

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый проректор-проректор по  
научной работе

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»,

доктор технических наук, доцент

А.В. Коржов

\_\_\_\_\_ 2023 г.



**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

федерального государственного автономного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»

Диссертация «Составы, свойства и термодинамическое описание высокоэнтропийных оксидов со структурой гексаферритов М-типа» выполнена на кафедре материаловедения и физико-химии материалов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

В период подготовки диссертации соискатель Зайцева Ольга Владимировна с 01.09.2018 г. по 31.08.2022 г. обучалась в очной аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению 22.06.01 «Технологии материалов», направленности 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов», и работала на кафедре промышленного и гражданского строительства филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» в г. Златоусте.

В настоящее время работает на кафедре промышленного и гражданского строительства филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский

государственный университет (национальный исследовательский университет)» в г. Златоусте в должности старшего преподавателя.

В 2012 г. окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет) по специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство».

Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана 17 февраля 2023 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – Трофимов Евгений Алексеевич, доктор химических наук, доцент, профессор кафедры материаловедения и физико-химии материалов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Тема диссертации утверждена приказом ректора № 255-13/12 от 22 февраля 2022 г., скорректирована и утверждена Ученым советом Политехнического института ЮУрГУ(НИУ), протокол № 7 от 20 марта 2023 г.

По результатам рассмотрения диссертации «Составы, свойства и термодинамическое описание высокоэнтропийных оксидов со структурой гексаферритов М-типа» принято следующее **заключение:**

**Личное участие соискателя** ученой степени заключается в определении цели работы и постановке задач исследования, в обзоре литературных источников, в выполнении части экспериментальных работ, в анализе и обработке полученных результатов, их обобщении, в выполнении работ по подбору термодинамической модели, определению значений модельных параметров и термодинамическому моделированию, формулировке выводов, выступлении с докладами на конференциях. Подготовка публикаций

проводилась совместно с научным руководителем и другими соавторами.

**Достоверность результатов работы** обеспечивается применением современных методов и средств оценки состава, структуры и свойств экспериментальных образцов, а также использованием современного специализированного программного комплекса FactSage 8.0. Результаты, полученные в данной работе, соответствуют современным теоретическим представлениям и согласуются с экспериментальными и теоретическими данными, полученными и опубликованными другими авторами.

#### **Научная новизна работы.**

1. Разработаны различные варианты методик синтеза ВЭО со структурой гексаферритов М-типа.
2. Синтезированы образцы новых ВЭО различных составов со структурой гексаферритов М-типа.
3. Получены новые результаты исследования структуры и характеристик ВЭО со структурой гексаферритов М-типа.
4. Предложена термодинамическая модель и определены значения модельных параметров для ВЭО со структурой гексаферритов М-типа.
5. Впервые получены результаты моделирования фазовых равновесий в исследуемых оксидных системах.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Разработанные теоретические основы синтеза ВЭО со структурой гексаферритов М-типа предоставляют возможность как моделирования и предсказания свойств такого рода материалов, так и возможность настройки и варьирования их характеристик. Гексаферриты М-типа широко применяются в качестве магнитных материалов в радиоэлектронике, радиотехнике, вычислительной технике. ВЭО со структурой гексаферритов М-типа предоставляют дополнительные возможности как для расширения диапазона достигаемых функциональных свойств, так и для тонкой настройки на конкретную область применения.

Проведенное термодинамическое описание позволило сформировать в рамках программного комплекса «FactSage (версия 8.0)» пользовательскую базу данных, которая открывает широкие возможности для дальнейших работ по совершенствованию предложенной модели, оптимизации параметров модели и термодинамическому моделированию твердофазного синтеза ВЭО со структурой гексаферритов М-типа, что имеет практический интерес для специалистов, работающих в этой области.

В результате изучения электромагнитных характеристик синтезированных образцов ВЭО со структурой гексаферритов М-типа установлена возможность использования ряда полученных ВЭО со структурой гексаферрита М-типа в качестве магнитомягких материалов, а также в качестве компонента композиционных радиопоглощающих материалов и покрытий на их основе. Установлено, что благодаря электродинамическим параметрам такого рода материалы также могут быть использованы в конструкции ленточных накопителей, СВЧ-устройств.

