

### СТАБИЛЬНЫЙ ТЕТРАЭДР $\text{LiF-LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-NaCl}$

**С.М. Омарова, Н.Н. Вердиев, А.Б. Алхасов, У.Г. Магомедбеков, В.И. Дворянчиков, Д.А. Некрасов**

Сабина Мурадовна Омарова, Дмитрий Анатольевич Некрасов

Кафедра «Термодинамика теплопередача и энергосбережение», Московский политехнический университет, ул. Б. Семеновская, 38, Москва, Российская Федерация, 107023

E-mail: sabinom@mail.ru, nekrasov55@yandex.ru

Надинбег Надинбегович Вердиев \*, Алибек Басирович Алхасов

Лаборатория «Аккумуляирование низкопотенциального тепла и солнечной энергии», Филиал объединенного института высоких температур РАН, просп. И. Шамиля, 39 А, Махачкала, Российская Федерация, 367015

E-mail: verdiev55@mail.ru \*, alibek\_alhasov@mail.ru

Ухумаали Гаджиевич Магомедбеков

Кафедра неорганической химии, Дагестанский государственный университет, ул. Батырая, 4, Махачкала, Российская Федерация, 367025

E-mail: ukhgmag@mail.ru

Василий Иванович Дворянчиков

Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН, просп. И. Шамиля, 39 А, Махачкала, Российская Федерация, 367000

E-mail: vasilij\_dv01@mail.ru

*Дифференциально-термическим методом физико-химического анализа, с использованием общих правил проекционно-термографического метода, изучена поверхность ликвидуса стабильного тетраэдра  $\text{LiF-LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-NaCl}$  четверной взаимной системы  $\text{Li,Na//F,Cl,SO}_4$ . В результате проведенных исследований установлено, что в системе реализуется четверная эвтектическая точка, плавящаяся при  $410^\circ\text{C}$ . Повышенный интерес к вовлечению в мировой энергетический баланс возобновляемых источников энергии (ВИЭ) стимулирует исследования по выявлению солевых эвтектических смесей, способных аккумулялировать тепловую энергию. Исследования предприняты с целью разработки низкоплавкого, эвтектического состава, который может быть использован в тепловых аккумуляторах в качестве теплоносителя и теплонакопителя. В качестве объекта исследований выбран стабильный тетраэдр  $\text{LiF-LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-NaCl}$  четырехкомпонентной взаимной системы, сформированной из галогенидов и сульфатов лития и натрия. Выбор объекта исследований обусловлен тем, что в его состав входят литиевые соли, обладающие большими значениями энтальпий фазовых переходов. Для планирования экспериментальных исследований проведен анализ систем низшей мерности, входящих в ограничения исследуемой системы. В результате установлено, что наиболее информативным сечением для экспериментального изучения в системе  $\text{LiF-LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-NaCl}$  является сечение, выбранное в объеме кристаллизации хлорида лития. Исходя из этих соображений в объеме кристаллизации хлорида лития выбрано двухмерное политермическое сечение ABC. Экспериментально ДТА исследована фазовая диаграмма разреза MN, расположенная на сечении ABC, позволившая выявить соотношения фторида лития и хлорида натрия в четверной эвтектике. Далее, последовательным изучением ДТА одномерных политермических разрезов:  $B-a-\bar{E}^\square$ ;  $(\text{LiCl})_2-\bar{E}^\square-E^\square$ , выявлены соотношения сульфата и хлорида лития в четверной эвтектике. Выявленная таким образом эвтектика содержит:  $(\text{LiF})_2-10,4$  экв. %;  $(\text{LiCl})_2-38$  экв. %;  $\text{Li}_2\text{SO}_4-23,6$  экв. %;  $(\text{NaCl})_2-28$  экв. % и кристаллизуется при  $410^\circ\text{C}$ . Учитывая, что все*

