

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ИНСТИТУТ ХИМИИ имени В.И. НИКИТИНА**

На правах рукописи
УДК 669.17: 546.86.87



**НАЗАРЗОДА Хайрулло Холназар
(НАЗАРОВ Хайрулло Холназарович)**

**ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ АНТИМОНИДОВ И ВИСМУТИДОВ
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности
05.02.01 – Материаловедение (в электротехнике)

Душанбе – 2021

Работа выполнена в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана.

Научный консультант: доктор химических наук, профессор, заместитель директора по науке и образованию Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана
Абулхаев Владимир Джалолович

Официальные оппоненты: доктор химических наук, профессор, проректор по науке и инновациям Таджикского национального университета
Сафармамадзода Сафармамад Муборакшо

доктор технических наук, доцент, директор филиала Национального исследовательского технологического университета «МИС и С» в городе Душанбе
Саидзода Рахимджон Хамро

доктор технических наук, доцент, ректор Технологического университета Таджикистана
Амонзода Илхом Темур

Ведущая организация: кафедра «Материаловедения, металлургические машины и оборудования» Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими

Защита состоится 5 мая 2021 года в 9⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-007 при Институте химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. Айни 299/2, E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте Института химии им. В.И.Никитина Национальной академии наук Таджикистана www.chemistry.tj

Автореферат разослан «____» _____ 2021 г.

**Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук**



Махкамов Х.К.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Сплавы и соединения редкоземельных элементов (РЗЭ) нашли широкое применение в электронной, машиностроительной, атомной, авиационной, металлургической, электровакуумной и в других областях промышленности.

Применение сплавов и соединений в указанных областях основано на их электрофизических, магнитных, оптических и т.д. свойствах. Например, ортоферриты РЗЭ и ферриты-гранаты, применяются для создания постоянных магнитов, запоминающих и логических устройств. Гадолиний и его соединения с железом, германием и силицием, проявляющие высокую температуру Кюри и значительный магнетокалорический эффект, используются в качестве рабочего тела в магнитных холодильниках.

В последние времена расширились работы по созданию новых магнитных материалов на основе РЗЭ. Получены железо-редкоземельные гранаты, магнитные интерметаллиды YCo_5 , $SmCo$ и неодим-железо-боровой сплав ($Nd_2Fe_{14}B$), нашедшие применение в высокочастотной технике и электронных приборах.

Следует добавить, что изучение зависимости изменения физико-химических свойств сплавов и соединений с заполнением 4f – уровня атомов РЗЭ способствует развитию новых теоретических представлений.

В этом плане актуальными являются исследования сплавов и соединений РЗЭ с другими элементами периодической системы Д.И. Менделеева, в частности, с сурьмой и висмутом на основе которых возможно создание новых перспективных магнитных материалов. Поэтому разработка вопросов синтеза антимонидов и висмутидов разного состава и твердых растворов на их основе, а также выявление их физико-химической природы является важной научной и практической задачей. На основе антимонидов и висмутидов РЗЭ возможно создание магнитных материалов, как для фундаментальных исследований, так и для технических целей.

Степень изученности разрабатываемой проблемы заключается в том, что согласно литературным источникам среди соединений и сплавов РЗЭ с сурьмой и висмутом наиболее подробно изучены моноантимониды и моновисмутиды РЗЭ. При этом в научной литературе не встречаются сведения по диаграммам состояния систем $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) и $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) и физико-химическим свойствам сплавов, образующихся в них, а также сплавов и соединений системы $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$), которые являются объектами исследования в данной работе.

Необходимость выполнения исследования темы объясняется тем, что антимониды и висмутиды РЗЭ разных составов проявляют, в частности, интересные физические свойства. При этом, без разработки научно – обоснованных методов синтеза и построение диаграмм состояния систем $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) и $Gd_5Bi_3 -$

Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), невозможно достичь цели-получение материалов с повышенными магнитными свойствами.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель исследования:

-построение диаграмм состояния систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) и $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$);

-выявление оптимальных условий синтеза твердых растворов указанных систем, а также сплавов систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$);

- разработка материалов, проявляющих повышенные магнитные свойства, относительно антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) и Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$).

В соответствии с поставленной целью, решены следующие задачи:

- синтезированы моноантимониды LnSb ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) и моновисмутиды LnBi ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$);

- разработаны способы получения антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) и Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$);

- исследовано взаимодействие РЗЭ с сурьмой и висмутом при образовании твердых растворов систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) и $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$);

- разработаны способы получения твердых растворов: $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; ($x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$), а также сплавов и соединений системы $\text{Ln}-\text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$);

- синтезированы сплавы и соединения систем $\text{Ln}-\text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$);

- проведена идентификация синтезированных монантимонидов, моновисмутидов, антимонидов, висмутидов, твердых растворов систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) и $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), соединений и сплавов систем $\text{Ln}-\text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$);

- исследованы и построены диаграммы состояния систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) и $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), во всем диапазоне концентраций;

- изучены концентрационные зависимости электрофизических свойств (удельное электросопротивление, термо-э.д.с.) и микротвердости твердых растворов, соответствующих им системам, при комнатной температуре;

- исследованы электрофизические и магнитные свойства антимонидов Ln_4Sb_3

(Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb), висмутидов Ln_4Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb) и Ln_5Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) в диапазоне температур 298-773 K;

- исследованы электрофизические и магнитные свойства твердых растворов вышеуказанных систем в диапазоне температур 298-773 K;

- исследованы электрофизические и магнитные свойства сплавов систем Ln-Sb (Ln = Pr, Nd, Tb) в диапазоне температур 298-773 K.

Объектами исследования служили антимониды, висмутиды, твердые растворы, а также сплавы системы Ln - Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb).

Предметом исследования являлся моноантимониды LnSb (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb), моновисмутиды LnBi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu), антимониды Ln_4Sb_3 (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb), висмутиды Ln_4Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Tb, Yb), Ln_5Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Nd, Tm, Lu) и сплавов системы Ln - Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb).

Методы исследования: Дифференциальный термический анализ (ДТА), рентгенофазовый анализ (РФА), микроструктурный анализ (МСА) и измерение пикнометрической плотности, а также измерение удельного электросопротивления и термо- э.д.с. и молярной магнитной восприимчивости в диапазоне температур 298-773 K.

Отрасль исследования является материаловедение, включающее синтез новых магнитных материалов с повышенными магнитными свойствами, по сравнению с исходными компонентами и физико-химический анализ.

Этапы исследования включают синтез и построенные диаграммы состояния систем Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3 (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb), Tb_4Sb_3 – Dy_4Sb_3 , Gd_4Bi_3 – Ln_4Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Tb), Gd_4Sb_3 – Ln_4Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Tb, Yb), Gd_5Sb_3 – Ln_5Bi_3 (Ln = Pr, Nd) и Gd_5Bi_3 – Ln_5Bi_3 (Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu), а также исследования электрофизических и магнитных свойств твердых растворов указанных систем и сплавов и соединений системы Ln - Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb).

Основная информация и экспериментальная база. Экспериментальные исследования выполнены с помощью следующих приборов: высокотемпературный дифференциальный термоанализатор ВДТА- 8М3; дифрактометром «ДРОН – 2»; микроскопом «НЕОФТ-21»; микротвердомером ПМТ-3. Установки для измерения удельного электросопротивления, термо-э.д.с. и молярной магнитной восприимчивости в диапазоне температур 298-773 K.

Достоверность диссертационных результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается их воспроизводимостью, привлечением современных апробированных методов физико-химического анализа и использованием в работе сертифицированных приборов.

Научная новизна исследований:

Разработаны методы синтеза моноантимонидов LnSb (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb), антимонидов Ln_4Sb_3 (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb), моновисмутидов LnBi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu), висмутидов Ln_4Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Tb, Yb), Ln_5Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Nd, Tm, Lu) а также сплавов и соединений системы Ln - Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb) с воспроизводимыми свойствами. научно-обоснованные методы синтеза твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x = 0.4÷3.6), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; x = 0.4÷3.6), $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ (Ln = Pr, Nd, Tb; x = 0.4÷3.6),

$Gd_{4-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu; x = 0.5 \div 4.5$), новизна которых отмечена пятью малыми патентами Республики Таджикистан.

По данным дифференциального термического, рентгенофазового и микроструктурного анализов построены диаграммы состояния систем: $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) и $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), во всем диапазоне концентраций. Это позволило выявить закономерности в их строении, проявляющихся в образовании в них твердых растворов замещения $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x = 0.4 \div 3.6$), $Tb_{4-x}Dy_xSb_3$; $Gd_{4-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb; x = 0.4 \div 3.6$), $Gd_{4-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu; x = 0.5 \div 4.5$), изоструктурных с исходными компонентами - Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb$), Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Nd, Tm, Lu$) и кристаллизующихся в кубической сингонии типа $anti-Th_3P_4$, в гексагональной сингонии типа Mn_5Si_3 и ромбической сингонии типа Y_5Bi_3 , в однотипности систем, а также определить пределы существования указанных твердых растворов.

Установлена корреляция концентрационных зависимостей электрофизических свойств (удельного электросопротивления и термо-Э.Д.С.) твердых растворов $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x = 0.4 \div 3.6$), $Tb_{4-x}Dy_xSb_3$; $Gd_{4-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb; x = 0.4 \div 3.6$), $Gd_{4-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu; x = 0.5 \div 4.5$) с исследованными диаграммами состояния. Определено, что эти твердые растворы и сплавы системы $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) проявляют металлическую проводимость. При этом относительно низкая их электропроводность объясняется вкладом магнитного удельного электросопротивления в общее удельное электросопротивление.

Исследованием магнитных свойств указанных твердых растворов, антимонидов Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Nd, Tm, Lu$) и сплавов системы $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) выявлено, что им свойственна парамагнитная природа. Магнитный порядок как в РЗЭ, так и в антимонидах, висмутидах, твердых растворах и в сплавах систем $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) устанавливается под действием косвенного обменного взаимодействия через электроны проводимости, взаимодействием Рудермана-Киттеля-Касуи-Иосиды (РККИ).

Определены парамагнитные температуры Кюри антимонидов, висмутидов, твердых растворов и сплавов систем $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$), эффективные магнитные моменты ионов РЗЭ и оценен тип их магнитного упорядочения.

Теоретическая ценность исследований. Теоретические аспекты интенпритации данных по синтезу антимонидов, висмутидов, твердым раствором, электрофизическими и магнитными их свойствам можно использовать для объяснения механизма образования антимонидов, висмутидов РЗЭ твердых

растворов и физико-химических свойств сплавов и соединений РЗЭ с сурьмой и висмутом разных составов.

Практическая ценность исследований:

-антимониды, висмутиды, твердые растворы, сплавы и соединения систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$), по электрической проводимости, занимают промежуточное положение между проводниками и полупроводниками, поэтому они могут представить интерес для электронной техники при создании термоэлементов и резисторов;

-для установления влияния f- и d- элементов на физико-химические свойства полупроводников типа $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ ($\text{AlSb}, \text{GaSb}, \text{InSb}$) определённый интерес представляет использование антимонидов, висмутидов и твердых растворов в качестве добавок в указанные соединения;

- в качестве наконечников для магнитных сверхпроводящих соленоидов;

- в криогенной технике для повышения магнитного потока в устройствах, работающих не только при температурах жидкого азота, но и при гелиевых температурах;

- антимониды, висмутиды и твердые растворы можно использовать и как добавки в магнитные материалы для повышения магнитной индукции.

Данные по физико-химическим, электрофизическим, магнитным свойствам антимонидов, висмутидов, твердых растворов и диаграммам состояния являются справочным материалом. Этими данными могут пользоваться аспиранты и научные сотрудники в процессе выполнения научных работ. Кроме того, материалы данной диссертационной работы могут использоваться и в учебном процессе при чтении лекций по физической, неорганической химии, физико-химическому анализу и материаловедению.

Акты испытания и подтверждения к диссертационной работе прилагаются, где указывается, что твердые растворы $\text{Gd}_{5-x}\text{Tb}_x\text{Bi}_3$, $\text{Gd}_{5-x}\text{Dy}_x\text{Bi}_3$, ($x = 0.5 \div 4.5$) и $\text{Gd}_{4-x}\text{Tb}_x\text{Sb}_3$ ($x = 0.4 \div 3.6$) являются перспективными магнитными материалами для практического использования их в криогенной технике.

Положения, выносимые на защиту:

- физико-химическое взаимодействие РЗЭ с сурьмой и висмутом в процессе образования антимонидов LnSb , Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов LnBi , Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) и твёрдых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$);

- методы получения указанных антимонидов, висмутидов, твердых растворов, а также сплавов и соединений системы $\text{Lu} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$);

- результаты исследования диаграмм состояния систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) и $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) и закономерности, проявляющихся в их строении;

- электрофизические и магнитные свойства выше указанных антимонидов,

висмутидов, твердых растворов, сплавов и соединений системы Lu – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb).

Личный вклад соискателя заключался в анализе научной литературы по тематике диссертационной работы, решение задач исследований, выполненных в соавторстве, определение путей решения поставленных задач, обработке экспериментальных данных, формулировке основных положений и выводов диссертации.

Апробация диссертации и информации об использовании её результатов.

Основные положения диссертационной работы докладывались на:

Международных: международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования в XXI веке» (Душанбе, 2004 г.); международной научно-практической конференции «Перспективы и развития науки и образования в XXI веке» (Душанбе. 2005 г.); международной конференции «Современная химическая наука и ее прикладные аспекты» (Душанбе, 2006 г.); II международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования в XXI веке» (Душанбе, 2006 г.); международной конференции «Наука и современное образование: проблемы и перспективы», посвящ. 60-летию Таджикского государственного национального университета (Душанбе, 2008 г.); международной научно-практической конференции «Комплексный подход к использованию переработке угля» (Душанбе, 2013 г.); международной конференции «Комплексные соединения и аспекты их применения» (Душанбе, 2013 г.); XIV Международной конференции по термическому анализу и калориметрии в России (Санкт – Петербург, 2013 г.); международная теплофизическая школа (Душанбе, 2014 г.); международной научно-практической конференции «Независимость – основа развития энергетики страны», посвящ. празднованию «Дня энергетика» (Бохтарский район, 2017 г.).

Республиканских: республиканской конференции «Достижения в области химии и химической технологии» (Душанбе, 2002 г.); межвузовской научно-практической конференции «Достижения в области металлургии и машиностроении Республики Таджикистан» (Душанбе, 2004 г.); республиканской конференции молодых ученых Республики Таджикистан (Душанбе, 2004 г.); республиканской конференции «Прогрессивные технологии разработки месторождений и переработки полезных ископаемых, экологические аспекты развития горнорудной промышленности» (Душанбе, 2005 г.); научно-практических конференциях, проводимых в Таджикском государственном национальном университете (Душанбе, 2007-2008 г.); республиканской научно-практической конференции «Инновация-эффективный фактор связи науки с производством» (Душанбе, 2008 г.); научно-теоретической конференции, посвящ. 17 – годовщины независимости РТ, 1150 летию основоположника таджикско – персидской литературы А. Рудаки и году Таджикского языка (Душанбе, 2008 г.), научно-практической конференции «Прогрессивные методы производства», посвящ. 35–летию кафедры «Технология машиностроения металорежущие станки и инструменты» Прогрессивные методы производства (Душанбе, 2009 г.); VI Нумановских чтениях (Душанбе, 2009 г.); республиканской научно-технической конференции «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии» (Душанбе, 2009 г.);

областной научно-теоретической конференции, посвящ. «Году образования и технической культуры» (г. Курган-Тюбе, 2010 г.), республиканской научно-теоретической конференции молодых учёных Таджикистана, посвящ. 1310-летию Имома Аъзама «Чавонон ва илми муосир» (Душанбе, 2010 г.); республиканской научно-теоретической конференция молодых учёных Таджикистана, посвящ. 20 – летию 16-ой сессии Верховного Совета Республики Таджикистан (Душанбе, 2012 г.); республиканской научно-теоретической конференции «Основы педагогико-технологической и технической подготовки преподавателей технологии», посвящ. 35-летию образования кафедры «Технической механики и черчения» ТГПУ им. С. Айни и 20-летию образования национальной армии (Душанбе, 2013 г.); республиканской научно-практической конференции «Перспективы синтеза в области химии и технологии гетеросоединений», посвящ. 20-летию кафедры высокомолекулярных соединений и химической технологии ТНУ (Душанбе, 2013 г.); республиканской научно-теоретической конференции «Новые методы обучения технологических дисциплин в инновационном процессе» (Душанбе, 2013 г.), республиканской научной конференции «Химия, технология и экология воды», посвящ. году «Сотрудничество по водной проблеме» и 55-летию кафедры «Общая и неорганическая химия», ТГПУ им. С. Айни» (Душанбе, 2013 г.), республиканской научно-практической коференции «Наука и использование энергетического потенциала Таджикистана» (Курган-тюбе, 2013 г.); республиканской научной конференции «Экология и вопросы обучения и воспитания», посвящ. 70-летию заведующего кафедрой «Химическая технология и экология» ТГПУ им. С. Айни, доцента Шарипова И.Н. (Душанбе, 2014 г.); научной конференции «Актуальные проблемы современной науки», посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечественной войне (Душанбе, 2015 г.); республиканской конференции «Применение современных технических средств в обучение предмета технологии», посвящ. 20–летию конституции Республики Таджикистан (Душанбе, 2015 г.); XII Нумановских чтениях «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Таджикистан», посвящ. 55-летию со дня рождения доктора химических наук, профессора, член-корреспондента АН Республики Таджикистан Куканиева М.А. (Душанбе, 2015 г.); республиканской научно-теоретической конференции ТНУ, посвящ. 25-летию государственной Независимости Республики. (Душанбе. 2016 г.); апрельской конференции профессорско-преподавательского состава ТНУ (Душанбе, 2016 г.), XV Нумановских чтениях «Современное состояние химической науки и использование ее достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан» (Душанбе, 2019 г.).

Опубликование результатов диссертации. По результатам исследований опубликовано 74 научных работ, из них 17 в журналах, рекомендуемых ВАК при Президенте Республики Таджикистан. Получено 5 малых патента Республики Таджикистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 310 страницах компьютерного набора, состоит из введения, пяти глав, выводов, библиографического списка, включающего 266 наименований. Диссертация содержит 146 рисунков, 42 таблиц и 42 страниц приложений.

ГЛАВА 1. ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ, СОЕДИНЕНИЙ СИСТЕМ РЗЭ – СУРЬМА И РЗЭ - ВИСМУТ (Обзор литературы)

По данным литературного обзора в настоящее время изучены четырнадцать диаграмм состояния систем $\text{Ln} - \text{Sb}$ и столько же диаграмм состояния систем $\text{Ln} - \text{Bi}$. Многие диаграммы состояния систем РЗЭ с сурьмой, например, $\text{Ln} - \text{Sb}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Tm}, \text{Yb}$) неоднократно изучались разными авторами, что свидетельствует о надежности полученных данных. При этом диаграммы состояния систем $\text{Ln} - \text{Sb}$ ($\text{Ln} = \text{Er}, \text{Lu}$) еще нуждаются в детальном исследовании.

По диаграммам состояния систем РЗЭ – висмут надежные данные получены для систем РЗЭ иттриевой подгруппы с висмутом. Исключение составляет лишь диаграмма $\text{Yb} - \text{Bi}$, требующая ее уточнения. Диаграммы состояния РЗЭ цериевой подгруппы с висмутом изучены слабее. Система $\text{Eu} - \text{Bi}$, как и система $\text{Eu} - \text{Sb}$, не исследована, а системы $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{La}, \text{Ce}, \text{Sm}$) нуждаются в повторном изучении.

Согласно обзору литературы по кристаллохимии антимонидов и висмутидов РЗЭ, наиболее характерными соединениями систем $\text{Ln} - \text{Sb}$ и $\text{Ln} - \text{Bi}$ являются Ln_2X , Ln_5X_3 , Ln_4X_3 , LnX и LnX_2 ($\text{X} = \text{Sb}, \text{Bi}$), кристаллизующихся в тетрагональной, гексагональной, кубической и ромбической сингониях, соответственно. Соединения других типов встречаются реже и известны в основном для иттерия, европия и иттербия.

Физико-химические свойства антимонидов и висмутидов РЗЭ изучены недостаточно. Среди антимонидов и висмутидов РЗЭ наиболее подробно изучены, в основном, физические свойства моноантимонидов и моновисмутидов РЗЭ.

Моноантимониды и моновисмутиды РЗЭ, по результатам расчета электронного спектра методом МО-ЛКАО, являются узкозонными полупроводниками, а по данным оптических измерений их спектр отражения идентичен спектру отражения сильнолегированных полупроводников.

Физические свойства антимонидов и висмутидов других типов, например, Ln_2X , Ln_5X_3 , Ln_4X_3 и LnX_2 ($\text{X} = \text{Sb}, \text{Bi}$), изучены, крайне мало. Это, с нашей точки зрения, объясняется слабой обоснованностью методов синтеза гомогенных и достаточно чистых антимонидов и висмутидов РЗЭ, описанных в научной литературе. К примеру, синтез антимонидов и висмутидов РЗЭ ампульным методом или синтез их путем сплавлением исходных компонентов, с присущими им недостатками, не всегда обеспечивает возможность получения гомогенных и достаточно чистых сплавов и индивидуальных соединений.

Химические свойства антимонидов и висмутидов РЗЭ, по сравнению с физическими свойствами, изучены крайне мало. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что исследователи с целью поиска новых материалов придают особое значение, именно, изучению физических свойств сплавов и соединений на основе РЗЭ.

Заметим, что в научной литературе прослеживается тенденция по проведению работ с целью повышения физических свойств, в частности магнитных, известных антимонидов и висмутидов РЗЭ. Так, исследованы диаграммы состояния систем: $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$), $\text{Tm}_5\text{Sb}_3 - \text{Yb}_5\text{Sb}_3$ и

Gd_4Bi_3 - Ln_4Sb_3 ($\text{Ln}=\text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb}$). Выявлено образование в указанных системах изоструктурных твердых растворов с повышенными магнитными свойствами, относительно исходных компонентов, кристаллизующихся в двух сингониях – гексагональной типа Mn_5Si_3 и кубической типа анти- Th_3P_4 . При этом в научной литературе сведения по системам Gd_4Sb_3 – Ln_4Sb_3 ($\text{Ln}=\text{Pr, Nd, Tb, Dy, Yb}$), Tb_4Sb_3 – Dy_4Sb_3 , Gd_4Bi_3 – Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb}$), Gd_4Sb_3 – Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Yb}$), Gd_5Sb_3 – Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd}$) и Gd_5Bi_3 – Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$) Gd_5Sb_3 – Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$), что являются объектами исследования в данной диссертационной работе не встречаются.

ГЛАВА 2. СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СИСТЕМ Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Dy, Yb}$) и Tb_4Sb_3 – Dy_4Sb_3 , Gd_4Bi_3 – Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb}$), Gd_4Sb_3 – Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Yb}$), Gd_5Sb_3 – Ln_5Bi_3 , ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd}$), Gd_5Bi_3 – Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$), СПЛАВОВ И СОЕДИНЕНИЙ СИСТЕМЫ $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb}$)

Синтез антимонидов, висмутидов РЗЭ и твердых растворов проводили на установке ВДТА - 8М3, в вакууме 0.0133 Па. В качестве датчика температуры использовали вольфрам-вольфрам-рениевую термопару (W –W +20% Re). Точность измерения температуры при 1273 К составляла ± 10 К.

Образцы перед загрузкой в печь, помещали в герметизированные молибденовые тигли. При выборе тигельного материала руководствовались данными известных научных работ, где показано, что растворимость молибдена, тантала и вольфрама в жидких РЗЭ весьма незначительна.

При синтезе антимонидов, висмутидов и твердых растворов в качестве исходных компонентов использовали дистилляты РЗЭ (ТУ 48-1303-173-76), сурьму марки Су-18-4 (Ту 48-14-18-75) и висмут марки ОСЧ 11-4 (ТУ 05-159-69).

Нами разработана методика синтеза антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln}=\text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb}$), Gd_4Sb_3 , висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln}=\text{Pr, Nd, Gd, Tb}$) и Ln_5Bi_3 ($\text{Ln}=\text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$), $\text{Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$), с применением в качестве исходных компонентов моноантимонидов и моновисмутидов РЗЭ.

Моноантимониды и моновисмутиды РЗЭ получали прямым взаимодействием стружек РЗЭ со стружками висмута или с порошком сурьмы (масса навески 10-15 г) в герметизированных молибденовых тиглях. Нагревание тигля с веществом проводили со скоростью 20 град/мин до оптимальной температуры (1173-1373 К), с последующей выдержкой в течение (2-3) ± 0.5 ч. Тигль с веществом, после завершения синтеза, охлаждали до комнатной температуры со скоростью 80 град/мин.

Антимониды Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb}$), висмутиды Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb}$) и Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$) получали с применением в качестве сурьма, висмут и РЗЭ содержащих компонентов – моноантимонидов LnSb ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb}$) и моновисмутидов LnBi ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$).

Синтез Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb}$) и Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb}$) указанным выше методом проводили следующим образом. Порошок

моноантимонида или моновисмутода и РЗЭ в виде стружек, взятых в соотношении 57.14 ат. % РЗЭ и 42.86 ат. % Sb (или 42.86 ат. % Bi) (массой 10-15 г.), тщательно перемешивали, спрессовывали, помещали в герметизированный молибденовый тигель и подвергали нагреванию со скоростью 20 град/мин до оптимальной температуры (1473-1573 К), с последующей выдержкой 3±0.5 ч. Тигль с веществом, после завершения синтеза, охлаждали до комнатной температуры, со скоростью 80 град/мин.

Антимонид Gd_5Sb_3 и висмутиды Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), также, как и антимониды Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), получали посредством предварительно синтезированных моноантимонида $GdSb$ и моновисмутидов $LnBi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$).

Для проведения синтеза данных соединений навеску (массой до 15 г), состоящей из порошка $GdSb$ или порошка моновисмутода и стружки соответствующего РЗЭ состава 62.5 ат. % РЗЭ и 37.5 ат% Sb (или 37.5 ат% Bi) спрессовывали, помещали в герметизированный тигель, нагревали до оптимальной температуры (1623-1673 К), с последующей выдержкой 3±0.5 ч. После завершения синтеза тигель с веществом охлаждали со скоростью 80 град/мин.

По данным рентгенофазового и микроструктурного анализа, синтезированные моноантимониды $LnSb$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), моновисмутиды $LnBi$ ($Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), антимониды Ln_4Sb_3 , ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), антимонид Gd_5Sb_3 , висмутиды Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb$) и висмутиды Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) представляли собой однофазные соединения.

В диссертации приведены кристаллохимические характеристики синтезированных антимонидов и висмутидов.

Моноантимониды и моновисмутиды изоструктурны и кристаллизуются в кубической сингонии типа $NaCl$. Изоструктурные антимониды Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$) и висмутиды Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb$) кристаллизуются в кубической сингонии типа анти- Th_3P_4 . Висмутиды Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), также изоструктурны и кристаллизуются в двух сингониях: Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd$) в гексагональный тип Mn_5Si_3 , а Ln_5Bi_3 ($Ln = Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) в ромбический тип Y_5Bi_3 .

С целью разработки метода синтеза твердых растворов указанных систем и установления процесса их образования, методами дифференциального термического (ДТА) и рентгенофазового анализов (РФА) проведено исследование начала взаимодействия РЗЭ с сурьмой и висмутом. Установлено, что начальная температура взаимодействия РЗЭ с сурьмой и висмутом, при образовании твердых растворов, колеблется в пределах 443-868 К (РЗЭ с сурьмой) и 545-723 К (РЗЭ с висмутом). Согласно РФА, после завершения ДТА, продукты реакции содержали моноантимониды, моновисмутиды и свободные РЗЭ. Установлено, что с ростом температуры синтеза доля фаз $LnSb$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$) и $LnBi$ ($Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) в образце уменьшается, а доля фаз Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb$) и Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd,$

Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) растет. При этом начало образования твердых растворов зафиксировано в диапазоне температур 1173-1373 К.

Исходя из результатов исследования взаимодействия РЗЭ с сурьмой и висмутом, нами установлена возможность получения твердых растворов $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$ ($Ln=Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x = 0.4\div3.6$), $Tb_{4-x}Dy_xSb_3; 0.4\div3.6$, $Gd_{4-x}Ln_xBi_3$ ($Ln=Pr, Nd, Tb; x=0.4\div3.6$), $Gd_{4-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln=Pr, Nd, Tb, Yb; x=0.4\div3.6, y=0.3\div2.7$), $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd; x = 0.5\div4.5, y = 0.3\div2.7$), $Gd_{5-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu; x = 0.5\div4.5$) систем $Gd_4Sb_3-Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3-Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3-Ln_5Bi_3$, ($Ln=Pr, Nd$) и $Gd_5Bi_3-Ln_5Bi_3$ ($Ln=Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) как прямым взаимодействием РЗЭ с сурьмой и висмутом, так и с использованием в качестве РЗЭ сурьму и висмут с содержащих компонентов предварительно синтезированных антимонидов Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb$) и Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$).

Первым методом твердые растворы указанных систем получали следующим образом. Навеску до 15 г., состоящей из разных РЗЭ и висмута в виде мелких стружек и порошка сурьмы определенного стехиометрического состава, тщательно перемешивали, а затем спрессовывали в штабик и помещали в герметизированный молибденовый тигель. После чего, тигель с веществом подвергали постадийному нагреванию в вакууме (0.0133 Па) со скоростью 20 град/мин, с последующей выдержкой при определенных температурах.

Оптимальная температура синтеза вышеуказанных твердых растворов составляла 1543-1773 К и при этих температурах выдерживали 2-3 ч.

При втором методе синтеза твердых растворов, например, твердых растворов $Gd_{4-x}Pr_xSb_3; x = 0.4\div3.6$ порошки Gd_4Sb_3 и Pr_4Sb_3 , взятых в определенных соотношениях (масса навески до 15 г.), перемешивали, спрессовывали и помещали в герметизированный молибденовый тигель, которого затем нагревали до 1473 К и выдерживали 2.5 ± 0.5 ч. Нагревание и охлаждение тигля с образцом проводили в вакууме (0.0133 Па) со скоростью 80 град/мин.

Оптимальные условия синтеза всех остальных твердых растворов составляют 1543-1773 К, а время выдержки 2.5 ± 0.5 ч.

Согласно рентгенофазовому анализу, твердые растворы $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x = 0.4\div3.6$), $Tb_{4-x}Dy_xSb_3; 0.4\div3.6$, $Gd_{4-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb; x = 0.4\div3.6$) и $Gd_{4-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb; x = 0.4\div3.6, y = 0.3\div2.7$), кристаллизуются в кубической сингонии типа анти- Th_3P_4 , твердые растворы $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd; x = 0.5\div4.5, y = 0.3\div2.7$) в гексагональной сингонии типа Mn_5Si_3 , а твердые растворы $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) в ромбической сингонии типа Y_5Bi_3 .

Следует отметить, что микроструктурный анализ подтверждает результаты рентгенофазового анализа продуктов взаимодействия РЗЭ с сурьмой и висмутом.

В качестве примера на рисунке 1 приведены фотографии микроструктур продукта взаимодействия гадолиния, тербия и висмута при образовании твердого раствора $Gd_3Tb_2Bi_3$ системы $Gd_5Bi_3-Tb_5Bi_3$.

На рисунке 1, (а) продукт синтеза при 1173 К и времени выдержки 3.5 ± 0.5 ч. трехфазен. Темная часть микроструктуры на фотографии включает две фазы -

Gd_5Bi_3 (с микротвердостью 2250 ± 100 МПа) и Tb_5Bi_3 (с микро-твдостью 2045 ± 50 МПа). Светлая фаза - твердый раствор $\text{Gd}_3\text{Tb}_2\text{Bi}_3$ (с микротвердостью 3860 ± 100 МПа). При температуре 1373 и 1573 К и времени выдержки 3.5 ± 0.5 ч (рисунок 1, (б, в) доля фазы $\text{Gd}_3\text{Tb}_2\text{Bi}_3$ в продукте растет, а доля фаз Gd_5Bi_3 и Tb_5Bi_3 уменьшается. При этом при 1673 К и времени выдержки 2.5 ± 0.5 ч образуется однофазный твердый раствор $\text{Gd}_3\text{Tb}_2\text{Bi}_3$ (рисунок 1, г). Темные полосы на микроструктуре –микротрещины, возникшие в процессе полировки образца.

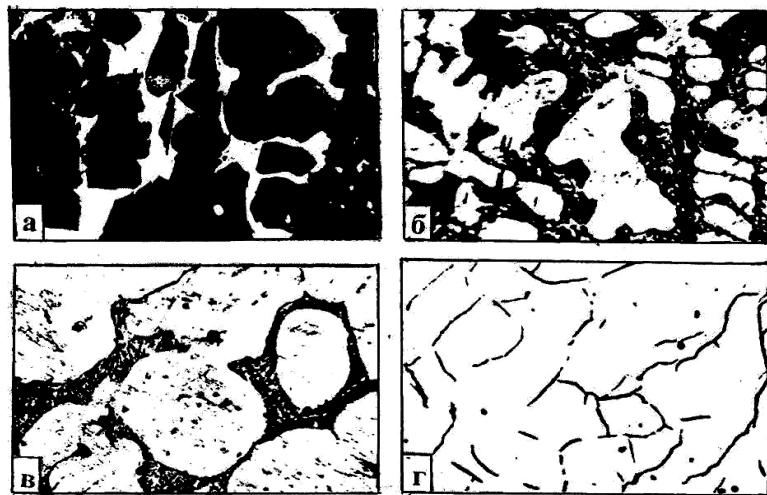


Рисунок 1 - Микроструктура продуктов взаимодействия гадолиния, тербия с висмутом при температурах 1173 (а), x120, 1373 (б), x120, 1573 (в), x180, 1673 К (г), x110 и времени выдержки 3.5 ± 0.5 ч

В диссертации приведены кристаллохимические характеристики всех полученных твердых растворов.

Следует отметить, что новизна полученных твердых растворов подтверждена пятью малыми патентами Республики Таджикистан.

Синтез сплавов и соединений систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) проводили методом прямого взаимодействия РЗЭ и висмута в герметизированных тиглях из молибдена следующим образом. Рассчитанные количества исходных компонентов – РЗЭ ($\text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) и висмута (массой 10-15 г.) в виде мелких стружек смешивали, спрессовывали и помещали в герметизированный молибденовый тигель. Затем, с целью предотвращения активного взаимодействия РЗЭ с висмутом, тигель с образцом медленно нагревали (со скоростью 10 К/мин) от комнатной до температуры начала взаимодействия компонентов 573-713 К и при этой температуре выдерживали 2-3 ч. После чего нагревание продолжали со скоростью 20 К/мин. до достижения оптимальной температуры синтеза (таблица 1), при которой тигель с веществом выдерживали определенное время и затем охлаждали (со скоростью 20 К/мин) до комнатной температуры. Гомогенность синтезированных сплавов контролировали рентгенофазовым и микроструктурным анализом.

Таблица 1 - Оптимальные условия синтеза и фазовый состав сплавов и соединений систем Ln – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb)

Содержание висмута в сплавах, ат. %	Оптимальная температура синтеза ± 10 К	Время выдержки, ч.	Фазовый состав сплавов и соединений
Система Pr - Bi			
1-30	1023	2.5 ± 0.5	$\text{Pr}_{\text{TB.p.}}, \text{Pr}_2\text{Bi}$
33.3	1373	2.5 ± 0.5	Pr_2Bi
45-50	1573	3.5 ± 0.5	$\text{Pr}_4\text{Bi}_3, \text{PrBi}$
55-60	923	4 ± 0.5	$\text{PrBi}, \text{PrBi}_2, \text{Bi}_{\text{TB.p.}}$
66.6	923	4 ± 0.5	PrBi_2
70-99	923	4 ± 1	$\text{PrBi}_2, \text{Bi}_{\text{TB.p.}}$
Система Nd - Bi			
1-30	1023	2.5 ± 0.5	$\text{Nd}_{\text{TB.p.}}, \text{Nd}_2\text{Bi}$
33.3	1373	2.5 ± 0.5	Nd_2Bi
45-50	1573	3.5 ± 0.5	$\text{Nd}_4\text{Bi}_3, \text{NdBi}$
66.6	923	4 ± 0.5	NdBi_2
70-99	923	4 ± 1	$\text{NdBi}_2, \text{Bi}_{\text{TB.p.}}$
Система Gd - Bi			
1-30	1273	2 ± 0.5	$\text{Gd}_{\text{TB.p.}}, \text{Gd}_5\text{Bi}_3$
45-50	1723	4 ± 0.5	$\text{Gd}_4\text{Bi}_3, \text{GdBi}$
50-60	1673	3.5 ± 0.5	$\text{GdBi}, \text{GdBi}_2, \text{Bi}_{\text{TB.p.}}$
65-99	1123	4 ± 0.5	$\text{GdBi}, \text{GdBi}_2, \text{Bi}_{\text{TB.p.}}$
85-99	1023	4 ± 0.5	$\text{GdBi}, \text{GdBi}_2, \text{Bi}_{\text{TB.p.}}$
Система Tb - Bi			
1-30	1423	2.5 ± 0.5	$\text{Tb}_{\text{TB.p.}}, \alpha\text{-Tb}_5\text{Bi}_3$
45-50	1723	4 ± 0.5	$\text{Tb}_4\text{Bi}_3, \text{TbBi}$
50-60	1673	5 ± 0.5	$\text{TbBi}, \text{Bi}_{\text{TB.p.}}$
65-99	1073	4 ± 0.5	$\text{TbBi}, \text{Bi}_{\text{TB.p.}}$
85-99	923	4 ± 0.5	$\text{TbBi}, \text{Bi}_{\text{TB.p.}}$

Примечание: оптимальные условия синтеза висмутидов Ln_4Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb), Ln_5Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) и LnBi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb Dy, Ho, Er, Tm, Lu) приведены в диссертации.

Следует отметить, что фазовый состав полученных нами сплавов данных систем не противоречит ранее изученным диаграммам состояния систем Ln – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb).

Висмутиды Ln_2Bi (Ln = Pr, Nd) кристаллизуются в тетрагональной сингонии, структурном типе Ti_2P , а висмутиды LnBi_2 (Ln = Pr, Nd) кристаллизуются в ромбической сингонии типа LaSb_2 .

