

УДК 541.123:541.12:549.761.5

**ФАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС СИСТЕМЫ Li, Na, K, Ca // F, WO₄
И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
ЕЕ СТАБИЛЬНОГО СЕКУЩЕГО КОМПЛЕКСА LiF–NaF–K₂WO₄–CaF₂**

© 2014 г.

А.М. Гасаналиев, П.А. Ахмедова, Б.Ю. Гаматаева

Дагестанский государственный педагогический университет, Махачкала

amalaev00@mail.ru

Поступила в редакцию 13.08.2012

На основе теории графов с учетом выявленных внутренних секущих и с использованием программного комплекса проведена дифференциация пятерной взаимной системы Li, Na, K, Ca // F, WO₄. Впервые комплексом методов физико-химического анализа изучена четырехкомпонентная система LiF–NaF–K₂WO₄–CaF₂, являющаяся стабильным секущим комплексом данной пятерной взаимной системы, и определены координаты невариантной точки. С использованием матрицы взаимных пар солей выявлены стабильные и метастабильные комплексы, схемы левых и правых частей уравнений реакций данной четверной взаимной системы.

Ключевые слова: дифференциация многокомпонентных систем, фазовый единичный блок, термический анализ, диаграмма состояния.

Одной из главных задач современной техники является создание материалов с комплексом заданных свойств. Решение данной задачи предполагает исследование многокомпонентных систем (МКС), в ходе которого представляется информация о гетерогенных равновесиях. Исследование трех- и более компонентных систем – трудоемкий процесс, включающий изучение топологии и моделирования фазовых комплексов и реакций обмена, комплексообразования и твердых растворов и их взаимовлияния и взаимодействия [1–5]. Для этого необходимо совершенствование инструментального и методологического обеспечения. В настоящее время достаточно хорошо развита теория дифференциации МКС, то есть разбиения исходного фазового комплекса на составляющие с учетом особенностей взаимодействия компонентов в элементах ограничения и числа компонентов в системе [6–12]. И в то же время есть перспектива еще более упростить пути ее решения. С этой целью нами исследована пятерная взаимная система Li, Na, K, Ca // F, WO₄, проведена ее дифференциация с учетом топологической особенности и с использованием компьютерных технологий для моделирования элементов фазового комплекса [13].

Экспериментальная часть

Исследования проводились методами ДТА, визуально-политермического анализа (ВПА) [14, 15] с использованием проекционно-

термографического метода (ПТГМ) [16], в платиновых тиглях, измерителями температуры служили Pt–Pt/Rh-термопары. Для записи кривых ДТА применялась установка на базе электронного автоматического потенциометра КСП-4 с усилителем напряжения F-116. Градуировка установки проведена по температурам фазовых переходов индивидуальных солей и их эвтектических смесей, рекомендованных в работе [17]. Рентгенофазовый анализ исходных солей и образующихся соединений проводили на дифрактометре ДРОН-2,0 (излучение Cu_K, λ = 0.154 нм, никелевый фильтр) [18]. Образцы для РФА отжигались при температуре 630°C в течение 60 ч с последующей закалкой. Пределы измерения 2 · 10⁸ имп/сек, постоянная времени 2, J = 15 мА, U = 30 кВ. Идентификация фазовых составов проводилась по таблицам Гиллера и картотеки ASTM [19, 20]. Точность рентгенофазовых исследований 0.1 масс. %.

Использованы соли квалификации «х. ч.» – LiF, NaF, CaF₂, K₂WO₄. Все составы выражены в мольных процентах, а температуры – в градусах Цельсия.