*компоненты, входящие в состав эвтектики, обладают относительно большими значениями энтальпий фазовых переходов, можно предположить, что выявленный и эвтектический состав будет обладать достаточным значением  $\Delta H_{пл}$ , следовательно, состав можно рекомендовать в качестве теплоносителя в устройствах для аккумулирования тепловой энергии.*

**Ключевые слова:** эвтектика, диаграмма состояния, ограничивающие элементы, четверная система, возобновляемые источники энергии, теплоаккумулирующие материалы

UDC: 543.226.541.123.7

### STABLE TETRAEDR OF LiF-LiCl-Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaCl

S.M. Omarova, N.N. Verdiev, A.B. Alkhasov, U.G. Magomedbekov, V.I. Dvoryanchikov, D.A. Nekrasov

Sabina M. Omarova, Dmitry A. Nekrasov

Department of Thermodynamics and Heat Energy Saving, Moscow Polytechnical University, B. Semenovskaya ave., 38, 107023, Moscow, Russia

E-mail: sabinom@mail.ru, nekrasov55@yandex.ru

Nadinbeg N. Verdiev \*, Alibek B. Alkhasov

Laboratory Accumulation of Low-Grade Heat and Solar Energy, Branch of the Joint Institute for High Temperatures of RAS, I. Shamil ave., 39 A, Makhachkala, 367015, Russia

E-mail: verdiev55@mail.ru \*, alibek\_alhasov@mail.ru

Ukhumaali G. Magomedbekov

Department of Inorganic Chemistry, Dagestan State University, Batyrov st., 4, Makhachkala, 367025, Russia

E-mail: ukhmag@mail.ru

Vasiliy I. Dvoryanchikov

Institut problem geotermii Dagestanskogo nauchnogo tsentra RAS, ave. Shamil, 39 A, Makhachkala, 367000, Russia

E-mail: vasilij\_dv01@mail.ru

*With differential-thermal method of physicochemical analysis, using the General rules of the projection-thermographic method, the surface was studied of the liquidus stable tetrahedron LiF-LiCl-Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaCl of quaternary mutual system Li,Na//F,Cl,SO<sub>4</sub>. As a result of researches it was established that the system implements the quadruple eutectic point melting at 410 °C. Increased interest in involvement in the global energy balance of renewable energy sources (RES), encourages research to identify the eutectic salt mixtures capable of accumulating heat energy. Research undertaken with the aim of developing nizkodubova, eutectic composition, which can be used in thermal batteries as coolant of accumulators. As research object the stable tetrahedron LiF - LiCl - Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - NaCl four-component mutual system was selected. This system was formed from the halides and sulfates of lithium and sodium. The choice of the research object is due to the fact that its composition includes lithium salt with large values of enthalpies of phase transitions. For planning of experimental researches, analysis of systems with lower dimensionality within free of the system under study was carried out. The results revealed that the most informative section for an experimental study in the system LiF - LiCl - Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - NaCl is a cross-section of selected volume of the crystallization of lithium chloride. Based on these considerations, in a volume of the crystallization of lithium chloride the two-dimensional polythermal cross section ABC was chosen. The phase diagram of the section MN located at the cross-section ABC was DTA experimentally investigated. It allows determining the ratio of lithium fluoride and sodium chloride in the quaternary eutectic. Further, consistent analysis of DTA-dimensional polythermal sections- B - a -  $\bar{E}^{\square}$ ; (LiCl)<sub>2</sub>-*

$\bar{E}^{\square} - E^{\square}$  - the ratio of sulfate and lithium chloride in the quaternary eutectic was determined. The revealed by such a way the eutectic contains  $(LiF)_2 - 10.4\%$ ;  $(LiCl)_2 - 38\%$ ;  $Li_2SO_4 - 23.6\%$ ;  $(NaCl)_2 - 28\%$ . The crystallization temperature was  $410^{\circ}C$ . Taking into account that all components of eutectic have relatively large values of enthalpies of phase transitions, it can be assumed that the identified eutectic composition will have sufficient value of  $\Delta H_{пл}$ . Therefore, the composition can be recommended as a coolant for devices of thermal energy storage.

