Утверждаю
Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института металлургии и
материаловедения им. А.А. Байкова
Российской академии наук,
член-корреспондент РАН
В.С. Комлев

Подпись
«01» декабря 2025 года

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук на диссертационную работу Баженовой Ирины Александровны «Фазовые равновесия и термодинамические свойства фаз в системах, образованных Fe, Co и RE (RE = Sm, Tb, Ho)», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. – Физическая химия (Химические науки).

Диссертационная работа Баженовой Ирины Александровны посвящена экспериментальному исследованию фазовых равновесий и термодинамических свойств фаз в системах переходных (ПМ, Me) и редкоземельных (РЗМ, RE) металлов, а также определению стандартных энтальпий образования интерметаллидов.

Актуальность диссертационной работы Баженовой ИА обусловлена необходимостью наличия достоверных структурных и физико-химических свойств магнитных материалов для определения их оптимального состава и разработки технологии производства.

Новизна работы заключается в том, что в результате проведенных исследований экспериментально изучены фазовые равновесия в системах Tb-Co, Sm-Fe, Sm-Co, Ho-Fe, Sm-Fe-Co и Tb-Fe-Co, что позволило уточнить и дополнить сведения о диаграммах состояний этих систем. В частности в работе впервые экспериментально во всем диапазоне концентраций исследованы диаграммы состояний Tb-Co, Tb-Fe-Co, определены фазовые

равновесия в области с высоким содержанием самария в системе Sm-Fe. Выполнены высокоточные измерения, позволившие определить энтальпии образования ранее неисследованных интерметаллидов $Ho_{1.88}Co_{17.12}$, $Er_{1.75}Co_{17.25}$, Tb_2Co_7 и $HoFe_3$ и проанализировать характер изменений тепловых эффектов в ряду РЗМ.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что в ней получен массив экспериментальных данных (параметров фазовых превращений, условий фазовых равновесий и термодинамических свойств интерметаллидов в системах Sm-Fe-Co, Tb-Fe-Co, а также некоторых образующих их подсистемах), необходимый для оценки условий получения и прогноза стабильности металлических сплавов заданного состава и структуры. Совокупность полученных данных позволяет выбрать оптимальное содержание основных и легирующих компонентов и условия термообработки материалов, предложить методы синтеза однофазных поликристаллических и монокристаллических материалов. Значимость результатов исследования для фундаментальной науки определяется тем, что полученные сведения о термодинамических свойствах интерметаллидов и диаграммах состояний двух- и трехкомпонентных металлических систем являются неотъемлемой частью теоретического фундамента разработки новых конструкционных и функциональных материалов с заданным комплексом функциональных свойств. Они необходимы как для оптимизации условий получения бинарных или тройных сплавов на основе Fe, Co, Sm, Tb и Ho, так и при поиске новых областей применения материалов на их основе.

Структура и общая характеристика работы. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, обсуждения результатов, выводов, списка литературы и трех приложений. Основной материал диссертационной работы изложен на 107 страницах, результаты работы продемонстрированы 41 рисунками и 14 таблицами. Список литературы включает 104 наименований. В приложении 1 представлены результаты определения фазового состава литых и отожжённых образцов, кристаллической структуры и химического состава фаз сплавов в системах Tb-Co и Tb-Fe-Co. В приложении 2 представлены результаты определения фазового состава литых и отожжённых образцов, кристаллической структуры и химического состава фаз сплавов в системах Sm-Co и Sm-Fe-Co. В приложении 3 представлены результаты определения фазового состава литых образцов и температуры фазовых превращений в системе Ho-Fe.

Во **Введении** рассмотрены актуальность исследования, практическая и теоретическая значимость, новизна, перечислены объекты исследования, а также сформулированы цели и задачи.

В первой главе проведен анализ литературы по фазовым равновесиям и термодинамическим свойствам фаз в системах Ho-Fe, Sm-Fe-Co и Tb-Fe-Co, а также в ограничивающих бинарных подсистемах. В выводах к обзору литературы приведено обоснование выбора объектов исследования.

Во второй главе подробно описаны методики исследования фазовых равновесий и определения термодинамических свойств исследуемых материалов.

В третьей главе представлены результаты исследования фазовых равновесий в широкой области концентраций и температур в бинарных системах Tb-Co, Sm-Co, Sm-Fe, Ho-Fe, а также в тройных системах Tb-Co-Fe и Sm-Co-Fe. На основе экспериментальных данных о температурах фазовых превращений, а также химическом и фазовом составе образцов в литом и отожженных состояниях были построены проекции поверхностей ликвидус и солидус, диаграмма плавкости, изотермические и политермические сечения исследуемых систем.

В четвертой главе представлены результаты определения стандартной энтальпии образования соединений Tb_2Co_{17}, Ho_2Co_{17}, Er_2Co_{17}, Tb_2Co_7 и $HoFe_3$ методами калориметрии сброса и растворения.