Дифференциальный термический анализ (ДТА). Дифференциальный термический анализ сплавов и соединений проводили на установке ВДТА-8М3 в среде гелия марки ВЧ (Ту-51-681-75), содержание газа 99.985 об. %.

Термограммы записывают в координатах «температура образца -разность температур образца и эталона».

Градуировку термопар производили по точкам плавления эталонов из особо чистых металлов и оксида: Sn - 504,8; Bi - 544,3; Pb -600,5; Zn -692,3; Sb-903,5; Cu -1356; Fe -1812; Al₂O₃ – 2315 К. Точность измерения температуры составляла ±1% от измеряемой величины.

Образцы для анализа готовили в виде таблеток прессованием порошков антимонидов, висмутидов и твердых растворов, которых затем помещали в молибденовые герметизированные тигли. Масса образцов составляла 1.5-2 г.

Рентгенофазовый анализ (РФА). РФА сплавов проводили на дифрактометре «ДРОН – 2» с использованием отфильтрованного (фильтр–Ni) CuK_α излучения. Скорость съемки дифрактограмм составляла 30 угловых секунд в минуту. Дифрактограммы были прописаны в брэговских углах с отметками через 0.1 град. При необходимости более точного нахождения положение рефлекса на дифрактограмме, применяли съемку с эталоном (NaCl или Al), а также съемку с меньшей скоростью и большой разверткой.

Погрешность в определении значений параметра элементарной ячейки составляла ± 0.0005нм.

Микроструктурный анализ (МСА) и измерение микротвердости. МСА подвергали как литые, так и отожженные образцы. Шлифы для исследования полировали алмазной пастой ACM 28/20-АСМ 2/1, нанесенной на нейлоновую ткань. Для выявления структуры и снятия наклена поверхность шлифов травили экспозицией на воздухе, либо химическим травителем. Нами были подобраны следующие травители: а) 1%-ный раствор концентрированной HNO₃ в спирте; б) 0.5 об. % HCl + 1 об. % HNO₃ в спирте.

Микроструктуру шлифов изучали на микроскопе «НЕОФОТ-21» в отраженном и поляризованном свете.

Микротвердость шлифов измеряли на микротвердомере ПМТ-3 по стандартной методике. На каждый шлиф наносили 15-20 отпечатков. Время нагружения составляло 6-8 с, а время выдержки под нагрузкой 10-12 с.

Измерение плотности. Плотность образцов определяли, как пикнометрическим методом, так и расчётом, исходя из рентгеновских данных. Измерения плотности пикнометрическим методом проводили на порошках по стандартной методике.

Измерение удельного электросопротивления и термо- э.д.с. в диапазоне температур 298-773 К. Исследования удельного электросопротивления и термо-э.д.с. образцов проводили в диапазоне 298-773 К четырехзондовым методом на установке, сконструированной нами.

Температуру исследованного образца измеряли WRe (5%) - WRe (20%) термопарами. В качестве потенциометрических зондов использовали WRe (5 %) ветвь термопар.

Измерения электрофизических свойств на данной установке проводили в вакууме порядка $1.33 \cdot 10^{-2}$ Па.

Для исследования использовались образцы цилиндрической формы диаметром 6 мм и высотой 10 мм.

Относительная погрешность измерения удельного электросопротивления составляла ± 2.5 , а термо-э.д.с. $\pm 2\%$.

Исследование магнитной восприимчивости в диапазоне температур 298-773 К. Магнитную восприимчивость твердых растворов, антимонидов и висмутидов РЗЭ исследовали на установке, работающей по принципу маятниковых весов.

Измерения магнитной восприимчивости проводили в вакууме 0.0133 Па и в магнитных полях 159-238.7 кА/м, в диапазоне температур 298-773 К.

Температуру образца в диапазоне температур 298-800 К измеряли компенсационным методом платино-платинородиевой термопарой.

В качестве эталонных образцов использовали соль Мора ($\chi_{уд} = 32 \cdot 10^{-6}$) и медный купорос ($\chi_{уд} = 6 \cdot 10^{-6}$).

Относительная погрешность измерения магнитной восприимчивости составляла $\pm 3\%$.

ГЛАВА 3. ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) И $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$)

Результаты исследования диаграмм состояния. Методами ДТА, РФА и МСА исследована 21 диаграмма состояния указанных систем. Помимо этого, для уточнения строения диаграмм состояния, при комнатной температуре, были изучены концентрационные зависимости некоторых физических свойств (удельного электросопротивления, термо-э.д.с. и микротвердости) твердых растворов, образующихся в данных системах.

По данным ДТА РФА и МСА установлено, что указанные диаграммы однотипны, в них образуется непрерывный ряд изоструктурных твердых растворов $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$; $x = 0.4 \div 3.6$), $Tb_{4-x}Dy_xSb_3$; ($0.4 \div 3.6$), $Gd_{4-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$; $x = 0.4 \div 3.6$), $Gd_{4-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$; $x = 0.4 \div 3.6$, $y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd$; $x = 0.5 \div 4.5$, $y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$; $x = 0.5 \div 4.5$) систем $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$, ($Ln = Pr, Nd$) и $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), плавящихся, как и исходные компоненты, инконгруэнтно.

В качестве примера на рисунке 2 приведены диаграммы состояния систем $Gd_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Sb_3 - Tb_4Bi_3$, $Gd_4Sb - Yb_4Bi_3$, $Gd_5Sb_3 - Nd_5Bi_3$, $Gd_5Bi_3 - Dy_5Bi_3$.

Рентгенофазовый анализ показал, что все твердые растворы изоструктурны с исходными компонентами. Микроструктурный анализ твердых растворов подтвердил результаты рентгенофазового анализа. Синтезированные твердые растворы представляли собой однофазные образцы.

Установлено, что степень гомогенизации как отожженных, так и плавленых твердых растворов существенно зависит от температуры и времени выдержки. Так, например, микроструктурный анализ образца твердого раствора $Gd_{2.4}Pr_{1.6}Bi_3$ (40 мол. % Pr_4Bi_3), выдержанного при температуре 1373 К в течение 1, 2 и 3

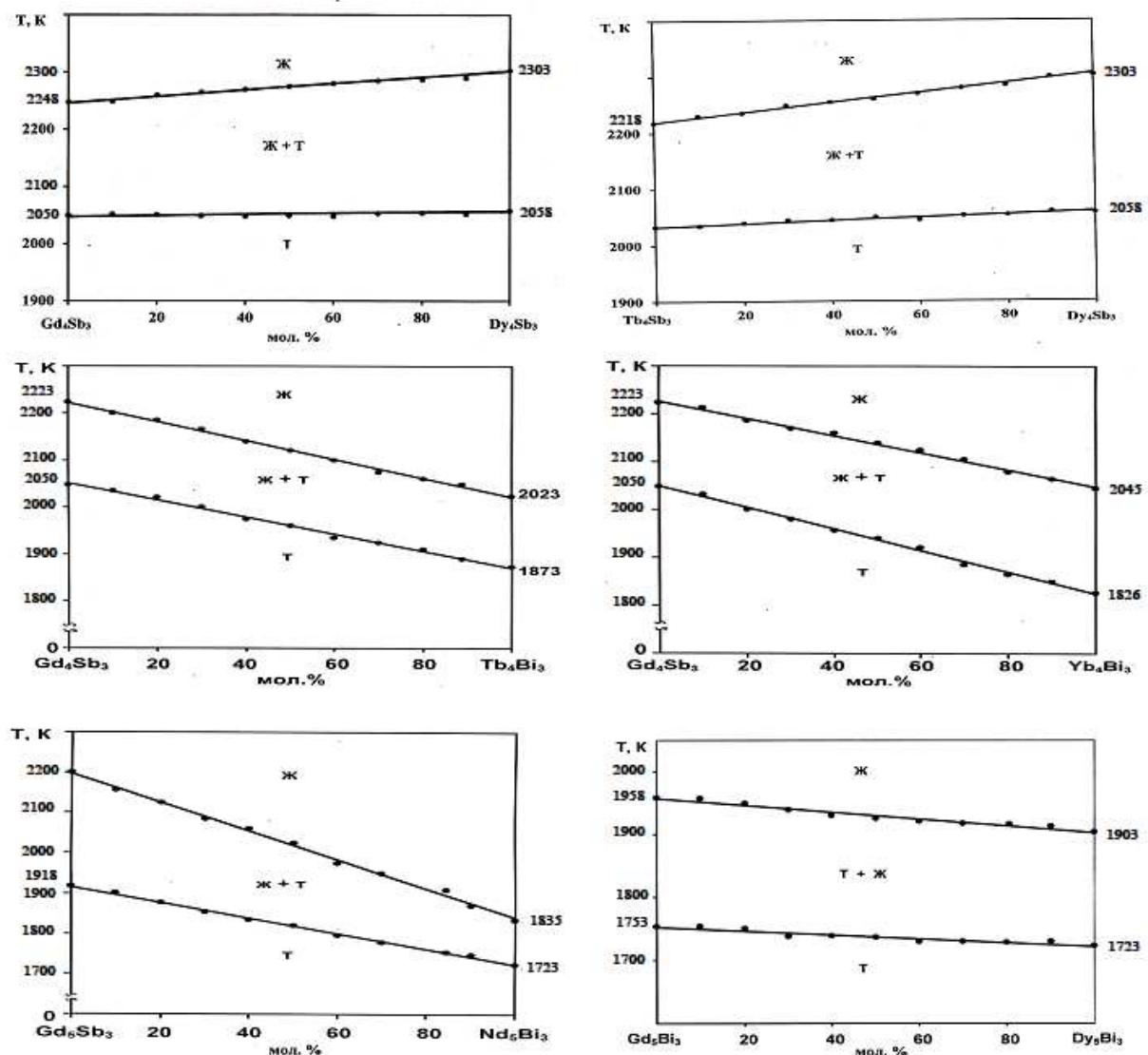


Рисунок 2 - Диаграммы состояния систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3-\text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Tb}_4\text{Sb}_3-\text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Sb}_3-\text{Tb}_4\text{Bi}_3$, $\text{Gd}_4\text{Sb}-\text{Yb}_4\text{Bi}_3$, $\text{Gd}_5\text{Sb}_3-\text{Nd}_5\text{Bi}_3$, $\text{Gd}_5\text{Sb}_3-\text{Dy}_5\text{Bi}_3$

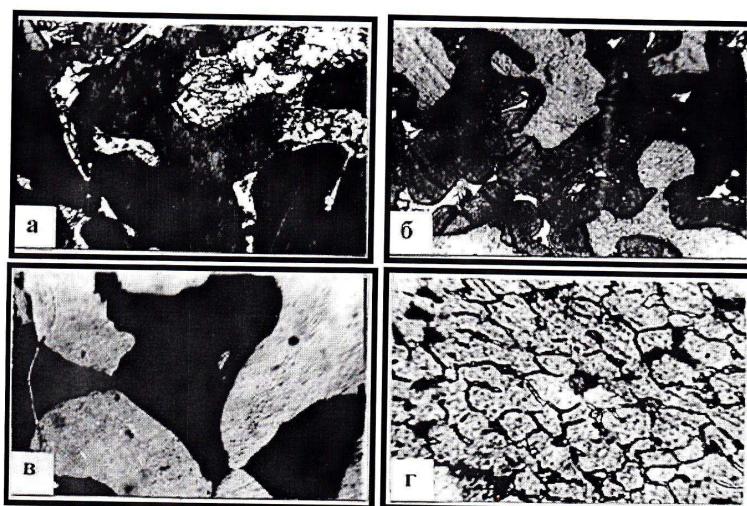


Рисунок 3 - Микроструктура твердого раствора $\text{Gd}_{2.4}\text{Pr}_{1.6}\text{Bi}_3$ (40 мол. % Pr_4Bi_3), выдержанного при температуре 1573 К в течение:
а-1, x80, б-2, x105, в-3, x210, г-4 часа, x60

часов, многофазна (рисунок 3, а, б, в). Темная составляющая $-Pr_4Bi_3$ и Gd_4Bi_3 , а светлая –твердый раствор $Gd_{2.4}Pr_{1.6}Bi_3$. Однофазность этого твердого раствора достигается при 1573 К и времени выдержки 4±0.5 часа (рисунок 3, г).

Следует отметить, что для всех изученных систем имеет место аналогичная зависимость степени гомогенизации твердых растворов от температуры и времени выдержки.

В качестве примера на рисунке 4 приведены концентрационные зависимости удельного электросопротивления, термо-Э.д.с и микротвердости твердых растворов систем Gd_4Sb_3 - Dy_4Sb_3 , Gd_4Sb_3 - Yb_4Sb_3 , Gd_5Bi_3 - Tb_5Bi_3 и Gd_5Sb_3 - Pr_5Bi_3 . В диссертации приведены значения удельного электросопротивления и термо-Э.д.с. всех исследованных твердых растворов при комнатной температуре.

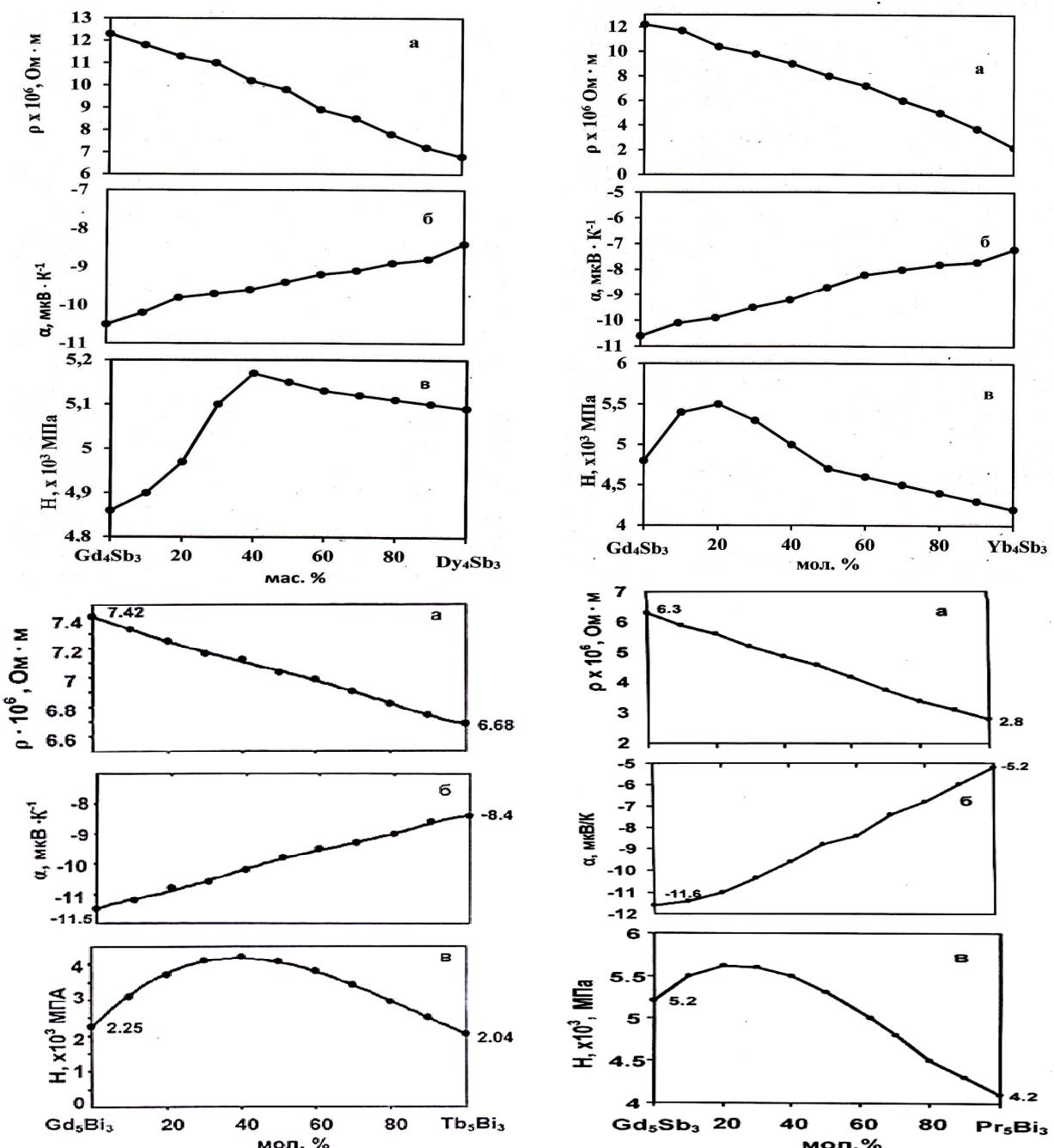


Рисунок 4 – Концентрационные зависимости удельного электросопротивления, термо-Э.д.с. и микротвердости твердых растворов систем Gd_4Sb_3 - Dy_4Sb_3 , Gd_4Sb_3 - Yb_4Sb_3 , Gd_5Bi_3 - Tb_5Bi_3 и Gd_5Sb_3 - Pr_5Bi_3

Концентрационные зависимости удельного электросопротивления и термо-Э.Д.С. твердых растворов изученных систем при комнатной температуре коррелируют со всеми диаграммами состояния, поскольку на кривых концентрационных зависимостях удельного электросопротивления и термо-Э.Д.С. экстремальных точек не наблюдается. При этом, концентрационные зависимости микротвердости твердых растворов (рисунок 4, в.) описываются кривой с максимумом.

ГЛАВА 4. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СИСТЕМ $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), СПЛАВОВ И СОЕДИНЕНИЙ СИСТЕМ $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$)

Результаты исследования электрофизических свойств твердых растворов, антимонидов, висмутидов РЗЭ, сплавов и соединений системы $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$). Измерение температурной зависимости удельного электросопротивления и термо-Э.Д.С. проводили на 4-6 образцах. При этом разброс значений удельного электросопротивления и термо-Э.Д.С. от образца к образцу не превышал погрешности измерений.

Как указано выше, концентрационные зависимости удельного электросопротивления и термо-Э.Д.С. твердых растворов при комнатной температуре изменяются почти линейно. Это указывает на их корреляцию с диаграммами состояния систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$).

В таблице 2 приведены значения удельного электросопротивления, электропроводности и термо-Э.Д.С. исходных компонентов -антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) и некоторых твердых растворов при 298 К.

В диссертации приведены температурные зависимости удельной электросопротивления, антимонидов, висмутидов, а также твердых растворов систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$).

Для примера на рисунках 5, 6 представлены температурные зависимости удельного электросопротивления и термо-Э.Д.С. некоторых твердых растворов систем $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$, $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ и $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ в диапазоне температур 298-773 К. Как видно из рисунков, температурная зависимость удельного электросопротивления и термо-Э.Д.С. твердых растворов в диапазоне температур 298-773 К изменяется линейно, что характерно для веществ с металлической проводимостью.

Температурная зависимость удельной электропроводности и термо-Э.Д.С. висмутидов Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) и твердых растворов систем $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) в диапазоне температур 298-773 К, также изменяются линейно.

Таблица 2 – Электрофизические свойства антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) и некоторых твердых растворов систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) при 298 К

Антимониды и твердые растворы	Удельное электросопротивление, $\rho \times 10^6, \Omega \cdot \text{м}$	Электропроводность, $\times 10^{-5}$, $\Omega^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	Термо-Э.д.с. $-\alpha, \text{мкВ/К}$
Pr_4Sb_3	6.22 ± 0.15	1.6 ± 0.04	5.3 ± 0.1
Nd_4Sb_3	3.26 ± 0.81	3.06 ± 0.07	8.8 ± 0.17
Gd_4Sb_3	12.2 ± 0.30	0.82 ± 0.02	10.5 ± 0.21
Tb_4Sb_3	9.72 ± 0.24	1.02 ± 0.02	7.6 ± 0.15
Dy_4Sb_3	6.52 ± 0.16	1.53 ± 0.04	8.4 ± 0.16
Yb_4Sb_3	2.23 ± 0.05	4.48 ± 0.12	7.4 ± 0.14
$\text{Gd}_{3.6}\text{Pr}_{0.4}\text{Sb}_3$	11.84 ± 0.29	0.84 ± 0.02	10 ± 0.2
$\text{Gd}_{2.8}\text{Nd}_{1.2}\text{Sb}_3$	8.56 ± 0.21	1.17 ± 0.29	10.2 ± 0.2
$\text{Gd}_{1.6}\text{Tb}_{2.4}\text{Sb}_3$	10.82 ± 0.27	0.92 ± 0.02	9.2 ± 0.18
$\text{Gd}_2\text{Dy}_2\text{Sb}_3$	9.87 ± 0.24	1.01 ± 0.02	9.4 ± 0.18
$\text{Gd}_{0.8}\text{Yb}_{3.2}\text{Sb}_3$	4.54 ± 0.11	2.20 ± 0.05	7.74 ± 0.15
$\text{Tb}_{2.4}\text{Dy}_{1.6}\text{Sb}_3$	8.33 ± 0.20	1.20 ± 0.03	7.9 ± 0.15

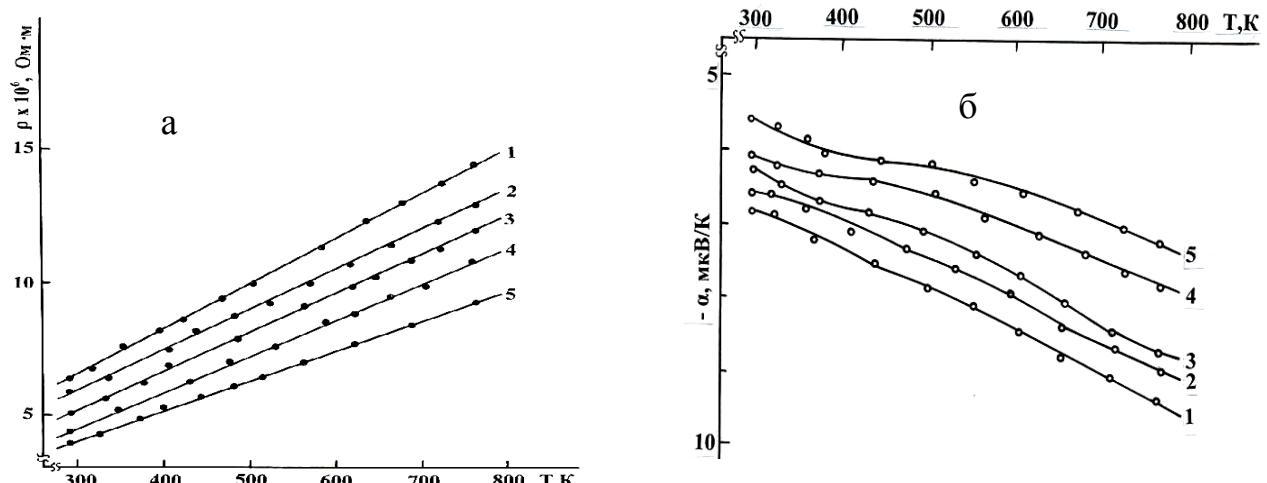


Рисунок 5 – Температурная зависимость удельного электросопротивления (а) и термо-Э.д.с.(б) твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Pr}_x\text{Bi}_3$, содержащих: 1-10, 2-20, 3-30, 4-40, 5-50 мол. % Pr_4Bi_3 в диапазоне температур 298-773 К

В качестве примера на рисунке 7, а, б представлены температурные зависимости удельного электросопротивления и термо-Э.д.с. висмутидов в диапазоне температур 298-773 К.

В таблице 3 приведены электрофизические свойства висмутидов Ln_5Bi_3 и некоторых твердых растворов систем $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) при 298 К. Как видно из таблицы, среди висмутидов значительную электропроводность проявляют висмутиды Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) а среди твердых растворов, исследованных систем $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), твердые растворы $\text{Gd}_{0.5}\text{Lu}_{4.5}\text{Bi}_3$.

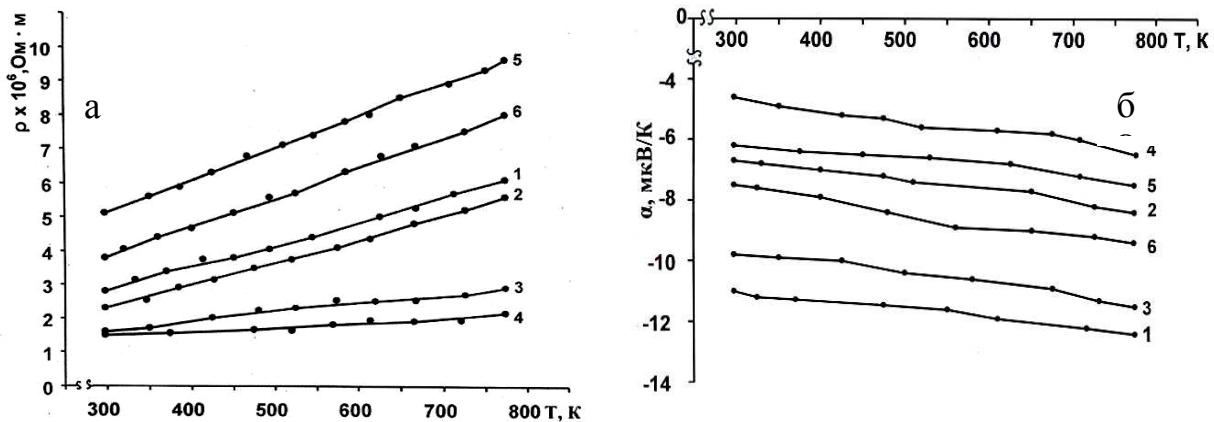


Рисунок 6 - Температурная зависимость удельного электросопротивления (а) и термо-э.д.с. (б) твердых растворов в диапазоне температур 298-773 К:
 1-Gd₄Sb_{2.4}PrBi_{0.6}, 2-Gd₂Sb_{1.5}Pr₂Bi_{1.5}, 3-Gd_{1.5}Sb_{0.9}Nd_{3.5}Bi_{2.1}, 4-Gd_{0.8}Sb_{0.6}Nd_{3.2}Bi_{2.4},
 5-Gd_{2.8}Sb_{2.1}Tb_{1.2}Bi_{0.9}, 6-Gd_{3.2}Sb_{2.4}Yb_{0.8}Bi_{0.6}

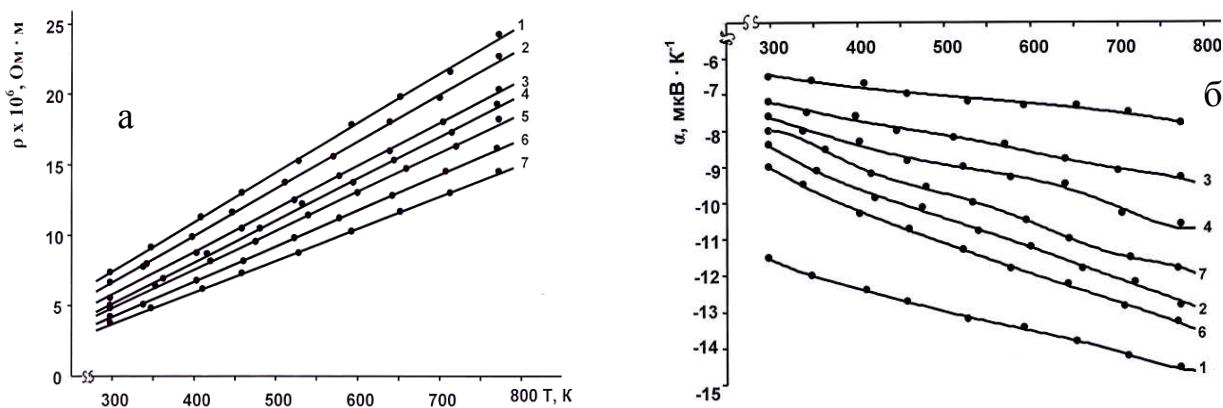


Рисунок 7 - Температурная зависимость удельного электросопротивления и термо-э.д.с. висмутидов в диапазоне температур 298-773 К: 1- Gd₅Bi₃, 2- Tb₅Bi₃,
 3- Dy₅Bi₃, 4- Ho₅Bi₃, 5- Er₅Bi₃, 6- Tm₅Bi₃, 7- Lu₅Bi₃

Таблица 3 -Электрофизические свойства висмутидов Ln₅Bi₃ и некоторых твердых растворов систем Gd₅Bi₃-Ln₅Bi₃ (Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) при 298 К

Висмутиды РЗЭ	Удельное электросопротивление $\rho \times 10^6$, Ом·м	Электропроводность $\sigma \times 10^{-5}$, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	Термо-э.д.с. - α , мВ/К
Gd ₅ Bi ₃	7.42±0.18	1.34±0.03	11.5±0.23
Tb ₅ Bi ₃	6.68±0.16	1.49±0.37	8.4±0.16
Dy ₅ Bi ₃	5.56±0.14	1.80±0.04	7.2±0.14
Ho ₅ Bi ₃	5.48±0.13	1.82±0.04	7.6±0.15
Er ₅ Bi ₃	4.25±0.10	2.35±0.05	6.5±0.13
Tm ₅ Bi ₃	4.85±0.12	2.06±0.05	8.6±0.17
Lu ₅ Bi ₃	3.75±0.09	2.66±0.06	7.8±0.15
Gd _{4.5} Tb _{0.5} Bi ₃	7.30±0.18	1.37±0.03	11.2±0.22
Gd _{3.5} Dy _{1.5} Bi ₃	6.80±0.17	1.47±0.03	10.3±0.20
GdHo ₄ Bi ₃	5.90±0.14	1.69±0.04	8.5±0.17
Gd ₂ Er ₃ Bi ₃	5.70±0.14	1.75±0.04	7.8±0.15
Gd _{1.5} Tm _{3.5} Bi ₃	5.50±0.13	1.82±0.04	9.0±0.18
Gd _{0.5} Lu _{4.5} Bi ₃	4.14±0.10	2.41±0.06	8.1±0.16

Результаты исследования электрофизических свойств сплавов и соединений системы $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$). В данном разделе приводятся результаты исследования температурной и концентрационной зависимости удельного электросопротивления, термо-Э.Д.С. сплавов и соединений систем $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$).

Методами РФА и МСА выявлено образование в системах соединений типа Ln_2Bi ($Ln = Pr, Nd$), Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$), Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$), $LnBi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) и $LnBi_2$ ($Ln = Pr, Nd$), что не противоречит ранее изученным диаграммам состояния систем $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$).

Установлено, что как удельное электросопротивление, так и термо-Э.Д.С. соединений системы $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) во всем исследованном диапазоне температур изменяется линейно. В качестве примера на рисунках 8–11 а, б представлены температурные зависимости удельного электросопротивления и термо-Э.Д.С. висмутидов системы $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$).

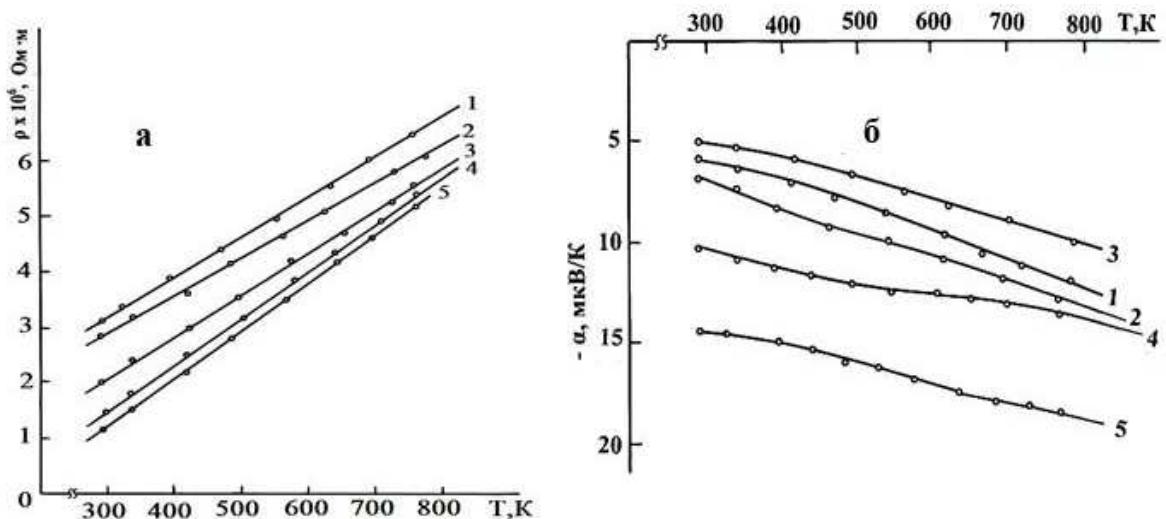


Рисунок 8 - Температурная зависимость удельного электросопротивления (а) и термо-Э.Д.С. (б) висмутидов: 1- Pr_2Bi , 2- Pr_5Bi_3 , 3- Pr_4Bi_3 , 4- $PrBi$, 5- $PrBi_2$ в диапазоне температур 298–773 К

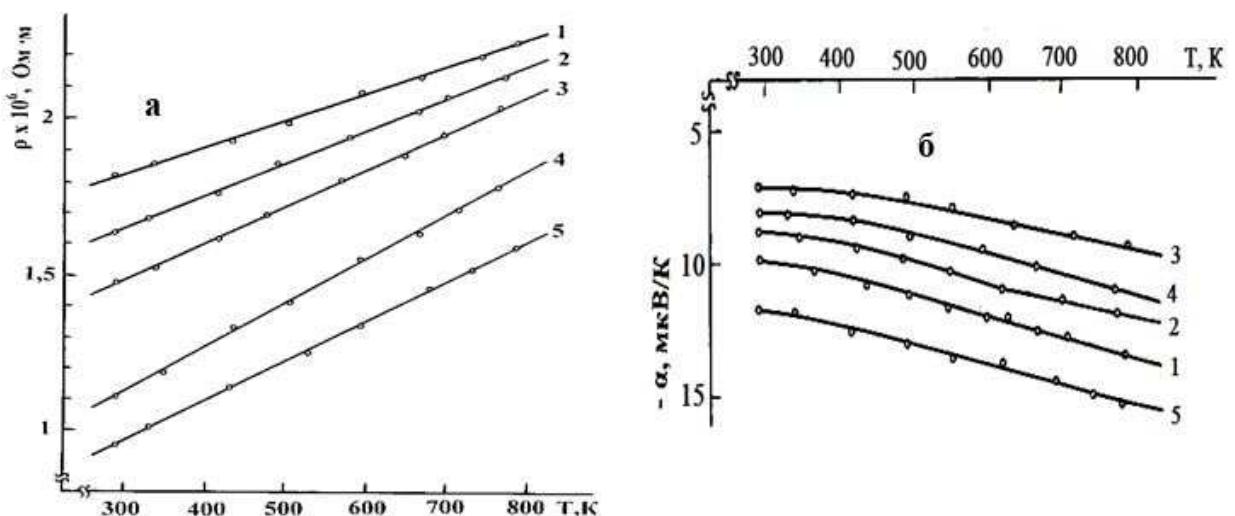


Рисунок 9 - Температурная зависимость удельного электросопротивления (а) и термо-Э.Д.С. (б) висмутидов: 1- Nd_2Bi , 2- Nd_5Bi_3 , 3- Nd_4Bi_3 , 4- $NdBi$, 5- $NdBi_2$ в диапазоне температур 298–773 К

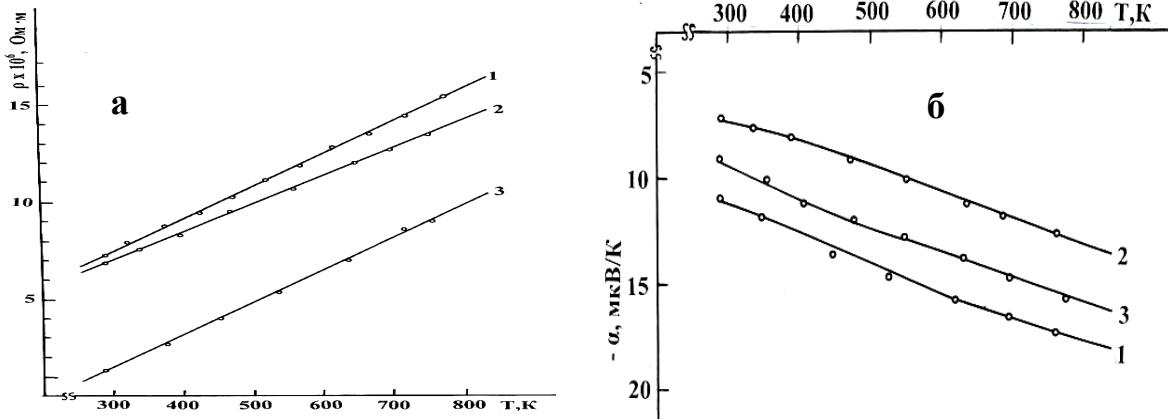


Рисунок 10 - Температурная зависимость удельного электросопротивления (а) и термо-э.д.с. (б) висмутидов:
1- Gd_5Bi_3 , 2- Gd_4Bi_3 , 3- GdBi в диапазоне температур 298-773 К

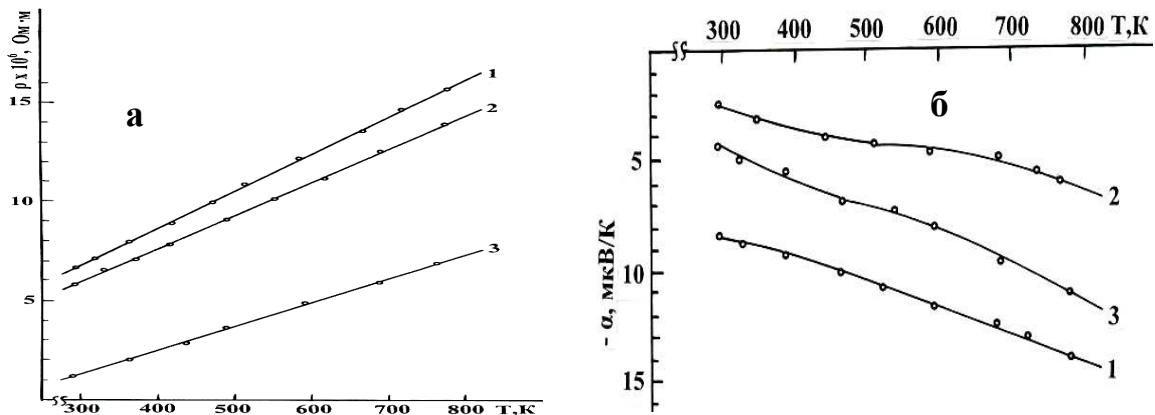


Рисунок 11 - Температурная зависимость удельного электросопротивления (а) и термо-э.д.с.(б) висмутидов:
1- Tb_5Bi_3 , 2- Tb_4Bi_3 , 3- TbBi в диапазоне температур 298-773 К

В таблице 4 представлены электрофизические свойства висмутидов, образующихся в системах $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$).