Результаты и их обсуждение

По диаграмме составов данной системы составляется матрица смежности ее вершин, которая является основным инструментом при проведении дифференциации (табл. 1). При теоретическом анализе данной системы с использованием методики, приведенной в работах

Таблица 1

Матрица смежности вершин системы Li, Na, K, Ca // F, WO₄

Компоненты	LiF	Li ₂ WO ₄	NaF	Na ₂ WO ₄	KF	K ₂ WO ₄	CaF ₂	CaWO ₄	KCaF ₃	Na ₄ F ₂ WO ₄	K ₃ FWO ₄	LiKWO ₄	LiNa ₃ (WO ₄) ₂	NaKWO ₄
LiF	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Li ₂ WO ₄	-	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
NaF	-	-	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
Na ₂ WO ₄	-	-	-	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1
KF	-	-	-	-	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
K ₂ WO ₄	-	-	-	-	-	1	1	1	1	0	1	1	0	1
CaF ₂	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	0	1	0	1
CaWO ₄	-	-	-	-	-	-	-	1	0	1	0	1	1	1
KCaF ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	1	0	0	0
Na ₄ F ₂ WO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	0	0	1
K ₃ FWO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	0	0
LiKWO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1
LiNa ₃ (WO ₄) ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0
NaKWO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Таблица 2

Комбинированная матрица системы Li, Na, K, Ca // F, WO₄

Ионы	F ⁻	WO ₄ ²⁻	F ₂ ⁻	F ₃ ⁻	F ₂ WO ₄ ²⁻	FWO ₄ ²⁻	(WO ₄) ₂ ²⁻
Li ⁺	1,2,3,4,5,6,7, 8,9,10,11,12,14	-	-	-	-	-	-
Li ₂ ⁺	-	1,2,8,12,13	-	-	-	-	-
Na ⁺	1,3,5,6,7,9, 10,11,14	-	-	-	-	-	-
Na ₂ ⁺	-	1,4,8,10,12, 13,14	-	-	-	-	-
K ⁺	1,3,5,9,11	-	-	-	-	-	-
K ₂ ⁺	-	1,3,6,7,8,9,11, 12,14	-	-	-	-	-
Ca ²⁺	-	1,2,4,6,7,8,10, 12,13,14	1,3,6,7,8,9, 10,12,14	-	-	-	-
K ⁺ Ca ²⁺	-	-	-	1,3,5,6,7, 9,11	-	-	-
Na ₄ ⁺	-	-	-	-	1,3,4,7,8, 10,14	-	-
K ₃ ⁺	-	-	-	-	-	1,3,5,6, 9,11	-
Li ⁺ K ⁺	-	1,2,4,6,7,8, 12,13,14	-	-	-	-	-
Li ⁺ Na ₃ ⁺	-	-	-	-	-	-	2,4,8,12,13
Na ⁺ K ⁺	-	1,3,4,6,7,8, 10,12,14	-	-	-	-	-

[21–23], нами выявлены внутренние секущие CaF₂–K₂Ba(WO₄)₂, CaF₂–NaKWO₄, LiF–NaKWO₄, CaF₂–LiKWO₄, рассматриваемые при разбиении данной фигуры составов. Далее с использованием программного комплекса «Дифференциация многокомпонентных систем на ЭВМ» [13, 24, 25] выводятся фазовые еди-

ничные блоки (ФЕБ) и стабильные секущие комплексы данной системы (табл. 2, 3).

Для большинства исследований, связанных с определением термодинамических соотношений в многокомпонентных системах, используют разработанные В.И. Посыпайко матрицы взаимных пар солей, построенные по типу элемен-