В разделе **Выводы** сформулированы важнейшие результаты диссертационного исследования и сделаны на их основании закономерные выводы.

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, не вызывает сомнения, поскольку в работе используется большое количество различных экспериментальных методик, проанализировано большое количество данных с использованием современных методов исследования и обработки результатов.

Объем приведенных в диссертационной работе экспериментальных и расчетных исследований и качество обработки полученных результатов производят общее положительное впечатление, а сама работа **законченного, фундаментального исследования**, выполненного на высоком современном научном уровне.

Несмотря на очевидные достоинства, при прочтении работы появился ряд вопросов и замечаний:

1. В описании методики калориметрии сброса и растворения не приведена информация о том, каким образом контролировалось состояние бесконечно разбавленного раствора ванны, также не указана масса растворителя и его чистота.
2. Хотелось бы уточнить, каким образом определялся состав жидкой фазы в случае инвариантных равновесий и в случае изотермических сечений в равновесии с твердой фазой.

3. В литературном обзоре диссертантка не провела анализ результатов исследований системы Sm-Co-Fe, проведенных в недавней статье: Liu P.P., Dai F.L., Luo L., Chen D.K., Yao Q.R., Wang J., Rao G.H., Zhou H.Y. Experimental study and thermodynamic calculation of the Sm-Co-Fe system // CALPHAD. 2022. v.78. p.102447/1 - 15.
4. Обозначения и подписи на рисунках и графиках очень мелкие и практически нечитаемые, что осложняет работу с текстом диссертации.

Указанные замечания не носят принципиальный характер и не снижают ценности результатов диссертационного исследования, достоверность которых не вызывает сомнений. Сделанные на их основании выводы достаточно обоснованы. Автореферат и публикации полностью соответствуют содержанию диссертационной работы. Положения, выносимые на защиту, вполне обоснованы. Результаты исследований опубликованы в четырех статьях в отечественных и международных журналах из «Белого списка» и Scopus, а также были представлены на шести профильных Российских и международных конференциях в виде устных докладов. Диссертационная работа демонстрирует высокую квалификацию и научный профессионализм автора.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в дальнейших исследованиях магнитных материалов, при разработке технологий их получения и обработки, а также для оценки условий их устойчивости в процессе эксплуатации; помещены в базы данных термодинамических свойств магнитных материалов; а также в качестве нового материала в образовательных учреждениях (МГУ, СПбГУ, ННГУ, НГУ, УрФУ, СФУ, КФУ).

Диссертационная работа Баженовой Ирины Александровны соответствует паспорту специальности 1.4.4. – физическая химия по пункту 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».

Таким образом, можно заключить, что по объему проведенных исследований, научной новизне, достоверности полученных результатов, практической и теоретической значимости результатов выполненная Баженовой И.А работа «Фазовые равновесия и термодинамические свойства фаз в системах, образованных Fe, Co и RE (RE = Sm, Tb, Ho», полностью соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 и п.п. 2.1-2.5 «Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН) от 29 марта 2024 г., предъявляемым к

Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН) от 29 марта 2024 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата химических наук, а автор диссертационной работы Баженова Ирина Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия (Химические науки).

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждены на расширенном семинаре Лаборатории полупроводниковых материалов 27.11.2025, протокол № 25/7.

Председатель семинара, Киселева Н.Н.
доктор химических наук
по специальности 02.00.21
«Химия твердого тела»,
Лаборатория полупроводниковых материалов
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова Российской академии наук,
главный научный сотрудник
Киселева Надежда Николаевна _____

ФИО подпись

Подпись главного научного сотрудника Киселевой Н.Н. заверяю:

Ученый секретарь ИМЕТ РАН, к.т.н. О.Н. Фомина

___ декабря 2025 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук

119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49

Телефон: + 7 (499) 135-20-60

Адрес электронной почты: imet@imet.ac.ru

Официальный сайт организации: https://www.imet.ac.ru/

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе Баженовой Ирины Александровны
«Фазовые равновесия и термодинамические свойства фаз в системах, образованных Fe, Co и RE (RE = Sm, Tb, Ho»,
представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук
по специальности 1.4.4. – Физическая химия (Химические науки)

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ИМЕТ РАН
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Почтовый индекс, адрес организации	119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49
Веб-сайт	https://www.imet.ac.ru/
Телефон	+ 7 (499) 135-20-60
Адрес электронной почты	imet@imet.ac.ru
Руководитель организации	член-корреспондент РАН Владимир Сергеевич Комлев

Список основных публикаций организации по теме диссертации соискателя в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15)