Кроме того, полученные результаты открывают путь для дальнейших исследований фундаментального и прикладного характера, поскольку подходы, используемые в работе, предусматривают возможность расширения круга возможных компонентов высокоэнтропийных твердых растворов за счёт других элементов.

Материалы диссертации соответствуют паспорту специальности 1.4.4. «Физическая химия»:

п.2. – Экспериментальное определение термодинамических свойств веществ, расчет термодинамических функций простых и сложных систем, в том числе на основе методов статистической термодинамики, изучение термодинамических аспектов фазовых превращений и фазовых переходов.

п. 9. – Связь реакционной способности реагентов с их строением и условиями протекания химической реакции.

п. 12 – Физико-химические основы процессов химической технологии и синтеза новых материалов.

Материалы диссертации полно представлены в работах, опубликованных соискателем.

**Статьи в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России и изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus:**

1. Zaitseva, O.V. The poly-substituted M-type hexaferrite crystals growth / O.V. Zaitseva, D.A. Vinnik, E.A. Trofimov // Materials Science Forum. – 2019. – V. 946. – P. 186–191. (6 с./3 с.)

2. Vinnik, D.A. High-entropy oxide phases with magnetoplumbite structure / D.A. Vinnik, E.A. Trofimov, V.E. Zhivulin, O.V. Zaitseva, S.A. Gudkova, A.Yu. Starikov, D.A. Zherebtsov, A.A. Kirsanova, M. Häßner, R. Niewa // Ceramics International. – 2019. – V. 45. – № 10. – P. 12942–12948. (7 с./2 с.)

3. Vinnik, D.A. Extremely polysubstituted magnetic material based on magnetoplumbite with a hexagonal structure: synthesis, structure, properties, prospects / D.A. Vinnik, V.E. Zhivulin, E.A. Trofimov, A.Yu. Starikov, D.A. Zherebtsov, O.V. Zaitseva, S.A. Gudkova, D.S. Klygach, M.G. Vakhitov, E.E. Sander, D.P. Sherstyuk, A.V. Trukhanov // Nanomaterials. – 2019. – V. 9. – № 4. – Article № 559. (11 с./2 с.)

4. Винник, Д.А. Твердофазный синтез высокоэнтропийных кристаллов со структурой магнетоплюмбита в системе  $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-In}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3\text{-Sr}_2\text{O}_3$  / Д.А. Винник, Е.А. Трофимов, В.Е. Живулин, О.В. Зайцева, А.Ю. Стариков, Т.А. Жильцова, Ю.Д. Савина, С.А. Гудкова, Д.А. Жеребцов, Д.А. Попова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 32–39. (8 с./2 с.)

5. Винник, Д.А. Образование высокоэнтропийных октаэдрических кристаллов в многокомпонентных оксидных системах / Д.А. Винник, Е.А. Трофимов, В.Е. Живулин, О.В. Зайцева, Т.А. Жильцова, Д.В. Репин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 24–31. (8с./2 с.)

6. Zaitseva, O.V. Preparation of poly-substituted crystals with M-type hexaferrite structure using melts of the BaO–PbO–SrO–CaO–ZnO–Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system / O.V. Zaitseva, V.E. Zhivulin, A.S. Chernukha // Solid State Phenomena. – 2020. – V. 299. – P. 275–280. (6 c./3c.)

7. Zaitseva, O.V. The creation of multicomponent octahedral crystals with spinel structure using solid-phase synthesis in the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–BaO–CuO–Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–NiO–SrO–TiO<sub>2</sub>–ZnO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–BaO–CuO–Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–NiO–SrO–TiO<sub>2</sub>–WO<sub>3</sub>–ZnO systems / O.V. Zaitseva, V.E. Zhivulin, D.E. Zhivulin // Materials Science Forum. – 2020. – V. 989. – P. 341–346. (6 c./3 c.)