Таблица 3

**Фазовые единичные блоки (ФЕБ) системы
Li, Na, K, Ca // F, WO₄**

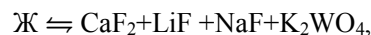
№	ФЕБ
1	K ₂ WO ₄ -CaF ₂ -CaWO ₄ -LiKWO ₄ -NaKWO ₄
2	LiF-CaF ₂ -CaWO ₄ -LiKWO ₄ -NaKWO ₄
3	LiF-CaF ₂ -CaWO ₄ -Na ₄ F ₂ WO ₄ -NaKWO ₄
4	LiF-K ₂ WO ₄ -CaWO ₄ -LiKWO ₄ -NaKWO ₄
5	LiF-K ₂ WO ₄ -CaF ₂ -LiKWO ₄ -NaKWO ₄
6	LiF-K ₂ WO ₄ -CaF ₂ -CaWO ₄ -NaKWO ₄
7	LiF-K ₂ WO ₄ -CaF ₂ -CaWO ₄ -LiKWO ₄
8	LiF-Na ₂ WO ₄ -CaWO ₄ -LiKWO ₄ -NaKWO ₄
9	LiF-Na ₂ WO ₄ -CaWO ₄ -Na ₄ F ₂ WO ₄ -NaKWO ₄
10	LiF-NaF-CaF ₂ -Na ₄ F ₂ WO ₄ -NaKWO ₄
11	LiF-NaF-K ₂ WO ₄ -KCaF ₃ -K ₃ FWO ₄
12	LiF-NaF-K ₂ WO ₄ -CaF ₂ -NaKWO ₄
13	LiF-NaF-K ₂ WO ₄ -CaF ₂ -KCaF ₃
14	LiF-NaF-KF-KCaF ₃ -K ₃ FWO ₄

тарных матриц, то есть содержащих только индексы 0 и 1 [7]. Индекс 0 при этом обозначает отсутствие стабильной пары или химического взаимодействия, индекс 1 – стабильную пару солей. Нами составлена матрица взаимных пар солей для пятерной взаимной системы Li, Na, K, Ca // F, MoO₄, с использованием которой выявлены ее стабильные и метастабильные комплексы, схемы левых и правых частей уравнений реакций данной системы, некоторые из которых приведены в табл. 4–6.

**Термический анализ системы
LiF-NaF-K₂WO₄-CaF₂**

Четырехкомпонентная система LiF-NaF-K₂WO₄-CaF₂ является стабильным секущим комплексом данной пятерной взаимной системы. Для ее экспериментального изучения методом ПТГМ выбрано двухмерное политермическое сечение ABC (рис. 1, 2), вершинам которого соответствуют составы А – 34%CaF₂+66%NaF, В – 34%CaF₂+66%LiF, С – 34%CaF₂+66%K₂WO₄. Плоскость сечения ABC расположена в объеме кристаллизации фторида кальция, занимающего наибольший объем кристаллизации. Из вершины фторида кальция на стороны сечения ABC нанесены точки $\bar{E}_1, \bar{E}_2, \bar{E}_3$, являющиеся центральными проекциями соответствующих точек эвтектического равновесия. Данное сечение рассматривалось как псевдотрехкомпонентная система. Для экспериментального исследования выбран одномерный политермический разрез КЛ (К – 34%CaF₂+40%LiF+26%NaF, Л – 34%CaF₂+40%LiF+26%K₂WO₄).

Диаграмма состояния разреза КЛ, построенная по данным ДТА, представлена на рис. 3. Первоначально из жидкой фазы кристаллизуется фторид кальция, в объеме кристаллизации которого расположено сечение КЛ, вторично – фторид кальция и фторид лития. Ветви третичной кристаллизации пересекаются в точке $\bar{\varepsilon}$ на горизонтальной линии, проходящей при температуре четырехкомпонентной эвтектики. Точка $\bar{\varepsilon}$ на диаграмме состояния показывает соотношение фторида натрия и вольфрамата калия в эвтектике. Изучением методом ДТА политермического разреза К-Л- $\bar{\varepsilon}$ - $\bar{\varepsilon}$ выявлена точка $\bar{\varepsilon}$ (рис. 2). Для состава $\bar{\varepsilon}$ на диаграмме состояния политермического разреза $\bar{\varepsilon}$ - $\bar{\varepsilon}$ вслед за первичной кристаллизацией фторида кальция наступает процесс четвертичной кристаллизации, показывающий уже соотношение фторида лития, фторида натрия и вольфрамата калия:



Определение состава невариантной точки сводилось к постепенному уменьшению фторида кальция без изменения соотношения остальных компонентнов по разрезу CaF₂- $\bar{\varepsilon}$ - ε , опущенному из вершины фторида кальция через точку $\bar{\varepsilon}$ на основании LiF-NaF-K₂WO₄. Диаграмма состояния разреза $\bar{\varepsilon}$ - ε характеризуется пересечением кривой первичной кристаллизации с эвтектической прямой в точке ε , соответ-

