

Тройные системы $\text{NaF-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{WO}_4$ и $\text{NaF-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{SO}_4$

© Губанова*[†] Татьяна Валерьевна, Скоробогатова Валерия Игоревна,
Сюлюкина Дарья Семеновна

Кафедра неорганической химии. Самарский государственный технический университет.
ул. Молодогвардейская, 244. г. Самара, 443100. Россия. E-mail: lecome@yandex.ru

*Ведущий направление; [†]Поддерживающий переписку

Ключевые слова: тройная система, фазовый комплекс, эвтектика, перитектика, моделирование, Т-х диаграмма, энтальпия плавления, изотермический разрез, нонвариантный разрез.

Аннотация

Исследование посвящено изучению фазовых комплексов трехкомпонентных систем $\text{NaF-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{WO}_4$ и $\text{NaF-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{SO}_4$, компоненты которых обладают уникальным набором функциональных характеристик. На начальном этапе были проанализированы бинарные элементы огранения. В этих системах протекают эвтектические и перитектические процессы, образуются фазы промежуточных соединений конгруэнтного (Na_3FSO_4) и инконгруэнтного (Na_3FWO_4) типов плавления, а для некоторых исходных солей характерны полиморфные превращения (например, для Na_2WO_4).

В практической части описаны результаты исследования фазовых превращений в трехкомпонентных системах. Для определения координат нонвариантных точек и областей кристаллизации фаз использовались политермические разрезы, выбранные с применением проекционно-термографического метода (ПТГМ). В процессе экспериментального исследования с использованием метода дифференциально-термического анализа (ДТА) выявлены характеристики нонвариантных равновесных состояний. В системе $\text{NaF-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{WO}_4$ экспериментально изучен политермический разрез АВ в поле кристаллизации NaVO_3 , определены направления на тройные нонвариантные точки и установлены точные координаты тройной эвтектики и тройной перитектики. В системе $\text{NaF-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{SO}_4$ по политермическому разрезу MN аналогичным образом определены координаты двух тройных эвтектических точек.

Экспериментальные данные послужили основой для создания трехмерных концентрационно-температурных моделей фазовых комплексов в программном обеспечении КОМПАС 3D. Эти модели позволили построить изотермические сечения. Анализ экспериментальных значений удельной энтальпии плавления эвтектических смесей показал, что эти нонвариантные составы могут быть успешно использованы в качестве высокотемпературных теплоносителей, фазопереходных теплоаккумулирующих материалов и составов для расплавляемых электролитов для химических источников тока при условии продолжения исследования их смесей.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Губанова Т.В., Скоробогатова В.И., Сюлюкина Д.С. Тройные системы $\text{NaF-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{WO}_4$ и $\text{NaF-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{SO}_4$. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.87. №7. С.68-75. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-68

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Губанова Т.В., Скоробогатова В.И., Сюлюкина Д.С. Тройные системы $\text{NaF-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{WO}_4$ и $\text{NaF-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{SO}_4$. *Бутлеровские сообщения В*. 2026. Т.14. №3. Id.2. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-68/ROI-jbc-B/26-14-3-2 (Russian)

The output for citing the English online version of the article:

Tatiana V. Gubanova, Valeria I. Skorobogatova, Daria S. Syulyukina. Ternary systems $\text{NaF-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{WO}_4$ and $\text{NaF-NaVO}_3\text{-Na}_2\text{SO}_4$. *Butlerov Communications B*. 2026. Vol.14. No.3. Id.2. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-68/ROI-jbc-B/26-14-3-2

Литература

- [1] Яковлева Д.С. Электрохромный эффект в гидратированном пентаоксиде ванадия. *Дисс. ... канд. физ.-мат. наук*: 01.04.04. *Петрозаводск*. 2015. 135с. [D.S. Yakovleva. Electrochromic effect in hydrated vanadium pentoxide. *Ph.D. Thesis in Physics and Mathematics. Petrozavodsk*. 2015. 135p. (Russian)]