Таблица 4 - Электрофизические свойства соединений систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) при 298 К

Антимониды РЗЭ	Удельное электросопротивление $\rho \times 10^6$, Ом·м	Электропроводность $\sigma \times 10^{-5}$, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	Термо-э.д.с. $-\alpha$, $\mu\text{В}/\text{К}$
Pr_2Bi	3.2 ± 0.08	3.12 ± 0.07	5.6 ± 0.11
Pr_5Bi_3	2.89 ± 0.07	3.46 ± 0.08	6.2 ± 0.12
Pr_4Bi_3	2.01 ± 0.05	4.97 ± 0.12	4.8 ± 0.09
PrBi	1.18 ± 0.03	8.47 ± 0.21	10 ± 0.25
PrBi_2	1.4 ± 0.03	7.14 ± 0.17	14 ± 0.28
Nd_2Bi	1.82 ± 0.04	5.49 ± 0.13	9.6 ± 0.19
Nd_5Bi_3	1.65 ± 0.04	6.06 ± 0.15	8.4 ± 0.16
Nd_4Bi_3	1.48 ± 0.03	6.75 ± 0.16	7.2 ± 0.14
NdBi	1.38 ± 0.02	7.24 ± 0.22	8.1 ± 9.16
NdBi_2	4.21 ± 0.02	2.37 ± 0.26	12 ± 0.24
Gd_5Bi_3	7.46 ± 0.18	1.34 ± 0.03	11 ± 0.22
Gd_4Bi_3	7.1 ± 0.17	1.40 ± 0.03	7 ± 0.14
GdBi	1.46 ± 0.03	6.84 ± 0.17	9 ± 0.18
$\alpha\text{-Tb}_5\text{Bi}_3$	6.68 ± 0.16	1.49 ± 0.03	8.4 ± 0.16
Tb_4Bi_3	5.8 ± 0.14	1.72 ± 0.04	2.5 ± 0.05
TbBi	1.25 ± 0.03	8.00 ± 0.2	4.2 ± 0.08

На рисунке 12 представлены концентрационные зависимости удельного электросопротивления и термо-Э.д.с. сплавов и соединений системы Ln – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb) при 298 К.

Результаты исследования концентрационных зависимостей удельного электросопротивления и термо-Э.д.с. сплавов и соединений коррелируют с диаграммами состояния систем Ln – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb), поскольку кривые концентрационной зависимости удельного электросопротивления и термо-Э.д.с. испытывают аномалии в точках, соответствующим химическим соединениям данной системы.

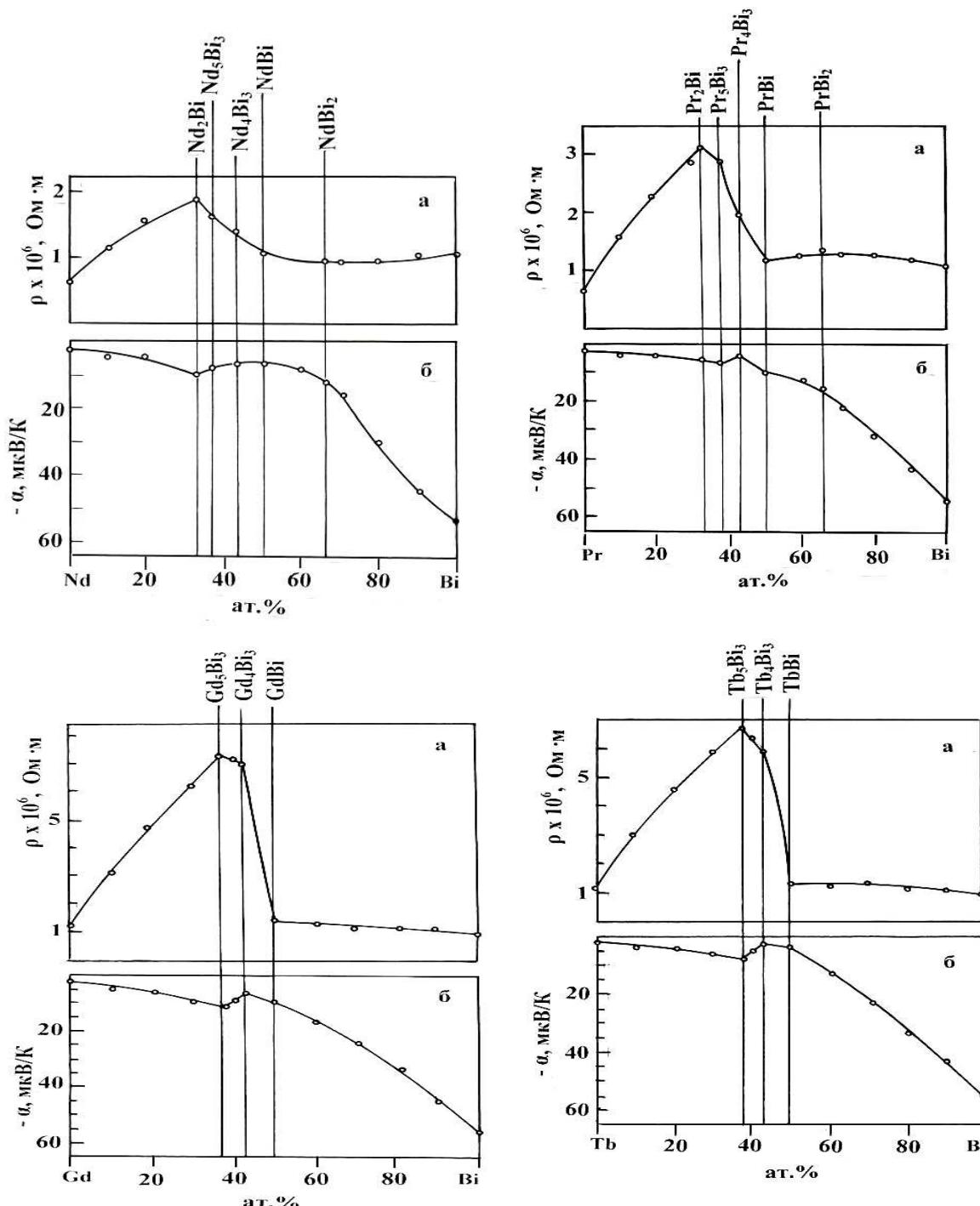


Рисунок 12 - Концентрационные зависимости удельного электросопротивления (а) и термо-Э.д.с (б) сплавов и соединений систем Ln – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb)

ГЛАВА 5. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СИСТЕМ $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) И СПЛАВОВ СИСТЕМ $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$)

Необходимость исследования магнитных свойств указанных антимонидов, как компонентов, возникла при исследовании магнитных свойств твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) и $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$. Следует отметить, что магнитные свойства антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) в данной работе исследованы впервые.

Молярную магнитную восприимчивость антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) исследовали в диапазоне температур 298-773 К. Установлено, что во всем изученном диапазоне температур указанные антимониды проявляют парамагнитные свойства.

Для примера на рисунках 13, 14, а, б приведены температурные зависимости обратной величины магнитной восприимчивости антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) диапазона температур 298-773 К.

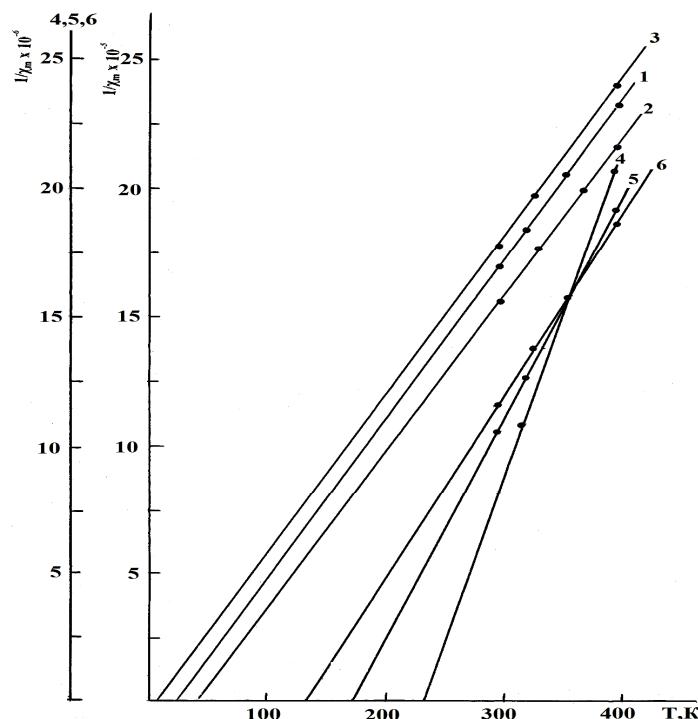


Рисунок 13 – Температурная зависимость обратной молярной магнитной восприимчивости антимонидов (1- Pr_4Sb_3 , 2- Nd_4Sb_3 , 3- Yb_4Sb_3 , 4- Gd_4Sb_3 , 5- Tb_4Sb_3 , 6- Dy_4Sb_3) в диапазоне температур 298-400 К

Из рисунков видно, что обратная величина молярной магнитной восприимчивости всех антимонидов во всем диапазоне температур следует закону Кюри-Вейсса.

Значения молярной магнитной восприимчивости при комнатной температуре, парамагнитной температуры Кюри антимонидов состава Ln_4Sb_3 и эффективных магнитных моментов РЭ представлена в таблице 5.

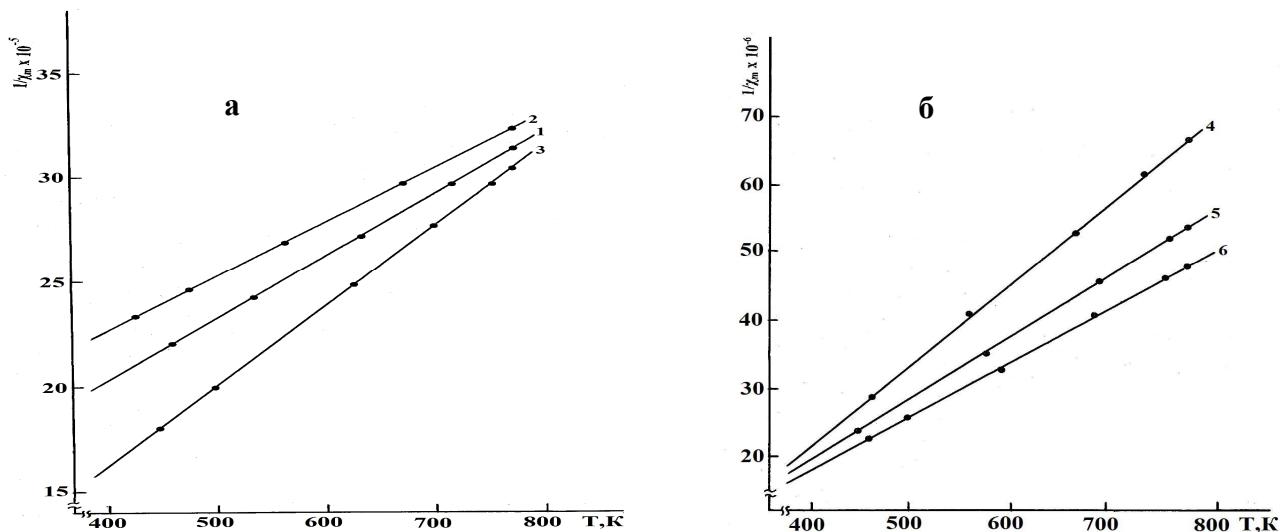


Рисунок 14 -Температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости антимонидов (а: 1- Pr_4Sb_3 , 2- Nd_4Sb_3 , 3- Gd_4Sb_3 ; б: 4- Tb_4Sb_3 , 5- Dy_4Sb_3 , 6- Yb_4Sb_3) в диапазоне температур 400-773 К

Таблица 5 - Магнитные свойства антимонидов состава Ln_4Sb_3

Антимониды	$\chi_m \times 10^6$ при 298 К	θ_p , К	$\mu_{\text{эфф.}} \times 10^{24}$, $\text{A} \cdot \text{м}^2$	$\mu_{\text{эфф.}} \times 10^{24}$, $\text{A} \cdot \text{м}^2$ (литерат)
Pr_4Sb_3	6037.2	25	33.75	33.2
Nd_4Sb_3	6594.0	38	34.30	33.57
Gd_4Sb_3	122291.5	235	73.0	73.6
Tb_4Sb_3	95087.4	175	90.05	90.14
Dy_4Sb_3	86295.4	138	97.37	98.6
Yb_4Sb_3	5811.6	8	32.44	42.01

Результаты исследования молярной магнитной восприимчивости показали, что во всем изученном диапазоне температур твердые растворы $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$, ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; ($x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$, ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$, $y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.4 \div 3.6; y = 0.3 \div 2.7$) данных систем в диапазоне температур 298-773 К проявляют парамагнитные свойства.

Для примера, на рисунках 15-18 а, б приведены температурные зависимости обратной величины молярной магнитной восприимчивости некоторых указанных твердых растворов диапазона температур 298-773 К. Из рисунков следует, что обратная величина молярной магнитной восприимчивости твердых растворов во всем диапазоне температур следует закону Кюри-Вейсса.

Значения молярной магнитной восприимчивости (χ_m) при комнатной температуре, парамагнитной температуры Кюри (θ_p) и значения эффективных магнитных моментов ($\mu_{\text{эфф.}}$) ионов РЗЭ некоторых твердых растворов представлены в таблице 6.

Следует отметить, что в диссертации исследованы магнитные свойства 210 твердых растворов.

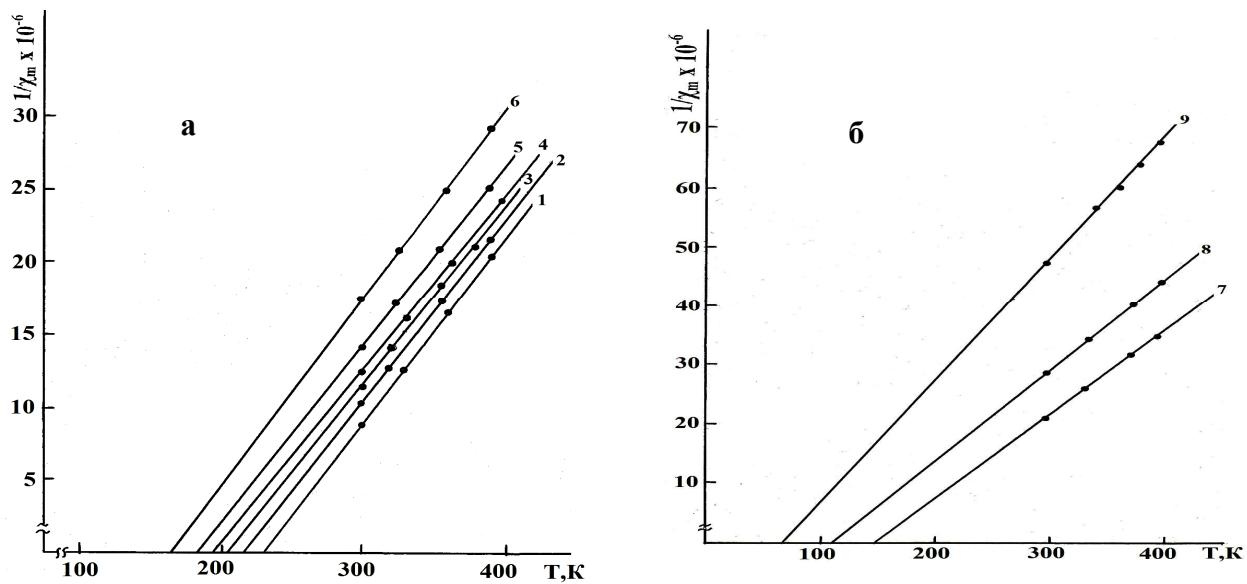


Рисунок 15 - Температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Sb}_3$, содержащих
а: 1- 10, 2-20, 3-30, 4-40, 5-50, 6-60; б: 7-70, 8-80, 9-90 мол. % Nd_4Sb_3 ,
в диапазоне температур 298-400 К

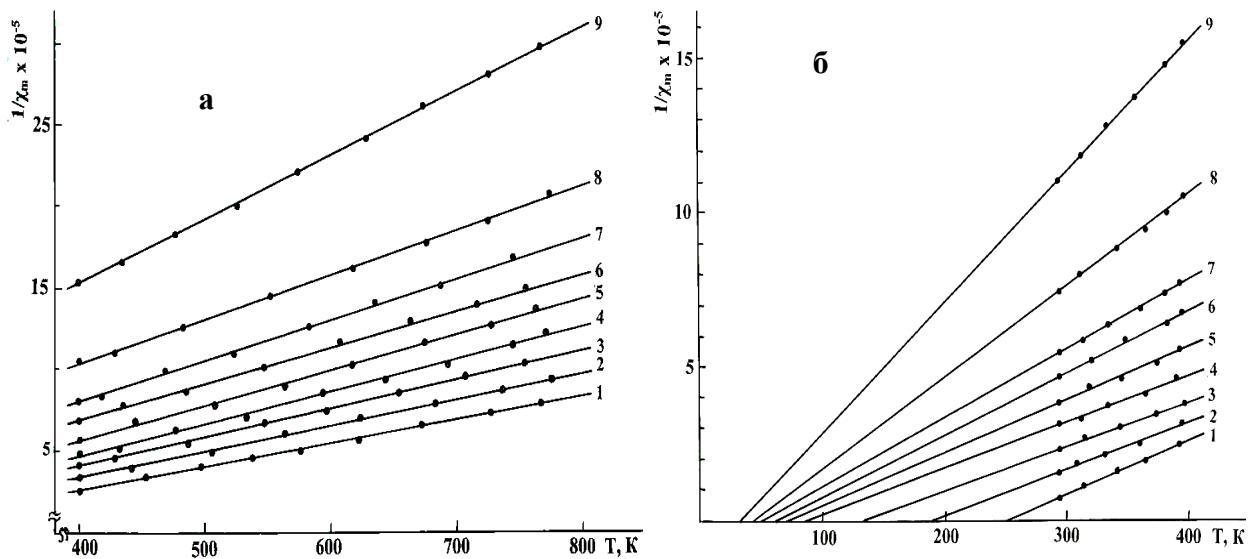


Рисунок 16 - Температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Pr}_x\text{Bi}_3$, содержащих:
1- 10, 2- 20, 3-30, 4-40, 5-50, 6-60, 7-70, 8-80 и 9-90 мол.% Pr_4Bi_3
в диапазоне температур 298-400 К (а) и 400 -773 К (б)

Для примера на рисунке 19, а, б представлены температурные зависимости молярной магнитной восприимчивости висмутидов Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}$), для которых во всем исследованном диапазоне температур выполняется закон Кюри-Вейсса, характерный парамагнитным веществам.

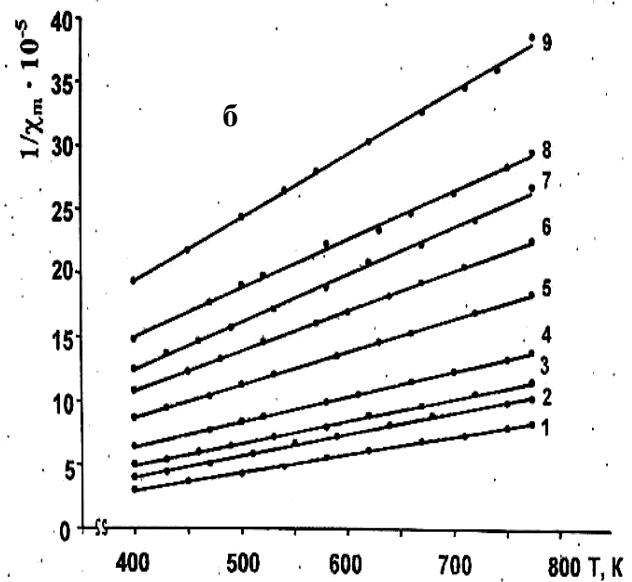
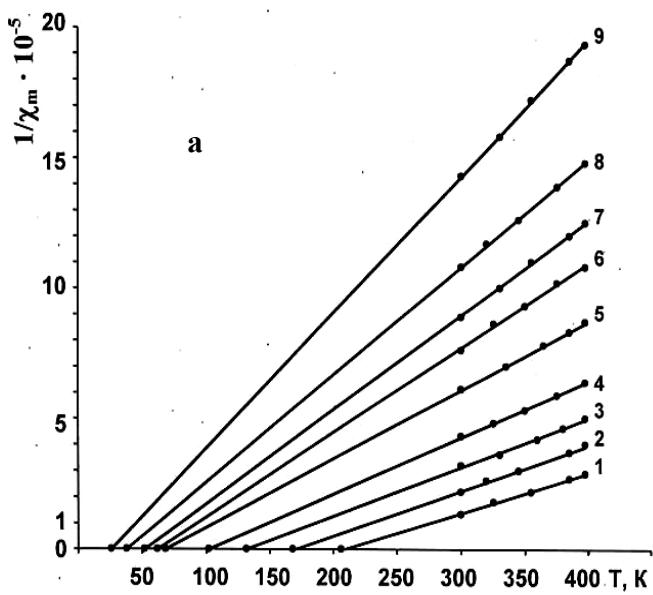


Рисунок 17 - Температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Pr}_x\text{Bi}_y$, содержащих 1-10, 2-20, 3-30, 4-40, 5-50, 6-60, 7-70, 8-80, 9-90 мол.% Pr_5Bi_3 в диапазоне температур 298-400 К (а) и 400 - 773 К (б)

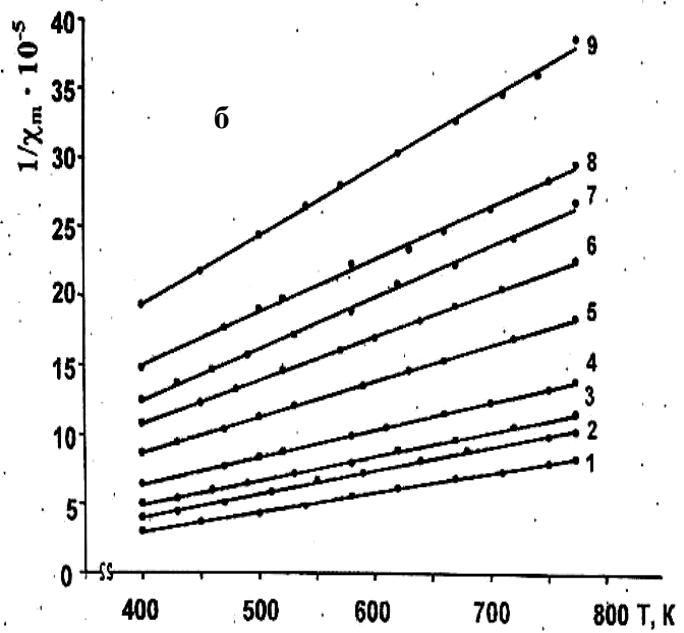
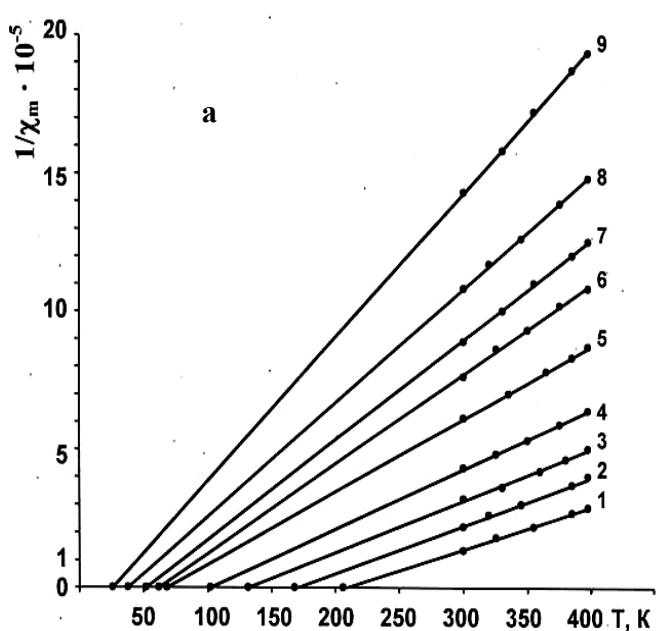


Рисунок 18 - Температурная зависимость обратной молярной магнитной восприимчивости твердых растворов $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Nd}_x\text{Bi}_y$, содержащих 1-10, 2-20, 3-30, 4-40, 5-50, 6-60, 7-70, 8-80, 9-90 мол.% Nd_5Bi_3 в диапазоне 298-400 К (а) и 400-773 К (б)

Магнитные характеристики висмутидов приведены в таблице 6. Из таблицы видно, что среди висмутидов РЗЭ наиболее высокой паромагнитной температурой Кюри обладают висмутидам Gd_5Bi_3 и Tb_5Bi_3 .

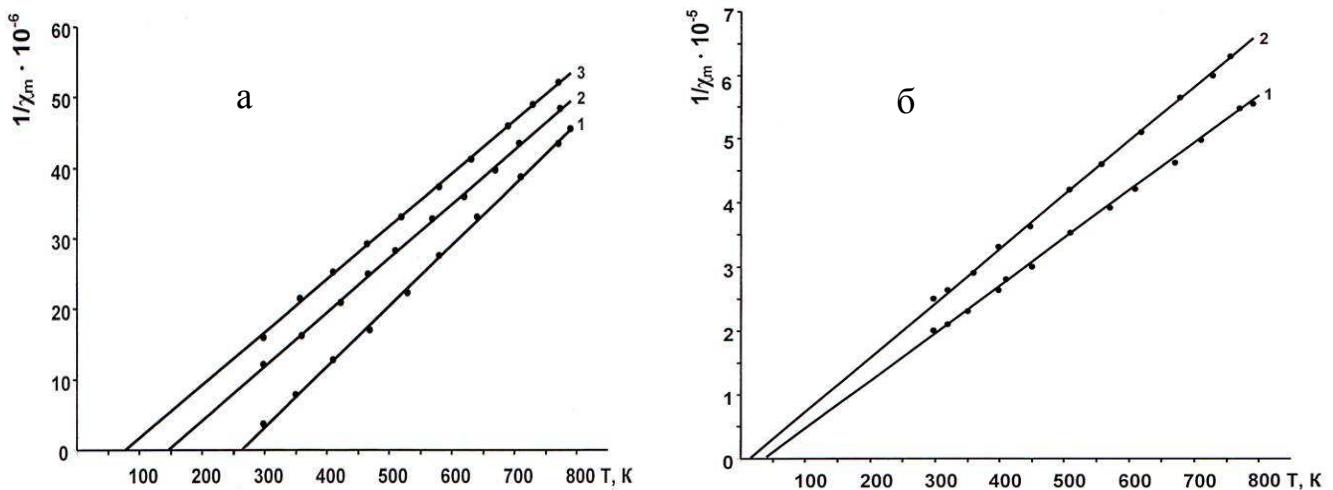


Рисунок 19 - Температурная зависимость обратной молярной магнитной восприимчивости а:1- Gd_5Bi_3 , 2- Tb_5Bi_3 и 3- Dy_5Bi_3 , б: 1- Ho_5Bi_3 , 2- Er_5Bi_3 в диапазоне температур 298-773 К

Таблица 6 - Магнитные свойства висмутидов РЗЭ

Висмутиды	$\chi_m \times 10^6$ при 298 К	θ_p , К	$\mu_{\text{эфф.}} \times 10^{24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Pr_5Bi_3	6539.3	13	34.22.
Nd_5Bi_3	7897.2	84	34.03
Gd_5Bi_3	280526.0	270	73.54
Tb_5Bi_3	94580.1	142	92.36
Dy_5Bi_3	62690.5	75	98.1
Ho_5Bi_3	50028.0	40	94.22
Er_5Bi_3	39908.2	15	88.2
Tm_5Bi_3	26318.2	12	68.7
Lu_5Bi_3	5051.2	5	31.9

Твердые растворы $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$) в диапазоне температур 298-773 К проявляют парамагнитные свойства (таблица 7). Температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости твердых растворов во всем диапазоне температур подчиняется закону Кюри-Вейсса. Для примера на рисунке 20, а, б, представлена зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости твердых растворов $\text{Gd}_{5-x}\text{Tb}_x\text{Bi}_3$, ($x = 0.5 \div 4.5$) в диапазоне температур 298-773 К.

Магнитные характеристики некоторых твердых растворов приведены в таблице 8. Из таблицы следует, что с ростом концентрации гадолиния в твердых растворах наблюдается увеличение значений парамагнитных температур Кюри. При этом парамагнитная температура Кюри (θ_p) твердых растворов $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$) меньше, чем $\theta_p \text{Gd}_5\text{Bi}_3$, но превышают значения $\theta_p \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$).

Таблица 7 - Магнитные свойства твердых растворов

Твердые растворы	$\chi_m \times 10^6$ при 298 К	θ_p, K	$\mu_{\text{эф}} \times 10^{24}, A \cdot m^2$
1	2	3	4
Твердые растворы системы $Gd_4Sb_3 - Pr_4Sb_3$			
$Gd_{3.6}Pr_{0.4}Sb_3$	11598.8	222	76.70
$Gd_{3.2}Pr_{0.8}Sb_3$	100327.7	207	79.57
$Gd_{2.8}Pr_{1.2}Sb_3$	84042.0	190	79.29
Твердые растворы системы $Gd_4Sb_3 - Nd_4Sb_3$			
$Gd_2Nd_2Sb_3$	72615.0	184	75.63
$Gd_{1.6}Nd_{2.4}Sb_3$	60175.0	168	73.63
$Gd_{1.2}Nd_{2.8}Sb_3$	47880.0	146	71.03
Твердые растворы системы $Gd_4Sb_3 - Tb_4Sb_3$			
$Gd_{1.6}Tb_{2.4}Sb_3$	133286.4	226	81.61
$Gd_{1.2}Tb_{2.8}Sb_3$	116360.2	210	84.20
$Gd_{0.8}Tb_{3.2}Sb_3$	106957.2	198	86.24
Твердые растворы системы $Gd_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$			
$Gd_{2.8}Dy_{1.2}Sb_3$	216682.2	254	70.76
$Gd_{2.4}Dy_{1.6}Sb_3$	275615.2	240	78.17
$Gd_2Dy_2Sb_3$	164604.0	228	80.2
Твердые растворы системы $Gd_4Sb_3 - Yb_4Sb_3$			
$Gd_{1.6}Yb_{2.4}Sb_3$	68370.0	98	97.37
$Gd_{1.2}Yb_{2.8}Sb_3$	51920.0	80	88.56
$Gd_{0.8}Yb_{3.2}Sb_3$	39180.0	64	79.66
Твердые растворы системы $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$			
$Tb_{3.6}Dy_{0.4}Sb_3$	109252.8	190	90.42
$Tb_{3.2}Dy_{0.8}Sb_3$	125465.0	202	91.34
$Tb_{2.8}Dy_{1.2}Sb_3$	140728.0	210	92.74
Твердые растворы системы $Gd_4Bi_3 - Pr_4Bi_3$			
$Gd_{3.6}Pr_{0.4}Bi_3$	106363.6	232	69.55
$Gd_{3.2}Pr_{0.8}Bi_3$	64717.0	192	68.7
$Gd_{2.8}Pr_{1.2}Bi_3$	41728.3	136	68.2
Твердые растворы системы $Gd_4Bi_3 - Nd_4Bi_3$			
$Gd_{3.2}Nd_{0.8}Bi_3$	98993.1	253	55.36
$Gd_{2.8}Nd_{1.2}Bi_3$	82438.7	240	57.31
$Gd_{2.4}Nd_{1.6}Bi_3$	65789.4	220	59.44
Твердые растворы системы $Gd_4Bi_3 - Tb_4Bi_3$			
$Gd_{2.8}Tb_{1.2}Bi_3$	73645.8	202	69.5
$Gd_{2.4}Tb_{1.6}Bi_3$	64912.2	184	71.4
$Gd_2Tb_2Bi_3$	62742.0	174	73.26

1	2	2	4
Твердые растворы системы $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Pr}_4\text{Bi}_3$			
$\text{Gd}_{3.6}\text{Sb}_{2.7}\text{Pr}_{0.4}\text{Bi}_{0.3}$	68600	198	68.62
$\text{Gd}_{3.2}\text{Sb}_{2.4}\text{Pr}_{0.8}\text{Bi}_{0.6}$	52608.2	158	64.55
$\text{Gd}_{2.8}\text{Sb}_{2.1}\text{Pr}_{1.2}\text{Sb}_{0.9}$	34151	139	61.1
Твердые растворы системы $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Nd}_4\text{Bi}_3$			
$\text{Gd}_{3.6}\text{Sb}_{2.7}\text{Nd}_{0.4}\text{Bi}_{0.3}$	57327.5	182	67.60
$\text{Gd}_{3.2}\text{Sb}_{2.4}\text{Nd}_{0.8}\text{Bi}_{0.6}$	41142.8	158	62.97
$\text{Gd}_{2.8}\text{Sb}_{2.1}\text{Nd}_{1.2}\text{Sb}_{0.9}$	33552.6	146	59.26
Твердые растворы системы $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Tb}_4\text{Bi}_3$			
$\text{Gd}_{2.8}\text{Sb}_{2.1}\text{Tb}_{1.2}\text{Sb}_{0.9}$	174002.0	228	76.9
$\text{Gd}_{2.4}\text{Sb}_{1.8}\text{Tb}_{1.6}\text{Bi}_{1.2}$	87378.6	195	78.6
$\text{Gd}_2\text{Sb}_{1.5}\text{Tb}_2\text{Bi}_{1.5}$	84909.0	187	80.5
Твердые растворы системы $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Yb}_4\text{Bi}_3$			
$\text{Gd}_{1.6}\text{Sb}_{1.2}\text{Yb}_{2.4}\text{Bi}_{1.8}$	14856.0	55	49.89
$\text{Gd}_{1.2}\text{Sb}_{0.9}\text{Yb}_{2.8}\text{Bi}_{2.1}$	13089.0	45	47.76
$\text{Gd}_{0.8}\text{Sb}_{0.6}\text{Yb}_{3.2}\text{Bi}_{2.4}$	11547.3	36	45.62
Твердые растворы системы $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Pr}_5\text{Bi}_3$			
$\text{Gd}_{4.5}\text{Sb}_{2.7}\text{Pr}_{0.5}\text{Bi}_{0.3}$	74021.7	206	68.44
$\text{Gd}_{4.0}\text{Sb}_{2.4}\text{Pr}_{1.0}\text{Bi}_{0.6}$	44307.6	168	62.97
$\text{Gd}_{3.5}\text{Sb}_{2.1}\text{Pr}_{1.5}\text{Bi}_{0.9}$	30722.8	132	63.75
Твердые растворы системы $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Nd}_5\text{Bi}_3$			
$\text{Gd}_{3.5}\text{Sb}_{2.1}\text{Nd}_{1.5}\text{Bi}_{0.9}$	48623.8	189	60.28
$\text{Gd}_{3.0}\text{Sb}_{1.8}\text{Nd}_{2.0}\text{Bi}_{1.2}$	39672.2	176	58.42
$\text{Gd}_{2.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Nd}_{2.5}\text{Bi}_{1.5}$	31343.2	164	53.78

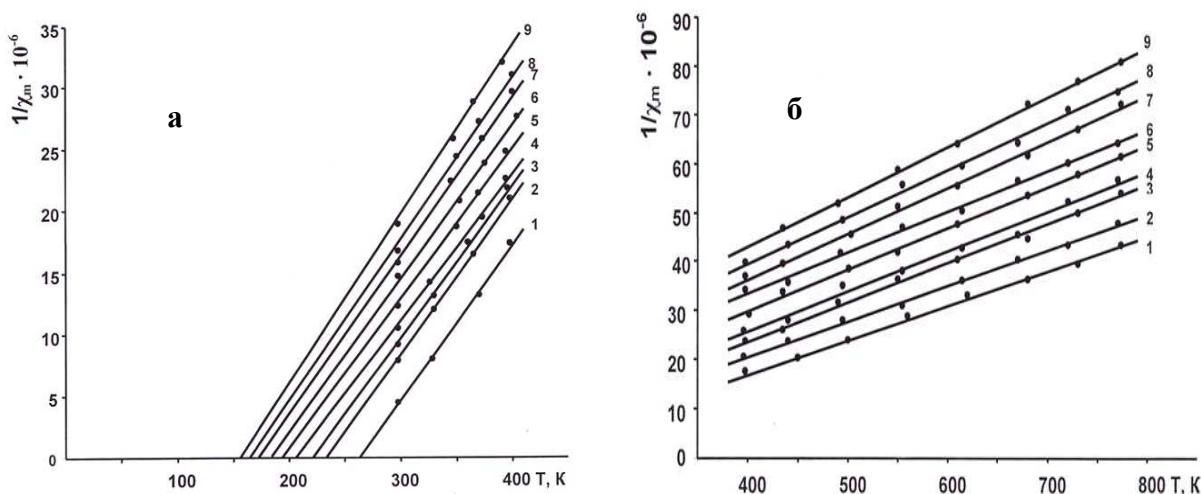


Рисунок 20 - Температурная зависимость обратной молярной магнитной восприимчивости твердых растворов $\text{Gd}_{5-x}\text{Tb}_x\text{Bi}_3$, содержащих 1-10, 2 -20, 3 -30, 4 -40, 5 -50, 6 -60, 7 -70, 8 -80 и 9 -90 мол. % Tb_5Bi_3 в диапазоне 298-400 К (а) и 400-773 К (б)

Таблица 8 - Магнитные свойства твердых растворов систем Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Lu}$)

Твердые растворы	$\chi_m \times 10^6$ при 298 К	θ_p , К	$\mu_{\text{эф}} \times 10^{24}$, А·м ²
Твердые растворы системы Gd_5Bi_3 - Tb_5Bi_3			
$\text{Gd}_{4.5}\text{Tb}_{0.5}\text{Bi}_3$	225555.5	262	74.7
Gd_4TbBi_3	127424.2	232	76.0
$\text{Gd}_{3.5}\text{Tb}_{1.5}\text{Bi}_3$	108695.6	220	76.4
Твердые растворы системы Gd_5Bi_3 - Dy_5Bi_3			
$\text{Gd}_3\text{Dy}_2\text{Bi}_3$	56179.9	148	76.1
$\text{Gd}_{2.5}\text{Dy}_{2.5}\text{Bi}_3$	51020.4	138	74.9
$\text{Gd}_2\text{Dy}_3\text{Bi}_3$	45454.5	126	73.3
Твердые растворы системы Gd_4Bi_3 - Ho_5Bi_3			
$\text{Gd}_{1.5}\text{Ho}_{3.5}\text{Bi}_3$	40816.3	86	77.15
GdHo_4Bi_3	36496.3	74	75.02
$\text{Gd}_{0.5}\text{Ho}_{4.5}\text{Bi}_3$	34013.6	66	73.63
Твердые растворы системы Gd_5Bi_3 - Er_5Bi_3			
$\text{Gd}_{4.5}\text{Er}_{0.5}\text{Bi}_3$	77500.4	194	74.4
Gd_4ErBi_3	60071.4	158	85.3
$\text{Gd}_{3.5}\text{Er}_{1.5}\text{Bi}_3$	51282.0	124	78.3
Твердые растворы системы Gd_5Bi_3 - Tm_5Bi_3			
$\text{Gd}_3\text{Tm}_2\text{Bi}_3$	39462.3	112	71.03
$\text{Gd}_{2.5}\text{Tm}_{2.5}\text{Bi}_3$	36089.2	96	70.85
$\text{Gd}_2\text{Tm}_3\text{Bi}_3$	32117.2	76	70.0
Твердые растворы системы Gd_5Bi_3 - Lu_5Bi_3			
$\text{Gd}_{1.5}\text{Lu}_{3.5}\text{Bi}_3$	8196.7	52	37.28
GdLu_4Bi_3	6801.5	34	35.14
$\text{Gd}_{0.5}\text{Lu}_{4.5}\text{Bi}_3$	5760.3	18	33.29

Температурные зависимости обратной величины молярной магнитной восприимчивости сплавов и соединений систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) в диапазоне 298-773 К приведены в диссертации. Температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости сплавов и соединений, за исключением некоторых сплавов системы $\text{Gd} - \text{Bi}$, во всем диапазоне температур подчиняется закону Кюри-Вейсса.

Температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости сплавов и соединений системы $\text{Gd} - \text{Bi}$ диапазона концентраций 10-42.86 ат. % Bi качественно отличается от аналогичных зависимостей сплавов систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$). Так, температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости сплавов диапазона концентраций 10, 20, 30, 37.5, 42.86 ат. % Bi при температурах 353, 393, 434, 453 и 498 К, соответственно, не подчиняется закону Кюри-Вейсса (рисунок 21).

В диапазоне 10-42.86 ат. % Bi наблюдается рост парамагнитной температуры Кюри, которая больше θ_p чистого гадолиния (310 К).

Далее, в диапазоне концентраций 50-90 ат. % Bi парамагнитная температура Кюри сплавов резко уменьшается от 365 до 42 К.

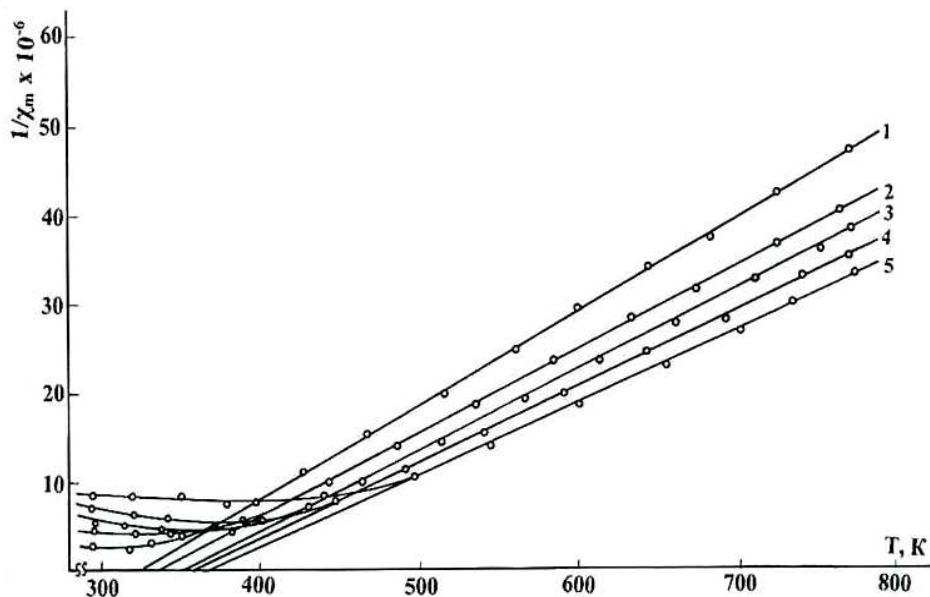


Рисунок 21 - Температурная зависимость обратной молярной магнитной восприимчивости сплавов и соединений системы Gd – Bi (ат. % Bi): 1-10, 2-20, 3-30, 4-37.5 (Gd_5Bi_3), 5-42.86 (Gd_4Bi_3) в диапазоне температур 298-773

В таблице 9 приведены магнитные свойства некоторых сплавов и соединений систем Ln – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb).

Таблица 9 - Магнитные свойства сплавов и соединений систем Ln – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb) при 298 К

Содержание висмута в сплавах и соединениях, ат.%.Bi	Фазовый состав	$\chi_m \times 10^6$ при 298 К	θ_p , К	$\mu_{\text{эфф.}} \times 10^{24}$, $\text{A} \cdot \text{м}^2$
1	2	3	4	5
Система Pr – Bi				
10	Pr_2Bi + эвтектика	5903	5	33.01
20	Pr_2Bi + эвтектика	6091.2	10	33.20
33.3	Pr_2Bi	6275.8	12	33.57
37.5	Pr_5Bi_3	6539.3	13	34.22
42.86	Pr_4Bi_3	5962	11	32.73
50	PrBi	5685	8	32.18
60	PrBi + PrBi_2	4886.2	6	29.95
66.6	PrBi_2	4458.6	5	28.65
70	PrBi_2 + $\text{Bi}_{\text{TB.p.}}$	3989.4	4	27.17
80	PrBi_2 + $\text{Bi}_{\text{TB.p.}}$	3008.8	3	23.64
90	PrBi_2 + $\text{Bi}_{\text{TB.p.}}$	1498.4	2	16.69
Система Nd – Bi				
10	Nd_2Bi + эвтектика	6913.8	62	33.48
20	Nd_2Bi + эвтектика	7038.2	68	33.38

Продолжение табл. 9

1	2	3	4	5
33.3	Nd ₂ Bi	7510.7	78	33.66
37.5	Nd ₅ Bi ₃	7897.2	84	34.03
42.86	Nd ₄ Bi ₃	6801.9	56	33.66
50	NdBi	6451.6	42	33.66
60	NdBi + NdBi ₂	4385.6	28	31.06
66.6	NdBi ₂	3426.8	21	25.5
70	NdBi ₂ + Bi _{TB,p.}	2986.4	16	24.01
80	NdBi ₂ + Bi _{TB,p.}	1984.6	11	19.75
90	NdBi ₂ + Bi _{TB,p.}	1210.04	4	14.74
Система Gd– Bi				
10	Gd ₅ Bi ₃ +эвтектика	288300	325	73.17
20	Gd ₅ Bi ₃ +эвтектика	204844.7	336	73.17
30	Gd ₅ Bi ₃ +эвтектика	147555.7	350	72.61
37.5	Gd ₅ Bi ₃	280526.0	270	73.54
42.86	Gd ₄ Bi ₃	116180.5	365	73.17
50	GdBi	35672.1	86	72.15
60	GdBi + Bi _{TB,p.}	31314.7	60	71.60
70	GdBi + Bi _{TB,p.}	28961.2	54	70.29
80	GdBi + Bi _{TB,p.}	28777	48	70.48
90	GdBi + Bi _{TB,p.}	28687.8	42	71.13
Система Tb– Bi				
10	Tb ₅ Bi ₃ +эвтектика	185970	206	92,55
20	Tb ₅ Bi ₃ +эвтектика	130421	178	92,36
30	Tb ₅ Bi ₃ +эвтектика	103529,4	154	92,09
37,5	Tb ₅ Bi ₃	94580,1	142	92,36
42,86	Tb ₄ Bi ₃	85448,2	128	92,36
50	TbBi	76086,9	112	91,81
60	TbBi + Bi _{TB,p.}	56279	58	91,25
70	TbBi + Bi _{TB,p.}	53049,3	50	90,23
80	TbBi + Bi _{TB,p.}	48000	28	89,95
90	TbBi + Bi _{TB,p.}	45486,3	16	89,67

Обсуждение результатов и перспективы использования твердых растворов

Малоизученность сплавов и соединений РЗЭ с сурьмой и висмутом, объясняется трудностью получения чистых и гомогенных препаратов. Это связано с рядом причин. Во-первых, редкоземельные элементы при комнатной температуре могут взаимодействовать с кислородом воздуха. Поэтому с целью предотвращения возможного окисления РЗЭ, операция по их измельчению и взятию навесок должны проводится в условиях вакуума или в инертной среде. Во-вторых, жесткие требования предъявляются к материалу, из которого изготавливаются тигли для проведения взаимодействия РЗЭ с сурьмой и висмутом.

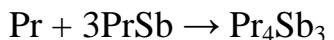
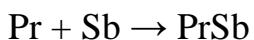
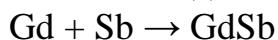
Материал тигля не должен взаимодействовать с исходными компонентами – редкоземельными элементами, сурьмой, висмутом и продуктом реакции. Этому требованию отвечают тигли, изготовленные из молибдена, тантала или вольфрама. В-третьих, поскольку давление паров сурьмы и висмута при высоких температурах достаточно высокое, во избежание изменения состава продукта реакции, исключается возможность проведения жидкофазного синтеза. При этом, как правило, ограничиваются твердофазным синтезом.

Исследование процесса взаимодействия РЗЭ с сурьмой и висмутом, при образовании моноантимонидов LnSb ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), моновисмутидов LnBi ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) и сплавов и соединений систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd Tb}$), а также твердых растворов систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) и $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), Yb) показало, что температура начала взаимодействия РЗЭ с сурьмой и висмутом не зависит от соотношения компонентов. По данным РФА фазовый состав продукта взаимодействия РЗЭ с сурьмой и висмутом при образовании твердых растворов в основном зависит от температуры. При относительно низких температурах синтеза в составе продуктов взаимодействия превалируют моноантимониды – LnSb ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), моновисмутиды - LnBi ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$ Yb) и свободные РЗЭ. По мере роста температуры, в составе продуктов взаимодействия наблюдается исчезновение моноантимонидов, моновисмутидов и появление антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), а также твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5, y = 0.3 \div 2.7$) и $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$).

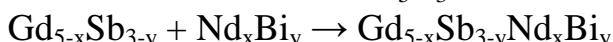
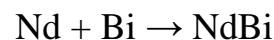
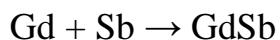
Проведенные исследования по синтезу указанных твердых растворов указали на возможность получения их прямым взаимодействием РЗЭ, сурьмы и висмута, а также с использованием в качестве исходных компонентов предварительно синтезированных антимонидов Ln_4Sb_3 , висмутидов Ln_4Bi_3 и Ln_5Bi_3 .

Процесс прямого взаимодействия РЗЭ сурьмы и висмута, при образовании твердых растворов всех изученных систем, протекает одинаково - постадийно.

Для примера приведен процесс образования некоторых твердых растворов прямым взаимодействием исходных компонентов:



$$x = 0.4 \div 3.6; y = 0.3 \div 2.7;$$



$$x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$$

Второй метод получения твердых растворов, с преминением в качестве исходных компонентов предварительно синтезированных антимонидов Ln_4Sb_3 , висмутидов Ln_4Bi_3 и Ln_5Bi_3 , по сравнению с первым методом, проявляет ряд преимуществ:

-использование в качестве исходных компонентов предварительно синтезированных антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) и Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) надежно обеспечивает получение твердых растворов;

-в процессе синтеза сурьма и висмут находится в связанной форме, это исключает возможность их испарения из реакционной зоны, а следовательно изменение химического состава продукта реакции - твердых растворов;

-использование в качестве исходных компонентов Ln_4Sb_3 , Ln_4Bi_3 и Ln_5Bi_3 позволяет нагревать реакционную смесь с большей скоростью и тем самым значительно сократить время синтеза твердых растворов.

Сплавы систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) получали прямым взаимодействием исходных компонентов в герметизированных тиглях из молибдена.

Соединения систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) кристаллизуются в шести сингониях: тетрагональной типа Ti_2P , гексагональной типа Mn_5Si_3 , ромбической типа Y_5Bi_3 , ромбической типа LaSb_2 , кубической типа NaCl и кубической типа anti- Th_3P_4 .

Следует отметить, что поскольку синтез твердых растворов и индивидуальных соединений систем проводился в герметизированных тиглях, без потери массы исходной навески, это исключило необходимость проведения химического анализа полученных сплавов (установлено нами в процессе исследования).

Следует отметить, что физико-химических исследования проводили на образцах твердых растворов, полученных вторым способом.

Характеристики изученных систем и закономерности, проявляющиеся в их строении. Сопоставление исследованных диаграмм состояния систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) и $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) указывает на их однотипность. В данных системах образуются твердые растворы замещения изоструктурных с исходными компонентами - Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Nd}, \text{Tm}, \text{Lu}$) и кристаллизующиеся в кубической сингонии типа anti- Th_3P_4 , гексагональной сингонии типа Mn_5Si_3 и ромбической сингонии типа Y_5Bi_3 .

Образование в изученных системах твердых растворов в диссертации объясняется с позиции существующей теории.

Образованию твердых растворов в системах $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) и $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), с нашей точки зрения, способствуют два фактора: размерный и структурный. Атомные радиусы РЗЭ относительно атомного радиуса иттербия разнятся не

более, чем на 5.7 %, что способствует образованию твердых растворов. Структурный фактор также благоприятствует образованию твердых растворов, поскольку исходные компоненты и твердые растворы изоструктурны. Влиянием электрохимического фактора на образование твердых растворов можно пренебречь по той причине, что РЗЭ, сурьма и висмут связаны в исходных компонентах.

Особенности электрофизических и магнитных свойств твердых растворов

Концентрационные зависимости электрофизических свойств (удельного электросопротивления и термо-э.д.с.) твердых растворов при комнатной температуре коррелируют со всеми соответствующими им системами $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) и $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), поскольку на кривых этих зависимостей экстремальные точки не проявляются.

Концентрационные зависимости удельного электросопротивления и термо-э.д.с. сплавов и соединений при комнатной температуре, также коррелируют и с системами $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$).

Выявлено, что как исходным компонентам – антимонидам Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$) висмутидам Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$), Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), сплавам и соединениям систем $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$), так и твердым растворам вышеуказанных систем, свойственна металлическая проводимость. Об этом свидетельствуют значения удельного электросопротивления антимонидов, висмутидов и твердых растворов при 298 К и их линейное изменение в диапазоне температур 298-773 К.

О металлической проводимости исследованных систем свидетельствуют и их концентрационные зависимости микротвердости твердых растворов, описывающиеся кривыми с максимумами, приходящими на определенные составы. Известно, что указанный характер изменения микротвердости свойствен всем металлическим системам, где образуются твердые растворы. Объясняется это усилением жесткости кристаллической решетки твердых растворов за счет сокращения межатомных расстояний в их кристаллической решетке. Так, если в антимонидах Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$) длина связей Pr-Pr, Nd-Nd, Gd-Gd, Tb-Tb, Dy-Dy и Yb-Yb составляет 0.362, 0.364, 0.358, 0.354, 0.356, 0.388 нм соответственно, то в структуре твердых растворов $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$) и $Tb_{4-x}Dy_xSb_3$ дисперсия длины этих связей составляет до двух процентов.

Для других твердых растворов исследованных систем, дисперсия указанных связей составляет в среднем 2.5-3 процента. Кроме того, в структуре твердых растворов жесткость кристаллической решетки может придать и связь $Ln-Sb$ и $Ln-Bi$. В среднем длина связей $Ln-Sb$ и $Ln-Bi$ в твердых растворах изученных систем составляет 0.3242 нм. По-видимому, максимальное влияние этой связи на жесткость кристаллической решетки твердых растворов приходится на составы с максимальным значением микротвердости.

Установлено, что антимониды, висмутиды, твердые растворы, сплавы и соединения систем $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) по электрической проводимости занимают промежуточное положение между проводниками и полупроводниками.

Определено, что электропроводность антимонидов, висмутидов и твердых растворов на порядок меньше электропроводности РЗЭ и на два порядка меньше электропроводности известных проводников (Ag, Cu, Au, Al). Относительно низкую электропроводность, проявляемую антимонидами, висмутидами и твердыми растворами, в диссертации объясняется вкладом магнитной составляющей удельного электросопротивления в общее удельное электросопротивление и влиянием химической связи.

Результаты исследования магнитных свойств антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), твердых растворов систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), висмутидов Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), и сплавов и соединений системы $\text{Lu} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$), указывают на их парамагнитную природу. Зависимость $1/\chi_m - T$ всех изученных антимонидов, висмутидов и твердых растворов, образующихся на их основе, следует закону Кюри-Вейссса.

Установлено, что среди антимонидов состава Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) и висмутидов состава Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) относительно высокими значениями температур Кюри (θ_p) обладают антимониды Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}$), висмутиды Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}$) и Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}$). При этом значения эффективных магнитных моментов РЗЭ указанных антимонидов и висмутидов, определенных исходя из экспериментальных данным, близки к теоретическим значениям трехзарядных ионов редкоземельных элементов (таблица 10).

Таблица 10 - Электронное состояние, эффективные моменты ионов РЗЭ и парамагнитная температура Кюри РЗЭ

Ионы РЗЭ	Число 4f-электронов	g _J -фактор	J	$\mu_{\text{теор.}} \times 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{м}^2$	$\theta_p, \text{К РЗЭ}$ Литерат.
Pr^{+3}	2	4/5	4	33,20	-
Nd^{+3}	3	8/11	9/2	33.57	10
Gd^{+3}	7	2	7/2	73.63	310
Tb^{+3}	8	3/2	6	90,14	236
Dy^{+3}	9	4/3	15/2	98.67	151
Ho^{+3}	10	5/4	8	10.61	88
Er^{+3}	11	6/5	15/2	9.60	50
Tm^{+3}	12	7/6	6	7.56	17.4
Yb^{+3}	13	8/7	7/2	42.01	-
Lu^{+3}	14	0	-	-	-

Парамагнитная температура Кюри твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$; $x = 0.4 \div 3.6$ систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) и $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$ во всем диапазоне концентраций больше, чем θ_p Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), а также больше θ_p неодима, тербия и диспрозия. При этом θ_p твердых растворов

$\text{Gd}_{4-x}\text{Tb}_x\text{Sb}_3$ и $\text{Gd}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$ в диапазоне концентраций 10 -50 мол % Tb_4Sb_3 и 10-40 мол % Dy_4Sb_3 , соответственно, больше, чем $\theta_p \text{Gd}_4\text{Sb}_3$.

Установлено, что среди твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$; $x = 0.4 \div 3.6$ систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) и $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$ наиболее высокими парамагнитными температурами Кюри обладают твердые растворы систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}$).

Результаты исследования магнитных свойств твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$; ($x = 0.4 \div 3.6$) систем $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$) показали, что они, как и твердые растворы систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) и $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, проявляют парамагнитные свойства с относительно высокими значениями парамагнитной температуры Кюри (θ_p).

Парамагнитная температура Кюри твердых растворов систем $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) во всем диапазоне концентраций выше θ_p висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Nd}_3$), а также θ_p празеодима и неодима (таблица 10). Парамагнитная температура Кюри твердых растворов системы $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Tb}_4\text{Bi}_3$ выше $\theta_p \text{ Tb}_4\text{Bi}_3$, а при концентрации 10 мол % Tb_4Bi_3 выше θ_p тербия (таблица 9).

θ_p твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$; ($x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$) систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) во всем диапазоне концентраций выше θ_p висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) и θ_p празеодима, неодима, но меньше $\theta_p \text{ Gd}_4\text{Bi}_3$. При этом θ_p твердых растворов системы $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Tb}_4\text{Bi}_3$, содержащих 10-20 мол% Tb_4Bi_3 выше, чем θ_p тербия (таблица 10).

Твердые растворы $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$) систем $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), как и выше рассмотренных твердых растворов, в диапазоне температур 298-773 К проявляют парамагнитные свойства. θ_p твердых растворов во всем диапазоне концентраций превышает значения θ_p висмутидов Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), празеодима и неодима, но меньше $\theta_p \text{ Gd}_5\text{Sb}_3$.

Результаты исследования магнитных свойств висмутидов Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) показали, что среди них наиболее высокие парамагнитные температуры Кюри свойственны висмутидам Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}$).

Парамагнитная температура Кюри твердых растворов $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$; $x = 0.5 \div 4.5$ систем $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) во всем диапазоне концентраций выше $\theta_p \text{ Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), а также в диапазоне концентраций 10 мол. % Tb_5Bi_3 , 10-30 мол. % Dy_5Bi_3 , 10-60 мол. % Ho_5Bi_3 , 10-70 мол. % Er_5Bi_3 , 10-90 мол. % Tm_5Bi_3 и 10-90 мол.% Lu_5Bi_3 выше тербия, диспрозия, гольмия, эрбия тулия и лютения.

Установлено, что все сплавы и соединения системы $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$) в диапазоне температур 298-773 К проявляют парамагнитные свойства. При этом парамагнитная температура Кюри сплавов и соединений систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) ниже θ_p сплавов и соединений систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}$). Следует отметить, что соединения типа Ln_2Bi и LnBi_2 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) в системах $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}$) не образуются. Исключение составляют сплавы и соединения системы $\text{Gd} - \text{Bi}$ диапазона концентраций 10-42.86 ат. % Bi температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости, которых от комнатной до температур 353, 393, 434, 453 и 498 K, соответственно, не подчиняется закону Кюри-Вейсса. Не исключено, что при этих температурах

сплавы указанного состава, возможно, испытывают магнитное упорядочение (ферри- или ферромагнитное), о чем свидетельствуют относительно высокие значения θ_p сплавов системы Gd – Bi, диапазона концентраций 10-42.86 ат. % Bi.

Самую высокую парамагнитную температуру Кюри проявляет Gd_4Bi_3 (365 K), что не противоречит литературным данным.

Известно, что в редкоземельных элементах иттриевой погруппы, при определенных температурах, образуются сложные магнитные структуры: геликоидальные, циклоидальные и синусоидальные. При охлаждении РЗЭ парамагнитное их состояние переходит сначала в антиферромагнитное и при дальнейшем понижении температуры антиферромагнитное состояние сменяется ферромагнитным, с обычным параллельным (коллинеарным) или непараллельным (неколлинеарным) расположением атомных моментов.

Учитывая это, можно предположить, что магнитные свойства Gd_4Bi_3 , в отличие от магнитных свойств Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb$), определяются особенностью его магнитной структуры, которую в дальнейшем можно выявить, например, методами нейтронографии, ядерного магнитного резонанса и ядерного гамма-резонанса.

По существующей теории, магнитный порядок в РЗЭ устанавливается под действием косвенного обменного взаимодействия через электроны проводимости, так называемым взаимодействием Рудермана-Киттеля-Касуи-Иосиды (РККИ). Сущность этого взаимодействия заключается в следующем. В РЗЭ расстояния между 4f-оболочками соседних атомов слишком велики для того, чтобы в них установилось прямое обменное взаимодействие. Средний радиус 4f-оболочки составляет приблизительно 1/10 межатомного расстояния. При этом взаимодействие 4f-электронов осуществляется посредством поляризации электронов проводимости спином 4f-электрона.

В механизме обмена важная роль отводится s-f обменному взаимодействию. Согласно этому представлению в РЗЭ магнетиках существует как локализованные электроны нескомпенсированных d- или f-оболочек, дающих основной вклад в магнетизм, так и локализованные (s, p) электроны.

Под действием s-f обмена спины электронов проводимости подмагничиваются (поляризуются) локализованными f-электронами. s-f обменное взаимодействие зависит от направления спинов. Это приводит к периодическому изменению плотности электронов с заданным направлением спина, т.е. ее осцилляции. Отсюда следует, что s-f обменное взаимодействие вызывает поляризацию спинов электронов проводимости осцилляционного характера.

Исходя из полученных результатов, можно констатировать, что магнитный порядок в исследованных антимонидах, висмутидах и твердых растворах, также, как и в чистых РЗЭ, устанавливается под действием косвенного обмена 4f-электронов через электроны проводимости. Такой характер взаимодействия подтверждается и линейным изменением парамагнитной температуры Кюри антимонидов Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), твердых растворов $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$) и $Tb_{4-x}Dy_xSb_3$ и висмутидов Ln_5Bi_3 ($Ln = Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), являющейся мерой энергии обменного взаимодействия, от фактора

Де Жанна:

$$G = (g_J - 1)^2 \cdot J(J+1),$$

где: g_J – фактор Ланде; J – полное квантовое число атома (таблица 9).

Относительно высокие значения парамагнитных температур Кюри твердых растворов можно объяснить относительно высокой энергией обмена между ионами Gd-Gd и ионами Gd-Ln ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}$) поскольку, как показано выше, в антимонидах Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), в висмутидах Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) и Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) и во всех полученных твердых растворах, с увеличением в них концентрации ионов гадолиния, тербия и диспрозия наблюдается заметный рост парамагнитной температуры Кюри.

Сравнение электрофизических и магнитных свойств твердых растворов, антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), сплавов и соединений систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) с такими же свойствами празеодима, неодима, гадолиния, тербия, диспрозия, голмия, эрбия, тулия, иттербия и лютениями Ln_5Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$), показывает их близкое сходство, которое проявляется в следующем.

Во-первых, твердые растворы, антимониды, висмутиды и РЗЭ являются проводниками. Во-вторых, твердые растворы, как РЗЭ и Ln_5Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$) при комнатной температуре являются парамагнетиками с относительно высокими значениями парамагнитной температуры Кюри. Согласно литературным данным неодим, гадолиний, тербий и антимониды Ln_5Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$) при температурах ниже θ_p испытывают ферри- или ферромагнитное упорядочение. Учитывая близость магнитных свойств РЗЭ, антимонидов Ln_5Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$) и твердых растворов изученных систем можно предположить, что последние при температурах ниже θ_p также магнитоупорядочены.

Таким образом, в диссертационной работе решена важная техническая задача. Впервые получены и исследованы новые магнитные материалы - твердые растворы систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) с повышенными магнитными свойствами, по сравнению с исходными компонентами – антимонидами Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) и висмутидами Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$).

Перспективы использования антимонидов, висмутидов и твердых растворов

Полученные данные по электрофизическим и магнитным свойствам антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), сплавов и соединений системы $\text{Ln} - \text{Bi}$, а также твердым растворам изученных систем позволяет сделать ряд соображений по поводу перспективы их использования.

Антимониды, висмутиды, твердые растворы, сплавы и соединения систем $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$), по электрической проводимости, занимают промежуточное положение между проводниками и полупроводниками. Поэтому они могут представить интерес для электронной техники при создании термоэлементов и резисторов.

Для установления влияния f- и d - элементов на физико-химические свойства полупроводников типа A^{III}B^V (AlSb, GaSb, InSb), определённый интерес представляет использование антимонидов, висмутидов и твердых растворов в качестве добавок в указанные соединения.

Антимониды, висмутиды и твердые растворы проявляют близкие магнитные свойства с РЗЭ (высокие значения парамагнитных температур Кюри и магнитных моментов). Это дает возможность предположить об использовании указанных сплавов в тех областях, где уже применяются РЗЭ, в частности, в качестве наконечников для магнитных сверхпроводящих соленоидов. Кроме того, твердые растворы, имеющие высокие значения парамагнитной температуры Кюри, можно будет использовать в криогенной технике для повышения магнитного потока в устройствах, работающих не только при температурах жидкого азота, но и при гелиевых температурах.

Твердые растворы также можно использовать и как добавки в магнитные материалы для повышения магнитной индукции.

Акты испытания, подтверждающие данные, полученные в настоящей работе по магнитным свойствам, на примере твердых растворов Gd_{5-x}Tb_xBi₃, Gd_{5-x}Dy_xBi₃ (x = 0.5÷4.5) и Gd_{4-x}Tb_xSb₃ (x = 0.4÷3.6) к диссертации прилагаются.

Данные по физико-химическим, электрофизическим, магнитным свойствам антимонидов, висмутидов, твердых растворов, диаграммам состояния систем являются справочным материалом. Этими данными могут пользоваться аспиранты и научные сотрудники, в процессе выполнения научных работ. Кроме того, материалы данной диссертационной работы могут использоваться и в учебном процессе при чтении лекций по физической, неорганической химии, физико-химическому анализу и материаловедению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации:

1. На основании результатов исследования процесса начала взаимодействия РЗЭ с сурьмой, висмутом и диаграмм состояния систем Gd₄Sb₃ - Ln₄Sb₃ (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb), Tb₄Sb₃ – Dy₄Sb₃, Gd₄Bi₃ – Ln₄Bi₃ (Ln = Pr, Nd, Tb), Gd₄Sb₃ – Ln₄Bi₃ (Ln = Pr, Nd, Tb, Yb), Gd₅Sb₃ – Ln₅Bi₃ (Ln = Pr, Nd), Gd₅Bi₃ – Ln₅Bi₃ (Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) разработаны следующие методы синтеза антимонидов Ln₄Sb₃ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb), висмутидов Ln₄Bi₃ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb) и Ln₅Bi₃ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) [1–3, 9–12, 18–24, 45, 49–52, 57, 60-А]:

- синтез антимонидов Ln₄Sb₃, висмутидов Ln₄Bi₃, Ln₅Bi₃ и твердых растворов Gd_{4-x}Ln_xSb₃ (Ln=Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x=0.4÷3.6), Tb_{4-x}Dy_x Sb₃; (x=0.4÷3.6), Gd_{4-x}Ln_xBi₃ (Ln=Pr, Nd, Tb; x=0.4÷3.6), Gd_{4-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y (Ln=Pr, Nd, Tb, Yb; x= 0.4÷3.6; y=0.3÷2.7), Gd_{5-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y(Ln=Pr, Nd); x= 0.5-4.5; y = 0.3-2.7), Gd_{5-x}Ln_xBi₃ (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu); x = 0.5÷4.5), прямым взаимодействием исходных компонентов [75–77-А];

- синтез антимонидов Ln₄Sb₃(Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb), висмутидов Ln₄Bi₃ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb) и Ln₅Bi₃ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) проводили с использованием в качестве сурьму- и висмутсодержащих компонентов моноантимонидов и моновисмутидов РЗЭ, а выше указанные

твердые растворы получали посредством предварительно синтезированных антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) и Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) [77–79-А].

2. По совокупности данных дифференциального термического, рентгенофазового и микроструктурного анализов построены двадцать одна диаграмма состояния систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$, ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$). Установлена корреляция концентрационных зависимостей удельного электросопротивления, термо-э.д.с. с соответствующими им системами [1–3, 40–44, 54, 55, 59, 61, 70, 74-А].

3. Установлены общие закономерности в строении диаграмм состояния, которые проявляются в следующем [1–3, 9–12, 29–31, 30, 31, 35, 45, 56, 69, 71-А]:

-диаграммы состояния систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$, ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) однотипны. В системах образуются твердые растворы замещения $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; ($x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6; y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$) и $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$);

-указанные твердые растворы изоструктурны с исходными компонентами и кристаллизуются в кубической структуре типа anti- Th_3P_4 , гексагональной структуре типа Mn_5Si_3 и ромбической структуре типа Y_5Bi_3 .

4. Исследованием электрофизических свойств антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; ($x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6; y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$) и $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$) в диапазоне температур 298–773 К установлено, что им свойственна металлическая проводимость. По электропроводности эти твердые растворы на порядок уступают самим РЗЭ и на два порядка известным проводникам- $\text{Ag}, \text{Cu}, \text{Au}$ и Al [7, 8, 13–15, 29, 32, 33, 36–39, 46–48, 66, 72, 73-А].

Относительно низкая их электропроводность объясняется вкладом магнитным удельным электросопротивлением в общее удельное электросопротивление, связанное с обменным взаимодействием электронов проводимости с локализованными магнитными моментами 4f – электронов ионов РЗЭ.

5. Исследованием магнитных свойств антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; ($x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6; y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$) и $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$) в диапазоне температур 298–773 К установлено, что им свойственна

парамагнитная природа. Температурная зависимость молярной магнитной восприимчивости данных антимонидов, висмутидов и твердых растворов в диапазоне температур 298 – 773 К следует закону Кюри-Вейсса. Исключение составляют сплавы системы Gd-Bi диапазона концентраций 10-42.86 ат. % Bi температурная зависимость обратной величины молярной магнитной восприимчивости, которых от комнатной до температур 353, 393, 434, 453 и 498 К, соответственно, не подчиняется закону Кюри-Вейсса. Не исключено, что при этих температурах сплавы указанного состава, возможно, испытывают магнитное упорядочение (ферри- или ферромагнитное), о чем свидетельствуют относительно высокие значения парамагнитной температуры Кюри сплавов системы Gd – Bi, диапазона концентраций 10-42.86 ат. % Bi [4-6, 9-12, 16, 17, 25-28, 63-65-А].

6. Определены значения парамагнитных температур Кюри, эффективных магнитных моментов ионов РЗЭ в антимонидах Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), в твердых растворах $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; ($x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6; y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$) и $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$). Установлено, что магнитный порядок в антимонидах, висмутидах и твердых растворах, как и в РЗЭ, устанавливается под действием косвенного обменного взаимодействия через электроны проводимости, так называемым взаимодействием Рудермана-Киттеля-Касуи-Иосиды (РККИ) [1-3, 9-12, 56-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов:

- показана перспективность использования антимонидов Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидов Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; ($x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6; y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$) и $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$), как новых магнитных материалов в криогенной технике для создания термоэлементов и резисторов, в качестве добавок к полупроводникам типа А^{III}Б^V, для повышения магнитного потока в устройствах, работающих не только при температурах жидкого азота, но и при гелиевых температурах; как добавки в магнитные материалы для повышения магнитной индукции;
- материалы диссертационной работы могут использоваться и в учебном процессе при чтении лекций по физической, неорганической химии, физико-химическому анализу и материаловедению.

СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных
ВАК при Президенте Республики Таджикистан:*

- [1-А]. **Назаров, X.X.** Диаграмма состояния системы $\text{Gd}_4\text{Sb}_3\text{-Tb}_4\text{Sb}_3$ / X.X. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2004.- Т. XLVII. - № 1-2. - С. 52-55.

[2-А]. Авезов, С.К. Твердые растворы системы Gd_4Sb_3 - Tb_4Sb_3 / С.К. Авезов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, Б.А. Кадыров // Вестник Таджикского государственного педагогического университета им. К. Джураева. – 2004. - С. 30.

[3-А]. **Назаров, Х.Х.** Диаграмма состояния и некоторые свойства сплавов системы Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005.- Т. XLVIII. - № 1. - С. 4-7.

[4-А]. **Назаров, Х.Х.** Магнитные свойства сплавов системы Gd_4Sb_3 - Tb_4Sb_3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005. - Т. XLVIII. - № 1. - С. 48-52.

[5-А]. **Назаров, Х.Х.** Магнитные свойства твердых растворов $Gd_{4-x}Dy_xSb_3$ ($x=0,4$ - $3,6$) / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005. - Т. XLVIII. - № 1. - С. 70-73.

[6-А]. Абулхаев, В.Д. Магнитные свойства некоторых антимонидов РЭ системы Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nb, Gd, Tb, Dy, Yb$) / **Х.Х. Назаров**, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005. - Т. XLVIII. - № 1. - С. 85-89.

[7-А]. Холов, Н.Ш. Температурные и концентрационные зависимости электрофизических свойств сплавов и соединений системы Nd–Bi / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2007. - Т. 50. - №1. - С. 452-456.

[8-А]. Холов, Н.Ш. Электрофизические свойства сплавов и соединений системы Pr – Bi / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Известия АН Республики Таджикистан. – 2007. - № 4 (129). - С. 26-30.

[9-А]. Холов, Н.Ш. Синтез, магнитные свойства сплавов и соединений системы Nd–Bi / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2008. - Т. 51. - № 3. - С. 203-207.

[10-А]. Холов, Н.Ш. Диаграмма состояния и магнитные свойства сплавов системы Nd_4Bi_3 - Gd_4Bi_3 / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2008. - Т. 51. - № 6. - С. 436-441.

[11-А]. Холов, Н.Ш. Диаграмма состояния и магнитные свойства твердых растворов системы Gd_4Bi_3 - Tb_4Bi_3 / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2008. - Т. 51. - № 7. - С. 526-531.

[12-А]. Холов, Н.Ш. Синтез, магнитные свойства сплавов и соединений системы Gd–Bi / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2008. - Т. 51. - № 8. - С. 610-614.

[13-А]. Холов, Н.Ш. Синтез, электрофизические и магнитные свойства твердых растворов системы Gd_4Bi_3 - Pr_4Bi_3 // Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Вестник ТТУ.– 2008. - № 3 - С. 25-29.