8. Vinnik, D.A. The new extremely substituted high entropy (Ba,Sr,Ca,La)Fe<sub>6-x</sub>(Al,Ti,Cr,Ga,In,Cu,W)<sub>x</sub>O<sub>19</sub> microcrystals with magnetoplumbite structure / D.A. Vinnik, E.A. Trofimov, V.E. Zhivulin, O.V. Zaitseva, D.A. Zherebtsov, A.Yu. Starikov, D.P. Sherstyuk, S.A. Gudkova, S.V. Taskaev // Ceramics International. – 2020. – V. 46. – № 7. – P. 9656–9660. (5 c./1 c.)

9. Vinnik, D.A. Correlation between entropy state, crystal structure, magnetic and electrical properties in M-type Ba-hexaferrites / D.A. Vinnik, A.V. Trukhanov, F.V. Podgornov, E.A. Trofimov, V.E. Zhivulin, A.Y. Starikov, O.V. Zaitseva, S.A. Gudkova, A.A. Kirsanova, S.V. Taskaev, D.A. Uchaev, S.V. Trukhanov, M.A. Almessiere, Y. Slimani, A. Baykal // Journal of the European Ceramic Society. – 2020. – V. 40. – № 12. – P. 4022–4028. (7 c./1 c.)

10. Zhivulin, V.E. New high-entropy oxide phases with the magnetoplumbite structure / V.E. Zhivulin, E.A. Trofimov, A.Y. Starikov, S.A. Gudkova, A.Y. Punda, D.A. Zherebtsov, O.V. Zaitseva, D.A. Vinnik // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – V. 1014. – № 1. – Article № 012062. (4 c./1 c.)

11. Trukhanov, A.V. Correlation of the Fe content and entropy state in multiple substituted hexagonal ferrites with magnetoplumbite structure / A.V. Trukhanov, D.A. Vinnik, E.A. Trofimov, V.E. Zhivulin, O.V. Zaitseva, S.V. Taskaev, Di Zhou, K.A. Astapovich, S.V. Trukhanov, Yujie Yang // Ceramics International. – 2021. – V. 47. – № 12. – P. 17684–17692. (9 c./1 c.)

12. Зайцева, О.В. Твердофазный синтез высокоэнтропийных кристаллов со структурой гексаферрита М-типа в системах  $Ba(Fe,Mn,Zr,Ga,Al)_{12}O_{19}$ ,  $Ba(Fe,Sn,Zn,Ga,Al)_{12}O_{19}$  и  $(Ba,Sr)(Fe,Ga,In,Al)_{12}O_{19}/B_2O_3$  / О.В. Зайцева, В.Е. Живулин, А.Ю. Пунда, Е.А. Трофимов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». – 2021. – Т. 13, № 3. – С. 70–78. (8 с./4 с.)

13. Zhivulin, V.E. Creation and magnetic study of ferrites with magnetoplumbite structure multisubstituted by  $Al^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ga^{3+}$ , and  $In^{3+}$  cations / V.E. Zhivulin, D.P. Sherstyuk, O.V. Zaitseva, N.A. Cherkasova, D.A. Vinnik, S.V. Taskaev, E.A. Trofimov, S.V. Trukhanov, S.I. Latushka, D.I. Tishkevich, T.I. Zubar, A.V. Trukhanov // Nanomaterials. – 2022. – V. 12. – № 8. – Article № 1306. (18 с./3 с.)

14. Зайцева, О.В. Термодинамическая модель для описания высокоэнтропийных оксидных фаз со структурой гексаферрита М-типа // О.В. Зайцева, Е.А. Трофимов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Химия». – 2022. – Т. 14, № 3. – С. 109–118. (10 с./ 8 с.)

15. Zhivulin, V.E. Effect of configurational entropy on phase formation, structure, and magnetic properties of deeply substituted strontium hexaferrites / V.E. Zhivulin, E.A. Trofimov, O.V. Zaitseva, D.P. Sherstyuk, N.A. Cherkasova, S.V. Taskaev, D.A. Vinnik, Yu.A. Alekhina, N.S. Perov, D.I. Tishkevich, T.I. Zubar, A.V. Trukhanov, S.V. Trukhanov // Ceramics International. – 2022. – V. 49. – № 1. – P. 1069–1084. (6 с./1 с.)

