

## ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ/PHYSICS OF MAGNETIC PHENOMENA

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.40>

### МАГНИТНАЯ ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА МОНОКРИСТАЛЛА ГЕКСАФЕРРИТА БАРИЯ ТИПА-М- $\text{BaFe}_8\text{Co}_2\text{Ti}_2\text{O}_{19}$ (НА ОСНОВЕ НЕЙТРОНОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА)

Научная статья

Садыков Р.А.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-3986-0994;

<sup>1</sup> Институт Ядерных Исследований Российской Академии Наук, Троицк, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (rsadykov[at]inr.ru)

#### Аннотация

Проведены нейtronографические исследования простой спиральной магнитной структуры (SS) соединения  $\text{BaFe}_8\text{Co}_2\text{Ti}_2\text{O}_{19}$  с гексагональной кристаллической структурой типа-М в широком интервале температур и в горизонтальных магнитных полях, перпендикулярных базисной плоскости образца (параллельно оси С). Получен переход спираль-коллинеарный антиферромагнетик в магнитном поле 1,8Т и температуре 120К. Построена магнитная фазовая диаграмма (Н,Т). Используется методика обдува с применением электромагнита и двухкоординатного детектора, которая может быть, в ряде нейtronографических экспериментов, более простой и экономичной по сравнению с применением криомагнитов, к примеру, для исследования нейtronных многослойных зеркал и малоуглового рассеяния нейtronов. Также весьма возможно и применение криостатов с хвостовиком малого диаметра (10–15мм) совместно с электромагнитом в случае необходимости исследований при более низких температур и малоуглового рассеяния нейtronов.

**Ключевые слова:** Гексаферрит типа М, монокристалл, нейtronная дифракция, электромагнит, магнитная спираль, метод обдува, газ азот.

### MAGNETIC PHASE DIAGRAM OF BARIUM HEXAFERRITE SINGLE CRYSTAL OF BARIUM HEXAFERRITE TYPE-M- $\text{BaFe}_8\text{Co}_2\text{Ti}_2\text{O}_{19}$ (BASED ON NEUTRONOGRAPHIC ANALYSIS)

Research article

Sadikov R.A.<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-3986-0994;

<sup>1</sup> Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Troitsk, Russian Federation

\* Corresponding author (rsadykov[at]inr.ru)

#### Abstract

Neutronographic studies of the simple spiral magnetic structure (SS) of  $\text{BaFe}_8\text{Co}_2\text{Ti}_2\text{O}_{19}$  with hexagonal crystal structure of type-M in a wide temperature range and in horizontal magnetic fields perpendicular to the basic plane of the sample (parallel to the С axis) have been carried out. A helix-collinear antiferromagnetic transition was obtained in a magnetic field of 1.8T and a temperature of 120K. The magnetic phase diagram (H,T) is constructed. The technique of blow-off with an electromagnet and a two-coordinate detector is used, which can be, in a number of neutronographic experiments, simpler and more economical than the use of cryomagnets, for example, for the study of neutron multilayer mirrors and small-angle neutron scattering. It is also very possible to use cryostats with a small diameter shank (10–15 mm) together with an electromagnet in case of the need for studies at lower temperatures and small-angle neutron scattering.

**Keywords:** M-type hexaferrite, single crystal, neutron diffraction, electromagnet, magnetic spiral, blow-off method, nitrogen gas.

#### Введение

Гексаферриты типа М продолжают вызывать научный и практический интерес [1], [2], [3]. Имеется ряд работ в которых проведены нейtronографические измерения порошковых образцов замещенных гексаферритов [4], [5], [6] и методом дифракции X-ray исследована кристаллическая структура ряда составов порошковых образцов методами мёссбауэровской спектроскопии, магнитометрии и рентгенографии [7], [8], [9].

В статье [10] порошки получены методом гидротермального синтеза.