[14-А]. Рахимов, Х.А. Диаграмма состояния и некоторые физические свойства твёрдых растворов системы Gd_5Bi_3 - Er_5Bi_3 / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, С.О. Убайдов, **Х.Х. Назаров** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2013. - Т. 56. - № 11. - С. 894-897.

[15-А]. Рахимов, Х.А. Электрофизические свойства висмутидов Ln_5Bi_3 ($Ln=Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, С.О.

Убайдов, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2014. - Т. 57. - № 5. - С. 386-390.

[16-А]. Рахимов, Х.А. Магнетохимические свойства сплавов системы Gd_5Bi_3 - Lu_5Bi_3 / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Вестник Таджикского национального университета. – 2014. - № 1/4 (153). - С. 131-135.

[17-А]. Убайдов, С.О. Магнитные свойства твёрдых растворов системы Gd_5Sb_3 - Pr_5Sb_3 / С.О. Убайдов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назарзода**, М.А. Балаев // Политехнический вестник ТТУ. - 2019. - № 3(47). – С. 87-91.

Статьи, опубликованные в материалах конференций:

[18-А]. **Назаров, Х.Х.** Твердые растворы на основе антимонидов гадолиния и диспрозия состава 4:3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Материалы республиканской конференции «Достижения в области химии и химической технологии». – Душанбе, 2002. - С. 40-44.

[19-А]. Абулхаев, В.Д. Магнитные материалы на основе антимонидов редкоземельных элементов / В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, О. Эргашев, И.Н. Ганиев // Материалы межвузовской научно практической конференции «Достижения в области металлургии и машиностроения Республики Таджикистан». – Душанбе, 2004. - С. 45-46.

[20-А]. **Назаров, Х.Х.** Твердые растворы системы Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Материалы шестой научной конф. молодых учёных Таджикистана посв.80-летию г.Душанбе. «Чавонон ва чахони андеша». – Душанбе, 2004. - С. 157-159.

[21-А]. **Назаров, Х.Х.** Диаграмма состояния и некоторые физические свойства сплавов системы Gd_4Sb_3 - Yb_4Sb_3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Депонирована в НПИЦентре Республики Таджикистан. – Душанбе, 2005. - Вып. 5. - № 29 (1713). - С. 1-6.

[22-А]. **Назаров, Х.Х.** Диаграмма состояния и магнитные свойства твердых растворов системы Gd_4Sb_3 - Nd_4Sb_3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Депонирована в НПИЦентре Республики Таджикистан. – Душанбе, 2005. - Вып. 5. - № 30 (1714). - С. 1-5.

[23-А]. **Назаров, Х.Х.** Диаграмма состояния системы Gd_4Sb_3 - Pr_4Sb_3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Депонирована в НПИЦентре Республики Таджикистан. – Душанбе, 2005. - Вып. 5. - № 31 (1715). - С. 1-4.

[24-А]. **Назаров, Х.Х.** Диаграмма состояния и свойств сплавов систем Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3 ($Ln = Tb, Dy$) и Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов // Материалы первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования в XXI веке». – Душанбе, 2005. - С. 106-107.

[25-А]. **Назаров, Х.Х.** Магнитные свойства сплавов систем Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев // Материалы первой международной научно-практической конференции «Перспективы и развития науки и образования в XXI веке». – Душанбе, 2005. - С. 107-108.

[26-А]. Холов, Н.Ш. Концентрационная зависимость некоторых физических свойств сплавов и соединений системы Dy - Bi /Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Материалы международной конференции «Современная химическая

наука и её прикладные аспекты». – Душанбе, 2006. - С. 102-104.

[27-А]. Абулхаев, В.Д. Диаграмма состояния системы Gd_4Sb_3 - Dy_4Sb_3 / В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и её прикладные аспекты». – Душанбе, 2006. - С. 104-106.

[28-А]. Абулхаев, В.Д. Магнитные свойства сплавов системы Gd_4Sb_3 - Pr_4Sb_3 / В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, И.Н. Ганиев // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и её прикладные аспекты».– Душанбе, 2006. - С. 106-108.

[29-А]. Холов, Н.Ш. Кристаллохимические, магнитные и электрофизические свойства сплавов и соединений системы гольмий-висмут / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и её прикладные аспекты». – Душанбе, 2006. - С. 108-110.

[30-А]. Холов, Н.Ш. Сплавы и соединения системы Ln - Bi ($Ln = Er, Tm, Lu$) / Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров**, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и её прикладные аспекты». – Душанбе, 2006. - С. 111-112.

[31-А]. Абулхаев, В.Д. Закономерности, проявлявшиеся в строении диаграмм состояния систем РЗЭ – висмут / В.Д. Абулхаев, Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров** // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и её прикладные аспекты». – Душанбе, 2006. - С. 113-115.

[32-А]. Холов, Н.Ш. Магнитные и электрофизические свойства сплавов и соединений системы тербий–висмут / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, И.Н. Ганиев // Материалы республиканской научно – практической конференции «Инновация-эффективный фактор связи науки с производством». – Душанбе, 2008. - С. 292-295.

[33-А]. Холов, Н.Ш. Некоторые физические свойства сплавов и соединений системы Gd - Bi . / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы республиканской научно – практической конференции «Инновация – эффективный фактор связи науки с производством». – Душанбе, 2008. - С. 295-299.

[34-А]. Холов, Н.Ш. Магнитные свойства сплавов и соединений системы Pr - Bi / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы научно – теоретической конференции посвященной 17–годовшины независимости РТ, 1150 летию основоположника таджикско – персидской литературы А. Рудаки и году Таджикского языка.– Душанбе, 2008. – Ч.1. - С. 46-47.

[35-А]. Холов, Н.Ш. Диаграмма состояния и некоторые свойства сплавов системы Pr_4Bi_3 - Gd_4Bi_3 / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы научно-теоретической конференции посвященной 17 – годовшины независимости РТ, 1150 летию основоположника таджикско – персидской литературы А. Рудаки и году Таджикского языка.– Душанбе, 2008.- Ч.1.- С. 49-52.

[36-А]. **Назаров, Х.Х.** Получение и некоторые физические свойства сплавов системы Gd_4Bi_3 - Nd_4Bi_3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Д.Т. Исоеев, Х.А. Рахимов, Н.Ш. Холов // Материалы Республиканской научно – практической конференции «Прогрессивные методы производства», посвященной 35–летию кафедры

«Технология машиностроения металлорежущие станки и инструменты» Прогрессивные методы производства. – Душанбе, 2009. - С. 85-89.

[37-А]. Рахимов, Х.А. Электрофизические свойства сплавов и соединений системы Dy–Bi / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Материалы VI Нумановских чтений. – Душанбе, 2009. - С. 175- 177.

[38-А]. Абулхаев, В.Д. Синтез и концентрационные зависимости электрофизических свойств твердых растворов системы Gd₄Bi₃-Pr₄Bi₃ / В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, Н.Ш. Холов // Материалы VI Нумановских чтений.– Душанбе, 2009. - С. 178- 180.

[39-А]. Рахимов, Х.А. Электрофизические свойства сплавов и соединений системы гольмий – висмут / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы VI Нумановских чтений. – Душанбе, 2009. - С. 180-182.

[40-А]. Балаев, М.А. Синтез и некоторые свойства сплавов и соединений системы Gd – Sb / М.А. Балаев, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии».– Душанбе, 2009. – С. 136-138.

[41-А]. Рахимов, Х.А. Физико-химические свойства сплавов и соединений системы Gd - Bi / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, Н.Ш. Холов, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии». – Душанбе, 2009. – С. 165-167.

[42-А]. **Назаров, Х.Х.** Новые магнитные материалы на основе сплавов систем Gd₄Sb₃– Ln₄Sb₃ (Ln=Tb, Dy) / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Х.А. Рахимов, Н.Ш. Холов // Материалы республиканской научно-теоретической конференции молодых учёных Таджикистана, посвященной 1310-летию Имома Аъзама «Чавонон ва илми муосир».– Душанбе, 2010. – С. 180-184.

[43-А]. Абулхаев, В.Д. Получение и некоторые физические свойства сплавов и соединений системы Pr–Bi / В.Д. Абулхаев, Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров**, Х.А. Рахимов // Материалы республиканской научно-теоретической конференции молодых учёных Таджикистана, посвященной 1310-летию Имома Аъзама «Чавонон ва илми муосир». – Душанбе, 2010. – С. 185-188.

[44-А]. **Назаров, Х.Х.** Синтез и концентрационные зависимости некоторых физических свойств твердых растворов Gd₄Bi₃-Nd₄Bi₃ / Х.Х. Назаров, Х.А. Рахимов, Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, Д.Т. Исоеев // Материалы республиканской научно-теоретической конференции молодых учёных Таджикистана, посвященной «Года образования и технической культуры». «Чавонон ва илми муосир».– Душанбе, 2010. – С. 274-277.

[45-А]. Холов, Н.Ш. Диаграмма состояния и некоторые физические свойства твердых растворов системы Gd₄Bi₃-Tb₄Bi₃ / Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров**, Х.А. Рахимов, Д.Т. Исоеев, В.Д. Абулхаев // Материалы научно-теоретической областной конференции, посвященной. «Году образования и технической культуры». - Курган – Тюбе, 2010. - С. 197-199.

[46-А]. Холов, Н.Ш. Диаграмма состояния, электрофизические и магнитные свойства твердых растворов системы Gd₄Bi₃-Pr₄Bi₃ / Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров**,

Д.Т. Исоев, Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев // Материалы научно-теоретической областной конференции, посвященной «Году образования и технической культуры». – Курган–Тюбе, - 2010. - С. 199-201.

[47-А]. Холов, Н.Ш. Электрофизические и магнитные свойства сплавов и соединений системы Gd – Bi / Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров**, Х.А. Рахимов, Д.Т. Исоев, В.Д. Абулхаев // Материалы республиканской научно-теоретической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры». – Курган–тюбе, 2010. - С. 137-139.

[48-А]. Холов, Н.Ш. Концентрационные зависимости электрофизических и магнитных свойств твердых растворов системы Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3 . ($Ln = Pr, Nd, Tb$). / Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров**, Х.А. Рахимов, Д.Т. Исоев, В.Д. Абулхаев // Материалы республиканской научно-теоретической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры». – Курган–Тюбе. - 2010. - С. 139-141.

[49-А]. Убайдов, С.О. Твердые растворы системы Gd_4Sb_3 - Tb_4Bi_3 / С.О. Убайдов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, Х.А. Рахимов, Н.Ш. Холов // Материалы научно-теоретической конференции молодых учёных Таджикистана «Молодеж и современная наука», посвященной 20–летию 16- ой сессии Верховного Совета Республики Таджикистан». – Душанбе, 2012. – С. 320-324.

[50-А]. Рахимов, Х.А. Висмутиды редкоземельных элементов состава) Ln_5Bi_3 ($Ln = Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu$) / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, Н.Ш. Холов // Материалы научно-теоретической конференции молодых учёных Таджикистана «Молодеж и современная наука», посвященной 20–летию 16- ой сессии Верховного Совета Республики Таджикистан». – Душанбе, 2012. – С. 324-327.

[51-А]. **Назаров, Х.Х.** Твердые растворы на основе антимонидов системы Gd_4Sb_3 - Nd_4Sb_3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Д.Т. Исоев // Материалы XIV Международной конференции по термическому анализу и калориметрии в России. - Санкт – Петербург. - 2013. - С. 225-228.

[52-А]. Рахимов, Х.А. Физико-химическое взаимодействие системе Gd_5Bi_3 - Er_5Bi_3 / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, Д.Т. Исоев, **Х.Х. Назаров** // Материалы Республиканской научно-практической коференции. "Наука и использование энергетического потенциала Таджикистана". – Курган–тюбе. - 2013. - С. 235-237.

[53-А]. Рахимов, Х.А. Магнетохимические свойства сплавов системы Gd_5Bi_3 - $Er_5 Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, С.О. Убайдов, Н.Ш. Холов // Материалы Республиканской научной конференции на тему: «Экология и вопросы обучения и воспитания», посвященной 70- летию заведующего кафедрой «Химическая технология и экология» ТГПУ им. С.Айни, доцента Шарипова И.Н. – Душанбе, 2014. - С. 48-50.

[54-А]. Рахимов, Х.А. Синтез и электрофизические свойства твердых растворов системы Gd_5Bi_3 - Lu_5Bi_3 / Х.А.Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, С.О.Убайдов, Н.Ш. Холов // Материалы Республиканской научной конференции «Экология и вопросы обучения и воспитания», посвященной 70-летию заведующего кафедрой «Химическая технология и экология» ТГПУ им. С.Айни, доцента Шарипова И.Н. – Душанбе, 2014. - С. 50-52.

[55-А]. Рахимов, Х.А. Синтез и некоторые физические свойства твёрдых

растворов системы $Gd_5Bi_3-Lu_5Bi_3$ /Х.А.Рахимов, **Х.Х. Назаров**, В.Д. Абулхаев, Н.Ш. Холов, Д.Т. Исоев // Материалы Девятая Международная теплофизическая школа. – Душанбе, 2014. - С. 258-262.

[56-А]. Рахимов, Х.А. Диаграмма состояния системы $Gd_5Bi_3-Tm_5Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, С.О.Убайдов // Материалы республиканской конференции «Применение современных технических средств в обучении предмета технологии», посвященной 20–летию конституции Республики Таджикистан. – Душанбе, 2015. - С. 184-186.

[57-А]. Рахимов, Х.А. Твердые растворы системы $Gd_5Bi_3-Dy_5Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, С.О.Убайдов // Материалы республиканской конференции: «Применение современных технических средств в обучении предмета технологии», посвященной 20–летию конституции Республики Таджикистан. – Душанбе, 2015. - С. 187-190.

[58-А]. Рахимов, Х.А. Магнитные свойства твердых растворов системы $Gd_5Bi_3-Er_5Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, С.О.Убайдов // Материалы республиканской конференции «Применение современных технических средств в обучении предмета технологии», посвященной 20–летию конституции Республики Таджикистан.– Душанбе, 2015. - С. 190-193.

[59-А]. Рахимов, Х.А. Синтез и кристаллохимические свойства сплавов системы $Gd_5Bi_3-Ho_5Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Сборник тезисов докладов научной конференции «Актуальные проблемы современной науки, посвященной 70-летию Победы в ВОВ. – Душанбе, 2015. - С. 38-39.

[60-А]. Рахимов, Х.А. Твердые растворы на основе висмутидов гадолиния и лютения состава 5:3 / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Сборник тезисов докладов научной конференции «Актуальные проблемы современной науки, посвященной 70-летию Победы в ВОВ. – Душанбе, 2015. - С. 39-40.

[61-А]. Рахимов, Х.А. Синтез и некоторые физические свойства твердых растворов системы $Gd_5Bi_3-Lu_5Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Материалы XII Нумановских чтений «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Таджикистан», посвященные 55-летию со дня рождения доктора химических наук, профессора, член-корреспондента Академии наук Республики Таджикистан Куканиева М.А. – Душанбе, 2015. - С. 101-103.

[62-А]. Рахимов, Х.А. Кристаллохимические и магнитные свойства сплавов системы $Gd_5Bi_3-Er_5Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Материалы XII Нумановских чтений «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Таджикистан», посвященные 55-летию со дня рождения доктора химических наук, профессора, член-корреспондента Академии наук Республики Таджикистан Куканиева М.А. – Душанбе, 2015. - С. 103-105.

[63-А]. Рахимов, Х.А. Синтез и некоторые физические свойства твердых растворов системы $Gd_5Bi_3-Er_5Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Материалы республиканской научно-теоретической конференции ТНУ, посвященной «25-летию государственной Независимости Республики». – Душанбе, 2016. - С. 143-147.

[64-А]. **Назаров, Х.Х.** Концентрационные зависимости некоторых физических свойств сплавов и соединений $Dy-Sb$ / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев //

Материалы республиканской научно-практической конференции «Экономические развитие энергетики в Республике Таджикистан», посвященной 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан. – Курган-Тюбе, 2016. - С. 99-101.

[65-А]. **Назаров, X.X.** Концентрационные зависимости и некоторых физических свойств твердых растворов на основе антимонидов $Gd_4Sb_3 - Nd_4Sb_3$ / X.X. Назаров, В.Д. Абулхаев, Н.Ш. Холов // Материалы республиканской научно-практической конференции «Экономические развитие энергетики в Республике Таджикистан», посвященной 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан. – Курган-Тюбе, 2016. - С. 181-186.

[66-А]. Холов Н.Ш. Электрофизические и магнитные свойства сплавов и соединений системы $Gd - Bi$ / Н.Ш. Холов, **X.X. Назаров**, X.A. Рахимов, Д.Т. Исоев, В.Д. Абулхаев // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. - 2016. - № 2-4 (42). - С. 71-74.

[67-А]. Рахимов, X.A. Магнитные свойства сплавов системы $Gd_5Bi_3-Tm_5Bi_3$ / X.A. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **X.X. Назаров**, Н.Ш. Холов // Материалы республиканской научно-практической конференции «Молодёжь в поисках дружбы», посвященный 20-летию Национального примирения и году Молодёжи в Республики Таджикистан. – Бохтар, 2017. - С. 82-87.

[68-А]. Рахимов, X.A. Магнетохимические свойства сплавов системы $Gd_5Bi_3 - Dy_5Bi_3$ / X.A. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **X.X. Назаров**, Н.Ш. Холов // Материалы республиканской научно-практической конференции «Развитие стабильной энергетики в годы независимости», посвященный празднованию дня энергетиков и 10-летия Института энергетики Таджикистана. – Курган-Тюбе, 2016. - С. 181-186.

[69-А]. Рахимов, X.A. Диаграмма состояния и магнитные свойства твёрдых растворов системы $Gd_5Bi_3 - Tb_5Bi_3$ / X.A. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **X.X. Назарзода** // Материалы международной научно-практической конференции «Независимость – основа развития энергетики страны», посвященной празднованию «День энергетики». – Бохтар, 2017. – С. 143-147.

[70-А]. Абулхаев, В.Д. Синтез и некоторые физические свойства твердых растворов системы $Gd_5Sb_3 - Nd_5Bi_3$ / В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **X.X. Назарзода**, С.О. Убайдов, X.A. Рахимов // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан» посвященной «Дню химика» и 70-летию доктора химических наук, профессора академика АН Республики Таджикистан Ганиева И.Н. – Душанбе, 2017. – С. 54-55.

[71-А]. Абулхаев, В.Д. Диаграмма состояния систем $Gd_4Bi_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nb, Gd, Tb, Dy$) / В.Д. Абулхаев, **X.X. Назарзода**, М.А. Балаев, X.A. Рахимов // Материалы Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие водно – энергетического консорциума средней азии–главный путь достижения энергетической независимости Республики Таджикистан». – Кушониён, 2018. – С. 124-127.

[72-А]. Абулхаев, В.Д. Электрофизические свойства антиманидов Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nb, Gd, Tb, Dy, Yb$) и висмутита Gd_4Bi_3 / В.Д. Абулхаев, М.А. Балаев, **X.X.**

Назарзода, Х.А. Рахимов // Материалы Международной научно – практической конференции «Устойчивое развитие водно–энергетического консорциума средней азии – главный путь достижения энергетической независимости Республики Таджикистан». – Кушониён, 2018. – С. 128-131.

[73-А]. **Назарзода, Х.Х.** Электрофизические свойства сплавов и соединений системы Tb-Sb / Х.Х. Назарзода, В.Д. Абулхаев, Х.А. Рахимов, М.А. Балаев // Материалы Международной научно–практической конференции «Развитие гидроэнергетики–развитие Таджикистана». – Кушониён, 2018. – С. 174-177.

[74-А]. Абулхаев, В.Д. Синтез и физико–химические свойства сплавов и соединений системы иттербий–сурьма / В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назарзода, Х.А. Рахимов, М.А. Балаев** // Материалы Международной научно–практической конференции «Ускоренная индустриализация – основной фактор развития Таджикистана». – Кушониён, 2019. – С. 11-12.

Изобретений:

[75-А]. Абулхаев, В.Д. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 352. Твердые растворы на основе антимонида гадолиния и висмутита неодима / В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров, С.О. Убайдов** // Заявление № 1000446, дата подачи заявления 12.04.2010 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 30.06.2010 г.

[76-А]. Абулхаев, В.Д. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 377. Твердые растворы на основе антимонида гадолиния и висмутита празеодима / В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров, С.О. Убайдов** // Заявление № 1000494, дата подачи заявления 15.07.2010 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 02.09.2010 г.

[77-А]. Абулхаев, В.Д. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 671. Твердые растворы на основе висмутита гадолиния и висмутита тербия / В.Д. Абулхаев, Х.А. Рахимов, **Х.Х. Назаров** // Заявление № 1400898 дата подачи заявления 20.06.2014 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 18.02.2015 г.

[78-А]. Абулхаев, В.Д. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 788. Твердые растворы на основе висмутидов Gd₅Bi₃- Ho₅Bi₃ / В.Д. Абулхаев, Х.А. Рахимов, **Х.Х. Назаров** // Заявление № 1601036 дата подачи заявления 04.05.2016 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 20.09.2016 г.

[79-А]. Абулхаев, В.Д. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 854. Твердые растворы на основе висмутидов Gd₅Bi₃-Dy₅Bi₃ / В.Д. Абулхаев, Х.А. Рахимов, **Х.Х. Назаров** // Заявление № 1701098 дата подачи заявления 09.03.2017 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 02.11.2017 г.

**АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОЧИКИСТОН
ИНСТИТУТИ КИМИЁИ ба номи В.И.НИКИТИН**

Бо ҳуқуқи дастнавис
УДК 669.17: 546.86.87



**НАЗАРЗОДА Хайрулло Холназар
(НАЗАРОВ Хайрулло Холназарович)**

**МАҲЛУЛҲОИ САХТИ АНТИМОНИДҲО ВА ВИСМУТИДҲОИ
ЭЛЕМЕНТҲОИ НОДИРЗАМИНӢ**

АВТОРЕФЕРАТИ
**диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии
доктори илмҳои техникий аз рӯйи ихтисоси
05.02.01 –Маводшиносӣ(дар электротехника)**

Душанбе – 2021

Диссертатсия дар озмоишгоҳи «Маводҳои бо коррозия устувор»-и Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ичро шудааст.

Мушовири илмӣ

доктори илмҳои химия, профессор
муовини директор оид ба илм ва таълими
Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини
Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон
Абулҳаев Владимири Ҷалолович

Муқарризони расмӣ:

доктори илмҳои химия, профессор,
муовини ректор оид ба илм ва инноватсияи
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон
Сафармамадзода Сафармамад Муборакшо

доктори илмҳои техникӣ, дотсент,
директори филиали Донишгоҳи миллии таҳқиқотӣ
– технологияи «ИП ва ХМ» дар шаҳри Душанбе
Саидзода Раҳимҷон Ҳамро

доктори илмҳои техникӣ, дотсент,
ректори Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон
Амонзода Илҳом Темур

Муассисаи пешбар:

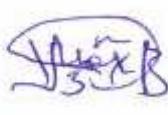
кафедраи «Масолеҳшиносӣ, мошинҳо ва
таҷҳизотҳои металлургӣ»-и Донишгоҳи
техникии Тоҷикистон ба номи академик
М.С. Осимӣ

Ҳимояи диссертатсия 5 майи соли 2021 соати 9⁰⁰ дар ҷаласаи Шӯрои диссертационии 6D.KOA-007 назди Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон баргузор мегардад.
Суроғ: 734063 ш.Душанбе, хиёбони Айнӣ, 299/2. E-mail: z.r.obidov@rambler.ru

Бо матни пурраи диссертатсия метавонед дар китобхонаи илмӣ ва сомонаи Институти кимиёи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ба номи В.И. Никитин шинос шавед: www.chemistry.tj

Автореферат санаи «_____» соли 2021 тавзеъ шудааст.

**Котиби илмии
Шӯрои диссертационӣ
номзади илмҳои химия**



Маҳкамов Ҳ.Қ.

МУҚАДДИМА

Мубрамияти таҳқиқоти: Хұлақо ва пайвастагихои элементхои нодирзаминӣ (ЭНЗ) дар соҳаҳои электронӣ, мөшинсозӣ, ҳастай, авиатсионӣ, металлургия, электровакуумӣ ва дигар соҳаҳои саноат истифодаи васеъ пайдо карданд.

Истифодаи хұлақо ва пайвастагихо дар соҳаҳои нишондодашуда, аз рӯи хосиятҳои электрофизикӣ, магнитӣ, оптикӣ ва ғайраҳо асос карда шудааст. Масалан, ортоферритҳои ЭНЗ ва ферритҳои бечода барои соҳтани магнитҳои доимӣ, дар таҷхизотҳои баҳотиргиранда ва мантиқӣ истифода мешаванд. Гадолиний ва пайвастагихои он бо оҳан, германий ва силитсий, ки ҳарорати баланди Кюри ва таъсири назарраси магнитокалориро нишон медиҳанд, дар яхdonҳои магнитӣ ҳамчун воситаи корӣ истифода бурда мешаванд.

Дар вактҳои охир корҳо дар самти бавучуд овардани маводҳои нави магнитӣ дар асоси ЭНЗ вусъат ёфтааст. Бечодаҳои оҳан - ЭНЗ интерметаллидҳои магнитии YCo_5 , $SmCo$ ва хұлаи неодим-оҳан-бор ($Nd_2Fe_{14}B$) дар техникаи баланд басомад ва дастгоҳҳои электронӣ татбиқи худро ёфтаанд.

Бояд илова кард, ки омӯзиши вобастагии тағйирёбии хосиятҳои физикӣ-химиявии хұлақо ва пайвастагихо бо пур шудани $4f$ - сатҳи атомҳои ЭНЗ ба рушди мағҳумҳои нави назариявӣ мусоидат менамояд.

Дар ин нақша, таҳқиқотҳои хұлақо ва пайвастагихои элементҳои нодирзаминӣ бо дигар элементҳои системаи даврии Д.И. Менделеев, аз чумла, бо сурма ва висмут, ки дар асоси онҳо маводҳои нави дурнамои магнитӣ ба даст овардан мумкин аст, мубрам ҳастанд. Аз ин рӯ, коркарди синтези антимонидҳо ва висмутидҳои таркиби гуногун ва хұлақои саҳт дар асоси онҳо ва муайян кардани табиати физикӣ-химиявии онҳо масъалаи муҳими илмӣ ва амалӣ мебошад. Дар асоси антимонидҳо ва висмутидҳои ЭНЗ ба даст овардани маводи магнитӣ барои таҳқиқоти бунёдӣ ва ҳам техникӣ имконпазир аст.

Дараҷаи омӯзиши коркарди масъала дар он аст, ки мувофиқи манбаъҳои адабиёти илмӣ миёни пайвастагихо ва хұлақои ЭНЗ бо сурма ва висмут муфассалтар моноантимонидҳо ва моновисмутидҳои ЭНЗ омӯхта шудаанд. Бинобар ин дар адабиёти илмӣ маълумотҳо оиди диаграммаҳои ҳолати системаҳои Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), Tb_4Sb_3 – Dy_4Sb_3 , Gd_4Bi_3 – Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb$), Gd_4Sb_3 – Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), Gd_5Sb_3 – Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd$) и Gd_5Bi_3 – Ln_5Bi_3 ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) ва хосиятҳои физикӣ-химиявии хұлақо ва пайвастагихои системаҳои Ln – Bi ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$), ки обьектҳои таҳқиқот дар кори мазкур мебошанд, вонамехӯранд.

Зарурияти гузаронидани таҳқиқоти мавзӯъ бо он шарҳ дода мешавад, ки антимонидҳо ва висмутидҳои ЭНЗ таркиби гуногун, алалхусус хосиятҳои начиби физикиро зоҳир менамоянд. Қайд кардан лозим аст, ки бе коркарди илман асосноки усулҳои синтез ва соҳтани диаграмммаҳои ҳолати системаҳои Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), Tb_4Sb_3 – Dy_4Sb_3 , Gd_4Bi_3 – Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb$), Gd_4Sb_3 – Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), Gd_5Sb_3 – Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd$) и Gd_5Bi_3 – Ln_5Bi_3 ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), расидан ба мақсади ба даст овардани маводи бо хосиятҳои баланди магнитӣ ғайри имкон аст.

ТАВСИФИ УМУМИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот:

-соҳтани диаграммаҳои ҳолати системаҳои $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) и $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$);

-муайян кардани шароитҳои оптималии синтези маҳлулҳои сахти системаҳои номбар карда шуда, инчунин ҳӯлаҳои системаҳои $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$);

-коркарди маводҳое, ки ҳосияти баланди магнитиро нисбат ба антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb$) ва Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) зохир менамоянд.

Мувофиқи ҳадафи гузошташууда масъалаҳои зерин ҳал карда шуданд:

-моноантимонидҳои $LnSb$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$) ва моновисмутидҳои $LnBi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) синтез карда шуданд;

-усулҳои ба даст овардани антимонидҳои Ln_4Sb ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$) ва Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy$) коркард гардиданд;

-таъсири мутақобилаи ЭНЗ бо сурма ва висмут ҳангоми ҳосилшавии маҳлулҳои сахти системаҳои $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) ва $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$); таҳқиқ карда шуданд;

- усулҳои ҳосил кардани маҳлулҳои сахти: $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x = 0.4 \div 3.6$), $Tb_{4-x}Dy_xSb_3; x = 0.4 \div 3.6$), $Gd_{4-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb; x = 0.4 \div 3.6$), $Gd_{4-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu; x = 0.5 \div 4.5$), инчунин ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаи $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) коркард шуданд;

- ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) синтез карда шудаанд;

- идентификатсияи монантимонидҳо, моновисмутидҳо, антимонидҳо висмутидҳо ва маҳлулҳои сахти ҳосил карда шудаи системаҳои $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$), $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), пайвастагиҳо ва ҳӯлаҳои системаҳои $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) гузаронида шуд;

-диаграммаҳои ҳолати системаҳои $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) ва $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), дар тамоми ҳудуди концентратсия таҳқиқ ва соҳта шуданд;

-вобастагии концентратсионии ҳосиятҳои электрофизикӣ (муқовимати электрикии ҳос, термо-қ.э.х) ва микросахтии маҳлулҳои сахти системаҳои мувофиқ дар ҳарорати хона, омӯхта шуданд;

- хосиятҳои электрофизикӣ ва магнитии антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) ва Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К таҳқиқ карда шуданд;

- хосиятҳои электрофизикӣ ва магнитии маҳлулҳои саҳти системаҳои дар боло номбаршуда дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К таҳқиқ карда шуданд;

- хосиятҳои электрофизикӣ ва магнитии ҳӯлаҳои системаҳои $\text{Ln}-\text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$) -ро дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К таҳқиқ карда шуданд.

Объекти таҳқиқот антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт, инчунин ҳӯлаҳои системаҳои $\text{Ln}-\text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) ҳисобида мешаванд.

Мавзӯи таҳқиқот моноантимонидҳои LnSb ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), моновисмутидҳои LnBi ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Nd}, \text{Tm}, \text{Lu}$) ва ҳӯлаҳои системаҳои $\text{Ln}-\text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) мебошанд.

Усулҳои таҳқиқот: таҳлили дифференсиалию ҳароратӣ (ТДХ), таҳлили рентгенофазавӣ (ТРФ), таҳлили микроструктуравӣ (ТМС) ва санчиши зичии пикнометрӣ, инчунин санчиши муқовимати хоси электрикӣ, термо – қ.э.ҳ ва ҳасосияти молярии магнитӣ дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К.

Соҳаи таҳқиқот маводшиносӣ бо ҳосил намудани маводҳои нави магнитии дорои хосиятҳои баланди магнитӣ, нисбат ба компонентҳои аввала ва таҳлили физикӣ-химиявӣ ба ҳисоб мераванд.

Марҳилаҳои таҳқиқот синтез ва соҳтани диаграммаҳои ҳолати системаҳои $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) ва $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), инчунин таҳқиқотҳои хосиятҳои электрофизикӣ ва магнитии маҳлулҳои саҳти системаҳои нишондодашуда, ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои $\text{Ln}-\text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$)-ро дар бар мегирад.

Пойгоҳи асосии иттилоотӣ ва озмоишии таҳқиқот. Таҳқиқотҳои таҷрибавӣ бо истифодаи асбобҳои зерин гузаронида шуданд: термоанализатори дифференсиалии баландҳароратии ВДТА- 8М3; дифрактометри «ДРОН – 2»; микроскопи «НЕОФТ-21»; микротвердомери ПМТ-3. Дастгоҳҳо барои таҳқиқи муқовимати хоси электрикӣ, термо – қ.э.ҳ ва пазирандагии молярии магнитӣ дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К.

Эътимоднокии натиҷаҳои диссертатсионӣ. Эътимоднокии натиҷаҳои ба дастомада тавассути такроршавандагии онҳо бо ҷалби усулҳои муосири таҳлили физикӣ- химиявӣ ва истифодаи дастгоҳҳои сертификатдор дар кор тасдиқ карда мешавад.

Навғониҳои илмии таҳқиқот: Усулҳои синтези антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Nd}, \text{Tm}, \text{Lu}$), инчунин ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаи $\text{Ln}-\text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) бо хосиятҳои такроршаванда, коркард карда шуданд.

Усулҳои аз ҷиҳати илмӣ асосёфтай синтези маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; ($x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$

($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb}$; $x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Yb}$; $x = 0.4 \div 3.6$, $y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd}$; $x = 0.5 \div 4.5$; $y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$; $x = 0.5 \div 4.5$) таҳия карда шуданд, ки навғонии онҳо дар панҷ патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон қайд гардидаанд.

Мувоғиқи маълумоти таҳлилҳои дифференсиалии ҳароратӣ, рентгенофазавӣ ва микроструктурӣ, диаграммаҳои ҳолати системаҳои: $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Dy, Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd}$) ва $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$), дар тамоми ҳудуди концентратсия, сохта шуданд. Ин имкон дод, ки қонуниятҳои дар соҳтори онҳо зоҳиршавандаро муайян намояд. Ин дар он зоҳир мешавад, ки дар ҳама системаҳо маҳлулҳои саҳти ҷойивазшавии $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Dy, Yb}$; $x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb}$; $x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Yb}$; $x = 0.4 \div 3.6$, $y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd}$; $x = 0.5 \div 4.5$; $y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$; $x = 0.5 \div 4.5$), ки бо компонентҳои аввалия - Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Dy, Yb}$), Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Nd, Tm, Lu}$) изоструктурӣ мебошанд, ҳосил мешаванд. Маҳлулҳои саҳт дар сингонияҳои кубии шакли NaCl , анти- Th_3P_4 , гексагоналии Mn_5Si_3 , ромбии шакли Y_5Bi_3 кристаллизатсия мешаванд. Ғайр аз ин, ҳудуди мавҷудияти маҳлулҳои саҳти системаҳои зикршуда муайян карда шуд.

Вобастагии концентратсионии ҳосиятҳои электрофизикӣ (муқовимати ҳоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ) -и маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Dy, Yb}$; $x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb}$; $x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Yb}$; $x = 0.4 \div 3.6$, $y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd}$; $x = 0.5 \div 4.5$; $y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$; $x = 0.5 \div 4.5$) бо диаграммаҳои ҳолати системаҳо, муқаррар қарда шудааст. Муайян қарда шуд, ки маҳлулҳои саҳт ва ҳӯлаҳои системаи $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb}$) гузаронандагии металлиро зоҳир менамоянд. Қайд қардан лозим аст, ки қобилияти нисбатан пасти гузаронандагии электрикӣ онҳо бо саҳми муқовимати магнитии ҳоси электрикӣ ба муқовимати ҳоси умумии электрикӣ шарҳ дода мешавад.

Таҳқиқотҳои ҳосиятҳои магнитии маҳлулҳои саҳти нишон дода шуда, антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb}$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Tb, Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Nd, Tm, Lu}$) ва ҳӯлаҳои системаи $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb}$) муайян намуд, ки ба онҳо ҳосиятҳои парамагнитӣ хос мебошад. Тартиби магнитӣ ҳам дар ЭНЗ ва ҳам дар антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт ва дар ҳӯлаҳои системаҳои $\text{Ln}-\text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb}$) зери таъсири мутақобила, тавассути электронҳои гузаронанда бо таъсири мутақобилаи Рудерман-Киттел-Касуи-Иосиды (РККИ) сурат мегирад.

Ҳарорати парамагнитии Кюрии антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт ва ҳӯлаҳои системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb}$), падидаҳои моменти магнитии ионҳои ЭНЗ ва намуди тартиби магнитии онҳо муайян қарда шуд.

Аҳамияти назарии таҳқиқот. Ҷанбаҳои назариявии шарҳи маълумот дар бораи синтези антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт, ҳосиятҳои электрофизикӣ ва магнитии онҳоро барои шарҳ додани механизми ҳосилшавии

антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт ҳосиятҳои физико-химиявии ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои ЭНЗ бо таркибҳои гуногуни сурма ва висмут, истифода бурдан мумкин аст.

Аҳамияти амалии таҳқиқот:

- антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт, ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$), аз ҷиҳати гузаронандагии электрикӣ, дар байнин ноқилҳо ва нимноқилҳо мавқеи мобайниро ишғол мекунанд, бинобар ин онҳо метавонанд дар техникаи электронӣ барои соҳтани термоэлементҳо ва резисторҳо таваҷҷӯҳ зоҳир намоянд;

- барои муқаррар қардани таъсири f - ва d - элементҳо ба ҳосиятҳои физикӣ-химиявии нимноқилҳои навъи $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ ($\text{AlSb}, \text{GaSb}, \text{InSb}$), истифодаи антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳт ҳамчун иловаҳо ба ин пайвастагиҳо муғифид мебошанд;

- ба сифати пайконҳо барои соленоидҳои (симҳалқаи атрофи дилак, ки ҳангоми аз он гузаштани токи электрикӣ майдони магнитӣ пайдо мешавад) магнитӣ;

- дар техникаи қриогенӣ барои зиёд қардани сели магнитӣ дар дастгоҳҳое, ки на танҳо дар ҳарорати нитрогени моеъ, балки дар ҳарорати гелий низ кор мекунанд;

- антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳтро метавонанд ба сифати иловаҳо ба маводҳои магнитӣ барои афзоиши индуксияи магнитӣ истифода баранд.