#### **Другие публикации:**

16. Зайцева, О.В. Экспериментальное изучение возможности получения полизамещённых кристаллов со структурой гексаферрита М-типа / О.В. Зайцева, В.Е. Живулин, Д.Е. Живулин, Д.П. Галкина // Компьютерное моделирование физико-химических свойств стекол и расплавов : Труды XIV Российского семинара, Курган, 09–12 октября 2018 года / под общей ред. Б.С. Воронцова. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2018. – С. 39–40. (2 с./1 с.)

17. Галкина, Д.П. Термодинамическая модель для описания полизамещённых кристаллов, имеющих структуру гексаферритов М-типа / Д.П. Галкина, О.В. Зайцева, А.С. Чернуха // Компьютерное моделирование физико-химических свойств стекол и расплавов: Труды XIV Российского семинара, Курган, 09–12 октября 2018 года / под общей ред. Б.С. Воронцова. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2018. – С. 28–29. (2 с./1 с.)

18. Зайцева, О.В. Исследование фазовых равновесий, реализующихся в многокомпонентных системах, имеющих структуру гексаферритов М-типа / О.В. Зайцева // XV Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов». Москва. 16–19 октября 2018 г. / Сборник трудов. – М: ИМЕТ РАН, 2018. – С. 393–395. (3 с./3 с.)

19. Живулин, Д.Е. Анализ возможности экспериментального получения полизамещённых кристаллов со структурой гексаферрита М-типа / Д.Е. Живулин, Д.А. Винник, О.В. Зайцева // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2019. – Т. 7. – № 1. – С. 19–25. (7 с./2 с.)

20. Зайцева, О.В. Экспериментальное изучение возможности получения полизамещённых кристаллов со структурой гексаферрита М-типа в системе  $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-Mn}_2\text{O}_3\text{-NiO-TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  / О.В. Зайцева, В.Е. Живулин, Д.Е. Живулин, Д.П. Галкина, А.С. Чернуха, Ю.Д. Савина, А.Ю. Стариков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 36–43. (8 с./3 с.)

21. Zaitseva, O.V. Modeling of thermodynamic characteristics for polysubstituted crystals with a M-type hexaferrites structure / O.V. Zaitseva, D.E. Zhivulin, A.S. Chernukha, D.P. Galkina, E.R. Vakhitova // XXII International Conference on Chemical Thermodynamics in Russia, RCCT-2019 June 19–23, 2019, St.Petersburg, Russia: Abstracts. – St.Petersburg: Petropolis PH. Ltd, 2019. – P. 152. (1 с./0,5 с.)

22. Зайцева, О.В. Экспериментальное получение поликомпонентных кристаллов со структурой гексаферрита М-типа / О.В. Зайцева, Д.Е. Живулин,



Д.П. Галкина // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2020. – Т. 8. – № 1. – С. 44–49. (6 с./3 с.)

23. Живулин, В.Е. Создание высокоэнтропийных оксидных фаз со структурой магнетоплюмбита / В.Е. Живулин, Е.А. Трофимов, А.Ю. Стариков, С.А. Гудкова, Д.А. Жеребцов, О.В. Зайцева, Д.А. Винник // *Получение, структура и свойства высокоэнтропийных материалов: Тезисы международной конференции и школы молодых ученых, Белгород, 14–16 октября 2020 года / под ред. Г.А. Салищева, М.С. Тихоновой, Е.А. Поволяевой*. – Белгород: ООО «Эпицентр», 2020. – С. 49. (1 с./0,5 с.)

24. Zaitseva, O.V. The using Zr, Sn, Zn as new components of the high-entropy phase with the M-type hexaferrite structure / O.V. Zaitseva, V.E. Zhivulin, A.Y. Punda, E.A. Trofimov // *Synthesis, structure, and properties of high-entropy materials: Abstracts of the III International Conference and School of Young Scientists Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russia, October 11–15, 2021) / ed. G.A. Salishchev, M.S. Tikhonova, E.A. Povolyaeva*. – Belgorod: LLC "Epicenter". – 2021. – P. 98–99. (2 с./1 с.)

