

УДК 541.123.7

ДРЕВО ФАЗ ПЯТИКОМПОНЕНТНОЙ ВЗАИМНОЙ СИСТЕМЫ $\text{Li}^+, \text{K}^+ \parallel \text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{CrO}_4^{2-}$ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОГО ТЕТРАЭДРА $\text{LiF}-\text{Li}_2\text{CrO}_4-\text{KCl}-\text{KBr}$

© 2023 г. А. С. Егорова¹, М. А. Сухаренко¹ *, И. М. Кондратюк¹, И. К. Гаркушин¹¹Самарский государственный технический университет, ул. Молодогвардейская, 244, Самара, 443100 Россия

*e-mail: sukharenko_maria@mail.ru

Поступила в редакцию 25.04.2023 г.

После доработки 02.06.2023 г.

Принята к публикации 03.06.2023 г.

В пятикомпонентной взаимной системе $\text{Li}^+, \text{K}^+ \parallel \text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{CrO}_4^{2-}$ проведено разбиение на симплексы на основе теории графов путем составления матрицы смежности и решения логического выражения. На основе проведенного разбиения построено древо фаз системы, которое имеет линейное строение и состоит из четырех стабильных секущих тетраэдров, четырех стабильных пентагопов и стабильного гексагопа. В системе проведено прогнозирование числа и состава кристаллизующихся фаз. Методами дифференциального термического анализа и рентгенофазового анализа исследован стабильный тетраэдр $\text{LiF}-\text{KCl}-\text{KBr}-\text{Li}_2\text{CrO}_4$. Точки невариантных равновесий в тетраэдре отсутствуют. Непрерывный ряд твердых растворов на основе хлорида и бромидов калия является устойчивым и не распадается. В тетраэдре существуют три кристаллизующиеся фазы: LiF , Li_2CrO_4 , $\text{KCl}_x\text{Br}_{1-x}$.

Ключевые слова: физико-химический анализ, фазовые диаграммы, фазовые равновесия, непрерывный ряд твердых растворов

DOI: 10.31857/S0002337X23080043, EDN: IBWBCL

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время значительно возрос интерес к исследованию и применению фазовых диаграмм на основе многокомпонентных солевых систем в различных областях промышленности в связи с изысканием и получением новых составов материалов функционального назначения [1–10]. Среди большого количества солевых систем остаются малоизученными системы с образованием непрерывных рядов твердых растворов (НРТР) [11, 12]. Наличие изоморфизма в этих системах позволит расширить диапазон концентраций компонентов при сохранении основных технологических характеристик солевой смеси.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Пятикомпонентная система $\text{Li}^+, \text{K}^+ \parallel \text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{CrO}_4^{2-}$ включает 16 двухкомпонентных, 9 трехкомпонентных, 6 трехкомпонентных взаимных, 2 четырехкомпонентные и 4 четырехкомпонентные взаимные системы. Из шести четырехкомпонентных систем ограничения пятикомпонентной взаимной системы только 2 четырехкомпонентные взаимные

системы ($\text{Li}^+, \text{K}^+ \parallel \text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{CrO}_4^{2-}$ [13], $\text{Li}^+, \text{K}^+ \parallel \text{F}^-, \text{Br}^-, \text{CrO}_4^{2-}$ [14–17]) относятся к эвтектическому типу. Две другие четырехкомпонентные взаимные системы ($\text{Li}^+, \text{K}^+ \parallel \text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{CrO}_4^{2-}$ [18], $\text{Li}^+, \text{K}^+ \parallel \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{CrO}_4^{2-}$ [19]), а также две четырехкомпонентные системы ($\text{LiF}-\text{LiCl}-\text{LiBr}-\text{Li}_2\text{CrO}_4$ [20], $\text{KF}-\text{KCl}-\text{KBr}-\text{K}_2\text{CrO}_4$ [21]) характеризуются образованием НРТР на основе хлоридов и бромидов лития и калия. В пятикомпонентной взаимной системе класса 2|4 точки невариантных равновесий будут отсутствовать, если элементами ограничения системы являются две четырехкомпонентные эвтектического типа и четыре системы с НРТР. Таким образом, в пятикомпонентной взаимной системе $\text{Li}^+, \text{K}^+ \parallel \text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{CrO}_4^{2-}$ точки невариантных равновесий должны отсутствовать.