**Key words:** eutectic, phase diagram, bounding crystal elements, quaternary system, renewable energy, heat storage materials

**Для цитирования:**

Омарова С.М., Вердиев Н.Н., Алхасов А.Б., Магомедбеков У.Г., Дворянчиков В.И., Некрасов Д.А. Стабильный тетраэдр LiF-LiCl-Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaCl. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2017. Т. 60. Вып. 5. С. 57–62.

**For citation:**

Omarova S.M., Verdiev N.N., Alkhasov A.B., Magomedbekov U.G., Dvoryanchikov V.I., Nekrasov D.A. Stable tetraedr of LiF-LiCl-Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaCl. Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. 2017. V. 60. N 5. P. 57–62.

Повышенный интерес к вовлечению в мировой энергетический баланс возобновляемых источников энергии (ВИЭ) стимулирует исследования по выявлению солевых эвтектических смесей, способных аккумулировать тепловую энергию.

Исследования предприняты с целью разработки низкоплавкого эвтектического состава, который может быть использован в тепловых аккумуляторах в качестве теплоносителя и теплонакопителя.

В качестве объекта исследований выбрана четырехкомпонентная взаимная система, сформированная из галогенидов и сульфатов лития и натрия. Выбор объекта исследований обусловлен тем, что в его состав входят литиевые соли, обладающие большими значениями энтальпий фазовых переходов (таблица).

В работе представлены результаты проводимых нами систематических исследований [1-5].

**Таблица**

**Термодинамические характеристики исходных ингредиентов системы LiF-LiCl-Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaCl**  
**Table. The thermodynamic characteristics of the system original components LiF-LiCl-Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaCl**

№	Вещества	t <sub>пл.</sub> , °C	ΔH <sup>°</sup> <sub>298</sub> кДж/моль	Δ <sub>m</sub> H кДж/моль	ΔG <sup>°</sup> <sub>298</sub> кДж/моль	Лит-ра
1	LiF	849	-614,671	27,070	-586,400	[6]
2	LiCl	610	-408,358	19,748	-384,112	
3	Li <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	858	-1437,204	9,330	-1322,039	
4	NaCl	801	-411,412	28,200	-384,384	

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

Исследования проводились дифференциально-термическим методом физико-химического анализа (ДТА) [7] с использованием общих правил проекционно-термографического метода (ПТГМ)

[8]. ДТА проводили на установке синхронного термического анализа STA 449 F3 Phoenix, фирмы Netzsch, предназначенной для работы в интервале температур от комнатной до 1500 °C в атмосфере инертных газов (аргон). Исследования проводились в платиновых тиглях с использованием платина-платинородиевых термопар. Скорость нагревания и охлаждения образцов составляла 10 °C/мин. Точность измерения температур ±0,3 °C, масса навесок 0,2 г. Индифферентное вещество – свежеприготовленный Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> квалификации «ч.д.а.». Квалификация исходных солей: LiCl, NaCl – «ос.ч», LiF, Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – «ч.д.а.». Характеристики исходных реактивов приведены в таблице. Составы выражены в эквивалентных процентах, температуры – в градусах Цельсия.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Элементами ограничения исследуемого стабильного тетраэдра LiF-LiCl-Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaCl служат четыре двойные системы, две стабильны, диагональ тройных взаимных систем: Li,Na/F,SO<sub>4</sub>, Li,Na/F,Cl, одна тройная, секущий треугольник LiF-Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaCl, имеющий характер тройной системы и два симплекса тройных взаимных систем: Li,Na/F,SO<sub>4</sub>; Li,Na/F,Cl (рис. 1).

1. LiF-LiCl [9]. Эвтектика при 498 °C и 34 экв. % фторида лития.

2. (LiF)<sub>2</sub>-Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [9]. Эвтектика при 532 °C и 72,5 экв. % сульфата лития. На ветви кристаллизации фторида лития имеется излом при 806 °C и 17 экв. % сульфата лития.