Нужно отметить, что нами исследован именно монокристалл  $\text{BaFe}_8\text{Co}_2\text{Ti}_2\text{O}_{19}$  в отличии порошковых образцов. Данные о магнетизме в монокристаллах более информативны. Ориентация магнитного момента зависит от направления внешнего магнитного поля по отношению к кристаллографическим осям, которые в монокристалле заранее известны. В порошках происходит неоднозначность, связанная с однородным распределением ориентации зерен порошка.

Ранее нами были проведены нейtronографические исследования магнитных состояний, включая магнитные спиральные структуры и коллинеарные антиферромагнитные, монокристаллов системы  $\text{BaCo}_x\text{Ti}_x\text{Fe}_{12-x}\text{O}_{19}$  составов ( $0 < x < 6$ ) и построена диаграмма в координатах (Т, X)-температура-состав [11]. Данная система исследована с полным замещением ионов железа- $\text{Fe}_3^+$  на пару ( $\text{Co}_2^{++}\text{Ti}_4^+$ ).

## Основные результаты и обсуждение

В данной работе представлена магнитная фазовая диаграмма монокристалла  $\text{BaFe}_8\text{Co}_2\text{Ti}_2\text{O}_{19}$  с гексагональной структурой типа M в горизонтальных магнитных полях перпендикулярных базисной плоскости образца (параллельно оси C) и широком интервале температур. Проведены нейтронографические исследования спиральной магнитной структуры монокристалла соединения  $\text{BaFe}_8\text{Co}_2\text{Ti}_2\text{O}_{19}$  в магнитных полях до 1,8Т (18кэ) с использованием электромагнита с горизонтальными полюсами [12] и температур 120К и выше.

Монокристалл имел вид шестигранной призмы, высотой до 3мм с хорошо выраженным базисными гранями {0001}.

Базисная плоскость монокристалла была ориентирована параллельно плоскости полюсов электромагнита и соответственно ось C вдоль магнитного поля и под углом к падающему пучку нейтронов в опции  $\Theta$ -2 $\Theta$ . Соответственно вектор спирали направлен вдоль магнитного поля.

На рис. 1 показаны узлы обратной решетки и сателлитов магнитной спирали вдоль оси C гексагональной кристаллической структуры гексаферрита типа M.

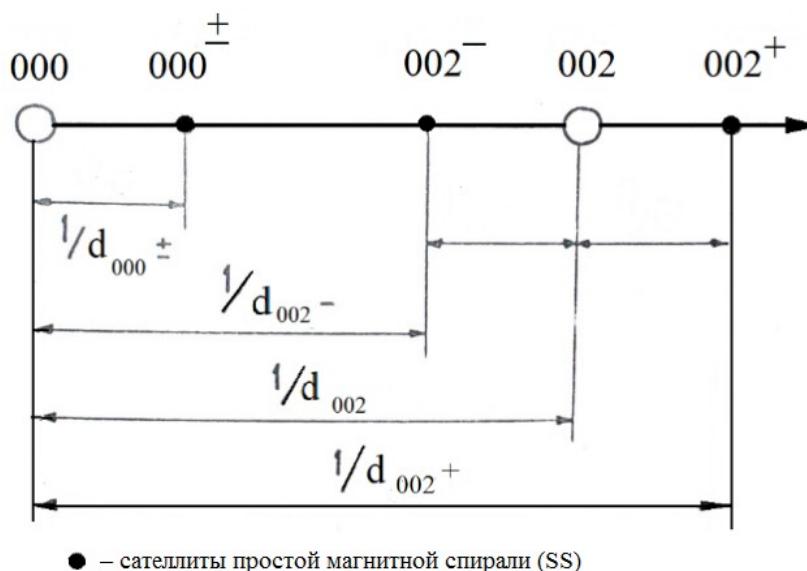


Рисунок 1 - Обратная решетка – ребро (001), где О-ядерные отражения гексагональной кристаллической структуры импа M