Разбиение на симплексы пятикомпонентной взаимной системы $\text{Li}^+, \text{K}^+ \parallel \text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{CrO}_4^{2-}$ проведено на основе теории графов путем составления матрицы смежности и решения логического выражения. Остов и развертка призмы составов пятикомпонентной взаимной системы представ-

Таблица 1. Матрица смежности пятикомпонентной взаимной системы Li,K||F,Cl,Br,CrO₄

Вещество	Индекс	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
LiF	X ₁	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LiCl	X ₂		1	1	1	0	1	1	0	0	0
LiBr	X ₃			1	1	0	1	1	0	0	0
Li ₂ CrO ₄	X ₄				1	0	1	1	0	1	0
KF	X ₅					1	1	1	0	0	1
KCl	X ₆						1	1	1	1	1
KBr	X ₇							1	1	1	1
K ₂ CrO ₄	X ₈								1	1	1
LiKCrO ₄	X ₉									1	0
LiFCrO ₄	X ₁₀										1

татопе LiF–Li₂CrO₄–LiKCrO₄–KCl–KBr. Кристаллизующиеся фазы стабильного гексатопы LiF–K₂CrO₄–Li₂CrO₄–LiKCrO₄–KCl–KBr – LiF, K₂CrO₄, LiKCrO₄, Li₂CrO₄, KCl_xBr_{1-x}.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объекта для экспериментального изучения выбран стабильный тетраэдр LiF–Li₂CrO₄–KCl–KBr пятикомпонентной взаимной системы Li⁺, K⁺||F⁻, Cl⁻, Br⁻, CrO₄²⁻. Экспериментальные исследования проводили методами дифференциального термического анализа (ДТА) [22] и рентгенофазового анализа (РФА) [23].

Установка для ДТА включает печь шахтного типа, в которую опускаются платиновые микроиглы (изделия № 108-1, № 108-2, № 108-3 по ГОСТ 13498-68) с исследуемым образцом и с индифферентным веществом – свежeproкаленным Al₂O₃ (“ч. д. а.”). Холодные спаи термостатирова-

ли при 0°С с помощью сосуда Дьюара с тающим льдом. Сигнал от термопар поступал на АЦП и преобразовывался в цифровой сигнал с выводом на компьютер. Фиксировали температурную и дифференциальную кривые [22]. Градуировку термопар осуществляли по известным температурам плавления и полиморфных переходов безводных неорганических солей [24]. Исследования проведены в диапазоне от 200 до 750°С.

Скорость нагрева (охлаждения) образцов составляла 10–15°С/мин. Точность измерения температуры составляла ±2.5°С при точности взвешивания навесок ±0.0001 г на аналитических весах ViBRA. Составы всех смесей, приведенные в настоящей работе, выражены в молярных концентрациях эквивалентов, температуры – в градусах Цельсия. Масса исходных смесей составляла 0.3 г.

РФА осуществляли с помощью метода Дебая–Шерера (метод порошка) [23] на дифрактометре ARL X'TRA. Прибор сконструирован по принци-

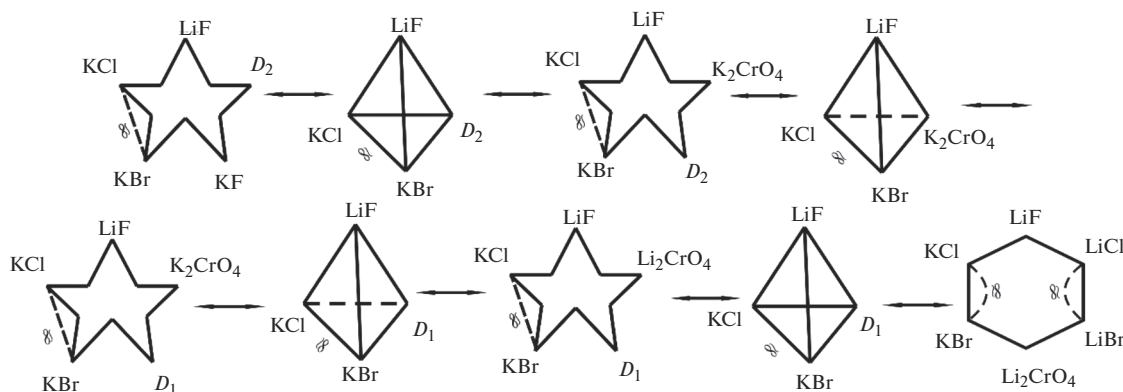


Рис. 3. Древо фаз пятикомпонентной взаимной системы Li,K||F,Cl,Br,CrO₄.