Маълумотҳо дар бораи ҳосиятҳои физикӣ-химиявӣ, электрофизикӣ, магнитии антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт ва диаграммаҳои ҳолат маводҳои маълумотӣ ба ҳисоб мераванд. Ин маълумотро аспирантҳо ва муҳаққиқон дар раванди иҷрои корҳои илмӣ истифода бурда метавонанд. Ғайр аз ин, маводҳои кори диссертациониро дар раванди таълим ҳангоми хондани маърӯзаҳо оид ба химияи физикӣ, ғайриорганикӣ, таҳлили физикӣ-химиявӣ ва маводшиносӣ низ истифода бурдан мумкин аст.

Санадҳои санчишӣ ва тасдиқшуда ба кори диссертационӣ замима карда шудаанд. Санадҳо нишон медиҳанд, ки маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{5-x}\text{Tb}_x\text{Bi}_3$, $\text{Gd}_{5-x}\text{Dy}_x\text{Bi}_3$, ($x = 0.5 \div 4.5$) ва $\text{Gd}_{4-x}\text{Tb}_x\text{Sb}_3$ ($x = 0.4 \div 3.6$) маводҳои дурнамои магнитӣ барои истифодаи амалий дар маводшиносӣ мебошанд.

Нуқтаҳои ҳимояшавандии диссертатсия:

- таъсири мутақобилаи физикӣ-химиявии ЭНЗ бо сурма ва висмут дар раванди ҳосилшавии антимонидҳои LnSb , Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидҳои LnBi , Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) ва маҳлулҳои саҳтӣ $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$);

-усулҳои ҳосил қардани антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт, инчунин ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои $\text{Lu} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$);

- натиҷаҳои таҳқиқоти диаграммаҳои ҳолати системаҳои $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) ва $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) ва қонуниятиҳое, ки дар соҳтори онҳо ба назар мерасанд;

- хосиятҳои электрофизикӣ ва магнитии антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт, ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои Lu –Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb).

Саҳми шахсии довталаӣ аз таҳлили адабиётҳои илмӣ дар мавзӯи кори диссертационӣ, ҳалли масъалаҳои таҳқиқотие, ки дар ҳаммуаллифӣ анҷом дода шудаанд, муайян кардани роҳҳои ҳалли вазифаҳо, коркарди маълумотҳои таҷрибавӣ, таҳияи муқаррарот ва хулосаҳои асосии рисола иборат мебошад.

Таъииди диссертатсия ва иттилоот оид ба истифодаи натиҷаҳои он.

Натиҷаҳои асосии таҳқиқот дар конфронсҳои зерин муҳокима ва баррасӣ гардидааст:

Байналмилалӣ: международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования в XXI веке» (Душанбе, 2004 г.); международной научно-практической конференции «Перспективы и развития науки и образования в XXI веке» (Душанбе. 2005 г.); международной конференции «Современная химическая наука и ее прикладные аспекты» (Душанбе, 2006 г.); II международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования в XXI веке» (Душанбе, 2006 г.); международной конференции «Наука и современное образование: проблемы и перспективы», посвящ. 60-летию Таджикского государственного национального университета (Душанбе, 2008 г.); международной научно-практической конференции «Комплексный подход к использованию переработке угля» (Душанбе, 2013 г.); международной конференции «Комплексные соединения и аспекты их применения» (Душанбе, 2013 г.); XIV Международной конференции по термическому анализу и калориметрии в России (Санкт – Петербург, 2013 г.); международная теплофизическая школа (Душанбе, 2014 г.); международной научно-практической конференции «Независимость – основа развития энергетики страны», посвящ. празднованию «Дня энергетика» (Бохтарский район, 2017 г.).

Ҷумҳурияйӣ: республиканской конференции «Достижения в области химии и химической технологии» (Душанбе, 2002 г.); межвузовской научно-практической конференции «Достижения в области металлургии и машиностроении Республики Таджикистан» (Душанбе, 2004 г.); республиканской конференции молодых ученых Республики Таджикистан (Душанбе, 2004 г.); республиканской конференции «Прогрессивные технологии разработки месторождений и переработки полезных ископаемых, экологические аспекты развития горнорудной промышленности» (Душанбе, 2005 г.); научно-практических конференциях, проводимых в Таджикском государственном национальном университете (Душанбе, 2007-2008 г.); республиканской научно-практической конференции «Инновация-эффективный фактор связи науки с производством» (Душанбе, 2008 г.); научно-теоретической конференции, посвящ. 17 – годовшины независимости РТ, 1150 летию основоположника таджикско – персидской литературы А. Рудаки и году Таджикского языка (Душанбе, 2008 г.), научно-практической конференции «Прогрессивные методы производства», посвящ. 35–летию кафедры «Технология машиностроения металорежущие станки и инструменты» Прогрессивные методы производства (Душанбе, 2009 г.); VI Нумановских чтениях (Душанбе, 2009 г.); республиканской научно-технической конференции «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии» (Душанбе, 2009 г.);

областной научно-теоретической конференции, посвящ. «Году образования и технической культуры» (г. Курган-Тюбе, 2010 г.), республиканской научно-теоретической конференции молодых учёных Таджикистана, посвящ. 1310-летию Имома Аъзама «Чавонон ва илми мусир» (Душанбе, 2010 г.); республиканской научно-теоретической конференция молодых учёных Таджикистана, посвящ. 20 – летию 16-ой сессии Верховного Совета Республики Таджикистан (Душанбе, 2012 г.); республиканской научно-теоретической конференции «Основы педагогико-технологической и технической подготовки преподавателей технологии», посвящ. 35-летию образования кафедры «Технической механики и черчения» ТГПУ им. С. Айни и 20-летию образования национальной армии (Душанбе, 2013 г.); республиканской научно-практической конференции «Перспективы синтеза в области химии и технологии гетеросоединений», посвящ. 20-летию кафедры высокомолекулярных соединений и химической технологии ТНУ (Душанбе, 2013 г.); республиканской научно-теоретической конференции «Новые методы обучения технологических дисциплин в инновационном процессе» (Душанбе, 2013 г.), республиканской научной конференции «Химия, технология и экология воды», посвящ. году «Сотрудничество по водной проблеме» и 55-летию кафедры «Общая и неорганическая химия», ТГПУ им. С. Айни» (Душанбе, 2013 г.), республиканской научно-практической коференции «Наука и использование энергетического потенциала Таджикистана» (Курган-тюбе, 2013 г.); республиканской научной конференции «Экология и вопросы обучения и воспитания», посвящ. 70-летию заведующего кафедрой «Химическая технология и экология» ТГПУ им. С. Айни, доцента Шарипова И.Н. (Душанбе, 2014 г.); научной конференции «Актуальные проблемы современной науки», посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечественной войне (Душанбе, 2015 г.); республиканской конференции «Применение современных технических средств в обучение предмета технологии», посвящ. 20–летию конституции Республики Таджикистан (Душанбе, 2015 г.); XII Нумановских чтениях «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Таджикистан», посвящ. 55-летию со дня рождения д.х.н., проф., член-корр. АН Республики Таджикистан Куканиева М.А. (Душанбе, 2015 г.); республиканской научно-теоретической конференции ТНУ, посвящ. 25-летию государственной Независимости Республики. (Душанбе. 2016 г.); апрельской конференции профессорско-преподавательского состава ТНУ (Душанбе, 2016 г.), XV Нумановских чтениях «Современное состояние химической науки и использование ее достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан» (Душанбе, 2019 г.).

Интишори натиҷаҳои диссерватсия. Аз рӯи мавзӯъ ва натиҷаҳои таҳқиқот, 74 мақолаи илмӣ ба табъ расидааст, ки 17-тои он дар мачаллаҳои тавсиянамудаи Комиссияи олии аттестаціонии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр шудааст. 5 патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистона гирифта шудааст.

Соҳтор ва ҳаҷми диссерватсия. Диссерватсия дар 310 саҳифаи маҷмӯаи компьютерӣ пешниҳод карда шуда, аз муқаддима, панҷ боб, хулоса ва 266 феҳристи адабиётҳои истифодашуда иборат аст. Диссерватсия дорои 146 расм, 42 ҷадвал ва 42 саҳифа замимаҳо мебошад.

БОБИ 1. ДИАГРАММАХОИ ҲОЛАТ ВА ХОСИЯТҲОИ ФИЗИКӢ-ХИМИЯВИИ ҲӮЛАХО, ПАЙВАСТАГИҲОИ СИСТЕМАИ ЭНЗ –СУРМА ВА ЭНЗ –ВИСМУТ (Навиди адабиёт)

Тибқи омӯзиши адабиётҳои илмӣ чордаҳ диаграммаҳои ҳолати системаҳои $\text{Ln} - \text{Sb}$ ва ҳамон миқдор диаграммаҳои ҳолатҳои системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ омӯхта шудаанд. Бисёр диаграммаҳои ҳолати системаҳои ЭНЗ бо сурма, масалан, $\text{Ln} - \text{Sb}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}, \text{Tm}, \text{Yb}$), аз ҷониби муаллифони гуногун борҳо омӯхта шудаанд, ки ин аз эътиимоднокии маълумоти бадастомада шаҳодат медиҳад. Дар айни замон, диаграммаҳои ҳолати системаҳои $\text{Ln} - \text{Sb}$ ($\text{Ln} = \text{Er}, \text{Lu}$) ҳанӯз ҳам ба омӯзиши муфассал ниёз доранд.

Тибқи диаграммаҳои ҳолати системаҳои ЭНЗ – висмут, маълумотҳои боэътиимод барои системаҳои ЭНЗ зергурӯҳи иттрий бо висмут ба даст оварда шуданд. Ягона истисно диаграммаи ҳолати $\text{Yb} - \text{Bi}$ мебошад, ки такмил додани онро талаб мекунад. Диаграммаҳои ҳолати ЭНЗ-и зергурӯҳи серий бо висмут қамтар омӯхта шудаанд. Системаи $\text{Eu} - \text{Bi}$, ба монанди системаи $\text{Eu} - \text{Sb}$, омӯхта нашудааст ва системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{La}, \text{Ce}, \text{Sm}$) ба такроран омӯхтан ниёз доранд.

Тибқи шарҳи адабиётҳо оид ба кристаллохимияи антимонидҳо ва висмутидҳои ЭНЗ, пайвастагиҳои хоси системаҳои $\text{Ln} - \text{Sb}$ ва $\text{Ln} - \text{Bi}$, Ln_2X , Ln_5X_3 , Ln_4X_3 , LnX ва LnX_2 ($\text{X} = \text{Sb}, \text{Bi}$) мебошанд, ки дар сингонияҳои тетрагоналӣ, гексагоналӣ, кубӣ ва ромбӣ мувофиқан, кристаллизатсия мешаванд. Пайвастагиҳои дигар намудҳои он қамтар вомехӯранд ва асосан барои иттрий, европий ва итербий маълуманд.

Хосиятҳои физикӣ-химиявии антимонидҳо ва висмутидҳои ЭНЗ ба қадри кофӣ омӯхта нашудаанд. Дар байни антимонидҳо ва висмутидҳои ЭНЗ, асосан хосиятҳои физикии моноантимонидҳо ва моновисмутидҳои ЭНЗ омӯхта шудаанд.

Моноантимонидҳо ва моновисмутидҳои ЭНЗ, аз рӯи натиҷаҳои ҳисобкунии спектрҳои электронӣ бо усули МО-ЛКАО нимноқилҳо буда, аз рӯи маълумотҳои ҷенакҳои оптикаи спектри инъикосии онҳо бо спектри инъикосии нимноқилҳои бисёрҷавҳаронидашуда якхела мебошад.

Хосиятҳои физикии антимонидҳо ва висмутидҳои дигар намудҳо, масалан Ln_2X , Ln_5X_3 , Ln_4X_3 и LnX_2 ($\text{X} = \text{Sb}, \text{Bi}$), хеле кам омӯхта шудаанд. Ин, аз нигоҳи мо, ба асосноккунии қами усулҳои синтез, вобаста аст.

Масалан, синтези антимонидҳо ва висмутидҳои ЭНЗ бо усули ампулӣ ё синтези онҳо бо роҳи гудозиши компонетҳои истифодашаванда, бо камбудиҳои хоси онҳо на ҳамеша имкони ба даст овардани ҳӯлаҳои якхела ва ба қадри кофӣ тоза ва пайвастагиҳои инфиродиро таъмин мекунанд.

Хосиятҳои химиявии антимонидҳо ва висмутидҳои ЭНЗ дар муқоиса бо хосиятҳои физикии онҳо хеле кам омӯхта шудаанд. Инро, зоҳирان, бо он шарҳ додан мумкин аст, ки муҳаққиқон барои ҷустуҷӯи маводи нав аҳамияти маҳсусро ба омӯзиши хосиятҳои физикии ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳо дар асоси ЭНЗ, равона месозанд.

Қайд менамоем, ки дар адабиёти илмӣ тамоюли кор дар самти беҳтар кардани хосиятҳои физикий, алалхусус магнитии антимонидҳо ва висмутидҳои маълумӣ ЭНЗ ба назар мерасад. Ҳамин тарик, диаграммаҳои ҳолати системаҳои

зерин омӯхта шуданд: $Gd_5Sb_3 - Ln_5Sb_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho$), $Tm_5Sb_3 - Yb_5Sb_3$ и $Gd_4Bi_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$). Муайян карда шуд, ки дар системаҳои омӯхташуда маҳлулҳои саҳти изоструктурии дорон ҳосиятҳои баланди магнитӣ нисбат ба компонентҳои аввалия ҳосил шуда, дар сингонияҳои гексагоналии шакли Mn_5Si_3 ва кубии шакли анти- Th_3P_4 , кристаллизатсия мешаванд. Бинобар ин дар адабиёти илмӣ маълумотҳо оиди диаграммаҳои ҳолати системаҳои $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) и $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) ва ҳосиятҳои физикӣ-химиявии ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$), ки объектҳои таҳқиқот дар кори мазкур мебошанд, вонамехӯранд.

БОБИ 2. СИНТЕЗ ВА ТАҲҚИҚОТИ ФИЗИКӢ-ХИМИЯВИИ МАҲЛУЛҲОИ САҲТИ СИСТЕМАҲОИ Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$) И $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$, ($Ln = Pr, Nd$), $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), ХӮЛАҲО ВА ПАЙВАСТАГИҲОИ СИСТЕМАИ $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$)

Синтези антимонидҳо, висмутидҳои ЭНЗ ва маҳлулҳои саҳт дар дастгоҳи ВДТА- 8М3, дар вакууми 0,0133 Па гузаронида шуданд. Ба сифати муайянкунандаи ҳарорат гармоҷуфти волfram-волfram-рений (W-W + 20% Re) истифода шуд. Дурустии ченкуни ҳарорат дар ҳарорати 1273 К, ± 10 К-ро ташкил дод.

Пеш аз он ки намунаҳо ба оташдон ворид карда шаванд, онҳоро дар тигелҳои герметизатсияшудаи молибденӣ ҷой мекунанд. Ҳангоми интихоби маводи тигелӣ маълумотро оиди ҳалшавии молибденро аз адабиёти илмӣ дастрас менамуданд. Мувоғиқи маълумоти ба даст омада маълум шуд, ки ҳалшавии молибден, танта ва волfram дар ЭНЗ-и моеъ ниҳоят кам аст.

Ҳангоми синтези антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳт дистиллятҳои ЭНЗ (ТУ 48-1303-173-76), сурмаи тамғаи Су-18-4 (ТУ 48-14-18-75) ва висмути тамғаи ОСЧ 11-4 (ТУ 05-159-69) истифода шуданд.

Аз тарафи мо усули синтези антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Gd, Dy, Yb$), Gd_4Sb_3 , висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) ва Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), Dy, Ho, Er, Tm, Lu) бо истифодаи моноантимонидҳо ва моновисмитидҳои ЭНЗ ҳамчун компонентҳои ибтидой, таҳия карда шуд.

Моноантимонидҳо ва моновисмитидҳои ЭНЗ тавассути таъсири мутақобилаи тарошаҳои ЭНЗ бо тарошаҳои висмут ё хокай сурма (вазни намуна 10-15 г) дар тигелҳои герметизатсияшудаи молибденӣ ба даст оварда шуданд. Тафсонидани тигел бо моддаҳо бо суръати 20 дараҷ/дак. то ҳарорати оптимальӣ ва нигоҳдории минбаъда дар муддати (2-3) ±0.5 соат, гузаронида шуд. Баъди ба охир расидани синтез тегел бо моддаҳо то ҳарорати хонагӣ бо суръат 80 дараҷ/дақ. хунук карда шуданд.

Дар ҳосилшавии антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) ва Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) ба сифати компонентҳои дар таркибашон сурма, висмут ва ЭНЗ

дошта, моноантимонидҳои LnSb ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb}$) ва моновисмутидҳои LnBi ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$) истифода шудааст.

Синтези Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb}$) ва Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb}$)-ро бо усули дар боло нишон дода шуда ба тарзи зерин гузаронида шуд. Хокай моноантимонидҳо ва моновисмутидҳо ва ЭНЗ-ро дар шакли тароша бо таносуби 57.14 ат. % РЗЭ ва 42.86 ат. % Sb (ё ки 42.86 ат. % Bi) (вазни 10-15 г.) гирифта хуб омехта карда, фишурда ва бо ҳарорати 20 дараҷа/дақиқа то ҳарорати оптимальӣ (1473-1573 К) гарм карда, баъдан то 3 ± 0.5 соат, нигоҳ дошта шуданд. Тегел бо мавод байди анҷомёбии синтез бо суръати 80 дараҷа/дақ то ҳарорати хона хунук карда шуд.

Антимониди Gd_5Sb_3 ва висмутидҳои Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$), инчунин антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb}$), низ бо истифодай маводҳои пешакӣ синтезшудаи моноантимониди GdSb ва моновисмитидҳои LnBi ($\text{Ln} = \text{Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$) ҳосил карда шуданд.

Барои гузаронидани синтези пайвастагиҳои зерин маводи (намунаи то 15 г) иборат аз хокай GdSb ё хокай моновисмутид ва тароشاҳои ЭНЗ даҳлдор, таркибаш аз 62.5 ат.% ЭНЗ ва 37.5 ат.%Sb (ё 37.5 ат.%Bi) иборат бударо фишурда дар тигали молибдени герметизатсияшуда ҷой мекарданд. Тигел ва маводро то ҳарорати оптимальӣ (1623-1673К) тафсонда, ба муҳлати 3 ± 0.5 соат нигоҳ медоштанд. Пас аз ба итном расидани синтез, тигель бо модда бо суръати 80 дараҷа/дақ. хунук мекарданд.

Аз рӯи натиҷаҳои таҳлилҳои рентгенофазавӣ ва микроструктурӣ моноантимонидаҳои синтез карда шуда LnSb ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb}$), моновисмутидҳои LnBi ($\text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$), антимонидҳои Ln_4Sb_3 , ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb}$), антимониди Gd_5Sb_3 , висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Yb}$) ва висмутидҳои Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$) пайвастагиҳои якфаза мебошанд.

Дар рисола ҳосиятҳои кристаллохимиявии антимонидҳо ва висмутидҳои синтезшуда оварда шудаанд.

Моноантимонидҳо ва моновисмитидҳо изоструктурӣ буда, дар сингонияи кубии навъи NaCl кристаллзатсия мешаванд. Антимонидҳои изоструктурии Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb}$) ва висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Yb}$) дар системаи кубии навъи анти- Th_3P_4 кристаллзатсия мешаванд. Висмутидҳои Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$), низ изоструктурӣ буда, дар ду сингония кристаллизатсия мешаванд: Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr, Nd}$) ба намуди гексагоналии навъи Mn_5Si_3 ва Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu}$) ба намуди ромбикии навъи Y_5Bi_3 .

Бо мақсади таҳияи усули синтези маҳлулҳои саҳти системаҳои овардашуда ва муайян намудани раванди ҳосилшавии онҳо, бо истифодай усулҳои таҳлилҳои дифференсиалии ҳароратӣ (ТДҲ) ва рентгенофазавӣ (ТРФ) оғози таъсири ҳамдигарии ЭНЗ бо сурма ва висмут омӯхта шуд. Муқаррар карда шуда, ки оғози ҳарорати мутақобилаи ЭНЗ бо сурма ва висмут, ҳангоми ҳосилшавии маҳлулҳои саҳт, дар ҳудудҳои 443-868 К (ЭНЗ бо сурма) ва 545-723 К (ЭНЗ бо висмут) сурат мегирад. Мувофиқи маълумотҳои ТРФ, пас аз ба итном расонидани ТДҲ, маҳсулоти реаксия дорои моноантимонидҳо, моновисмитидҳо ва ЭНЗ-и озод

мебошанд.

Муайян карда шуд, ки ҳангоми баланд шудани ҳарорати синтез, ҳиссаи фазаи LnSb ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) ва LnBi ($\text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) дар намунаҳо коҳиш меёбад ва фазаии Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$, Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) ва Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) афзоиш меёбад. Бинобар ин, оғози ҳосилшавии маҳлулҳои сахт дар ҳудуди ҳарорати 1173-1373 К ба қайд гирифта шуд.

Дар асоси натиҷаҳои омӯзиши таъсири ҳамдигарии ЭНЗ бо сурма ва висмут, имконияти ҳосил кардани маҳлулҳои сахти $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; $0.4 \div 3.6$, $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5, y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$) системаҳои $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$, ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) и $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) –ро ҳамчун бо таъсири ҳамдигарии ЭНЗ бо сурма ва висмут ва ҳам бо истифодаи ба сифати компонентҳои дар таркибашон сурма, висмут ва ЭНЗ дошта, компонентҳои қаблан синтезшудаи антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) ва Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), муқаррар карда шуд.

Бо усули аввала маҳлулҳои сахти системаҳои қайдшуда ба таври зерин ҳосил карда шуд. Маводи массааш то 15 г-ро ки аз ЭНЗ ғуногун ва висмут дар шакли тарошаҳои хурд ва хокай сурма дорои таркиби муайянни стехиометрӣ бударо, хуб омехта карда, сипас фишор дода, дар тигели молибдени герметизатсияшуда чойгир менамоянд. Пас аз он, тигелро бо модда дар вакууми (0.0133 Па) марҳила ба марҳила бо суръати 20 дараҷа/дақ гарм мекунанд ва сипас дар ҳарорати муайян нигоҳ медоранд.

Ҳарорати оптимальии синтези маҳлулҳои сахти дар боло зикршуда 1543-1773 К, ва дар ин ҳароратҳо нигоҳдории тигел 2-3 соатро ташкил медиҳад.

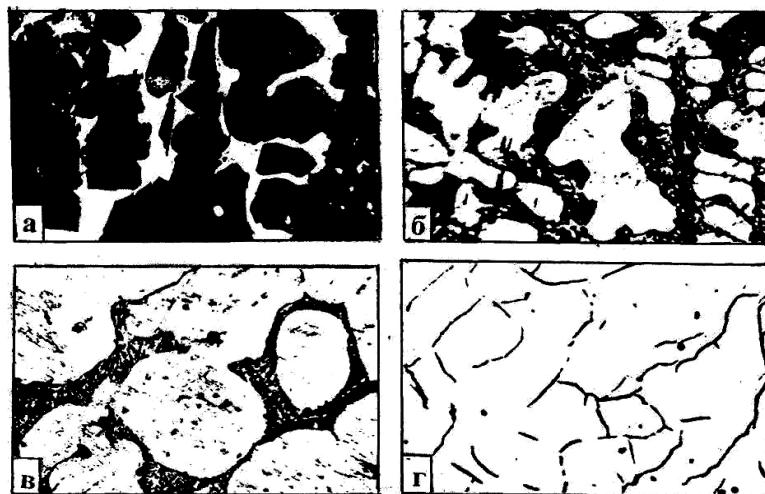
Бо усули дуюм синтез намудани маҳлулҳои сахт, масалан, маҳлулҳои сахти $\text{Gd}_{4-x}\text{Pr}_x\text{Sb}_3; x = 0.4 \div 3.6$; хокаҳои Gd_4Sb_3 ва Pr_4Sb_3 , ки дар таносуби муайян гирифта (вазни намуна то 15 г), омехта намуда, фишурда ва ба тигели герметизатсияшудаи молибдени чойгир карда шуд. Тигел бо мавод то ҳарорати 1473 К гарм карда, муддати 2.5 ± 0.5 соат нигоҳ дошта шуданд. Гармкунӣ ва хунукунӣ тигель бо намуна дар вакуум (0.0133 Па) бо суръати 80 дараҷа/дақ гузаронида шуд.

Шароити оптимальии синтези ҳамаи маҳлулҳои дигари сахт 1543-1773 К ва вақти нигоҳдорӣ 2.5 ± 0.5 соатро ташкил медиҳад.

Мувофиқи таҳлили рентгенофазавӣ, маҳлулҳои сахти $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; $0.4 \div 3.6$, $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$) и $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), дар сингонияи кубии навъи анти- Th_3P_4 , маҳлулҳои сахти $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5, y = 0.3 \div 2.7$) дар сингонияи гексагоналии навъи Mn_5Si_3 ва маҳлулҳои сахти $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) дар сингонияи ромбии навъи Y_5Bi_3 кристализатсия мешаванд.

Бояд қайд кард, ки таҳлили микроструктурӣ натиҷаҳои таҳлили рентгенофазавии маҳсулоти таъсири ҳамдигарии ЭНЗ-ро бо сурма ва висмут тасдиқ меқунад.

Ҳамчун мисол, дар расми 1 аксҳои микроструктураи маҳсулоти таъсири ҳамдигарии гадолиний, тербий ва висмут ҳангоми ҳосилшавии маҳлули сахти $Gd_3Tb_2Bi_3$ системаи $Gd_5Bi_3-Tb_5Bi_3$ оварда шудаанд.



Расми 1 - Микроструктураи маҳсулоти таъсири ҳамдигарии гадолиний, тербий бо висмут дар ҳарорати 1173 (а), x120.1373 (б), x120, 1573 (в), x180, 1673 К (г), x110 ва вақти нигоҳдорӣ $3,5 \pm 0,5$ соат.

Дар расми 1, (а) маҳсулоти синтез дар ҳарорати 1173 К ва вақти нигоҳдории $3,5 \pm 0,5$ соат сефаза мебошад. Қисми торики микроструктура ду фазаро дар бар мегирад - Gd_5Bi_3 (бо микросахтии 2250 ± 100 МПа) ва Tb_5Bi_3 (бо микросахтии 2045 ± 50 МПа). Қисмати рӯшноии микроструктура маҳлули сахти $Gd_3Tb_2Bi_3$ аст (бо микросахтии 3860 ± 100 МПа). Дар ҳарорати 1373 ва 1573 К ва вақти нигоҳдорӣ $3,5 \pm 0,5$ соат (расми 1, (б, в)), ҳиссаи фазаи $Gd_3Tb_2Bi_3$ дар маҳсулот зиёд шуда, ҳиссаи фазаҳои Gd_5Bi_3 ва Tb_5Bi_3 кам мешаванд. Бинобар ин, дар ҳарорати 1673 К ва вақти нигоҳдории $2,5 \pm 0,5$ соат, маҳлули сахти якфазавии $Gd_3Tb_2Bi_3$ ҳосил мешавад (расми 1, г). Хатҳо дар сатҳи микроструктура микротарқишиҳо мебошанд, ки ҳангоми суфта карданӣ намуна ба вучуд омадаанд.

Дар рисола ҳосиятҳои кристаллохимиявии ҳамаи маҳлулҳои сахти ҳосилшуда оварда шудаанд. Бояд қайд кард, ки навгонии маҳлулҳои сахти ҳосилшуда бо панҷ патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон тасдиқ шудаанд.

Синтези ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои Ln-Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb)-ро бо усули таъсири мутақобилаи ЭНЗ ва висмут дар тигелҳои герметизатсияшудаи молибдени ба тариқи зайл гузаронида шуд. Микдори стехиометрии компонентҳои истифодашаванда - ЭНЗ (Pr, Nd, Gd, Tb) ва висмутро (намунаи 10-15 г) дар шакли тароشاҳои хурд омехта, фишурда ва дар тигели герметизатсияшудаи молибдени ҷойгир карда шуданд. Сипас, бо мақсади пешгирии таъсири фаъоли ЭНЗ бо висмут, тигелро бо намуна оҳиста аз ҳарорати хона то ҳарорати оғози таъсири компонентҳо 573-713 К гардад (бо суръати 10 К / дақ) ва дар ин ҳарорат 2-3 соат нигоҳ дошта мешуд. Пас аз ин, гармкуниро бо суръати 20 К / дақиқа то ба

даст овардани ҳарорати оптималии синтез (Чадвали 1) давом дода дар он тигелро бо намуна дар муддати муайян нигоҳ дошта, баъд (бо суръати 20 К / дақ) то ҳарорати хона хунук кардем. Гомогенӣ будани ҳӯлаҳои синтезшуда тавассути таҳлили рентгенофазавӣ ва микроструктурӣ назорат карда мешуданд.

Чадвали 1 - Шароити оптималии синтез ва таркиби фазавии ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои Ln – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb)

Миқдори висмут дар ҳӯлаҳо, бо%	Ҳарорати оптималии синетез ± 10 К	Вақти нигоҳдорӣ соат	Таркиби фазавии ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳо
Системаи Pr - Bi			
1-30	1023	2.5±0.5	Pr _{TB.p.} , Pr ₂ Bi
33.3	1373	2.5±0.5	Pr ₂ Bi
45-50	1573	3.5 ±0.5	Pr ₄ Bi ₃ , PrBi
55-60	923	4±0.5	PrBi, PrBi ₂ , Bi _{TB.p.}
66.6	923	4±0.5	PrBi ₂
70-99	923	4±1	PrBi ₂ , Bi _{TB.p.}
Системаи Nd - Bi			
1-30	1023	2.5±0.5	Nd _{TB.p.} , Nd ₂ Bi
33.3	1373	2.5±0.5	Nd ₂ Bi
45-50	1573	3.5 ±0.5	Nd ₄ Bi ₃ , NdBi
66.6	923	4±0.5	NdBi ₂
70-99	923	4±1	NdBi ₂ , Bi _{TB.p.}
Системаи Gd - Bi			
1-30	1273	2±0.5	Gd _{TB.p.} , Gd ₅ Bi ₃
45-50	1723	4±0.5	Gd ₄ Bi ₃ , GdBi
50-60	1673	3.5 ±0.5	GdBi, GdBi ₂ , Bi _{TB.p.}
65-99	1123	4±0.5	GdBi, GdBi ₂ , Bi _{TB.p.}
85-99	1023	4±0.5	GdBi, GdBi ₂ , Bi _{TB.p.}
Системаи Tb - Bi			
1-30	1423	2.5±0.5	Tb _{TB.p.} , α-Tb ₅ Bi ₃
45-50	1723	4±0.5	Tb ₄ Bi ₃ , TbBi
50-60	1673	5 ±0.5	TbBi, Bi _{TB.p.}
65-99	1073	4±0.5	TbBi, Bi _{TB.p.}
85-99	923	4±0.5	TbBi, Bi _{TB.p.}

Эзоҳ: шароитҳои оптималии синтези висмутидҳои Ln₄Bi₃ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb), Ln₅Bi₃ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb) ва LnBi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb) дар рисола оварда шудаанд.

Бояд қайд кард, ки таркиби фазавии ҳӯлаҳои системаҳои ҳосилкардаи мо бо диаграммаҳои пештар омӯхтаи системаҳои Ln – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb). муҳолифат намекунанд.

Висмутидҳои Ln₂Bi (Ln = Pr, Nd) дар сингонияи тетрагоналий навъи Ti₂P ва висмутидҳои LnBi₂ (Ln = Pr, Nd) дар сингонияи ромби навъи LaSb₂ кристаллизатсия мешаванд.

Таҳлили дифференсиалии ҳароратӣ (ТДХ). Таҳлили дифференсиалии ҳароратии ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳо дар дастгоҳи ВДТА-8М3 дар муҳити гелии тамғаи ВЧ (Ту-51-681-75), таркиби газияш 98-99 % гузаронида шудааст.

Термограммаҳо дар координатҳои "ҳарорати намуна - фарқияти ҳарорати намуна ва эталон" сабт карда мешаванд.

Дараҷабандии гармоҷуфтҳои ВДТА-8МЗ дар асоси ҳарорати гудозиши металлҳои Sn - 504.8; Bi- 544.3; Pb -600.5; Zn -692.3; Sb-903.5; Cu -1356; Fe -1812 ва оксиди ниҳоят тозаи Al_2O_3 - 2315 К гузаронида шуданд: Дақиқияти ченкуни ҳарорат $\pm 1\%$ -и қимати ҳарорати ченшавандаро ташкил менамояд.

Намунаҳо барои таҳлил дар шакли ҳабби фишордодашудаи хокаҳои антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳт омода карда шуданд, ки баъдан онҳоро дар тигелҳои молибдени герметизатсияшуда ҷойгир намудем. Массаи намуна 1,5-2 г-ро ташкил мекард.

Таҳлили рентгенофазавӣ (TRФ). TRФ-и ҳӯлаҳо бо истифодай дифрактометри ДРОН-2 бо истифодай полоиши Ni ва нурафкании CuKa гузаронида мешуд. Суръати сабти дифрактограмма 30 сонияи кунциро дар як дақиқа ташкил медиҳад. Дифрактограммаҳо дар кунҷҳои Брэгови бо нишонаҳо дар ҳар 0,1 град сабт гардидаанд. Барои дақиқтар ёфтани мавқеи рефлекс дар дифрактограмма сабткуниро бо NaCl ё Al ҳамчун эталонҳо истифода мебаранд. Инчунин сабткуниро бо суръати камтар ва густвраи баланд гузаронида мешуд.

Саҳехият дар муайян кардани қиматҳои параметри ячейкаҳои элементарӣ ± 0.0005 нм –ро ташкил дод.

Таҳлили микроструктурӣ (TMC) ва санҷиии микросахтӣ. TMC ҳам дар намунаҳои гудохташуда ва пухташуда гузаронида шуд. Намунаҳо барои таҳқиқот бо хамираи алмоси ACM 28/20-ACM 2/1, ки ба матои нейлонӣ ҷой дода шудааст, суфта карда шудаанд. Барои муайян намудани структура сатҳи намудаҳоро тавассути таъсири ҳаво ё бо зоҳиркунандаҳои химиявӣ тезоб карда мешаванд. Ба сифати зоҳиркунандаҳо маҳлули 1% -и HNO_3 ва 0,5. % $\text{HCl} + 1\% \text{ HNO}_3$ дар спирт истифода шуданд.

Микроструктураи намунаҳо дар микроскопи “НЕОФОТ-21” дар нурҳои инъикосшаванда ва қутбшаванда омӯхта шуданд.

Микросахтии намунаҳо аз рӯи усули стандартӣ дар микротвердомери ПМТ-3 санҷида шуданд. Ба сатҳи ҳар як намуна 15-20 из гузашта шуд. Вақти боркунӣ 6-8 сония ва вакти нигоҳдорӣ дар зери бор 10-12 сонияро ташкил дод.

Санҷиии зичӣ. Зичии намунаҳо ҳам бо усули пикнометрӣ ва ҳам бо ҳисоб дар асоси маълумотҳои рентгенӣ муайян карда шуданд. Ченкуни зичӣ бо усули пикнометрӣ дар хокаҳо тибқи усули стандартӣ гузаронида шуд.

Санҷиии муқовимати электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 K. Таҳқиқоти муқовимати хоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ-и намунаҳо дар ҳудуди 298-773 K бо усули чорzonда дар таҷизоте гузаронида шудааст, ки аз ҷониби мо соҳта шудааст.

Санчиши ҳарорати намунаи таҳқиқшуда бо гармоҷуфтҳои WRe (5%) - WRe (20%), гузаронида шуд. Ба сифати зондҳои потенсиометри шоҳаҳои гармоҷуфтҳои WRe (5%) истифода шуданд.

Санчиши хосиятҳои электрофизикӣ дар дастгоҳи мазкур дар шароити вакуум $1.33 \cdot 10^{-2}$ Па гузаронида шуд. Барои санчиш намунаҳои шакли силиндрӣ диаметрашон 6 мм ва баландии 10 мм-ро истифода кардем.

Хатогии нисбӣ ҳангоми чен кардани муқовимати хоси электрикӣ ± 2.5 ва

термо-қ.э.х $\pm 2\%$ ташкил дод.

Санчиши пазирандагии магнитӣ дар ҳудуди ҳароратҳоу 298-773 К. Пазирандагии магнитии маҳлулҳои саҳт, антимонидҳо ва висмутидҳои ЭНЗ дар дастгоҳе таҳқиқ карда шудаанд, ки аз рӯи принсиби рақосаки мизонӣ амал мекунад.

Санчиши пазирандагии магнитӣ дар шароити вакууми 0.0133 Па ва дар майдонҳои магнитии 159-238.7 кА/м, дар ҳудудҳои ҳарорати 298-773 К гузаронида шуд.

Ҳарорати намуна дар ҳудуди ҳароратҳои 298-800 К бо усули ҷуброни (компенсатсионӣ) бо гармоҷуфти платина - платинародӣ санчида мешуд.

Ба сифати намуна этalonҳои намаки Мор ($\chi_{уд} = 32 \cdot 10^{-6}$) ва sulфати мис ($\chi_{уд.} = 6 \cdot 10^{-6}$) истифода мешуданд.

Хатогии нисбӣ ҳангоми чен кардани пазирандагии магнитӣ $\pm 3\%$ -ро ташкил дод.

