W. Kim, D.-H. Kim, et al. // Journal of the Korean Crystal Growth and Crystal Technology. – 2013. – Vol. 23. – No. 1. – P. 37 – 43.

7. Аносов В.Я. Основы физико-химического анализа / В.Я. Аносов, М.И. Озерова, Ю.Я. Фиалков. – М.: Наука, 1976. – 503 с.

8. Горощенко Я. Г. Физико-химический анализ гомогенных и гетерогенных систем / Я.Г. Горощенко. – К.: Наукова думка, 1978. – 490 с.