Таблица 2. Фазовые равновесия в трехкомпонентной взаимной системе LiF–KCl–KBr–Li₂CrO₄

Элемент	Фазовое равновесие
LiF $e_3 e_1 E_2 e_2 E_1$	ж \rightleftharpoons LiF
Li ₂ CrO ₄ $e_2 E_1 e_4 e_5 E_2$	ж \rightleftharpoons Li ₂ CrO ₄
KCl $e_3 E_1 E_2 e_1$ KBr $e_5 e_4$	ж \rightleftharpoons KCl _x Br _{1-x}
Поверхность	
$e_2 E_1 E_2$	ж \rightleftharpoons LiF + Li ₂ CrO ₄
$e_1 E_2 E_1 e_3$	ж \rightleftharpoons LiF + KCl _x Br _{1-x}
$e_5 E_1 E_2$	ж \rightleftharpoons Li ₂ CrO ₄ + KCl _x Br _{1-x}
Линия	
$E_1 E_2$	ж \rightleftharpoons LiF + Li ₂ CrO ₄ + KCl _x Br _{1-x}

пу вертикальной геометрии Брэгга–Брентано. Съемку дифрактограмм осуществляли на излучении $\text{CuK}\alpha$ с никелевым β -фильтром. Режим съемки образца: напряжение на трубке 35 кВ, ток рентгеновской трубки 10 мА, скорость съемки 1 град/мин, угловые отметки через $\theta = 1^\circ$. Образцы для РФА отжигали в платиновых тиглях при температуре на 10–20°C ниже температуры конечного затвердевания расплавов в течение 2 ч, затем закаливали во льду, перетирали в агатовой ступке и запрессовывали в кюветы. Идентификацию фаз осуществляли по межплоскостным расстояниям d (нм) и относительным интенсивностям I (%) рефлексов с использованием картотеки ICDD и программы PCPDFWIN. Съемка рентгенограмм проведена в лаборатории РФА кафедры физики СамГТУ.

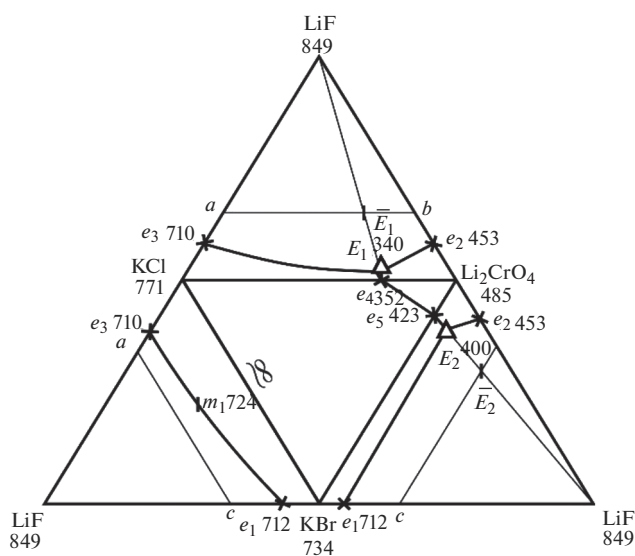


Рис. 4. Развертка стабильного тетраэдра LiF–KCl–KBr–Li₂CrO₄.

В работе использовали следующие реактивы: LiF – “х. ч.” (содержание основного вещества 99.9 мас. %), Li₂CrO₄ – “х. ч.” (содержание основного вещества 99.9 мас. %), KCl – “х. ч.” (содержание основного вещества 99.9 мас. %), KBr – “х. ч.” (содержания основного вещества 99.9 мас. %). Температуры плавления исходных солей, определенные методом ДТА (при точности измерения $\pm 2.5^\circ\text{C}$), соответствуют справочным данным [24], т.е. влияние имеющихся примесей на температуры плавления исходных солей незначительно. Исходные реактивы были предварительно высушены и после охлаждения в сухом боксе помещены в бюксы, а бюксы – в эксикатор с осушителем (силикагель).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Развертка граневых элементов стабильного тетраэдра LiF–Li₂CrO₄–KCl–KBr представлена на рис. 4. Элементами ограничения тетраэдра являются две квазитройные системы (LiF–Li₂CrO₄–KCl [13], LiF–Li₂CrO₄–KBr [14]) эвтектического типа и две системы с образованием НРТР (LiF–KCl–KBr–LiF [18], Li₂CrO₄–KCl–KBr [19]).