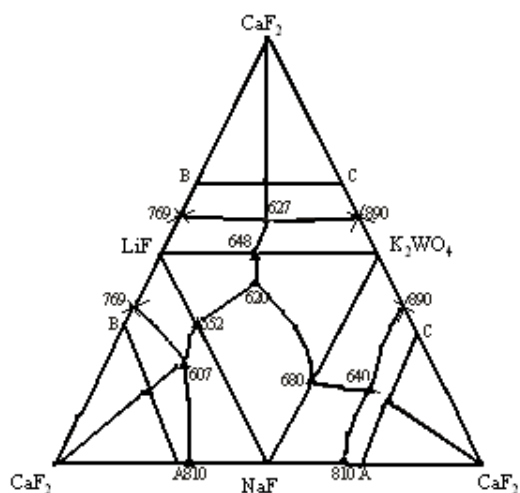


Рис.1. Развертка четырехкомпонентной системы $LiF-NaF-K_2WO_4-CaF_2$ и расположение в ней поли-термического сечения ABC, где \times , \blacktriangle – эвтектики, реализующиеся в двойных и тройных системах

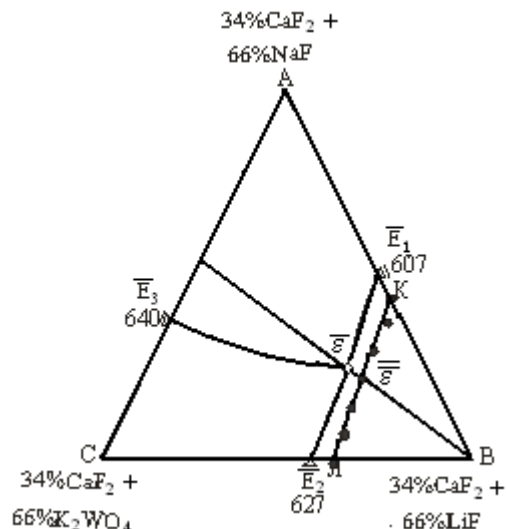


Рис. 2. Политермическое сечение ABC и расположение в нем политермического разреза КЛ и луче-вого разреза, где \triangle , \square – первичные проекции трой-ных и четверных эвтектик

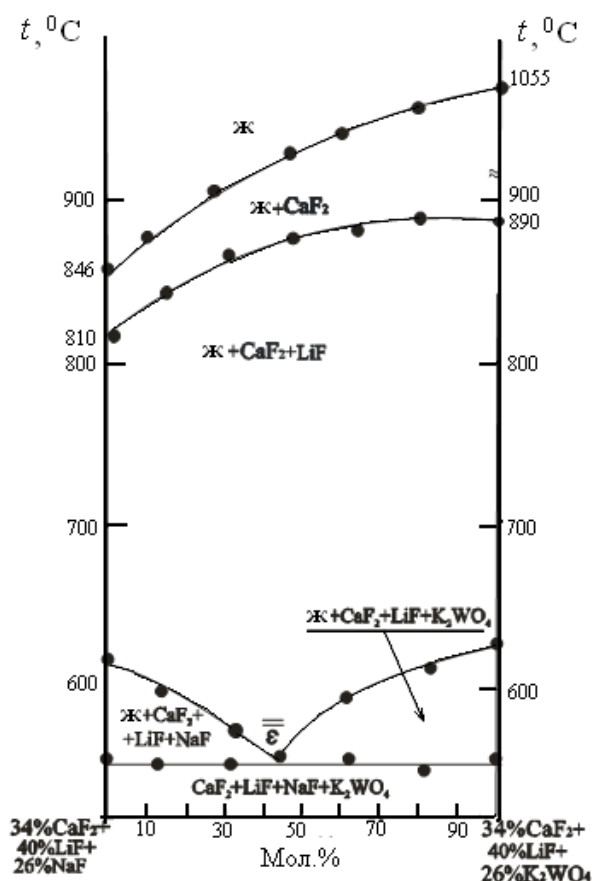


Рис. 3. Диаграмма состояния политермического разреза КЛ четырехкомпонентной системы $LiF-NaF-K_2WO_4-CaF_2$

ствующей четырехкомпонентной эвтектике – $32\%CaF_2, 36\%LiF, 17\%NaF, 15\%K_2WO_4$, плавящейся при $560^\circ C$.