1. Kiselyova N.N., Dudarev V. A., Ryazanov V. V., Sen'ko O. V., Dokukin A. A. Predictions of chalcospinels with composition $ABCX_4$ (X – S or Se) // Inorganic Materials: Applied Research. 2021. V. 12. N. 2. P. 328-336.
2. Киселева Н.Н., Дударев В.А., Столяренко А.В., Докукин А.А., Сенько О.В., Рязанов В.В., Витушко М.А., Переверзев-Орлов В.С., Ващенко Е.А. Прогнозирование пространственной группы перовскитоподобных соединений состава $A^{II}{}_2B^{III}B'^{V}O_6$ // Перспективные материалы. 2021. N.9. С.1-20.
3. Иванова Л.Д., Гранаткина Ю.В., Мальчев А.Г., Нихезина И.Ю., Никулин Д.С., Залдастанишвили М.И., Криворучко С.П., Новиньков В.В., Щедров Е.Р. Получение и исследование термоэлектрических свойств антимонида цинка // Неорган. материалы. 2021. Т. 57. № 7. С.705–714.
4. Ivanova. L. D., Granatkina Yu. V., Nikhezina I. Yu., Malchev A. G., Krivoruchko S. P., Vekua T. S., Zaldastanishvili M. I. Thermoelectric Properties of Fine-Grained Germanium // Inorganic Materials: Applied Research. 2021. V. 12. N. 2. P. 347-353.
5. Ivanova L. D., Granatkina Yu. V., Nikhezina I. Yu.,. Malchev A. G., Zaldastanishvili M. I., Krivoruchko S. P., Novinkov V. V., Shchedrov E. R. New Method for Obtaining ZnSb and Zn_4Sb_3. Inorganic Materials: Applied Research. 2022. V. 13. N. 5. P. 1209-1215.

6. Kiselyova N., Dudarev V., Stolyarenko A. Machine Learning Application to Predict New Inorganic Compounds – Results and Perspectives. In: Pozanenko, A., Stupnikov, S., Thalheim, B., Mendez, E., Kiselyova, N. (eds) Data Analytics and Management in Data Intensive Domains. DAMDID/RCDL 2021. Communications in Computer and Information Science. Springer, Cham. 2022. V. 1620. P. 151–165.
7. Kiselyova N. N., Dudarev V. A., Stolyarenko A. V., Dokukin A. A., Sen'ko O. V., Kuznetsova Yu. O. Prediction of the Melting Points of Double Halides // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2023. V.68. N.5. - P. 623-629.
8. Иванова Л.Д., Гранаткина Ю.В, Мальчев А. Г., Нихезина И. Ю., Залдастанишвили М. И., Криворучко С. П., Дьяконов О. Н., Карима Р. А. Материалы на основе твердого раствора $Bi_{0.5}Sb_{1.5}Te_3$ с мелкокристаллической структурой, полученные различными методами // Неорганические материалы. 2023. № 2. С.119-127.
9. Иванова Л.Д., Нихезина И.Ю., Мальчев А.Г., Баикин А.С., Шевцов С.В. Механические свойства твердых растворов на основе теллуридов висмута и сурьмы *p*- и *n*-типов проводимости, легированных графеном // Деформация и разрушение материалов. 2023. № 5. С. 8-13.
10. Kiselyova N.N., Dudarev V.A., Sen'ko O.V., Dokukin A.A., Stolyarenko A.V., Kuznetsova Yu.O. Prediction of Physical Properties of Double Halides Using Machine Learning Methods // Pattern Recognition and Image Analysis. 2024. V. 34. N. 3. P. 819-830.
11. Иванова Л.Д., Гранаткина Ю.В., Нихезина И.Ю., Мальчев А.Г., Никулин Д.С., Штерн М.Ю., Ерофеева А.Р. Твердые растворы на основе теллурида висмута, легированные графеном // Перспективные материалы. 2024. № 5. С.5-16.
12. Киселева Н.Н., Дударев В.А., Столяренко А.В., Сенько О.В., Докукин А.А., Кузнецова Ю.О. Прогнозирование соединений состава ABX (X - As, Sn, Sb, Pb или Bi) со структурой типа MgAgAs и параметров их кристаллической решетки // Перспективные материалы. 2025. N.3. С. 5-13.
13. Tsysar K.M., Bazhanov D.I., Abgaryan K.K., Kiselyova N.N. Nonlinear Optical Effects in Europium Melilite $Eu_2MgSi_2O_7$ // Physica Status Solidi B. 2025. V.262. N.3. P.2400172/1-5.
14. Ivanova L. D., Nikhezina I. Yu., Malchev A. G., Nikulin D. S., Lavrentev M. G. Mechanical and Thermoelectric Properties of Solid Solutions of Bismuth and Antimony Chalcogenides Depending on the Purity of Initial Materials // Inorganic Materials: Applied Research. 2025. V. 16. N. 5. P. 1281-1292.
15. Nikulin D. S., Ivanova L. D., Nikhezina I. Yu., Malchev A. G. Thermoelectric Micromodules for Small Heat Flows // Inorganic Materials: Applied Research. 2025. V. 16. N. 5. P. 1306-1312.

Директор ИМЕТ РАН,

член-корреспондент РАН _____ В.С. Комлев