3. (LiCl)<sub>2</sub>-Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [9]. Эвтектика при 478 °C и 53,5 экв. % сульфата лития. Изломы на ветвях

$\text{Li}_2\text{SO}_4$  и  $\text{LiCl}$  при 580 и 565 °С соответствуют гомеоморфным превращениям.

4.  $\text{LiCl-NaCl}$  [9]. Эвтектика при 553 °С и 28,5 экв. % хлорида натрия. Перитектика Р при 575 °С и 37 экв.% хлорида натрия.

5.  $\text{LiF-NaCl}$  [10]. Диагональное сечение тройной взаимной системы  $\text{Li,Na//F,Cl}$ . Перевальная эвтектическая точка при 670 °С и 41,5 экв. % фторида лития.

6.  $\text{Li}_2\text{SO}_4\text{-NaCl}$  [10]. Диагональное сечение тройной взаимной системы  $\text{Li,Na//Cl,SO}_4$ . Перевальная эвтектическая точка при 499 °С и 74 экв. % сульфата лития.

7.  $\text{Li//F,Cl,SO}_4$  [11]. Эвтектика при 440 °С и 19,7 экв. % фторида лития, 37,8 экв. % хлорида лития и 42,5 экв. % сульфата лития.

8.  $(\text{LiF})_2\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-(NaCl)}_2$  [12]. Стабильное секущее сечение четверной системы  $\text{Li,Na//F,Cl,SO}_4$ , имеющей характер тройной системы. Эвтектика при 447 °С и 20,5 экв. % хлорида натрия, 19 экв. % фторида лития, 60,5 экв. % сульфата лития.

9.  $\text{LiF-LiCl-NaCl}$  [10]. Эвтектика при 464 °С и 19 экв. % фторида лития, 63,5 экв. % хлорида лития, 17,5 экв. % хлорида натрия. Перитектики  $\text{P}_1$  при 494 °С и 21 экв. % фторида лития, 57 экв. % хлорида лития, 22 экв. % хлорида натрия.

10.  $(\text{LiCl})_2\text{-Li}_2\text{SO}_4\text{-(NaCl)}_2$  [10]. Эвтектика при 464 °С и 37 экв. %  $\text{LiCl}$ , 49 экв.% сульфата лития и 14 экв. % хлорида натрия. Перитектика при 464 °С.

Проведенный теоретический анализ граничных элементов системы  $\text{LiF-LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-NaCl}$ , позволяет сделать вывод, что наиболее информативным одномерным политермическим разрезом для экспериментального исследования с целью выявления параметров эвтектического состава, является разрез  $\text{MN}$ , выбранный на двухмерном политермическом сечении  $\text{ABC}$ , расположенном в объеме кристаллизации хлорида лития (рис. 1-3).

Выбор сечения  $\text{ABC}$ , где  $\text{A}$  – 80%  $\text{LiCl}$  + 20%  $\text{LiF}$ ,  $\text{B}$  – 80%  $\text{LiCl}$  + 20%  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{C}$  – 80%  $\text{LiCl}$  + 20%  $\text{NaCl}$ , в последующем и разреза  $\text{MN}$ , где  $\text{M}$  – 80%  $\text{LiCl}$  + 4,8%  $\text{LiF}$  + 15,2%  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{N}$  – 80%  $\text{LiCl}$  + 4,8%  $\text{NaCl}$  + 15,2%  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  для экспериментального исследования осуществлен согласно общим правилам ПТГМ (рис. 2, 3). На стороны сечения  $\text{ABC}$  нанесены проекции тройных эвтектик  $\text{E}_1, \text{E}_3, \text{E}_4$  из вершины хлорида лития, а на плоскость – проекцию четверной эвтектики  $\text{E}^\square$  (рис. 3). Т-х диаграмма политермического разреза  $\text{MN}$ , построенная по данным ДТА, характеризуется двумя плавными кривыми первичной и вторичной кристаллизации и пересечением ветвей третичной кристаллизации с эвтектической прямой в точке  $\text{a}$ , показывающей постоянное соотношение фторида лития и