- [2] R. Chahal, S. Banerjee, S.T. Lam. short- to intermediate-range structure, transport, and thermophysical properties of LiF-NaF-ZrF₄ molten salts. *Frontiers in Physics*. **2022**. Vol.10. Art.830468. DOI: 10.3389/fphy.2022.830468.
- [3] S. Arndt, T. Otremba, U. Simon, M. Yildiz, H. Schubert, R. Schomäcker. Mn-Na₂WO₄/SiO₂ as catalyst for the oxidative coupling of methane. What is really known? *Applied Catalysis A: General*. **2012**. Vol.425-426. P.53-61. DOI: 10.1016/j.apcata.2012.02.046.
- [4] K.S.K. Chivukula, Y. Zhao. Next-generation vanadium redox flow batteries: harnessing ionic liquids for enhanced performance. *RSC Advances*. **2025**. Vol.15. Iss.35. P.25310–25319. DOI: 10.1039/D5RA02901E.
- [5] Посыпайко В.И. и др. Диаграммы плавкости солевых систем. Ч. 2. Двойные системы с общим анионом. *Москва: Металлургия*. **1977**. 303с. [V.I. Posypaiko, *et al.* Melting diagrams of salt systems. Part 2. Binary systems with a common anion. *Moscow: Metallurgy*. **1977**. 303p. (Russian)]
- [6] Гаркушин И.К. и др. Фазовые равновесия в системах с участием метаванадатов некоторых щелочных металлов. *Москва: Машиностроение-1*. **2005**. 118с. [I.K. Garkushin, *et al.* Phase equilibria in systems involving metavanadates of some alkali metals. *Moscow: Mechanical Engineering-1*. **2005**. 118p. (Russian)]
- [7] Посыпайко В.И., Алексеева Е.А. Диаграммы плавкости солевых систем. Справочник в 3-х ч. Ч.3. Двойные системы с общим катионом. Под ред. Посыпайко В.И., Алексеевой Е.А. *Москва: Металлургия*. **1979**. 204с. [V.I. Posypaiko, E.A. Alekseeva. Melting diagrams of salt systems. Handbook in 3 parts. Part 3. Binary systems with a common cation. Edited by V.I. Posypaiko, E.A. Alekseeva. *Moscow: Metallurgy*. **1979**. 204p. (Russian)]
- [8] Игнатъева Е.О. и др. Прогнозирование и экспериментальное подтверждение фазового комплекса системы NaF-NaI-Na₂WO₄. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Химия»*. **2011**. Т.4. №3. С.276-284. [E.O. Ignatieva, *et al.* Prediction and experimental confirmation of the phase complex of the NaF-NaI-Na₂WO₄ system. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. **2011**. Vol.4. No.3. P.276-284. (Russian)]
- [9] Воскресенская Н.К., Евсеева Н.Н., Беруль С.И., Верещетина И.П. Справочник по плавкости систем из безводных неорганических солей. В 2-х т. Т. 2. Системы тройные, тройные взаимные и более сложные. *Москва-Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР*. **1961**. 586с. [N.K. Voskresenskaya. Handbook on the melting properties of systems of anhydrous inorganic salts. In 2 volumes. Vol.2. Ternary systems, ternary reciprocal and more complex systems. Comp. by N.K. Voskresenskaya, N.N. Evseeva, S.I. Berul, I.P. Vereshchetina. *Moscow-Leningrad: USSR Academy of Sciences Publishing House*. **1961**. 586p. (Russian)]
- [10] Термические константы веществ. База данных. *Институт теплофизики экстремальных состояний РАН Объединенного института высоких температур РАН. Химический факультет Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова*. [Электронный ресурс] URL: <http://www.chem.msu.su/cgi-bin/tkv.pl?show=welcom.html> (Дата обращения: 11.03.2026). [Thermal constants of substances. Database. *Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences. Department of Chemistry, Lomonosov Moscow State University*. Available at: <http://www.chem.msu.su/cgi-bin/tkv.pl?show=welcom.html> (accessed 11.03.2026). (Russian)]
- [11] Космынин А.С., Трунин А.С. Проекционно-термографический метод исследования гетерогенных равновесий в конденсированных многокомпонентных системах: Монография. *Самара: Самар. гос. техн. ун-т*. **2006**. 183с. [A.S. Kosmynin, A.S. Trunin. Projection-thermographic method for investigating heterogeneous equilibria in condensed multicomponent systems: Monograph. *Samara: Samara State Technical University*. **2006**. 183p. (Russian)]
- [12] Гаркушин И.К., Мощенский Ю.В., Фролов Е.И., Егунов В.П. Термический анализ и калориметрия: учеб. пособие. *Самара: Самар. гос. техн. ун-т*. **2013**. 457с. [I.K. Garkushin, Yu.V. Moshchensky, E.I. Frolov, V.P. Egunov. Thermal analysis and calorimetry: textbook. *Samara: Samara State Technical University*. **2013**. 457p. (Russian)]
- [13] Уэндландт У. Термические методы анализа. Пер. с англ. под ред. Степанова В.А., Берштейна В.А. *Москва: Мир*. **1978**. 526с. [W. Wendlandt. Thermal methods of analysis. Trans. from English, edited by V.A. Stepanov, V.A. Bershtein. *Moscow: Mir*. **1978**. 526p. (Russian)]
- [14] M. Wagner. Thermal analysis in practice: Fundamental aspects. *Hanser Publications*. **2018**. 349p.
- [15] Бурчаков А.В., Скоробогатова В.И. Исследование фазовых равновесий в стабильном треугольнике LiF-NaBr-Li₂WO₄ четверной взаимной системы Li, Na || F, Br, WO₄. *Бутлеровские сообщения*. **2024**. Т.78. №5. С.94-102. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-78-4-95/ROI-jbc-RB/24-7-2-4. [Alexander V. Burchakov, Valeria I. Skorobogatova. Investigation of phase equilibria in a stable triangle LiF-LiBr-Li₂WO₄ of a quaternary reciprocal system Li⁺, Na⁺ || F⁻, Br⁻, WO₄²⁻. *Butlerov Communications B*. **2024**. Vol.7. No.2. Id.4. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-78-4-95/ROI-jbc-B/24-7-2-4]
- [16] Tatiana V. Gubanova, Valeria I. Skorobogatova, Daria S. Syulyukina. Ternary systems NaF-NaVO₃-Na₂WO₄ and NaF-NaVO₃-Na₂SO₄. *Butlerov Communications B*. **2026**. Vol.14. No.3. Id.2. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-68/ROI-jbc-B/26-14-3-2