Для экспериментального изучения стабильного тетраэдра LiF–Li₂CrO₄–KCl–KBr в объеме кристаллизации фторида лития было выбрано двумерное политермическое сечение abc (a [25% LiF + 75% KCl], b [25% LiF + 75% Li₂CrO₄], c [25% LiF + 75% KBr]) (рис. 5).

В данном сечении был экспериментально изучен политермический разрез CD (C [24% a + 76% b], D [24% c + 76% b]) (рис. 6). Определено направле-

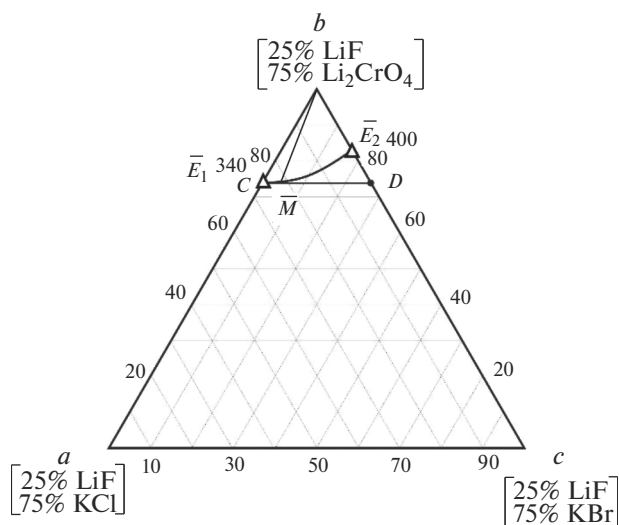


Рис. 5. Политермическое сечение abc стабильного тетраэдра LiF–KCl–KBr–Li₂CrO₄.

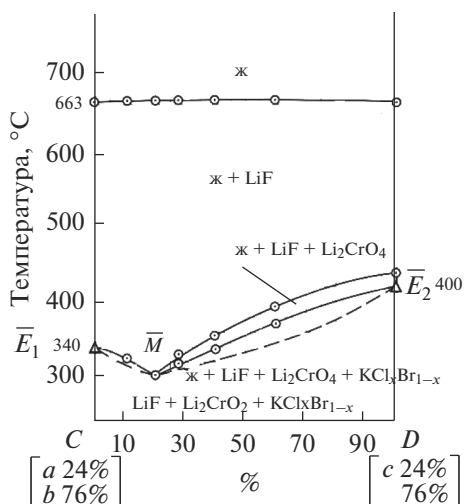


Рис. 6. t - x -диаграмма разреза CD политермического сечения abc стабильного тетраэдра $\text{LiF}-\text{KCl}-\text{KBr}-\text{Li}_2\text{CrO}_4$.

ние на минимум и его температура плавления 302°C . Исследованием политермического разреза, проведенного из вершины фторида лития через направление на минимум $\text{LiF} \rightarrow \bar{M} \rightarrow M$, выявили состав точки минимума. Методом РФА исследован образец состава, соответствующего точке M . Фазовый состав подтвержден дифрактограммой, приведенной на рис. 7.

На основе теории графов было проведено разбиение на симплексы пятикомпонентной взаимной системы $\text{Li}^+, \text{K}^+ \parallel \text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{CrO}_4^{2-}$. Исходя из проведенного разбиения построено древо фаз системы, которое имеет линейное строение и состоит из четырех стабильных секущих тетраэдров, четырех стабильных пентагонов и одного стабильного гексагона. С использованием древа фаз

системы был проведен прогноз кристаллизующихся фаз в пятикомпонентной взаимной системе $\text{Li}^+, \text{K}^+ \parallel \text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{CrO}_4^{2-}$. Благодаря наличию изоморфизма у хлоридов и бромидов щелочных металлов между ними образуются НРТР. Наличие в пятикомпонентной взаимной системе двух четырехкомпонентных систем ограничения эвтектического типа и четырех четырехкомпонентных систем ограничения с НРТР говорит об отсутствии точек невариантных равновесий в пятикомпонентной взаимной системе и ее стабильных секущих элементах. На основе прогноза кристаллизующихся фаз в стабильных тетраэдрах выявлено по три кристаллизующиеся твердые фазы, в стабильных пентагонах – по четыре и в гексагопе – пять твердых фаз.