Полученные экспериментальные данные по изученной системе могут найти применение

при разработке композиций с регламентируе-мыми свойствами: электролитов химических источников тока, фазопереходных теплоакку-мулирующих материалов, для получения неор-ганических веществ и др.

Таблица 4

Матрица взаимных пар солей системы Na, K, Ca // F, WO₄

Компоненты	LiF	NaF	KF	CaF ₂	KCaF ₃	Na ₄ F ₂ WO ₄
Li ₂ WO ₄	0	0	0	0	0	0
Na ₂ WO ₄	1	0	0	0	0	0
K ₂ WO ₄	1	1	0	1	1	0
CaWO ₄	1	0	0	0	0	1
K ₃ FWO ₄	1	1	0	0	1	0
NaKWO ₄	1 (сек)	1	0	1 (сек)	0	1
LiKWO ₄	1	0	0	1 (сек)	0	0
LiNa ₃ (WO ₄) ₂	0	0	0	0	0	0
Na ₄ FWO ₄	1	0	0	1	0	0

Таблица 5

Стабильные и метастабильные комплексы четверной взаимной системы Na, K, Ca // F, WO₄

Стабильные секунции комплексы системы Li, Na, K, Ca // F, WO ₄	Метастабильные секунции комплексы системы Li, Na, K, Ca // F, WO ₄
LiF+CaWO ₄ +NaKWO ₄ CaF ₂ +NaKWO ₄ +LiKWO ₄ CaF ₂ +LiKWO ₄ +Na ₄ F ₂ WO ₄ NaKWO ₄ +LiF+CaF ₂ +Na ₄ F ₂ WO ₄ CaF ₂ +K ₂ WO ₄ +NaKWO ₄ +LiKWO ₄ CaF ₂ +NaKWO ₄ +LiKWO ₄ Na ₄ F ₂ WO ₄ +Li ₂ WO ₄ +CaWO ₄ +NaKWO ₄ LiF+NaF+K ₂ WO ₄ +CaF ₂	Na ₂ WO ₄ +LiF+KCaF ₃ LiKWO ₄ +NaF+KCaF ₃ LiKWO ₄ +KCaF ₃ +Na ₄ F ₂ WO ₄ Li ₂ Na ₁₂ (WO ₄) ₇ +LiF+KCaF ₃ Li ₂ Na ₁₂ (WO ₄) ₇ +NaF+KCaF ₃ KCaF ₃ +Li ₂ WO ₄ +Na ₂ WO ₄ KCaF ₃ +Li ₂ WO ₄ +Li ₂ Na ₁₂ (WO ₄) ₇ KCaF ₃ +Li ₂ WO ₄ +LiNa ₃ (WO ₄) ₂ KCaF ₃ +Li ₂ WO ₄ +Na ₄ F ₂ WO ₄ Na ₂ WO ₄ +LiF+KF+KCaF ₃ Na ₂ WO ₄ +LiF+CaF ₂ +KCaF ₃ LiKWO ₄ +NaF+KCaF ₃

Таблица 6

Схемы левых и правых частей уравнений реакций четверной взаимной системы Na, K, Ca // F, WO₄