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications B
Advances in Chemistry & Thermophysics

The Reference Object Identifier – ROI-jbc-B/26-14-3-2

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-68/ROI-jbc-B/26-14-3-2

Ternary systems NaF-NaVO₃-Na₂WO₄ and NaF-NaVO₃-Na₂SO₄

Tatiana V. Gubanov*,⁺ Valeria I. Skorobogatova, Daria S. Syulyukina

*Department of Inorganic Chemistry. Samara State Technical University. Molodogvardeyskaya St., 244.
Samara, 443100. Russia. E-mail: lecome@yandex.ru*

*Supervising author; ⁺Corresponding author

Keywords: ternary systems, phase complex, eutectic, peritectic, modeling, T-x diagram, enthalpy of fusion, isothermal section, non-invariant section.

Abstract

The study is devoted to the investigation of phase complexes of the ternary systems NaF-NaVO₃-Na₂WO₄ and NaF-NaVO₃-Na₂SO₄, the components of which possess a unique set of functional characteristics. At the initial stage, the binary boundary elements were analyzed. Eutectic and peritectic processes occur in these systems, phases of intermediate compounds of congruent (Na₃FSO₄) and incongruent (Na₃FWO₄) melting types are formed, and polymorphic transformations are characteristic of some initial salts (for example, Na₂WO₄).

The practical part describes the results of the investigation of phase transformations in the ternary systems. To determine the coordinates of non-invariant points and phase crystallization regions, polythermal sections selected using the projection-thermographic method (PTGM) were employed. In the course of the experimental study using differential thermal analysis (DTA), the characteristics of non-invariant equilibrium states were revealed. In the NaF-NaVO₃-Na₂WO₄ system, the polythermal section AB in the crystallization field of NaVO₃ was experimentally studied, the directions toward the ternary non-invariant points were determined, and the exact coordinates of the ternary eutectic and ternary peritectic were established. In the NaF-NaVO₃-Na₂SO₄ system, the coordinates of two ternary eutectic points were similarly determined along the polythermal section MN.

The experimental data served as the basis for creating three-dimensional concentration-temperature models of the phase complexes in the KOMPAS 3D software. These models allowed for the construction of isothermal sections. Analysis of the experimental values of the specific enthalpy of fusion of the eutectic mixtures showed that these non-invariant compositions can be successfully used as high-temperature heat-transfer agents, phase-change heat-storage materials, and compositions for molten electrolytes for chemical power sources, provided that the investigation of their mixtures is continued.