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.40.1>

На рис. 2. показаны нейтронограммы монокристалла  $\text{BaFe}_8\text{Co}_2\text{Ti}_2\text{O}_{19}$  от базисной плоскости гексагональной структуры при низкой температуре 180К (без внешнего магнитного поля) в диапазоне углов рассеяния нейтронов (опция  $\Theta$ -2 $\Theta$ ). Сателлиты (заштрихованы) простой спиральной магнитной структуры с периодом  $\lambda_S = 40\text{ \AA}$ . Далее показаны изменения положения сателлитов (заштрихованы) простой спиральной магнитной структуры от внешнего магнитного поля (H) при T=120К. Показаны индексы hkl кристаллической и спиральной (SS) структур.

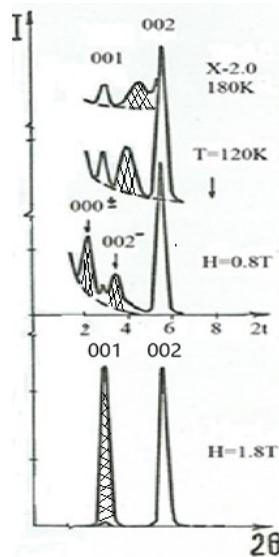


Рисунок 2 - Нейтронограммы монокристалла  $\text{BaFe}_8\text{Co}_2\text{Ti}_2\text{O}_{19}$  в зависимости от температуры ( $T$ ) и внешнего магнитного поля ( $H$ )

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.40.2>

Зависимость периода спирали от внешнего магнитного поля при температуре 120К представлена на рис. 3. Видно, что 1,8Т период равен постоянной решетки, т.е. магнитная структура становится коллинеарный антиферромагнетик-*CAF*.

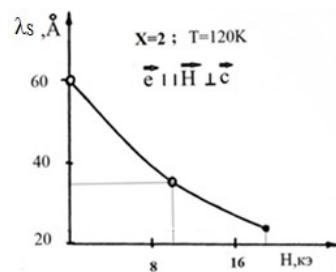


Рисунок 3 - Зависимость периода спирали в магнитных полях монокристалла состава  $x=2,0$  и  $T=120\text{K}$

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.40.3>

Примечание: линия проведена на глаз

Нейтронографические исследования в горизонтальном магнитном поле, создаваемым электромагнитом, проводились на монокристалле  $\text{BaFe}_8\text{Co}_2\text{Ti}_2\text{O}_{19}$ , а охлаждение образца проводилось методом обдува газом азота, показанном на рис. 4. Метод обдува монокристаллов успешно применяется и в рентгенографии для лучшего соотношения эффект-фон (усиление брэгговских пиков) из-за уменьшения термодиффузного рассеяния.