Методом ДТА исследован стабильный тетраэдр $\text{LiF}-\text{Li}_2\text{CrO}_4-\text{KBr}-\text{KCl}$ пятикомпонентной взаимной системы $\text{Li}^+, \text{K}^+ \parallel \text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{CrO}_4^{2-}$. На t - x -диаграмме политермического разреза AB на рис. 6 “линза” соответствует совместной кристаллизации из расплава одной жидкой и трех твердых фаз ($\text{ж} + \text{LiF} + \text{Li}_2\text{CrO}_4 + \text{KCl}_x\text{Br}_{1-x}$), что говорит об отсутствии в системе точек невариантных равновесий.

При исследовании серии политермических разрезов выявлены существующая область кристаллизации НРТР, изображаемая в виде линзы, температура плавления и состав точки минимума, лежащей на моновариантной кривой E_1E_2 : $M - 302^\circ\text{C}$, $11\% \text{LiF} + 18.7\% \text{KCl} + 2.7\% \text{KBr} + 67.6\% \text{Li}_2\text{CrO}_4$.

На основании РФА образца, соответствующего точке минимума M (рис. 7), можно сделать вывод о том, что в тетраэдре кристаллизуются три твердые фазы: LiF , Li_2CrO_4 , $\text{KCl}_x\text{Br}_{1-x}$. Эскиз объ-

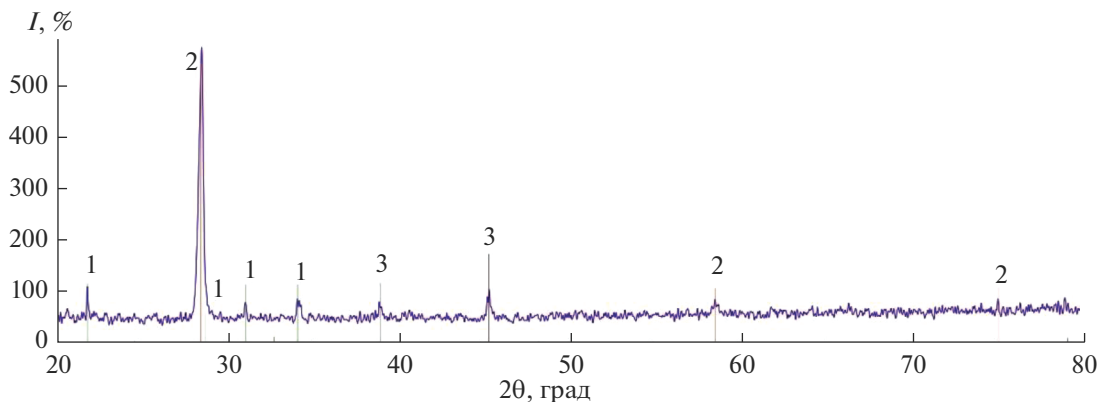


Рис. 7. Дифрактограмма образца состава, соответствующего точке M : $11\% \text{LiF} + 18.7\% \text{KCl} + 2.7\% \text{KBr} + 67.6\% \text{Li}_2\text{CrO}_4$: 1 – Li_2CrO_4 , 2 – НРТР $\text{KCl}_x\text{Br}_{1-x}$, 3 – LiF .

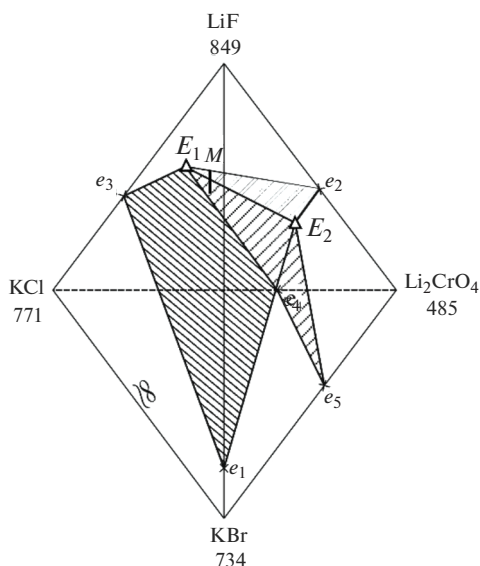


Рис. 8. Эскиз объемов кристаллизации стабильного тетраэдра $\text{LiF-KCl-KBr-Li}_2\text{CrO}_4$ пятикомпонентной взаимной системы $\text{Li, K|F, Cl, Br, CrO}_4$.