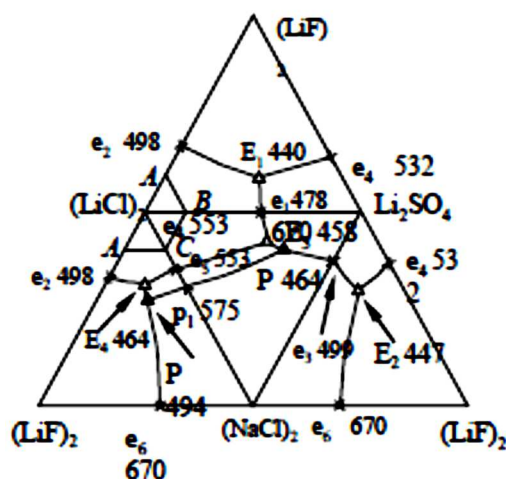


Рис. 1. Развертка граничных элементов системы  $\text{LiF-LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-NaCl}$  и расположение политермического разреза  $\text{ABC}$   
 Fig. 1. Scan of face elements of  $\text{LiF-LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-NaCl}$  system and the location of the polythermal  $\text{ABC}$  section

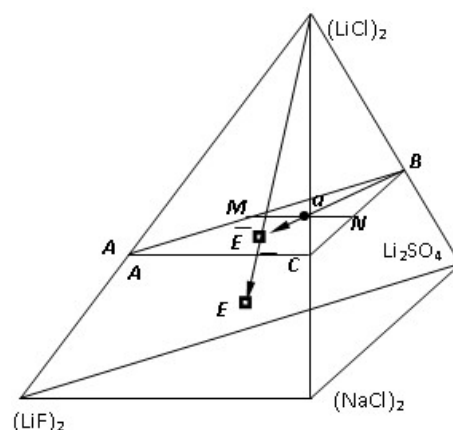


Рис. 2. Диаграмма составов системы  $\text{LiF-LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-NaCl}$  и расположение политермических разрезов:  $\text{ABC}$ ;  $\text{MN}$ ;  $\text{B-a-E}^\square$ ;  $(\text{LiCl})_2 - \text{E}^\square - \text{E}^\square$

Fig. 2. The diagram of compositions of  $\text{LiF-LiCl-Li}_2\text{SO}_4\text{-NaCl}$  system and location of polythermal sections:  $\text{ABC}$ ;  $\text{MN}$ ;  $\text{B-a-E}^\square$ ;  $(\text{LiCl})_2 - \text{E}^\square - \text{E}^\square$

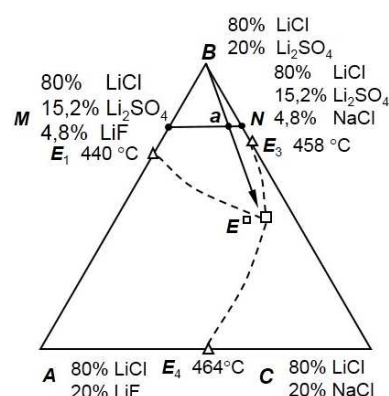


Рис. 3. Двухмерное политермическое сечение  $\text{ABC}$  и расположение одномерных политермических разрезов:  $\text{MN}$ ;  $\text{B-a-E}^\square$   
 Fig. 3. Two-dimensional polythermal section of  $\text{ABC}$  and location of one-dimensional polythermal sections:  $\text{MN}$ ;  $\text{B-a-E}^\square$