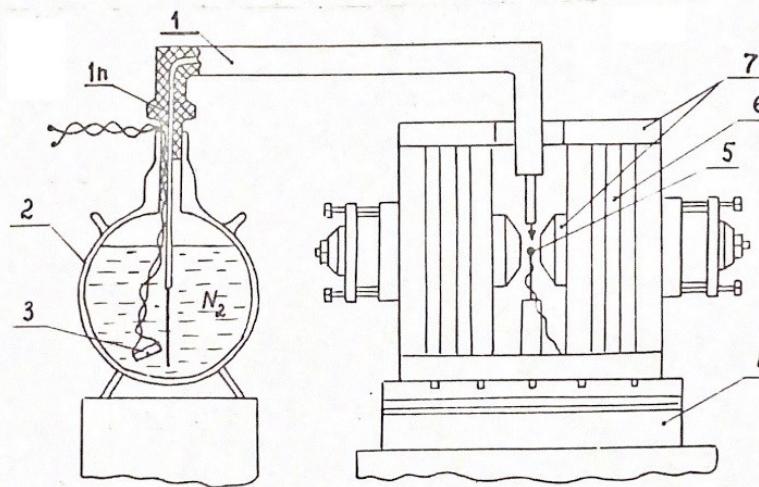


Рисунок 4 - Метод обдува монокристаллов газом азота

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.40.4>

**Примечание:** 1 – азотная переливка; 1n – тонкостенная нержавеющая трубка; 2 – азотный дьюар с жидким азотом; 3 – нагреватель азота-простое керамическое сопротивление; 4 – высокоточный стол нейтронного дифрактометра, вращающийся с электромагнитом и образцом в опции  $\Theta$ - $2\Theta$ , синхронно с детектором; 5 – образец монокристалл и термопара; 6 – катушки электромагнита; 7 – стальное ярмо и полюса электромагнита

Ранее для ориентации вектора спирали вдоль магнитного поля, при исследовании MnSi был также использован криостат с горизонтальным магнитным полем [13].

Нужно отметить, что методика обдува с применением электромагнита и двухкоординатного детектора может быть, в ряде нейтронографических экспериментов, более простой и экономичной по сравнению с применением криостатов, к примеру, для исследования нейтронных многослойных зеркал и малоуглового рассеяния нейтронов. Также весьма возможно и применение криостатов с хвостовиком малого диаметра (10-15мм) совместно с фэлектромагнитом в случае необходимости исследований при более низких температур и малоуглового рассеяния нейтронов. На малых углах рассеяния нейтронов от сплавов (преимущественно алюминиевые сплавы, но в ряде случаев возможно и применение нержавеющих немагнитных сплавов) из которых изготавливают хвостовик — узкую часть криостатов находящихся на пути падающего и рассеянных пучков нейтронов практически не имеют дифракционных пиков. Так же для небольших внешних магнитных полей (до 1-1.5 Т) можно использовать постоянные магниты расстояние между которыми можно изменять дистанционно электродвигателем [14], а также поворачивать электромагнит (постоянный магнит) в любых углах отклоняясь от горизонтальной плоскости. В случае применения сверхпроводящих магнитов углы невелики. Применение постоянных магнитов обеспечивает большую стабильность магнитного поля, так как нет зависимости от нестабильности электрического тока как в случае электромагнита.

### Заключение

В нашем случае получено, что для образца  $\text{BaFe}_8\text{Co}_2\text{Ti}_2\text{O}_{19}$ , в зависимости от величины внешнего магнитного поля, приложенного вдоль гексагональной оси С (перпендикулярно базисной плоскости образца), происходит переход от магнитной простой спиральной структуры — SS (в базисе) в коллинеарную антиферромагнитную структуру (CAF) также в базисе. Данная магнитная фазовая диаграмма в координатах (Н, Т) представлена на рис. 5.

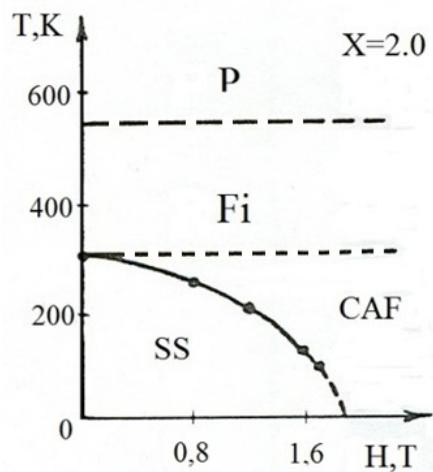


Рисунок 5 - Магнитная фазовая диаграмма для образца  $\text{BaFe}_8\text{Co}_2\text{Ti}_2\text{O}_{19}$   
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.40.5>

Примечание:  $P$  – парамагнетик,  $Fi$  – ферримагнетик,  $SS$  – простая спираль и  $CAF$  – коллинеарный антиферромагнетик

Таким образом, область существования спиральной структуры чувствительна к внешнему магнитному полю и ограничена до  $H=1.8\text{ Т}$ .