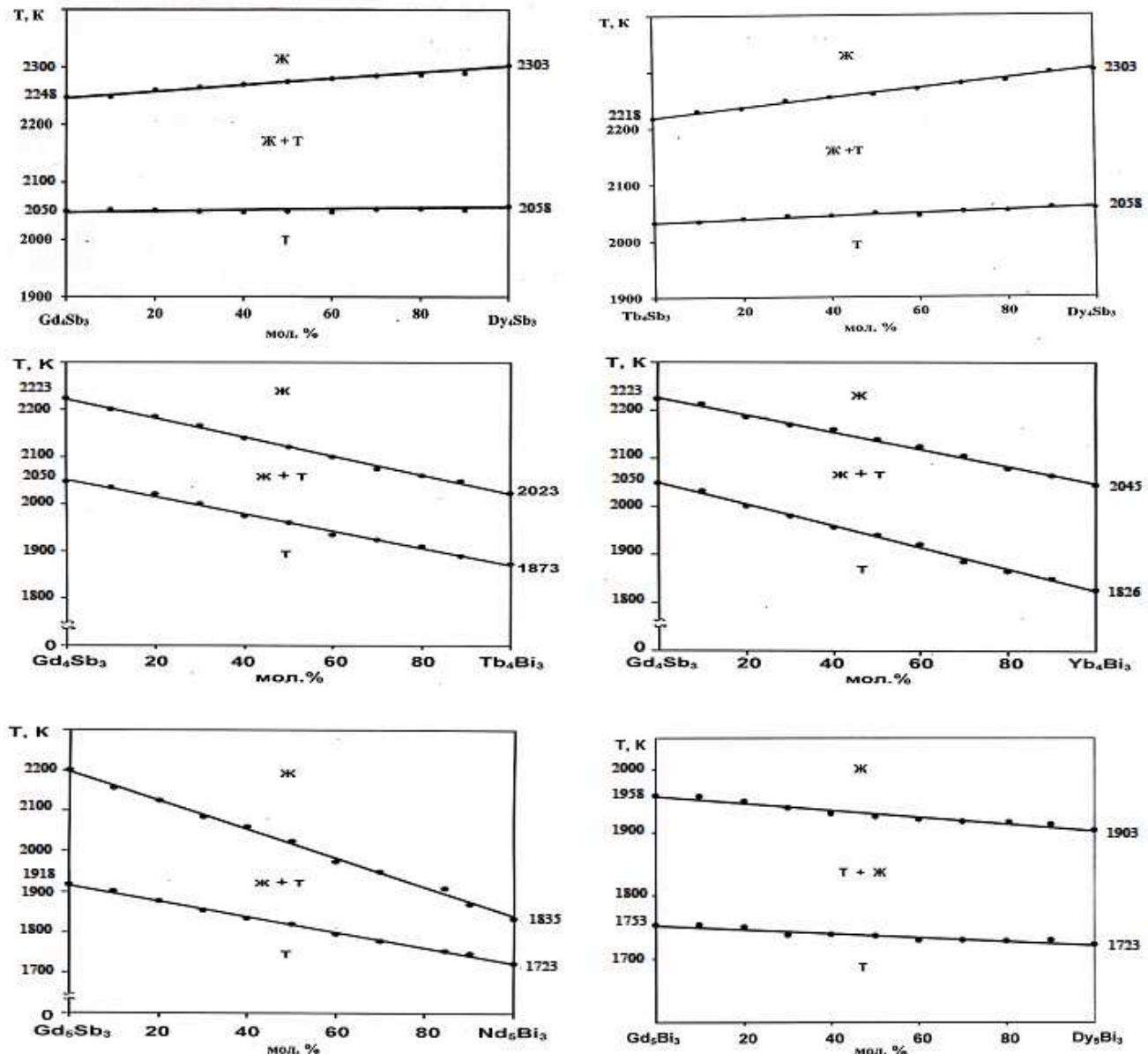
БОБИ 3. ДИАГРАММАҲОИ ҲОЛАТИ СИСТЕМАҲОИ $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) И $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$)

Натиҷаҳои тадқиқоти диаграммаҳои ҳолат. Бо усулҳои ТДҲ, ТРФ ва ТМС 21 диаграммаи ҳолати системаҳои зикршуда соҳта шуданд. Ғайр аз ин, барои тасдиқ намудани соҳти диаграммаҳои ҳолат дар ҳарорати хона, вобастагии концентратсионии баъзе ҳосиятҳои физикий (муқовимати ҳоси электрикӣ, термо-қ.э.ҳ ва микросаҳтӣ) -и маҳлулҳои саҳте, ки дар ин системаҳо ҳосил шудаанд, омӯхта шуданд.

Аз рӯи маълумотҳои ТДҲ, ТРФ ва ТМС муайян карда шуд, ки ин диаграммаҳо якхела буда, дар онҳо маҳлулҳои саҳти изоструктурии $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x = 0.4 \div 3.6$), $Tb_{4-x}Dy_xSb_3; 0.4 \div 3.6$, $Gd_{4-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb; x = 0.4 \div 3.6$), $Gd_{4-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd; x = 0.5 \div 4.5, y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu; x = 0.5 \div 4.5$) системаҳои $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$, ($Ln = Pr, Nd$) ва $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), ҳосил мешавад, ки монанди компонентҳои ибтидой ба таври инконгруэнтӣ гудохта мешаванд.

Ба сифати намуна дар расми 2 диаграммаҳои ҳолати системаҳои $Gd_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Sb_3 - Tb_4Bi_3$, $Gd_4Sb - Yb_4Bi_3$, $Gd_5Sb_3 - Nd_5Bi_3$, $Gd_5Bi_3 - Dy_5Bi_3$ оварда шудааст.

Таҳлили рентгенофазавӣ нишон дод, ки ҳамаи маҳлулҳои саҳт бо компонентҳои ибтидой изоструктурӣ мебошанд. Таҳлили микроструктуравии маҳлулҳои саҳт натиҷаҳои таҳлили рентгенофазавиро тасдиқ карданд. Маҳлулҳои саҳти синтезшуда намунаҳои якфазавиро ташкил медиҳанд.



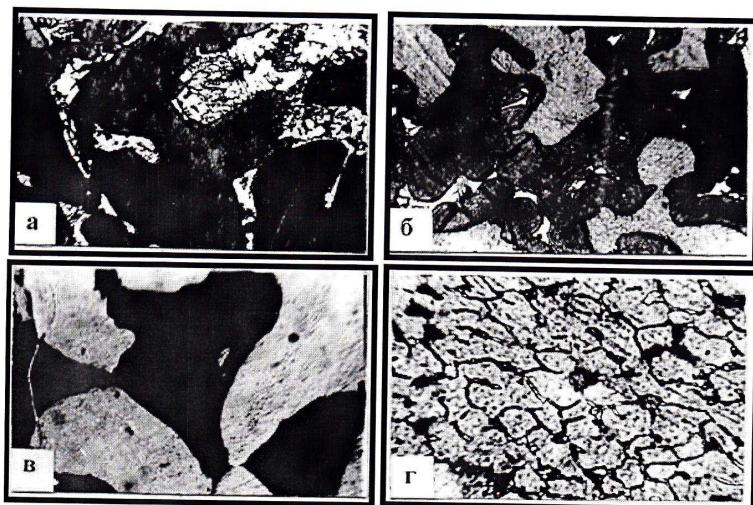
Расми 2-Диаграмма ҳолати системахои Gd₄Sb₃-Dy₄Sb₃, Tb₄Sb₃-Dy₄Sb₃, Gd₄Sb₃-Tb₄Bi₃, Gd₄Sb-Yb₄Bi₃, Gd₅Sb₃-Nd₅Bi₃, Gd₅Bi₃-Dy₅Bi₃

Муайян карда шуд, ки дарацаи гомогенизатсияи маҳлулҳои саҳти пухташуда ва ҳам гудохташуда ба таври назаррас аз ҳарорат ва вақти нигоҳдорӣ вобаста мебошад. Ҳамин тавр, масалан, таҳлили микроструктурии намунаи маҳлули саҳти Gd_{2.4}Pr_{1.6}Bi₃ (40 мол. % Pr₄Bi₃), ки дар ҳарорати 1373 К давоми 1, 2 ва 3 соат нигоҳ дошта шуда, бисёрфаза аст (Расми 3, а, б, в). Қисмати торик - Pr₄Bi₃ ва Gd₄Bi₃ ва қисмати равшан маҳлули саҳти Gd_{2.4}Pr_{1.6}Bi₃ мебошанд. Табииати якфазагии ин маҳлули саҳт дар 1573 К ва вақти нигоҳдории он 4 ± 0.5 соат ба даст оварда мешавад (Расми 3, г).

Бояд қайд кард, ки барои ҳамаи системахои омӯхташуда дарацаи гомогенизатсияи маҳлулҳои саҳт аз ҳарорат ва вақти нигоҳдорӣ вобаста аст.

Вобастагии концентратсионии муқовимати хоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ. маҳлулҳои саҳти системахои омӯхташуда дар ҳарорати хона бо ҳамаи диаграммаҳои ҳолат мувофиқат мекунанд, зоро дар каҷхатай вобастагии

концентратсионии муқовимати хоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ нуқтаҳои экстремалӣ мушоҳида намешаванд. Бинобар ин, вобастагии концентратсионии микросахтии маҳлулҳои сахт (Расми 4, в.) бо каҷхатаи максимали қайд карда мешавад.



Расми 3 –Микроструктураи маҳлули сахти $Gd_{2.4}Pr_{1.6}Bi_3$ (40 мол. % Pr_4Bi_3), дар ҳарорати 1573 К нигоҳдошташуда. Вақтҳои нигоҳдорӣ: а-1, x80, б-2, x105, в-3, x210, г-4 соат, x60

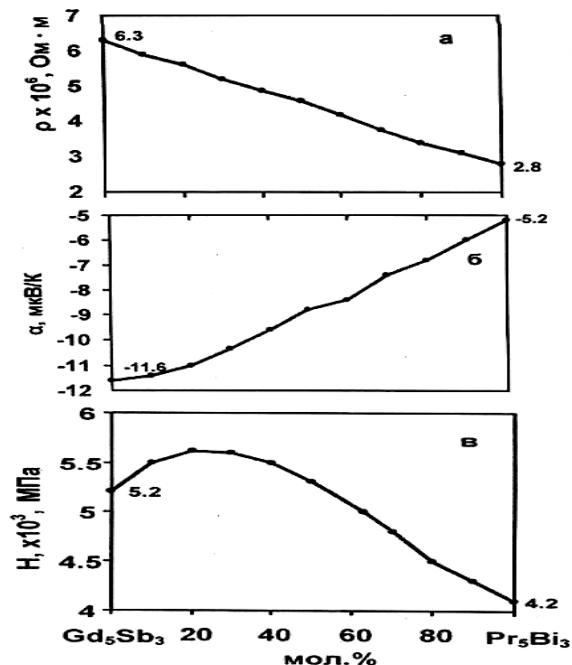
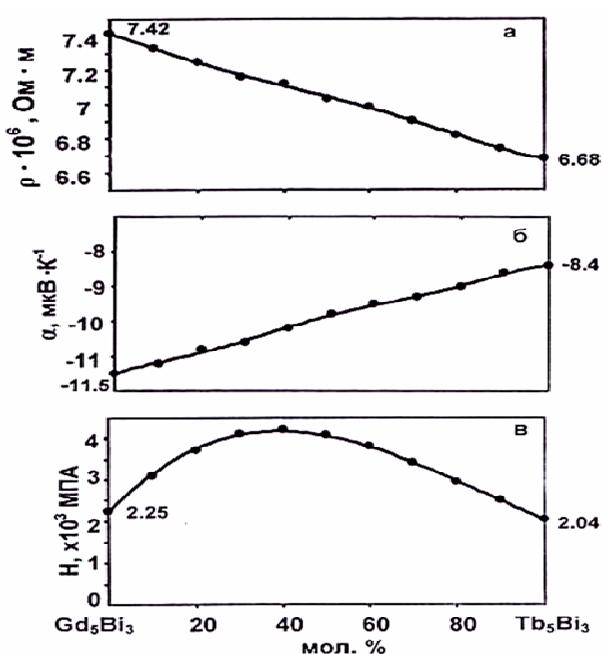
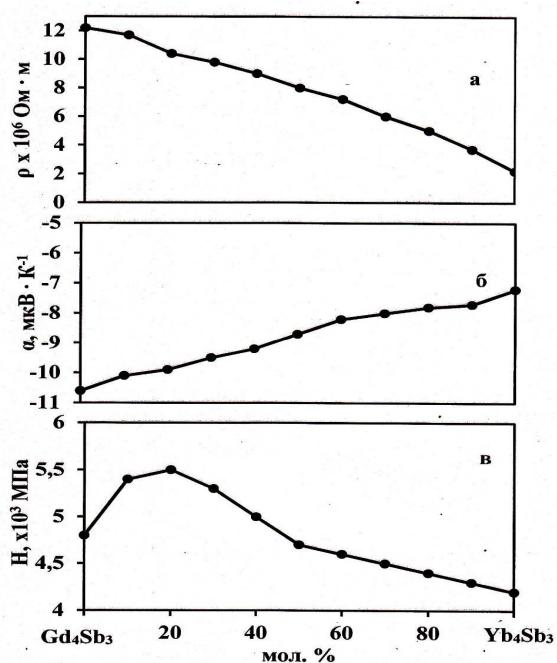
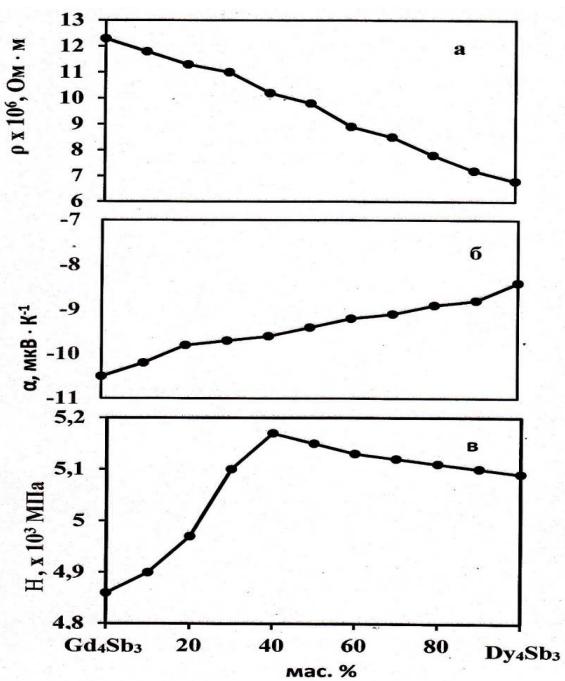
Ҳамчун мисол, дар расми 4 вобастагии концентратсионии муқовимати хоси электрикӣ, термо-қ.э.ҳ ва микросахтии маҳлулҳои сахти системаи Gd_4Sb_3 - Dy_4Sb_3 , Gd_4Sb_3 - Yb_4Sb_3 , Gd_5Bi_3 - Tb_5Bi_3 ва Gd_5Sb_3 - Pr_5Bi_3 . нишон дода шудааст. Дар рисола қиматҳои муқовимати хоси электрикӣ, ва термо-қ.э.ҳ ҳамаи маҳлулҳои сахти таҳқиқшуда дар ҳарорати хона оварда шудаанд.

БОБИ 4. ХОСИЯТҲОИ ЭЛЕКТРОФИЗИКИИ МАҲЛУЛҲОИ САХТИ СИСТЕМАҲОИ Gd_4Sb_3 – Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), Tb_4Sb_3 – Dy_4Sb_3 , Gd_4Bi_3 – Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb$), Gd_4Sb_3 – Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), Gd_5Sb_3 – Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd$), Gd_5Bi_3 – Ln_5Bi_3 ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$),

ҲЎЛАҲО ВА ПАЙВАСТАГИҲОИ СИСТЕМАИ Ln – Bi ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$)

Натиҷаҳои таҳқиқоти хосиятҳои электрофизикавии маҳлулҳои сахти, антимонидҳо, висмутидҳои ЭНЗ, ҳўлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои Ln - Bi ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$). Санчишӣ вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ дар 4-6 намуна гузаронида шудааст. Дар ин ҳолат, фарқияти қиматҳои муқовимати хоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ аз намуна то намуна аз хатои ченкунӣ зиёд набуд.

Тавре ки дар боло қайд шуда буд, вобастагии концентратсионии муқовимати хоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ -и маҳлулҳои сахт дар ҳарорати хона қариб хатӣ тағйир меёбад. Ин алоқамандии онҳоро бо диаграммаҳои ҳолати системаҳои Gd_4Sb_3 – Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), Tb_4Sb_3 – Dy_4Sb_3 , Gd_4Bi_3 – Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb$), Gd_4Sb_3 – Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), Gd_5Sb_3 – Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd$), Gd_5Bi_3 – Ln_5Bi_3 ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) нишон медиҳад.



Расми 4 - Вобастагии концентратсионии муқовимати хоси электрикӣ, термо- қ.э.ҳ ва микросахтии маҳлулҳои сахти системаҳои Gd₄Sb₃-Dy₄Sb₃, Gd₄Sb₃-Yb₄Sb₃, Gd₅Bi₃-Tb₅Bi₃ и Gd₅Sb₃-Pr₅Bi₃

Дар ҷадвали 2 қиматҳои муқовимати хоси электрикӣ, ноқилияти электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ компонентҳои аввалия - антимонидҳои Ln₄Sb₃ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb) ва баъзе маҳлулҳои сахт дар ҳарорати 298 К овардан дода шудаанд.

Дар рисола вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикии антимонидҳо, висмутидҳо ва инчунин маҳлулҳои сахти системаи Gd₄Sb₃ – Ln₄Sb₃ (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb), Tb₄Sb₃ – Dy₄Sb₃, Gd₄Bi₃ – Ln₄Bi₃ (Ln = Pr, Nd, Tb), Gd₄Sb₃ – Ln₄Bi₃ (Ln = Pr, Nd, Tb, Yb), Gd₅Sb₃ – Ln₅Bi₃ (Ln = Pr, Nd), Gd₅Bi₃ – Ln₅Bi₃ (Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) оварда шудаанд.

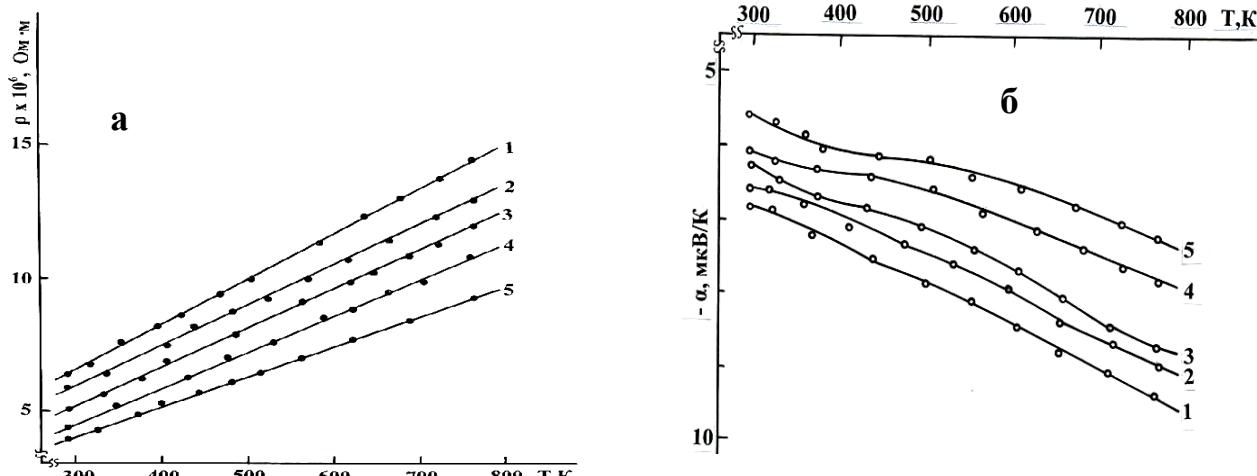
Чадвали 2 – Хосиятҳои электрофизикии антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) ва баъзе маҳлулҳои сахти системаи $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) ҳангоми 298 К

Антимонидҳо ва маҳлулҳои сахт	Муҳовимати хоси электрикӣ, $\rho \times 10^6, \Omega \cdot \text{м}$	Ноқилияти электрикӣ, $\times 10^{-5}, \Omega^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	Термо-қ.э.ҳ.- α , мкВ/К
Pr_4Sb_3	6.22 ± 0.15	1.6 ± 0.04	5.3 ± 0.1
Nd_4Sb_3	3.26 ± 0.81	3.06 ± 0.07	8.8 ± 0.17
Gd_4Sb_3	12.2 ± 0.30	0.82 ± 0.02	10.5 ± 0.21
Tb_4Sb_3	9.72 ± 0.24	1.02 ± 0.02	7.6 ± 0.15
Dy_4Sb_3	6.52 ± 0.16	1.53 ± 0.04	8.4 ± 0.16
Yb_4Sb_3	2.23 ± 0.05	4.48 ± 0.12	7.4 ± 0.14
$\text{Gd}_{3.6}\text{Pr}_{0.4}\text{Sb}_3$	11.84 ± 0.29	0.84 ± 0.02	10 ± 0.2
$\text{Gd}_{2.8}\text{Nd}_{1.2}\text{Sb}_3$	8.56 ± 0.21	1.17 ± 0.29	10.2 ± 0.2
$\text{Gd}_{1.6}\text{Tb}_{2.4}\text{Sb}_3$	10.82 ± 0.27	0.92 ± 0.02	9.2 ± 0.18
$\text{Gd}_2\text{Dy}_2\text{Sb}_3$	9.87 ± 0.24	1.01 ± 0.02	9.4 ± 0.18
$\text{Gd}_{0.8}\text{Yb}_{3.2}\text{Sb}_3$	4.54 ± 0.11	2.20 ± 0.05	7.74 ± 0.15
$\text{Tb}_{2.4}\text{Dy}_{1.6}\text{Sb}_3$	8.33 ± 0.20	1.20 ± 0.03	7.9 ± 0.15

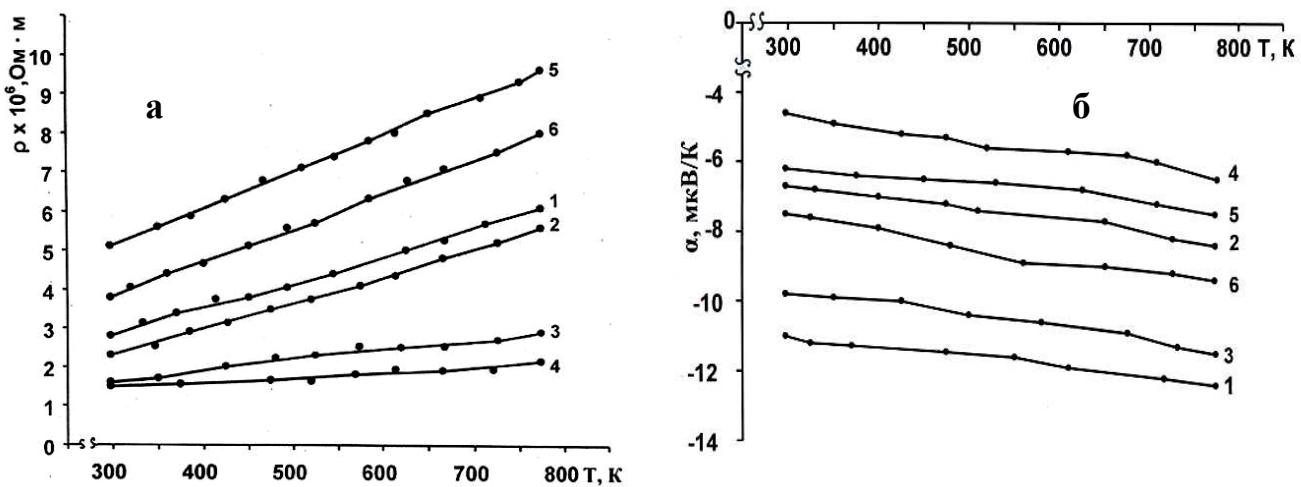
Ба сифати намуна дар расмҳои 5, 6 вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ.- и баъзе маҳлулҳои сахти $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$, $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ва $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К нишон дода шудааст. Тавре ки аз расмҳо дида мешавад, вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ. маҳлулҳои сахт дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К ба таври хаттӣ тағир меёбанд, ки ин барои моддаҳои гузаронандагии металлӣ хос аст.

Вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ. висмутидҳои Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) ва маҳлулҳои сахти системаҳои $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К низ хаттӣ тағир меёбанд. Ҳамчун мисол дар расми 7 а, б вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ. висмутидҳо дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К оварда шудаанд.

Дар ҷадвали 3 хосиятҳои электрофизикии висмутидҳои Ln_5Bi_3 ва баъзе маҳлулҳои сахти системаҳои $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) дар ҳарорати 298 К оварда шудаанд.



Расми 5 – Вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ (а) ва термо-қ.э.ҳ. (б) маҳлулҳои сахти $\text{Gd}_{4-x}\text{Pr}_x\text{Bi}_3$, таркибашон: 1-10, 2-20, 3-30, 4-40, 5-50 мол. % Pr_4Bi_3 дошта дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К



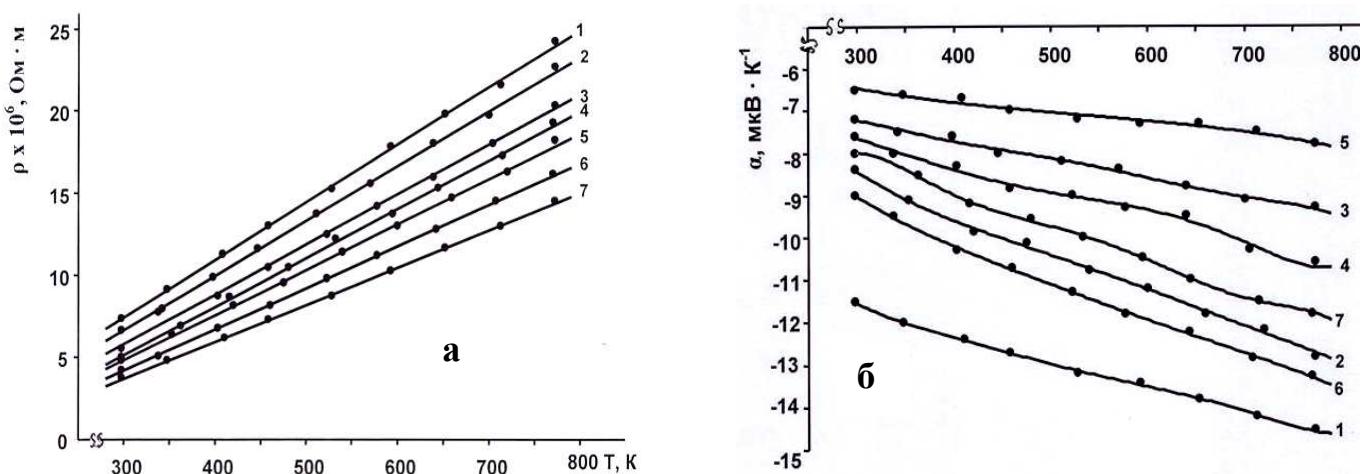
Расми 6 – Вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ (а) ва термо-қ.э.х. (б) маҳлулҳои сахт дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К: 1-Gd₄Sb_{2.4}PrBi_{0.6}, 2-Gd₂Sb_{1.5}Pr₂Bi_{1.5}, 3-Gd_{1.5}Sb_{0.9}Nd_{3.5}Bi_{2.1}, 4-Gd_{0.8}Sb_{0.6}Nd_{3.2}Bi_{2.4}, 5-Gd_{2.8}Sb_{2.1}Tb_{1.2}Bi_{0.9}, 6-Gd_{3.2}Sb_{2.4}Yb_{0.8}Bi_{0.6}

Ҷадвали 3 – хосиятҳои электрофизикавии висмутидҳои Ln₅Bi₃ ва баъзе маҳлулҳои сахти системаи Gd₅Bi₃–Ln₅Bi₃ (Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) дар ҳарорати 298 К

Висмутидҳои ЭНЗ	Муҳовимати хоси электрикӣ $\rho \times 10^6$, Ом·м	Ноқилияти электрикӣ $\sigma \times 10^{-5}$, Ом ⁻¹ ·м ⁻¹	Термо-қ.э.х. - α , мкВ/К
Gd ₅ Bi ₃	7.42±0.18	1.34±0.03	11.5±0.23
Tb ₅ Bi ₃	6.68±0.16	1.49±0.37	8.4±0.16
Dy ₅ Bi ₃	5.56±0.14	1.80±0.04	7.2±0.14
Ho ₅ Bi ₃	5.48±0.13	1.82±0.04	7.6±0.15
Er ₅ Bi ₃	4.25±0.10	2.35±0.05	6.5±0.13
Tm ₅ Bi ₃	4.85±0.12	2.06±0.05	8.6±0.17
Lu ₅ Bi ₃	3.75±0.09	2.66±0.06	7.8±0.15
Gd _{4.5} Tb _{0.5} Bi ₃	7.30±0.18	1.37±0.03	11.2±0.22
Gd _{3.5} Dy _{1.5} Bi ₃	6.80±0.17	1.47±0.03	10.3±0.20
GdHo ₄ Bi ₃	5.90±0.14	1.69±0.04	8.5±0.17
Gd ₂ Er ₃ Bi ₃	5.70±0.14	1.75±0.04	7.8±0.15
Gd _{1.5} Tm _{3.5} Bi ₃	5.50±0.13	1.82±0.04	9.0±0.18
Gd _{0.5} Lu _{4.5} Bi ₃	4.14±0.10	2.41±0.06	8.1±0.16

Чи тавре аз ҷадвал дида мешавад байни висмутидҳо ноқилияти зиёди электрикиро висмутидҳои Ln₅Bi₃ (Ln = Er, Tm, Lu) ва дар байни маҳлулҳои сахти системаҳои таҳқиқшуда маҳлулҳои сахти Gd₅Bi₃–Ln₅Bi₃ (Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) ва маҳлулҳои сахти Gd_{0.5}Lu_{4.5}Bi₃ хос зоҳир менамоянд.

Натиҷаҳои таҳқиқоти хосиятҳои электрофизикавии ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаи Ln - Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb). Дар ин бахш натиҷаҳои таҳқиқоти вобастагии ҳароратӣ ва концентратсионии муқовимати хоси электрикӣ, термо-қ.э.х ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои Ln - Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb) пешниҳод карда мешаванд.

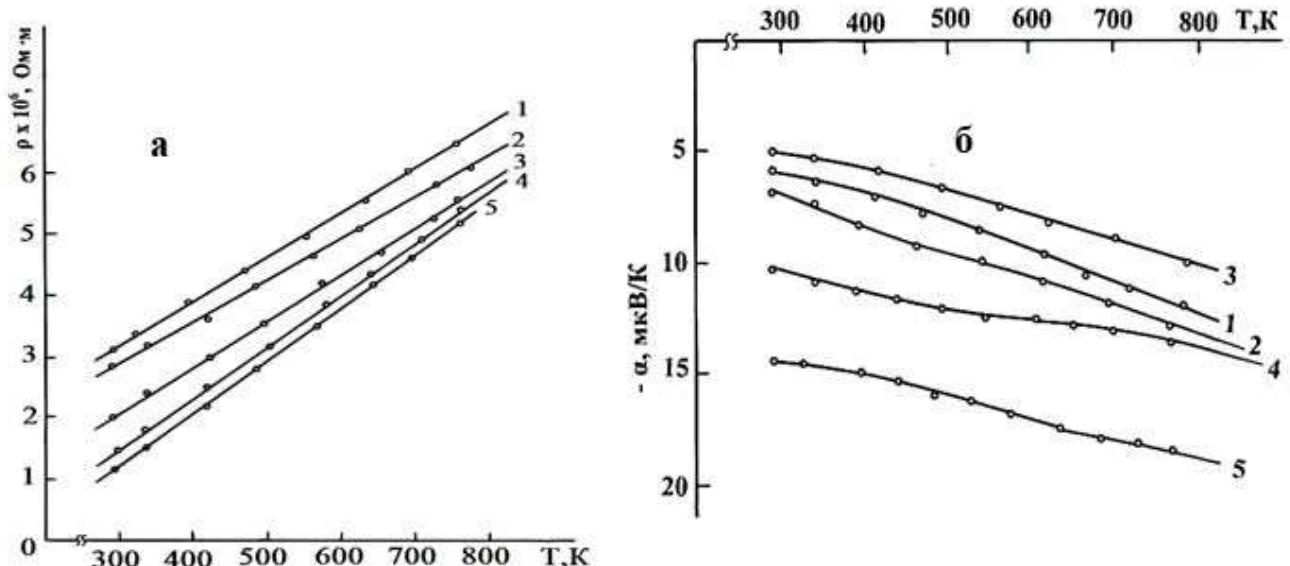


Расми 7 – Вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ (а) ва термо-қ.э.х-и (б) висмутидҳо дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К: 1- Gd_5Bi_3 , 2- Tb_5Bi_3 , 3- Dy_5Bi_3 , 4- Ho_5Bi_3 , 5- Er_5Bi_3 , 6- Tm_5Bi_3 , 7- Lu_5Bi_3

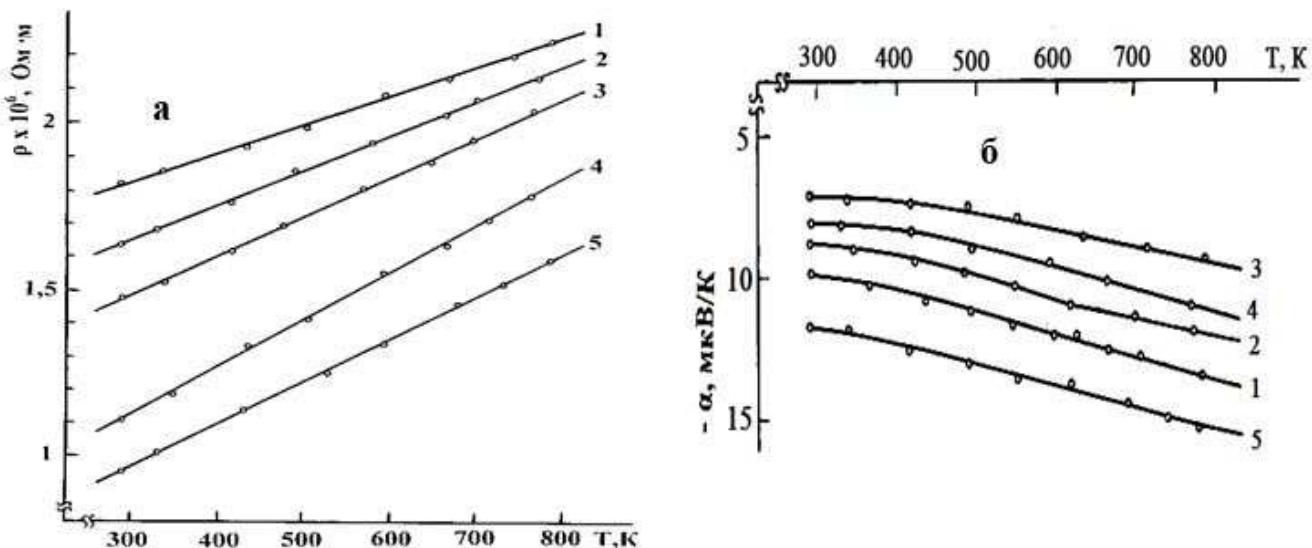
Бо усулҳои ТРФ ва ТМС дар системаҳо ҳосилшавии пайвастагиҳои навъи Ln_2Bi ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$), Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$), LnBi ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) ва LnBi_2 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) муайян гардид, ки бо диаграммаҳои ҳолати қаблан омӯхташудаи системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) мухолифат намекунад.

Муайян карда шуд, ки ҳам муқовимати хоси электрикӣ ва ҳам термо-қ.э.х-и пайвастагиҳои системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) дар тамоми ҳудуди ҳарорати таҳкиқшуда хаттӣ тағир меёбанд. Ҳамчун мисол, дар расмҳои 8-11 а, б вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ ва термо-қ.э.х-и висмутидҳои системаи $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) оварда шудаанд.

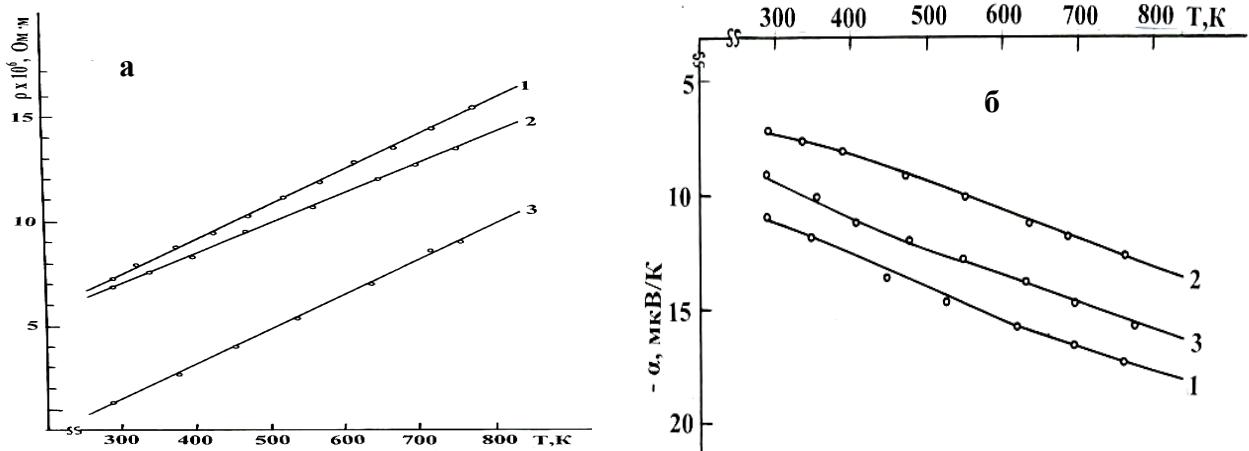
Дар ҷадвали 4 ҳосиятҳои электрофизикавии висмутидҳои дар системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) ҳосилшуда оварда шудаанд.