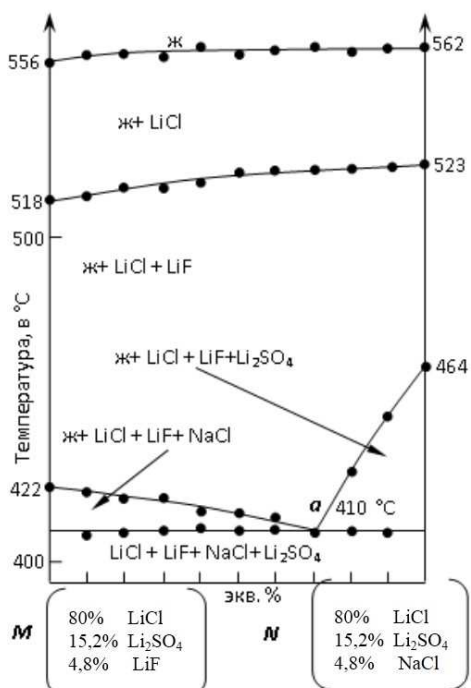


Рис. 4. Т-х диаграмма системы LiF-LiCl-Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaCl в разрезе MN  
 Fig. 4. T- x diagram of LiF-LiCl-Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaCl system in the MN section

хлорида натрия в четверной эвтектике (рис. 4). Состав четверной эвтектики, кристаллизующийся при 410 °С и содержащей: LiF – 10,4 экв. %; LiCl – 38 экв. %; Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 23,6 экв.%; NaCl – 28 экв. % выявлен последовательным изучением ДТА одномерных политермических разрезов B – a – E<sup>□</sup> и (LiCl)<sub>2</sub> – E<sup>□</sup> – E (рис. 2, 3).

### ВЫВОДЫ

Выявленный эвтектический состав содержит соли с высокими значениями энтальпий фазовых переходов (до 72 экв. % фторида, хлорида, сульфата лития и 28 экв. % хлорида натрия) и температурой кристаллизации эвтектики на 200 °С меньше, чем у самого низкоплавкого компонента (LiCl – 610 °С). Полученный состав может быть использован как теплоаккумулятор, теплоноситель, расплавленный электролит химических источников тока, флюс при электросварке цветных металлов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вердиев Н.Н., Магомедбеков У.Г., Вердиева З.Н., Арбуханова П.А., Исаева П.М. Фазовые равновесия в системе NaF - KF - BaF<sub>2</sub> - KCaF<sub>3</sub> - K<sub>3</sub>FMoO<sub>4</sub>. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2014. Т. 57. Вып. 6. С. 12 – 15.
2. Вердиева З.Н., Алхасов А.Б., Магомедбеков У.Г., Вердиев Н.Н. Теплоаккумулирующие смеси из фторидов лития, натрия, магния и стронция. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2014. Т. 57. Вып. 7. С. 58 - 61.
3. Вердиев Н.Н., Вердиева З.Н., Мустафаев Н.А., Магомедова Х.Г. Патент РФ. №2011108916. 2012.
4. Вердиев Н.Н., Арбуханова П.А., Искендеров Э.Г. Фазовый комплекс системы Na, K // Br, MoO<sub>4</sub>. *Журн. неорган. химии.* 2012. Т. 57. Вып. 6. С. 966-969.
5. Вердиев Н.Н., Алхасов А.Б., Магомедбеков У.Г., Арбуханова П.А., Искендеров Э.Г. Система LiF – NaF – KCl. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2016. Т. 59. Вып. 5. С. 56-60.
6. Глушко В.П. Термические константы веществ. Вып. X Ч. I. Таблицы принятых значений: Li, Na. М.: АН СССР, ВИНТИ, Институт высоких температур. 1981. 300 с.
7. Егуннов В.П. Введение в термический анализ. Самара: Самарский гос. техн. ун-т. 1996. 270 с.
8. Космынин А.С., Трунин А.С. Оптимизация экспериментального исследования гетерогенных многокомпонентных систем. Тр. Самарской школы по физико-химическому анализу многокомпонентных систем. Самара: Сам. ГТУ. 2007. Т. 14. 160 с.