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Балбашов А.М. Магнитные и магнитоэлектрические свойства замещенных гексаферритов М-типа  $\text{TS}_{\text{C}}\text{xFe}_{12-\text{x}}\text{O}_{19}$  ( $\text{T} = \text{Ba, Sr}$ ) / А.М. Балбашов, В.Ю. Иванов, А.А. Мухин [и др.] // Письма в ЖЭТФ. — 2015. — Т. 101, вып. 7. — С. 542–549. — DOI: 10.1134/S0370274X15070028.
2. Singh V.P. A Current Review on the Synthesis and Magnetic Properties of M-Type Hexaferrites Material / V.P. Singh, R. Jasrotia, R. Kumar [et al.] // World Journal of Condensed Matter Physics. — 2018. — Vol. 8. — P. 36–61. — DOI: 10.4236/wjcmp.2018.81004.
3. Иванов В.Ю. Магнитные и магнитоэлектрические свойства замещенных гексаферритов М-типа  $\text{Sr}_{\text{C}}\text{xFe}_{12-\text{x}}\text{O}_{19}$  / В.Ю. Иванов, А.М. Балбашов, А.А. Мухин [и др.] // ЖЭТФ. — 2017. — Т. 151, вып. 4. — С. 709–717. — DOI: 10.7868/S0044451017040103.
4. Труханов С.В. Существование спонтанных поляризации и намагниченности в замещенных гексаферритах М-типа  $\text{BaFe}_{12-\text{x}}\text{Al}_{\text{x}}\text{O}_{19}$  ( $\text{x} \leq 1.2$ ) при комнатной температуре / С.В. Труханов, А.В. Труханов, В.Г. Костишин [и др.] // Письма в ЖЭТФ. — 2016. — Т. 103, вып. 2. — С. 106–112. — DOI: 10.7868/S0370274X16020090.
5. Турченко В.А. Уточнение атомной и магнитной структуры твердых растворов  $\text{BaFe}_{12-\text{x}}\text{In}_{\text{x}}\text{O}_{19}$  ( $\text{x} = 0.1\text{--}1.2$ ) методом дифракции нейтронов / В.А. Турченко, А.М. Балагуров, С.В. Труханов [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. — 2019. — № 2. — С. 3–15. — DOI: 10.1134/S0207352819020154.
6. Труханов А.В. Мультиферроидные свойства и структурные особенности Al-замещенных гексаферритов бария М-типа / А.В. Труханов, С.В. Труханов, В.Г. Костишин [и др.] // Физика твердого тела. — 2017. — Т. 59, № 4. — С. 721–728. — DOI: 10.21883/FTT.2017.04.44274.328.
7. Костишин В.Г. Особенности катионного распределения и магнитных свойств гексаферритов  $\text{BaFe}_{12-\text{x}}\text{Y}_{\text{x}}\text{O}_{19}$  / В.Г. Костишин, В.В. Коровушкин, И.М. Исаев [и др.] // Физика твердого тела. — 2021. — Т. 63, вып. 2. — С. 229–236. — DOI: 10.21883/FTT.2021.02.50785.399.
8. Коровушкин В.В. Корреляция химического состава, особенностей кристаллической структуры и магнитных свойств гексагонального феррита бария с гетеровалентным замещением  $\text{Zn}^{2+}$  / В.В. Коровушкин, А.В. Труханов, В.Г. Костишин [и др.] // Неорганические материалы. — 2020. — Т. 56, № 7. — С. 746–754. — DOI: 10.1134/S0002337X20070058.