емов кристаллизации изученного тетраэдра представлен на рис. 8.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование пятикомпонентной взаимной системы $\text{Li}^+, \text{K}^+|\text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{CrO}_4^{2-}$. На основе теории графов проведено разбиение на симплексы исследуемой системы и построено древо фаз, которое имеет линейное строение и состоит из четырех стабильных пентатопов и одного стабильного гексатоп, разделенных четырьмя стабильными секущими тетраэдрами.

Методами ДТА и РФА исследован стабильный тетраэдр $\text{LiF-Li}_2\text{CrO}_4\text{-KCl-KBr}$. Установлено, что в тетраэдре кристаллизуются три твердые фазы, одна из которых – НРТР на основе хлорида и бромида калия. Выявлены состав и температура плавления сплава, отвечающего точке минимума M , лежащей на моновариантной кривой, соединяющей тройные эвтектики. Выявленный состав является перспективным для использован в качестве электролита химических источников тока.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSSE-2023-0003) в рамках государственного за-

дания Самарского государственного технического университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нипан Г.Д., Корнилов Д.Ю. Фазовые равновесия в системе $\text{Li}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-Ni-Co-O}$ // Неорган. материалы. 2020. Т. 56. № 8. С. 854–859. <https://doi.org/10.31857/S0002337X20070118>
2. Гаматаева Б.Ю., Курбанова С.Н., Гасаналиев А.М. и др. Фазовые равновесия в системе $\text{LiCl-LiVO}_3\text{-V}_2\text{O}_5$ // Неорган. материалы. 2020. Т. 56. № 2. С. 145–150. <https://doi.org/10.31857/S0002337X20020050>
3. Бушуев Н.Н., Егорова А.Н., Тюльбенджян Г.С. Система $\text{KLa}(\text{SO}_4)_2\text{-CaSO}_4$ // Неорган. материалы. 2021. Т. 57. № 2. С. 150–153. <https://doi.org/10.31857/S0002337X21020044>
4. Нипан Г.Д. Фазовые равновесия в системе Cd-Ga-As-Te // Неорган. материалы. 2021. Т. 57. № 12. С. 1281–1285. <https://doi.org/10.31857/S0002337X21120125>
5. Огарков А.И., Восков А.Л., Ковалев И.А. и др. Термодинамическое моделирование фазовых равновесий в системе U-Zr-N // Неорган. материалы. 2021. Т. 57. № 8. С. 829–837. <https://doi.org/10.31857/S0002337X21080236>
6. Нипан Г.Д. Изобарно-изотермические полиэдры твердых растворов системы Li-Ni-Mn-Co-O // Неорган. материалы. 2021. Т. 57. № 5. С. 543–548. <https://doi.org/10.31857/S0002337X21050055>
7. Черкасов Д.Г., Данилина В.В., Ильин К.К. Фазовые равновесия, критические явления и экстрактивная кристаллизация соли в тройной системе хлорид натрия–вода–диизопропиламин // Журн. неорган. химии. 2021. Т. 66. № 6. С. 785–793. <https://doi.org/10.31857/S0044457X21060076>
8. Губанова Т.В., Кравец Н.С., Гаркушин И.К. Трехкомпонентные системы $\text{NaCl-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{EO}_4$ ($\text{Э} = \text{Mo, W}$) // Журн. неорган. химии. 2023. Т. 68. № 4. С. 509–516. <https://doi.org/10.31857/S0044457X22601924>
9. Елохов А.М., Кудряшова О.С., Лукманова Л.М. и др. Фазовые равновесия в системах нитрат или хлорид щелочноземельного металла–формиат натрия–вода // Журн. неорган. химии. 2022. Т. 67. № 12. С. 1810–1817. <https://doi.org/10.31857/S0044457X2210035X>
10. Фролова Е.А., Кондаков Д.Ф., Данилов В.П. Фазовые равновесия в разрезах системы ацетат калия–этиленгликоль–вода при температурах $0\text{...-}66^\circ\text{C}$ // Журн. неорган. химии. 2022. Т. 67. № 8. С. 1172–1174. <https://doi.org/10.31857/S0044457X22080116>
11. Сырова В.И., Гаркушин И.К., Фролов Е.И. и др. Топология ликвидусов систем $\text{NaBr-Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3$ и $\text{KBr-K}_2\text{CO}_3\text{-K}_2\text{SO}_4$ // Журн. физ. химии. 2020. Т. 94. № 6. С. 850–854. <https://doi.org/10.1134/S0036024420060278>
12. Демина М.А., Егорова Е.М., Гаркушин И.К. Фазовые равновесия в трехкомпонентной системе $\text{NaCl-NaBr-Na}_2\text{CrO}_4$ // Журн. физ. химии. 2021. Т. 95.