### LITERATURE

1. Verdiev N.N., Magomedbekov U.G., Verdieva Z.N., Arbukhanova P.A., Isaeva P.M. Phase equilibria in the system NaF - KF - BaF<sub>2</sub> - KCaF<sub>3</sub> - K<sub>3</sub>FMoO<sub>4</sub>. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2014 V. 57. N 6. P.12 - 15 (in Russian).
2. Verdieva Z.N., Alkhasov A.B., Magomedbekov U.G., Verdiev N.N. Heat-accumulating mixtures from fluorides of lithium, sodium, magnesium and strontium. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2014. V. 57. N 7. P. 58 - 61 (in Russian).
3. Verdiev N.N., Verdieva Z.N., Mustafayev N.B., Magomedova H.G. RF Patent. N 2011108916. 2012 (in Russian).
4. Verdiev N.N., Arbukhanova P.A., Iskenderov E.G. Phase complex system Na, K // Br, MoO<sub>4</sub>. *Zhurn. Neorgan. Khim.* 2012. V. 57. N 6. P. 966-969 (in Russian).
5. Verdiev N.N., Alkhasov A.B., Magomedbekov U.G., Arbukhanova P.A., Iskenderov E.G. The system LiF - NaF - KCl. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 5. P. 56 - 60 (in Russian).
6. Glushko V.P. Thermal constants of substances. V. X. Part I. Tables of accepted values: Li, Na. M.: Academy of Sciences of the USSR, VINITI, Institute of High Temperatures. 1981. 300 p. (in Russian).
7. Egunov V.P. Introduction to the thermal analysis. Samara: Samara state. techn. un-t. 1996. 270 p. (in Russian).
8. Kosmyinin A.S., Trunin A.S. Optimization of experimental investigation of heterogeneous multi-component systems. Tr. The Samara school of physical-chemical

9. Справочник по плавкости систем из безводных неорганических солей. Под ред. Н. К. Воскресенской. М., Л.: Изд-во АН СССР. 1961. Т.1. Двойные системы. 845 с.
10. Диаграммы плавкости солевых систем: Справочник (тройные взаимные системы). Под ред. В.И. Посыпайко, Е.А. Алексеевой. М.: Химия. 1977. 392 с.
11. Справочник по плавкости систем из безводных неорганических солей. Под ред. Н. К. Воскресенской. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1961. Т.2. Системы тройные и более сложные. 585 с.
12. **Вердиев Н.Н., Омарова С.М., Алхасов А.Б., Магомедбеков У.Г., Арбуханова П.А., Искендеров Э.Г.** Система  $\text{LiF-Li}_2\text{SO}_4\text{-NaCl}$ . *Иzv. вузов. Химия и хим. технология*. 2016. Т. 59. Вып. 11. С. 46-49.
9. analysis of multicomponent systems. Samara: Sam. GTU. 2007. V. 14. 160 p. (in Russian).
9. Handbook on fusibility of systems of non-aqueous inorganic salts. Ed. by N.K. Voskresensky. M., L.: Academy of Sciences of the USSR. 1961. V. 1. Dual system. 845 p. (in Russian).
10. The diagrams on fusibility of salt systems: Handbook (triple mutual systems). Ed. V.I. Posypayko, E.A. Alekseeva. M: Khimiya. 1977. 392 p. (in Russian).
11. Handbook of fusibility of systems of anhydrous inorganic salts. Ed. by. N.K. Voskresensky. M., L: Izd-vo Academy of Sciences of the USSR. 1961. V. 2. Triple and more complex. 585 p. (in Russian).
12. **Verdiev N.N., Omarova S.M., Alkhasov A.B., Magomedbekov U.G., Arbukhanova P.A., Iskenderov E.G.** The System  $\text{LiF-Li}_2\text{SO}_4\text{-NaCl}$ . *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 11. P. 46-49 (in Russian).

*Поступила в редакцию 18.11.2016  
Принята к опубликованию 07.02.2017*

*Received 18.11.2016  
Accepted 07.02.2017*