9. Труханов А.В. Кристаллическая структура, магнитные и микроволновые свойства твердых растворов BaFe<sub>12-x</sub>GaxO<sub>19</sub> (0.1≤x≤1.2) / А.В. Труханов, С.В. Труханов, В.А. Турченко [и др.] // Физика твердого тела. — 2016. — Т. 58, вып. 9. — С. 1733–1738. — DOI: 10.21883/FTT.2016.09.20169.160.
10. Миронович А.Ю. Исследование магнитных и структурных свойств ферритов BaFe<sub>12-x</sub>CuxO<sub>19</sub>, полученных методом гидротермального синтеза / А.Ю. Миронович, В.Г. Костишин, Х. Аль-Хафаджи [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2024. — Т. 90, № 9. — С. 39–47. — DOI: 10.26896/1028-6861-2024-90-9-39-47.
11. Садыков Р.А. Нейтронография магнитной спирали монокристалла гексаферрита BaCo<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>Fe<sub>8</sub>O<sub>19</sub> типа М в сильном магнитном поле / Р.А. Садыков // Первый Курчатовский форум синхротронно-нейтронных исследований (Курчатов ФСНИ 2023): сборник тезисов. — 2023. — С. 173. — URL: [https://api.kcsni-service.ru/media/rsini/Тезисы\\_ФСНИ\\_2023.pdf](https://api.kcsni-service.ru/media/rsini/Тезисы_ФСНИ_2023.pdf) (дата обращения: 01.07.2024).
12. Fåk B. Pressure dependence of the magnetic structure of the itinerant electron magnet MnSi / B. Fåk, R.A. Sadykov, J. Flouquet [et al.] // Journal of Physics: Condensed Matter. — 2005. — Vol. 17, № 10. — P. 1635–1644. — DOI: 10.1088/0953-8984/17/10/018.
13. Литвин В.С. Аппаратура для внешнего воздействия на образец: камеры высокого давления, магниты и криостаты / В.С. Литвин, Д.Н. Трунов, Р.А. Садыков [и др.] // Курчатовский форум синхротронно-нейтронных исследований (Курчатов ФСНЭ 2024): сборник тезисов. — 2024. — С. 169. — URL: [https://api.kcsni-service.ru/media/rsini/Тезисы\\_ФСНЭ\\_2024.pdf](https://api.kcsni-service.ru/media/rsini/Тезисы_ФСНЭ_2024.pdf) (дата обращения: 01.07.2024).
14. Садыков Р.А. Эффект «расщепления» магнитной спирали в гексагональных соединениях BaCoxTixFe<sub>12-2x</sub>O<sub>19</sub> типа М / Р.А. Садыков, О.П. Алешко-Ожевский, Н.А. Артемьев // ФТГ. — 1981. — Т. 23, № 6. — С. 1865–1867.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Balbashov A.M. Magnitnye i magnitoelektricheskie svojstva zameshhennyh geksaferritov M-tipa TScxFe<sub>12-x</sub>O<sub>19</sub> (T = Ba, Sr) [Magnetic and magnetoelectric properties of substituted M-type hexaferrites TScxFe<sub>12-x</sub>O<sub>19</sub> (T = Ba, Sr)] / A.M. Balbashov, V.Yu. Ivanov, A.A. Mukhin [et al.] // Pis'ma v ZhETF [JETP Letters]. — 2015. — Vol. 101, № 7. — P. 542–549. — DOI: 10.1134/S0370274X15070028. [in Russian]
2. Singh V.P. A Current Review on the Synthesis and Magnetic Properties of M-Type Hexaferrites Material / V.P. Singh, R. Jasrotia, R. Kumar [et al.] // World Journal of Condensed Matter Physics. — 2018. — Vol. 8. — P. 36–61. — DOI: 10.4236/wjcmp.2018.81004.
3. Ivanov V.Yu. Magnitnye i magnitoelektricheskie svojstva zameshhennyh geksaferritov M-tipa SrScxFe<sub>12-x</sub>O<sub>19</sub> [Magnetic and magnetoelectric properties of substituted M-type hexaferrites SrScxFe<sub>12-x</sub>O<sub>19</sub>] / V.Yu. Ivanov, A.M. Balbashov, A.A. Mukhin [et al.] // ZhETF [Journal of Experimental and Theoretical Physics]. — 2017. — Vol. 151, № 4. — P. 709–717. — DOI: 10.7868/S0044451017040103. [in Russian]