Схема левых частей уравнений реакций	Схема правых частей уравнений реакций
Li ₂ WO ₄ +NaF+K ₂ WO ₄ +CaF ₂ Li ₂ WO ₄ +NaF+K ₂ WO ₄ +KCaF ₃ Li ₂ WO ₄ +NaF+CaF ₂ +KF Li ₂ WO ₄ +NaF+CaF ₂ +K ₂ WO ₄ Li ₂ WO ₄ +NaF+CaF ₂ +KCaF ₃ Li ₂ WO ₄ +NaF+KCaF ₃ +NaKWO ₄ Li ₂ WO ₄ +NaF+KCaF ₃ +CaF ₂ Li ₂ WO ₄ +NaF+K ₃ FWO ₄ +KCaF ₃ Li ₂ WO ₄ +NaF+K ₃ FWO ₄ +CaF ₂ NaF+Na ₂ WO ₄ +LiKWO ₄ +CaWO ₄ KF+CaF ₂ +LiNa ₃ (WO ₄) ₂ +Na ₄ F ₂ WO ₄	LiF+Li ₂ WO ₄ +KCaF ₃ +NaF LiF+Li ₂ WO ₄ +KCaF ₃ +Na ₂ WO ₄ LiF+Li ₂ WO ₄ +KCaF ₃ +Na ₄ F ₂ WO ₄ LiF+Li ₂ WO ₄ +KCaF ₃ +NaKWO ₄ LiF+Li ₂ WO ₄ +NaKWO ₄ +KCaF ₃ LiF+NaF+K ₂ WO ₄ +CaF ₂ LiF+NaF+K ₂ WO ₄ +CaWO ₄ LiF+NaF+K ₂ WO ₄ +KCaF ₃ LiF+NaF+CaWO ₄ +KF LiF+NaF+CaWO ₄ +K ₂ WO ₄ LiF+NaF+CaWO ₄ +KCaF ₃ LiF+NaF+CaWO ₄ +LiKWO ₄

Список литературы

1. Курнаков Н.С. Введение в физико-химический анализ. М.-Л.: АН СССР, 1940. 564 с.
2. Аносов В.Я., Погдин С.А. Основные начала физико-химического анализа. М.: АН СССР, 1947. 876 с.
3. Радищев В.П. Многокомпонентные системы. М.-Л.: АН СССР, 1964. 502 с.
4. Бергман А.Г., Радищев В.П., Домбровская И.С. // Докл. АН СССР. 1951. Т. 77. С. 811–813.
5. Домбровская Н.С. Дис. ... д-ра хим. наук. М.: ИОНХ АН СССР, 1955. 319 с.
6. Перельман Ф.М. Изображение химических систем с любым числом компонентов. М.: Наука, 1965. 74 с.
7. Посыпайко В.И. Дис. ... д-ра хим. наук. М.: ВЗПИ, 1964. 420 с.
8. Гасаналиев А.М. Топология, обмен и комплексобразование в многокомпонентных солевых системах: Дис. ... д-ра хим. наук. Ташкент: АН УзССР, 1989. 477 с.
9. Трунин А.С. Комплексная методология исследования многокомпонентных систем. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 1997. 308 с.
10. Краева А.Г., Первикова В.Н., Давыдова Л.С., Посыпайко В.И., Алексеева Е.А. Рациональные пути исследования многокомпонентных взаимных систем // Докл. АН СССР. 1972. Т. 202. Вып. 4. С. 850–863.
11. Гасаналиев А.М., Курбанмагомедов К.Д., Трунин А.С., Штер Г.Е. Моделирование химических реакций в многокомпонентных системах на персональной ЭВМ. Черкассы, 1986. Деп. в ОНИИТЭХИМ от 29.11.1986. № 01154-88.