25. Zaitseva, O.V. Thermodynamic description of high-entropy oxide phases with the M-type hexaferrite structure / O.V. Zaitseva, E.A. Trofimov // *XXIII International Conference on Chemical Thermodynamics in Russia, RCCT-2022 August 22–26, 2022, Kazan, Russia: Abstracts*. – Kazan, 2022. – P. 221. (1 с./0,5 с.)

26. Trofimov, E.A. New high-entropy oxide phases with magnetoplumbite structure / E.A. Trofimov, O.V. Zaitseva, V.E. Zhivulin, N.A. Cherkasova, D.P. Sherstyuk, S.A. Gudkova, D.A. Zherebtsov, A.A. Myasnikova, A.Yu. Starikov, D.A. Vinnik // *Advanced high entropy materials: Abstracts of the IV International Conference and School of Young Scientists "Advanced High Entropy Materials" Merzhanov Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science, Russian Academy of Science (Chernogolovka, Russia, September 26–30, 2022) / ed. G.A. Salishchev, M.S. Tikhonova, E.A. Povolyaeva*. – Belgorod: LLC "Epicenter". – 2022. – P. 144. (1 с./0,5 с.)

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования.

Диссертация «Составы, свойства и термодинамическое описание высокоэнтропийных оксидов со структурой гексаферритов М-типа» Зайцевой Ольги Владимировны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4 «Физическая химия».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры материаловедения и физико-химии материалов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

**ПРИСУТСТВОВАЛИ:** Винник Д.А., д.х.н., зав. кафедрой; Рущиц С.В., д.ф.-м.н., профессор; Кузнецов Ю.С., к.т.н., профессор; Трофимов Е.А., д.х.н., профессор; Жеребцов Д.А., д.х.н., старший научный сотрудник; Рысс Г.М., к.х.н., доцент; Жихарев В.М., к.т.н., доцент; Живулин В.Е., к.ф.-м.н., доцент; Самойлова О.В., к.х.н., старший научный сотрудник; Живулин Д.Е., старший преподаватель; Шерстюк Д.П., аспирант, преподаватель; Павлова К.П., аспирант, преподаватель; Стариков А.Ю., аспирант, преподаватель; Пунда А.Ю., аспирант, инженер.

**ПРИГЛАШЕНЫ:** Авдин В.В., д.х.н., зав. кафедрой экологии и химической технологии; Шарутин В.В., д.х.н., главный научный сотрудник УНИД; Бескачко В.П., д.ф.-м.н., профессор кафедры физики наноразмерных систем; Сенчурин В.С., д.х.н., профессор кафедры теоретической и прикладной химии; Созыкин С.А., к.ф.-м.н., доцент кафедры физики наноразмерных систем; Юшина И.Д., к.х.н., научный сотрудник НИЛ «Многомасштабное моделирование многокомпонентных функциональных

материалов»; Зыкова А.Р., к.х.н., инженер НИИ перспективных материалов и технологии ресурсосбережения; Корина Е.А., PhD, старший научный сотрудник НОЦ «Нанотехнологии»; Собалев С.А., младший научный сотрудник НИЛ «Многомасштабное моделирование многокомпонентных функциональных материалов»; Литвинюк К.С., инженер НИЛ «Высокоэнтропийные материалы»; Осипов А.А., инженер УНИД; Зирник Г.М., инженер НИИ перспективных материалов и технологии ресурсосбережения; Найферт С.А., младший научный сотрудник Лаборатории кристаллохимического дизайна функциональных материалов; Решетникова Р.В., аспирант, лаборант НИЛ «Многомасштабное моделирование многокомпонентных функциональных материалов»; Солизода И.А., аспирант; Черкасова Н.А., лаборант НИИ перспективных материалов и технологии ресурсосбережения.

Результаты голосования: «за» – 30 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол от «22» марта 2023 г., №7.

Доктор химических наук, доцент,  
заведующий кафедрой материаловедения  
и физико-химии материалов  
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»



Д.А. Винник

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76  
Тел./факс: +7 (351) 267-99-00, E-mail: [info@susu.ru](mailto:info@susu.ru), <http://www.susu.ru>