4. Trukhanov S.V. Sosushchestvovanie spontannyh poljarizacii i namagnichennosti v zameshhennyh geksaferritah M-tipa BaFe<sub>12-x</sub>AlxO<sub>19</sub> (x≤1.2) pri komnatnoj temperaturе [Coexistence of spontaneous polarization and magnetization in substituted M-type hexaferrites BaFe<sub>12-x</sub>AlxO<sub>19</sub> (x≤1.2) at room temperature] / S.V. Trukhanov, A.V. Trukhanov, V.G. Kostishin [et al.] // Pis'ma v ZhETF [JETP Letters]. — 2016. — Vol. 103, № 2. — P. 106–112. — DOI: 10.7868/S0370274X16020090. [in Russian]
5. Turchenko V.A. Utochnenie atomnoj i magnitnoj struktury tverdyh rastvorov BaFe<sub>12-x</sub>InxO<sub>19</sub> (x = 0.1-1.2) metodom difrakcii nejtronov [Refinement of the atomic and magnetic structure of BaFe<sub>12-x</sub>InxO<sub>19</sub> (x = 0.1-1.2) solid solutions by neutron diffraction] / V.A. Turchenko, A.M. Balagurov, S.V. Trukhanov [et al.] // Poverhnost'. Rentgenovskie, sinhrotronnye i nejtronnye issledovaniya [Surface. X-ray, Synchrotron and Neutron Research]. — 2019. — № 2. — P. 3–15. — DOI: 10.1134/S0207352819020154. [in Russian]
6. Trukhanov A.V. Mul'tiferroidnye svojstva i strukturnye osobennosti Al-zameshhennyh geksaferritov barija M-tipa [Multiferroic properties and structural features of Al-substituted barium M-type hexaferrites] / A.V. Trukhanov, S.V. Trukhanov, V.G. Kostishin [et al.] // Fizika tverdogo tela [Physics of the Solid State]. — 2017. — Vol. 59, № 4. — P. 721–728. — DOI: 10.21883/FTT.2017.04.44274.328. [in Russian]
7. Kostishin V.G. Osobennosti kationnogo raspredelenija i magnitnyh svojstv geksaferritov BaFe<sub>12-x</sub>YxO<sub>19</sub> [Features of cation distribution and magnetic properties of BaFe<sub>12-x</sub>YxO<sub>19</sub> hexaferrites] / V.G. Kostishin, V.V. Korovushkin, I.M. Isaev [et al.] // Fizika tverdogo tela [Physics of the Solid State]. — 2021. — Vol. 63, № 2. — P. 229–236. — DOI: 10.21883/FTT.2021.02.50785.399. [in Russian]
8. Korovushkin V.V. Korreljacija himicheskogo sostava, osobennostej kristallicheskoy struktury i magnitnyh svojstv geksagonal'nogo ferrita barija s geterovalentnym zameshheniem Zn<sup>2+</sup> [Correlation of chemical composition, crystal structure features and magnetic properties of barium hexaferrite with heterovalent Zn<sup>2+</sup> substitution] / V.V. Korovushkin, A.V. Trukhanov, V.G. Kostishin [et al.] // Neorganicheskie materialy [Inorganic Materials]. — 2020. — Vol. 56, № 7. — P. 746–754. — DOI: 10.1134/S00022337X20070058. [in Russian]
9. Trukhanov A.V. Kristallicheskaja struktura, magnitnye i mikrovолнovye svojstva tverdyh rastvorov BaFe<sub>12-x</sub>GaxO<sub>19</sub> (0.1≤x≤1.2) [Crystal structure, magnetic and microwave properties of BaFe<sub>12-x</sub>GaxO<sub>19</sub> (0.1≤x≤1.2) solid solutions] / A.V. Trukhanov, S.V. Trukhanov, V.A. Turchenko [et al.] // Fizika tverdogo tela [Physics of the Solid State]. — 2016. — Vol. 58, № 9. — P. 1733–1738. — DOI: 10.21883/FTT.2016.09.20169.160. [in Russian]
10. Mironovich A.Yu. Issledovanie magnitnyh i strukturnyh svojstv ferritov BaFe<sub>12-x</sub>CuxO<sub>19</sub>, poluchennyh metodom gidrotermal'nogo sinteza [Study of magnetic and structural properties of BaFe<sub>12-x</sub>CuxO<sub>19</sub> ferrites obtained by hydrothermal synthesis] / A.Yu. Mironovich, V.G. Kostishin, Kh. Al'-Khafadzhi [et al.] // Zavodskaja laboratoriya. Diagnostika materialov

[Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials]. — 2024. — Vol. 90, № 9. — P. 39–47. — DOI: 10.26896/1028-6861-2024-90-9-39-47. [in Russian]

11. Sadykov R.A. Nejtrinografija magnitnoj spirali monokristalla geksaferrita  $\text{BaCo}_2\text{Ti}_2\text{Fe}_8\text{O}_{19}$  tipa M v sil'nom magnitnom pole [Neutronography of the magnetic spiral of a  $\text{BaCo}_2\text{Ti}_2\text{Fe}_8\text{O}_{19}$  M-type hexaferrite single crystal in a strong magnetic field] / R.A. Sadykov // Pervyj Kurchatovskij forum sinhrotronno-nejtronnyh issledovanij (Kurchatov FSNI 2023): sbornik tezisov [1st Kurchatov Forum on Synchrotron and Neutron Research (Kurchatov SNSR 2023): Abstracts]. — 2023. — P. 173. — URL: [https://api.kcsni-service.ru/media/rsini/Тезисы\\_ФСНИ\\_2023.pdf](https://api.kcsni-service.ru/media/rsini/Тезисы_ФСНИ_2023.pdf) (accessed: 01.07.2024). [in Russian]

12. Fåk B. Pressure dependence of the magnetic structure of the itinerant electron magnet MnSi / B. Fåk, R.A. Sadykov, J. Flouquet [et al.] // Journal of Physics: Condensed Matter. — 2005. — Vol. 17, № 10. — P. 1635–1644. — DOI: 10.1088/0953-8984/17/10/018.

13. Litvin V.S. Apparatura dlja vneshnego vozdejstvija na obrazec: kamery vysokogo davlenija, magnity i kriostaty [Equipment for external influence on the sample: high-pressure chambers, magnets and cryostats] / V.S. Litvin, D.N. Trunov, R.A. Sadykov [et al.] // Kurchatovskij forum sinhrotronno-nejtronnyh issledovanij (Kurchatov FSNJe 2024): sbornik tezisov [Kurchatov Forum on Synchrotron and Neutron Research (Kurchatov SNSR 2024): Abstracts]. — 2024. — P. 169. — URL: [https://api.kcsni-service.ru/media/rsini/Тезисы\\_ФСНЭ\\_2024.pdf](https://api.kcsni-service.ru/media/rsini/Тезисы_ФСНЭ_2024.pdf) (accessed: 01.07.2024). [in Russian]

14. Sadykov R.A. Jeffekt «rasshheplenija» magnitnoj spirali v geksagonal'nyh soedinenijah  $\text{BaCoxTixFe}_{12-2x}\text{O}_{19}$  tipa M ["Splitting" effect of the magnetic spiral in hexagonal  $\text{BaCoxTixFe}_{12-2x}\text{O}_{19}$  M-type compounds] / R.A. Sadykov, O.P. Aleshko-Ozhevskij, N.A. Artem'ev // FTT [Physics of the Solid State]. — 1981. — Vol. 23, № 6. — P. 1865–1867. [in Russian]