12. Трунин А.С., Климова М.В., Моргунова О.Е. и др. Древо фаз системы Ca, Ba // F, Cl, MoO₄ // Химическая физика. Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Физико-математические науки. 2004. № 27. С. 52–58.
13. Гасаналиев А.М., Ахмедова П.А., Гаматаева Б.Ю. Методология дифференциации многокомпонентных систем (МКС). Деп. в ВИНТИ от 28.09.2010 г. № 542-B2010. 69 с. Махачкала: ДГПУ, 2010.
14. Берг Л. Введение в термографию. М.: Наука, 1969. 395 с.
15. Уэндланд У. Термические методы анализа / Пер. с англ. под ред. В.А. Степанова, В.А. Берштейна. М.: Мир, 1978. 526 с.
16. Космынин А.С. Проекционно-термографический метод исследования гетерогенных равновесий в конденсированных многокомпонентных системах. Дис. ... канд. хим. наук. Куйбышев: КПИ, 1977. 207 с.
17. Трунов В.К., Ковба Л.М. Рентгенофазовый анализ: 2-е изд., доп. и перераб. М.: МГУ, 1976. 232 с.
18. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М.: Физматгиз, 1961. 863 с.
19. Гиллер Р.А. Таблицы межплоскостных расстояний. М.: Недра, 1966. Т. 2. 362 с.
20. Index Powder Diffraction Files, ASTM, N-York, Pennsylvania, 1975.
21. Гасаналиев А.М., Ахмедова П.А., Гаматаева Б.Ю. Методология выявления скрытых секущих во взаимных многокомпонентных системах (МКС) и расчета термодинамических свойств бинарных соединений. Деп. в ВИНТИ от 01.06.2010 г. № 328-B2010. 20 с. Махачкала: ДГПУ, 2010.
22. Регистрационное свидетельство: Гасаналиев А.М., Ахмедова П.А., Гаматаева Б.Ю. «Методология выявления скрытых секущих во взаимных многокомпонентных системах (МКС) и расчета термодинамических свойств бинарных соединений», 2010. № гос. регистрации – 0321100278, ИЭР 014-5/38.
23. Гасаналиев А.М., Ахмедова П.А., Гаматаева Б.Ю. Дифференциация многокомпонентных систем с внутренними (скрытыми) секущими // Журн. неорг. химии. 2010. Т. 55. № 12. С. 2083–2095.
24. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Гасаналиев А.М., Ахмедова П.А., Гаматаева Б.Ю., Шихиев Ф.Ш. «Дифференциация многокомпонентных систем на ЭВМ» от 10 июня 2011 г. № 2011614658.
25. Гасаналиев А.М., Ахмедова П.А. Дифференциация многокомпонентных систем. Монография. М.: Е-полиграф, 2011. 150 с.

PHASE COMPLEX OF THE SYSTEM Li, Na, K, Ca//F, WO₄ AND PHYSICAL AND CHEMICAL ANALYSIS OF ITS STABLE SECANT COMPLEX LiF–NaF–K₂WO₄–CaF₂

A.M. Gasanaliyev, P.A. Akhmedova, B.Yu. Gamataeva

The differentiation of the five-component mutual system Li, Na, K, Ca // F, WO₄ has been carried out using the software package on the basis of the graph theory and revealed internal secants. For the first time, the four-component system LiF–NaF–K₂WO₄–CaF₂, a stable secant complex of the given five-component system, has been studied and the coordinates of the invariant point have been determined using the differential thermal analysis (DTA), the visual polythermal analysis (VPA), the X-ray phase analysis (XPA), and the projection-thermographic method (PTGM). The mutual salt pair matrix was used to find stable and metastable complexes, left and right part schemes of the four-component system reaction equations.

Keywords: differentiation of multicomponent systems, phase unit block (PUB), thermal analysis, state diagram.