- № 6. С. 955–957.
<https://doi.org/10.1134/S003602442106008X>
13. Демина М.А., Егорова Е.М., Гаркушин И.К. и др. Фазовые равновесия в стабильном тетраэдре $\text{LiF-LiCl-Li}_2\text{CrO}_4\text{-KCl}$ четырехкомпонентной взаимной системы $\text{Li, K||F, Cl, CrO}_4$ // Журн. неорган. химии. 2022. Т. 67. № 10. С. 1446–1452.
<https://doi.org/10.31857/S0044457X22100154>
14. Демина М.А., Гаркушин И.К., Ненашева А.В. и др. Фазовые равновесия в стабильном тетраэдре $\text{LiF-LiBr-Li}_2\text{CrO}_4\text{-KBr}$ четырехкомпонентной взаимной системы $\text{Li, K||F, Br, CrO}_4$ // Журн. неорган. химии. 2016. Т. 61. № 5. С. 670–676.
<https://doi.org/10.7868/S0044457X16050056>
15. Демина М.А., Ненашева А.В., Чудова А.А. и др. Фазовые равновесия в стабильном тетраэдре $\text{LiF-KF-KBr-K}_2\text{CrO}_4$ четырехкомпонентной взаимной системы $\text{Li, K||F, Br, CrO}_4$ // Журн. неорган. химии. 2016. Т. 61. № 7. С. 927–930.
<https://doi.org/10.7868/S0044457X16070035>
16. Демина М.А., Чудова А.А., Ненашева А.В. и др. Исследование объединенного стабильного тетраэдра $\text{LiF-Li}_2\text{CrO}_4\text{-KBr-K}_2\text{CrO}_4$ четырехкомпонентной взаимной системы $\text{Li, K||F, Br, CrO}_4$ // Бутлеровские сообщения. 2014. Т. 39. № 10. С. 148–151.
17. Гаркушин И.К., Демина М.А., Чудова А.А. и др. Исследование стабильных треугольников $\text{LiF-KBr-Li}_2\text{CrO}_4$ и $\text{LiF-KBr-K}_2\text{CrO}_4$ четырехкомпонентной взаимной системы из фторидов, бромидов и хроматов лития и калия // Журн. неорган. химии. 2015. Т. 60. № 1. С. 112.
<https://doi.org/10.7868/S0044457X15010043>
18. Чугунова М.В., Гаркушин И.К., Егорцев Г.Е. Разбиение четырехкомпонентной взаимной системы Li, K||F, Cl, Br на симплексы и изучение взаимодействия компонентов стабильного треугольника LiF-KCl-KBr // Журн. неорган. химии. 2011. Т. 56. № 4. С. 678–683
19. Воронина Е.Ю., Демина М.А. Экспериментальное исследование секущих элементов KCl-KBr-LiK-CrO_4 и $\text{KCl-KBr-Li}_2\text{CrO}_4$ четырехкомпонентной взаимной системы $\text{Li, K||Cl, Br, CrO}_4$ // Бутлеровские сообщения. 2015. Т. 42. № 6. С. 81–85.
20. Демина М.А., Гаркушин И.К., Бехтерева Е.М. Исследование фазовых равновесий в четырехкомпонентных системах $\text{Li||F, Cl, Br, CrO}_4$ и $\text{Li||F, Cl, Br, WO}_4$ // Журн. неорган. химии. 2014. Т. 59. № 11. С. 1579.
21. Гаркушин И.К., Демина М.А., Дворянова Е.М. Физико-химическое взаимодействие в многокомпонентных системах из галогенидов, хроматов, молибдатов и вольфраматов лития и калия. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. 135 с.
22. Мощенский Ю.В. Дифференциальный сканирующий колориметр ДСК-500 // Приборы и техника эксперимента. 2003. № 6. С. 143.
23. Ковба Л.М. Рентгенография в неорганической химии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 256 с.
24. Термические константы веществ. Вып. X. Таблицы принятых значений: Li, Na / Под ред. Глушко В.П. М., 1981. 297 с.