References

- Kurnakov N.S. Vvedenie v fiziko-himicheskij analiz. M.: AN SSSR, 1940.
- Anosov V.Ja., Pogodin S.A. Osnovnye nachala fiziko-himicheskogo analiza. M.: AN SSSR, 1947.
- Radishhev V.P. Mnogokomponentnye sistemy. M.: AN SSSR, 1964. 502 s.
- Bergman A.G., Radishhev V.P., Dombrovskaja I.S. // Dokl. AN SSSR. 1951. T. 77. 811 s.
- Dombrovskaja N.S. Dis. ...d-ra him. nauk. M.: IONH AN SSSR. 1955.
- Perel'man F.M. Izobrazhenie himicheskikh sistem s ljubym chislom komponentov. M.: Nauka, 1965.
- Posypajko V.I. Dis. ...d-ra him. nauk. M.: VZPI, 1964.
- Gasanaliyev A.M. Topologija, obmen i komplekssoobrazovanie v mnogokomponentnyh solevykh sistemah: Dis. ...d-ra him. nauk. Tashkent: AN UzSSR, 1989. 477 s.
- Trunin A.S. Kompleksnaja metodologija issledovanija mnogokomponentnyh sistem. Samara: Samar. gos. tehn. un-t, 1997. 308 s.
- Kraeva A.G., Pervikova V.N., Davydova L.S., Posypajko V.I., Alekseeva E.A. Racionalnye puti issledovanija mnogokomponentnyh vzaimnyh sistem // Dokl. AN SSSR. 1972. T. 202. Vyp. 4. S. 850–863.
- Gasanaliyev A.M., Kurbanmagomedov K.D., Trunin A.S., Shter G.E. Modelirovanie himicheskikh reakcij v mnogokomponentnyh sistemah na personal'noj JeVM. Cherkassy, 1986. Dep. v ONIITJeHIM ot 29.11.1986. № 01154-88.
- Trunin A.S., Klimova M.V., Morgunova O.E. i dr. Drevo faz sistemy Ca, Ba // F, Cl, MoO₄ // Himicheskaja fizika. Vestn. Samar. gos. tehn. un-та. Ser. Fiziiko-matematicheskie nauki. 2004. № 27. S. 52–58.
- Gasanaliyev A.M., Ahmedova P.A., Gamataeva B.Ju. Metodologija differenciacii mnogokomponentnyh sistem (MKS). Dep. v VINITI ot 28.09.2010 g. № 542-V2010. 69 s. Mahachkala: DGPU, 2010.
- Berg L. Vvedenie v termografiju. M.: Nauka, 1969. 395 s.
- Ujendland U. Termicheskie metody analiza / Per. s ang. pod red. V.A. Stepanova, V.A. Ber-shtejna. M.: Mir, 1978. 526 s.
- Kosmynin A.S. Proekcionno-termografiches-kij metod issledovanija ge-terogennyh ravnovesij v konden-

- sirovannyh mnogokomponentnyh sistemah. Dis. ... kand. him. nauk. Kujbyshev: KPtI, 1977. 207 s.
17. Trunov V.K., Kovba L.M. Rentgenofazovyy analiz: 2-e izd., dop. i pererab. M.: MGU, 1976. 232 s.
18. Mirkin L.I. Spravochnik po rentgenostrukturnomu analizu polikristallov. M.: Fizmatgiz, 1961. 863 s.
19. Giller R.A. Tablicy mezhploskostnyh ras-stojanij. M.: Nedra, 1966. T. 2. 362 s.
20. Index Powder Diffraction Files, ASTM, N-York, Pennsylvania, 1975.
21. Gasanaliyev A.M., Ahmedova P.A., Gamataeva B.Ju. Metodologiya vyjavleniya skrytyh sekushhih vo vzaimnyh mnogokomponentnyh sistemah (MKS) i rascheta termodinamicheskikh svojstv binarnykh soedinenij. Dep. v VINITI ot 01.06.2010 g. № 328-V2010. 20 s. Mahachkala: DGPU, 2010.
22. Registracionnoe svidetel'stvo: Gasanaliyev A.M., Ahmedova P.A., Gamataeva B.Ju. «Metodologiya vyjavleniya skrytyh sekushhih vo vzaimnyh mnogokomponentnyh sistemah (MKS) i rascheta termodinamicheskikh svojstv binarnykh soedinenij», 2010. № gos. registracii – 0321100278, IJeR 014-5/38.
23. Gasanaliyev A.M., Ahmedova P.A., Gamataeva B.Ju. Differenciaciya mnogokomponentnyh sistem s vnutrennimi (skrytymi) sekushhimi // Zhurn. neorg. himii. 2010. T. 55. № 12. S. 2083–2095.
24. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programy dlja JeVM. Gasanaliyev A.M., Ahmedova P.A., Gamataeva B.Ju., Shihiev F.Sh. «Differenciaciya mnogokomponentnyh sistem na JeVM» ot 10 ijunja 2011 g. № 2011614658.
25. Gasanaliyev A.M., Ahmedova P.A. Differenciaciya mnogokomponentnyh sistem. Monografija. M.: E-poligraf, 2011. 150 s.