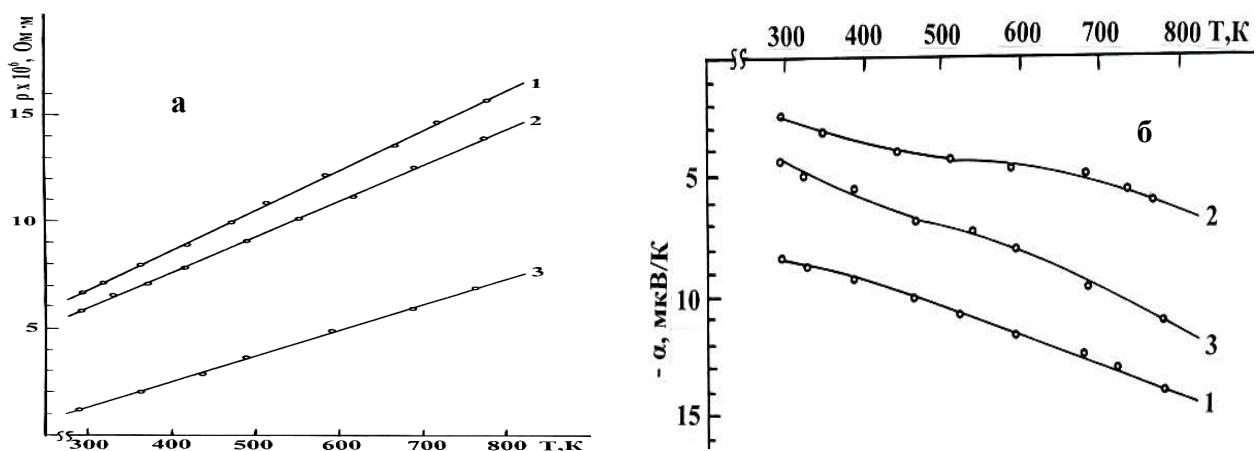
Расми 8- Вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ (а) ва термо-қ.э.х-и (б) висмутидҳои: 1- Pr_2Bi , 2- Pr_5Bi_3 , 3- Pr_4Bi_3 , 4- PrBi , 5- PrBi_2 дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К



Расми 9- Вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ (а) ва термо-қ.э.ҳ-и (б) висмутидҳои: 1- Nd_2Bi , 2- Nd_5Bi_3 , 3- Nd_4Bi_3 , 4- NdBi , 5- NdBi_2 дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К

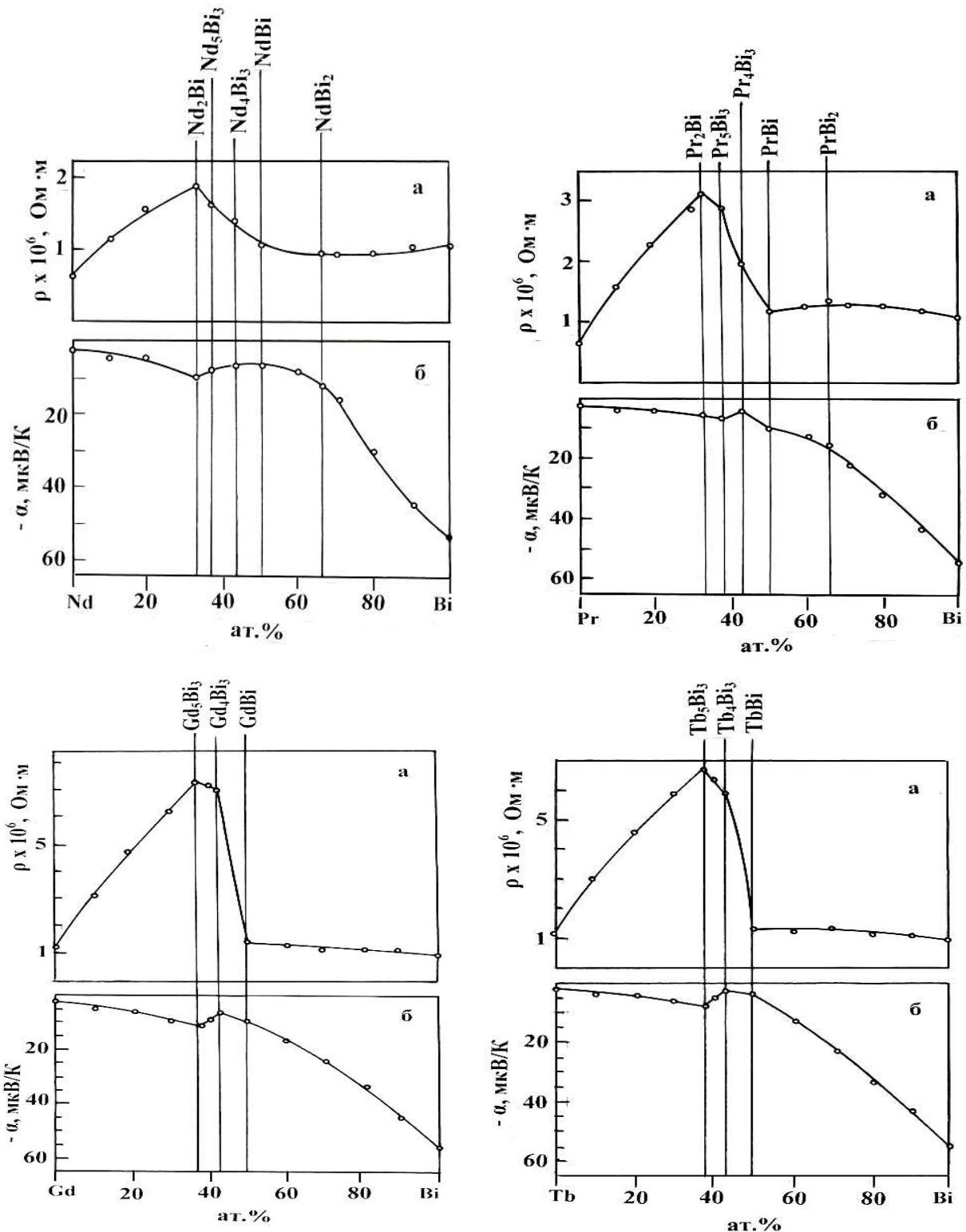


Расми 10- Вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ (а) ва термо-қ.э.ҳ-и (б) висмутидҳои: - Gd_5Bi_3 , 2- Gd_4Bi_3 , - GdBi дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К



Расми 11 - Вобастагии ҳароратии муқовимати хоси электрикӣ (а) ва термо-қ.э.ҳ-и (б) висмутидҳои: 1- Tb_5Bi_3 , 2- Tb_4Bi_3 , 3- TbBi дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К

Дар расми 12 вобастагии концентратсионии мұқовимати хоси электрикій (а) ва термо-қ.э.х-и (б) хұлаxo va пайвастагиҳои системаҳои Ln – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb) дар ҳарорати 298 K пешниҳод шудаанд.



Расми 12 - Вобастагии концентратсионии мұқовимати хоси электрикій (а) ва термо-қ.э.х-и (б) хұлаxо va пайвастагиҳои системаҳои Ln – Bi (Ln=Pr, Nd, Gd, Tb)

Натычаҳои таҳқиқоти вобастагии концентратсионии мұқовимати хоси электрикій ва термо-қ.э.х. –и хұлаxо va пайвастагиҳо бо диаграммаҳои ҳолати

системаҳои Ln - Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb) иртиботи мутағобила доранд, зеро қақхатҳои вобастагии концентратсионии муқовимати хоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ. дар нуқтаҳои мувофиқ ба пайвастагиҳои химиявии системаи додашуда ба аномалияҳо дучор мешаванд.

Ҷадвали 4 - Хосиятҳои электрофизикии пайвастагиҳои системаи Ln - Bi (Ln= Pr, Nd, Gd, Tb) ҳангоми 298 К

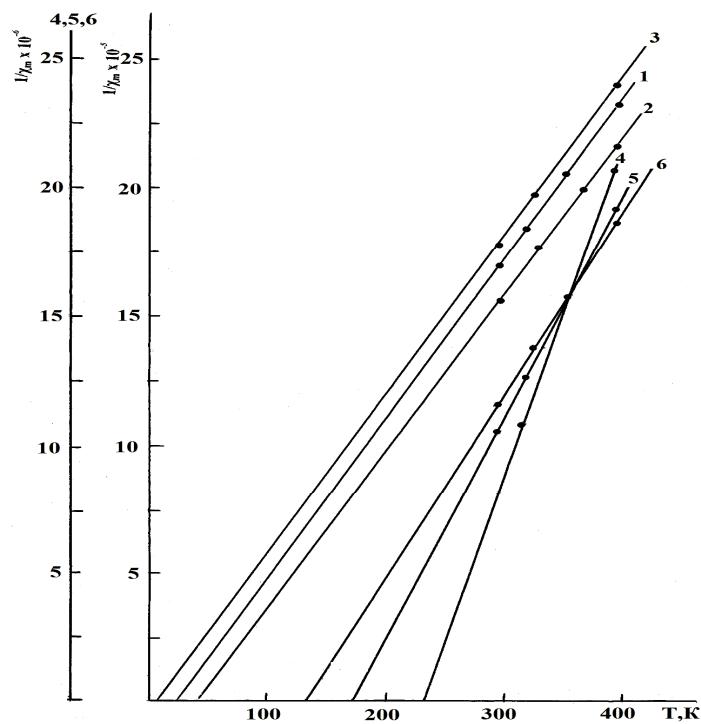
Антимонидҳои ЭНЗ	Муқовимати хоси электрикӣ $\rho \times 10^6$, Ом·м	Ноқилияти электрикӣ $\sigma \times 10^{-5}$, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	Термо-қ.э.ҳ. - α , мкВ/К
Pr ₂ Bi	3.2±0.08	3.12±0.07	5.6±0.11
Pr ₅ Bi ₃	2.89±0.07	3.46±0.08	6.2±0.12
Pr ₄ Bi ₃	2.01±0.05	4.97±0.12	4.8±0.09
PrBi	1.18±0.03	8.47±0.21	10±0.25
PrBi ₂	1.4±0.03	7.14±0.17	14±0.28
Nd ₂ Bi	1.82±0.04	5.49±0.13	9.6±0.19
Nd ₅ Bi ₃	1.65±0.04	6.06±0.15	8.4±0.16
Nd ₄ Bi ₃	1.48±0.03	6.75±0.16	7.2±0.14
NdBi	1.38±0.02	7.24±0.22	8.1±9.16
NdBi ₂	4.21±0.02	2.37±0.26	12±0.24
Gd ₅ Bi ₃	7.46±0.18	1.34±0.03	11±0.22
Gd ₄ Bi ₃	7.1±0.17	1.40±0.03	7±0.14
GdBi	1.46±0.03	6.84±0.17	9±0.18
α -Tb ₅ Bi ₃	6.68±0.16	1.49±0.03	8.4±0.16
Tb ₄ Bi ₃	5.8±0.14	1.72±0.04	2.5±0.05
TbBi	1.25±0.03	8.00±0.2	4.2±0.08

БОБИ 5. ХОСИЯТҲОИ МАГНИТИИ МАҲЛУЛҲОИ САХТИ СИСТЕМАҲОИ Gd₄Sb₃ – Ln₄Sb₃ (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb), Tb₄Sb₃ – Dy₄Sb₃, Gd₄Bi₃ – Ln₄Bi₃ (Ln = Pr, Nd, Tb), Gd₄Sb₃ – Ln₄Bi₃ (Ln = Pr, Nd, Tb, Yb), Gd₅Sb₃ – Ln₅Bi₃ (Ln = Pr, Nd), Gd₅Bi₃ – Ln₅Bi₃ (Ln = Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) ВА ХӮЛАҲОИ Ln – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb)

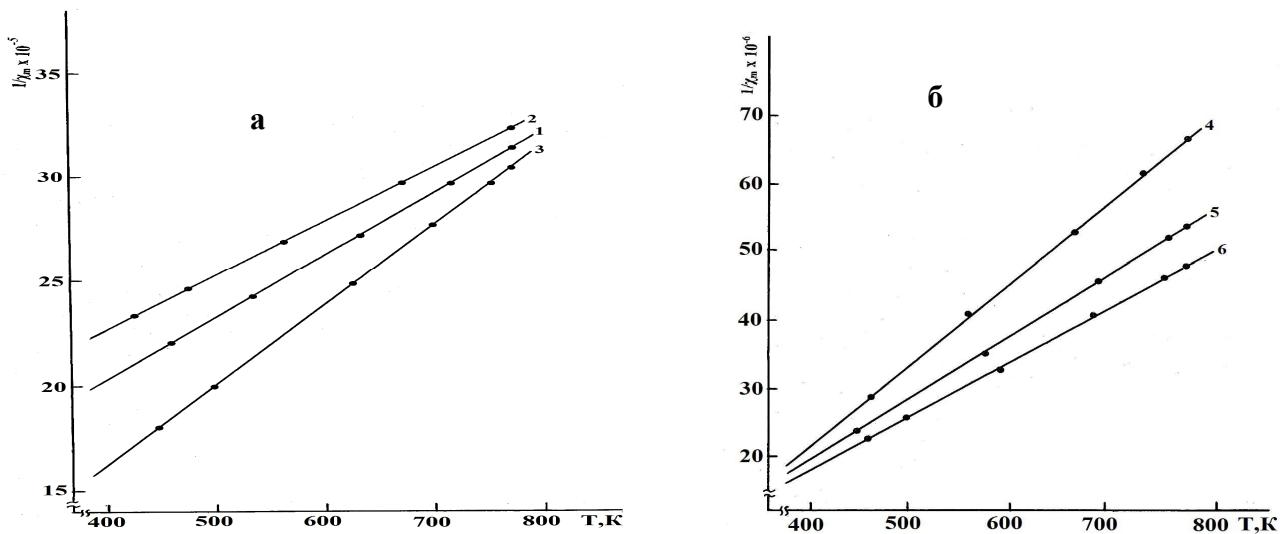
Зарурати таҳқиқоти хосиятҳои магнитии антимонидҳои қайдшуда, ҳамчун компонентҳо, ҳангоми омӯзиши хосиятҳои магнитии маҳлулҳои саҳти Gd_{4-x}Ln_xSb₃ (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb) ва Tb_{4-x}Dy_xSb₃ ба миён омад. Бояд қайд кард, ки хосиятҳои магнитии антимонидҳои Ln₄Sb₃ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb) дар кори мазкур бори аввал омӯхта шуданд.

Пазирандагии молярии магнитии антимонидҳои Ln₄Sb₃ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb) дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К таҳқиқ карда шуд. Муайян карда шуд, ки антимонидҳо дар тамоми ҳудудии ҳароратҳои омӯхташуда хосияти парамагнитӣ доранд.

Ба сифати намуна дар расмҳои 13, 14, а, б вобастагии ҳароратии мутағобилаи пазирандагии магнитии антимонидҳои Ln₄Sb₃ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb) дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К оварда шудааст.



Расми 13- Вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии антимонидҳои (1- Pr_4Sb_3 , 2- Nd_4Sb_3 , 3- Yb_4Sb_3 , 4- Gd_4Sb_3 , 5- Tb_4Sb_3 , 6- Dy_4Sb_3) дар ҳудуди ҳароратҳои 298-400 К



Расми 14 - Вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии (а: 1- Pr_4Sb_3 , 2- Nd_4Sb_3 , 3- Gd_4Sb_3 ; б: 4- Tb_4Sb_3 , 5- Dy_4Sb_3 , 6- Yb_4Sb_3) дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К

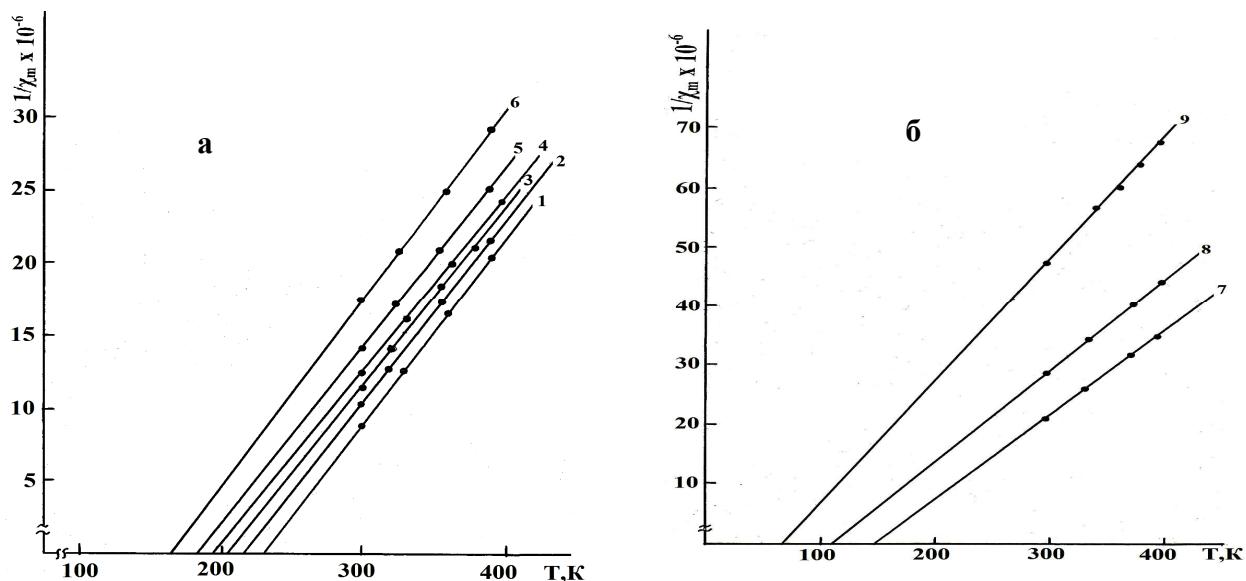
Аз расмҳо дида мешавад, ки бузургии пазирандагии молярии магнитии ҳамаи антимонидҳо дар тамоми ҳудуди ҳарорат ба қонуни Кюри-Вайс мутобиқат менамояд.

Қиматҳои пазирандагии молярии магнитӣ дар ҳарорати хона, ҳарорати парамагнитии Кюрии антимонидҳои таркиби Ln_4Sb_3 ва моментҳоҳои самарнокии магнитии ЭНЗ дар ҷадвали 5 оварда шудаанд.

Чадвали 5 – Хосиятҳои магнитии антимонидҳои таркибӣ Ln_4Sb_3

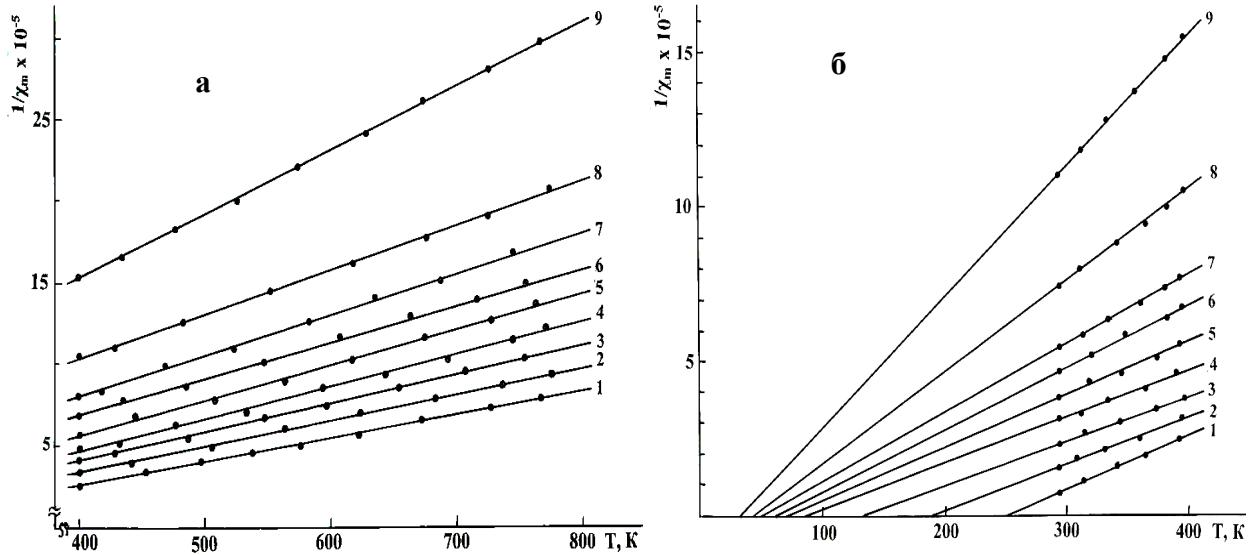
Антимонидҳо	$\chi_m \times 10^6$ ҳангоми 298 К	θ_p , К	$\mu_{\text{эф}} \times 10^{24}$, $\text{A} \cdot \text{м}^2$	$\mu_{\text{эф}} \times 10^{24}$, $\text{A} \cdot \text{м}^2$ (адабиёт)
Pr_4Sb_3	6037.2	25	33.75	33.2
Nd_4Sb_3	6594.0	38	34.30	33.57
Gd_4Sb_3	122291.5	235	73.0	73.6
Tb_4Sb_3	95087.4	175	90.05	90.14
Dy_4Sb_3	86295.4	138	97.37	98.6
Yb_4Sb_3	5811.6	8	32.44	42.01

Натиҷаҳои тадқиқоти пазирандагии молярии магнитӣ муайян намуд, ки дар тамоми худуди ҳароратҳои омӯхташуда, маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$, ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; ($x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$, ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.4 \div 3.6; y = 0.3 \div 2.7$) системаҳои мазкур дар худуди ҳароратҳои 298-773 К хосиятҳои парамагнитӣ зоҳир менамоянд.

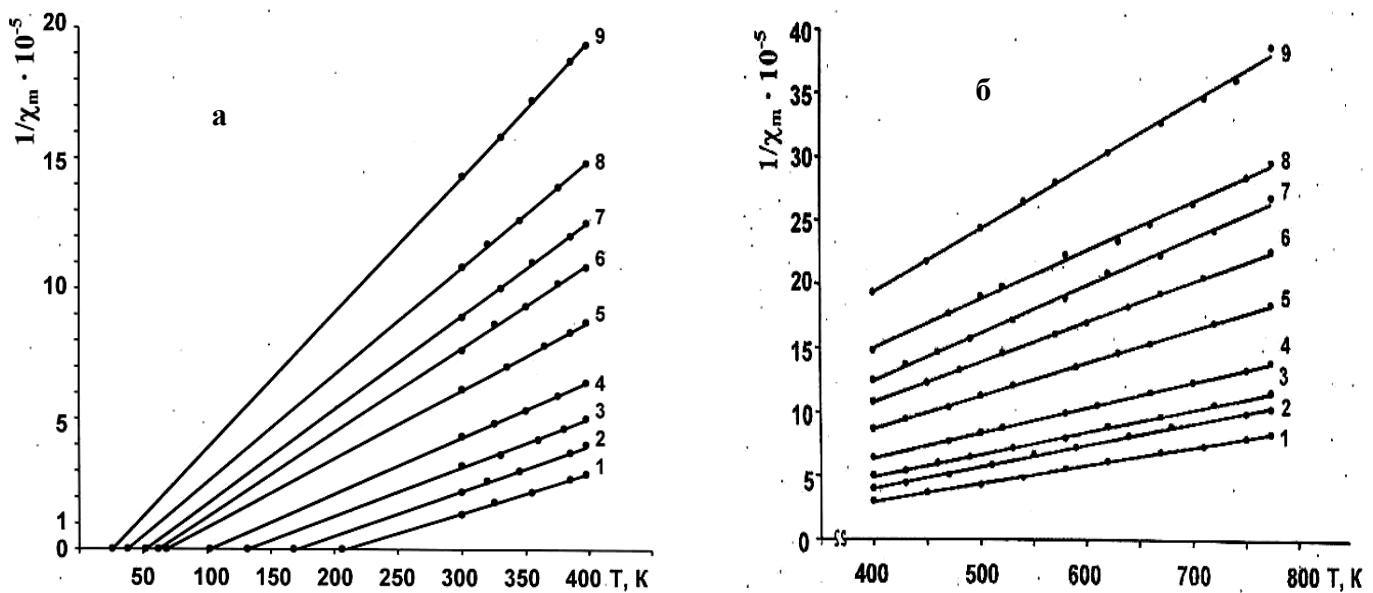


Расми 15 - Вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Sb}_3$, 1- 10, 2-20, 3-30, 4-40, 5-50; 6-60; б: 7-70, 8-80, 9-90 мол. % Nd_4Sb_3 , дар худуди ҳароратҳои 298-400 К

Ба сифати намуна дар расмҳои 15-18 а, б вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии баъзе маҳлулҳои саҳти муайяншуда дар худуди ҳарорати 298-773 К нишон дода шудааст. Аз расмҳо бармеояд, ки бузургии пазирандагии молярии магнитии маҳлулҳои саҳт дар тамоми худуди ҳарорат аз рӯи қонуни Кюри-Вайс амал меқунад.



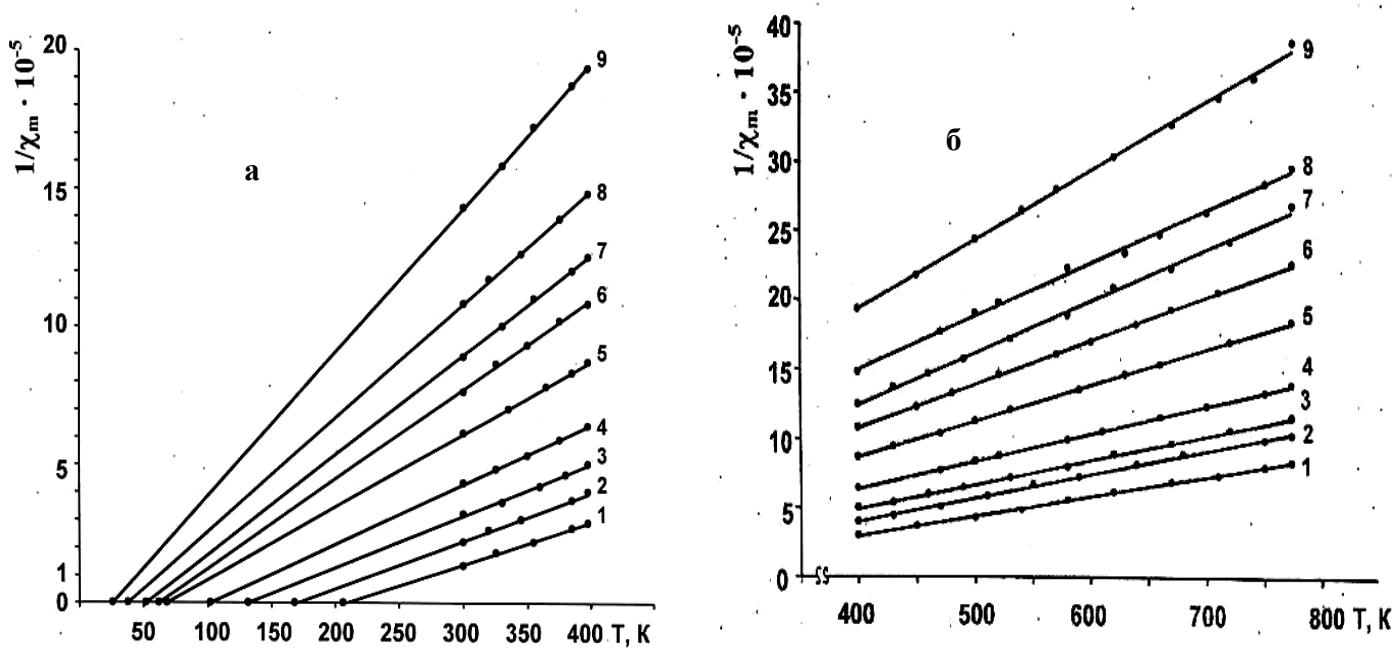
Расми 16- Вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии маҳлулҳои саҳти $Gd_{4-x}Pr_xBi_3$ дорои 1- 10, 2-20, 3-30, 4-40, 5-50; 6-60; б: 7-70, 8-80, 9-90 мол. % Pr_4Bi_3 , дар ҳудуди ҳароратҳом 298-400 К (а) и 400 -773 К (б)



Расми 17 - Вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии маҳлулҳои саҳти $Gd_{4-x}Sb_{3-y}Pr_xBi_y$, дорои 1- 10, 2-20, 3-30, 4-40, 5-50; 6-60; б: 7-70, 8-80, 9-90 мол. % Pr_5Bi_3 , дар ҳудуди ҳароратӣ 298-400 К (а) и 400 -773 К (б)

Қиматҳои пазирандагии молярӣ магнитӣ (χ_m) дар ҳарорати хона, ҳарорати парамагнитии Кюри (θ_p) ва моментҳои эфективии магнитии ($\mu_{\text{эфф.}}$) ионҳои ЭНЗ -и баъзе маҳлулҳои саҳт дар ҷадвали 6 оварда шудаанд.

Бояд қайд кард, ки дар рисола хосиятҳои магнитии 210 маҳлули саҳт таҳқиқ карда шуданд.



Расми 18 - Вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии маҳлулҳои саҳти $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Nd_xBi_y$, дорои 1- 10, 2-20, 3-30, 4-40, 5-50; 6-60; б: 7-70, 8-80, 9-90 мол. % Nd_5Bi_3 , дар ҳудуди ҳароратӣ 298-400 К (а) и 400 -773 К (б)

Ҷадвали 6 – Хосиятҳои магнитии маҳлулҳои саҳт

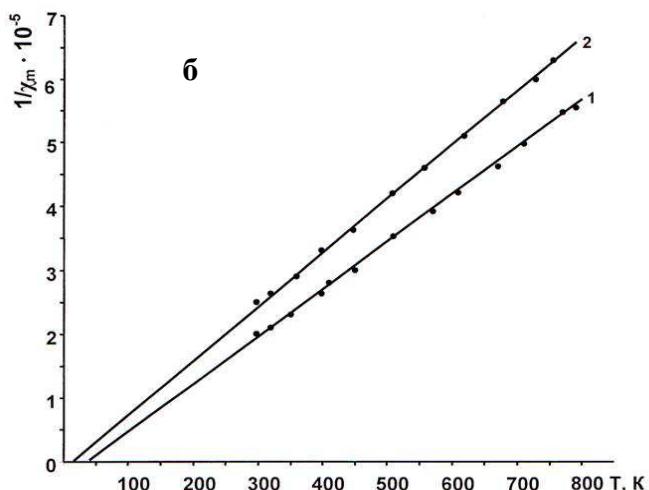
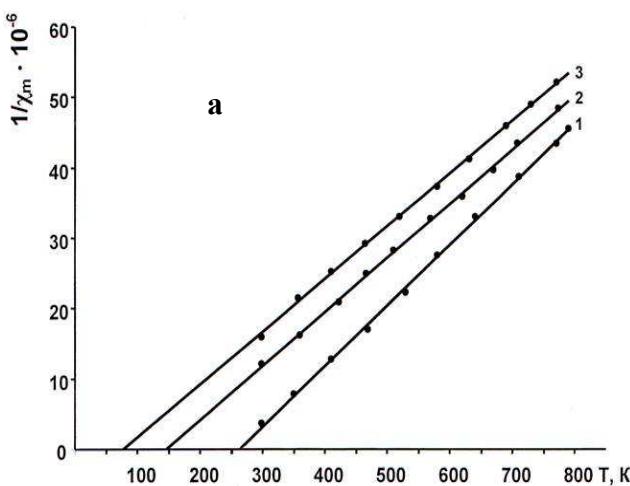
Маҳлулҳои саҳт	$\chi_m \times 10^6$ ҳангоми 298 К	θ_p , К	$\mu_{\text{эф}} \times 10^{24}$, $A \cdot m^2$
Маҳлулҳои саҳти системаи Gd_4Sb_3 - Pr_4Sb_3			
1	2	3	4
$Gd_{3.6}Pr_{0.4}Sb_3$	11598.8	222	76.70
$Gd_{3.2}Pr_{0.8}Sb_3$	100327.7	207	79.57
$Gd_{2.8}Pr_{1.2}Sb_3$	84042.0	190	79.29
Маҳлулҳои саҳти системаи Gd_4Sb_3 - Nd_4Sb_3			
$Gd_2Nd_2Sb_3$	72615.0	184	75.63
$Gd_{1.6}Nd_{2.4}Sb_3$	60175.0	168	73.63
$Gd_{1.2}Nd_{2.8}Sb_3$	47880.0	146	71.03
Маҳлулҳои саҳти системаи Gd_4Sb_3 - Tb_4Sb_3			
$Gd_{1.6}Tb_{2.4}Sb_3$	133286.4	226	81.61
$Gd_{1.2}Tb_{2.8}Sb_3$	116360.2	210	84.20
$Gd_{0.8}Tb_{3.2}Sb_3$	106957.2	198	86.24
Маҳлулҳои саҳти системаи Gd_4Sb_3 - Dy_4Sb_3			
$Gd_{2.8}Dy_{1.2}Sb_3$	216682.2	254	70.76
$Gd_{2.4}Dy_{1.6}Sb_3$	275615.2	240	78.17
$Gd_2Dy_2Sb_3$	164604.0	228	80.2
Маҳлулҳои саҳти системаи Gd_4Sb_3 - Yb_4Sb_3			
$Gd_{1.6}Yb_{2.4}Sb_3$	68370.0	98	97.37
$Gd_{1.2}Yb_{2.8}Sb_3$	51920.0	80	88.56
$Gd_{0.8}Yb_{3.2}Sb_3$	39180.0	64	79.66
Маҳлулҳои саҳти системаи Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3			
$Tb_{3.6}Dy_{0.4}Sb_3$	109252.8	190	90.42
$Tb_{3.2}Dy_{0.8}Sb_3$	125465.0	202	91.34
$Tb_{2.8}Dy_{1.2}Sb_3$	140728.0	210	92.74

Давоми ҷадвали 6.

1	2	3	4
Махлулҳои саҳти системаи $Gd_4Bi_3 - Pr_4Bi_3$			
$Gd_{3.6}Pr_{0.4}Bi_3$	106363.6	232	69.55
$Gd_{3.2}Pr_{0.8}Bi_3$	64717.0	192	68.7
$Gd_{2.8}Pr_{1.2}Bi_3$	41728.3	136	68.2
Махлулҳои саҳти системаи $Gd_4Bi_3 - Nd_4Bi_3$			
$Gd_{3.2}Nd_{0.8}Bi_3$	98993.1	253	55.36
$Gd_{2.8}Nd_{1.2}Bi_3$	82438.7	240	57.31
$Gd_{2.4}Nd_{1.6}Bi_3$	65789.4	220	59.44
Махлулҳои саҳти системаи $Gd_4Bi_3 - Tb_4Bi_3$			
$Gd_{2.8}Tb_{1.2}Bi_3$	73645.8	202	69.5
$Gd_{2.4}Tb_{1.6}Bi_3$	64912.2	184	71.4
$Gd_2Tb_2Bi_3$	62742.0	174	73.26
Махлулҳои саҳти системаи $Gd_4Sb_3 - Pr_4Bi_3$			
$Gd_{3.6}Sb_{2.7}Pr_{0.4}Bi_{0.3}$	68600	198	68.62
$Gd_{3.2}Sb_{2.4}Pr_{0.8}Bi_{0.6}$	52608.2	158	64.55
$Gd_{2.8}Sb_{2.1}Pr_{1.2}Sb_{0.9}$	34151	139	61.1
Махлулҳои саҳти системаи $Gd_4Sb_3 - Nd_4Bi_3$			
$Gd_{3.6}Sb_{2.7}Nd_{0.4}Bi_{0.3}$	57327.5	182	67.60
$Gd_{3.2}Sb_{2.4}Nd_{0.8}Bi_{0.6}$	41142.8	158	62.97
$Gd_{2.8}Sb_{2.1}Nd_{1.2}Sb_{0.9}$	33552.6	146	59.26
Махлулҳои саҳти системаи $Gd_4Sb_3 - Tb_4Bi_3$			
$Gd_{2.8}Sb_{2.1}Tb_{1.2}Sb_{0.9}$	174002.0	228	76.9
$Gd_{2.4}Sb_{1.8}Tb_{1.6}Bi_{1.2}$	87378.6	195	78.6
$Gd_2Sb_{1.5}Tb_2Bi_{1.5}$	84909.0	187	80.5
Махлулҳои саҳти системаи $Gd_4Sb_3 - Yb_4Bi_3$			
$Gd_{1.6}Sb_{1.2}Yb_{2.4}Bi_{1.8}$	14856.0	55	49.89
$Gd_{1.2}Sb_{0.9}Yb_{2.8}Bi_{2.1}$	13089.0	45	47.76
$Gd_{0.8}Sb_{0.6}Yb_{3.2}Bi_{2.4}$	11547.3	36	45.62
Махлулҳои саҳти системаи $Gd_5Sb_3 - Pr_5Bi_3$			
$Gd_{4.5}Sb_{2.7}Pr_{0.5}Bi_{0.3}$	74021.7	206	68.44
$Gd_{4.0}Sb_{2.4}Pr_{1.0}Bi_{0.6}$	44307.6	168	62.97
$Gd_{3.5}Sb_{2.1}Pr_{1.5}Bi_{0.9}$	30722.8	132	63.75
Махлулҳои саҳти системаи $Gd_5Sb_3 - Nd_5Bi_3$			
$Gd_{3.5}Sb_{2.1}Nd_{1.5}Bi_{0.9}$	48623.8	189	60.28
$Gd_{3.0}Sb_{1.8}Nd_{2.0}Bi_{1.2}$	39672.2	176	58.42
$Gd_{2.5}Sb_{1.5}Nd_{2.5}Bi_{1.5}$	31343.2	164	53.78

Ба сифати намуна дар расми 19 а, б вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии висмутидҳои Ln_5Bi_3 ($Ln = Gd, Tb, Dy, Ho, Er$) нишон дода шудааст, ки дар ҳамаи ҳудуди ҳарорати таҳқиқшуда қонуни Кюри-Вайс амал мекунад, ки ба маводҳои паромагнити хос мебошад.

Хусусиятҳои магнитии висмутидҳо дар ҷадвали 7 нишон дода шудаанд. Аз ҷадвал дида мешавад, ки дар байни висмутидҳои ЭНЗ, висмутидҳои Gd_5Bi_3 ва Tb_5Bi_3 ҳарорати баландтарини паромагнитии Кюри доранд.



Расми 19 - Вобастагии ҳароратии бузургии мутақобилаи таъсирпазирии молярии магнитии а: 1- Gd_5Bi_3 , 2- Tb_5Bi_3 и 3- Dy_5Bi_3 , б: 1- Ho_5Bi_3 , 2- Er_5Bi_3 , дар ҳудуди ҳароратӣ 298-773

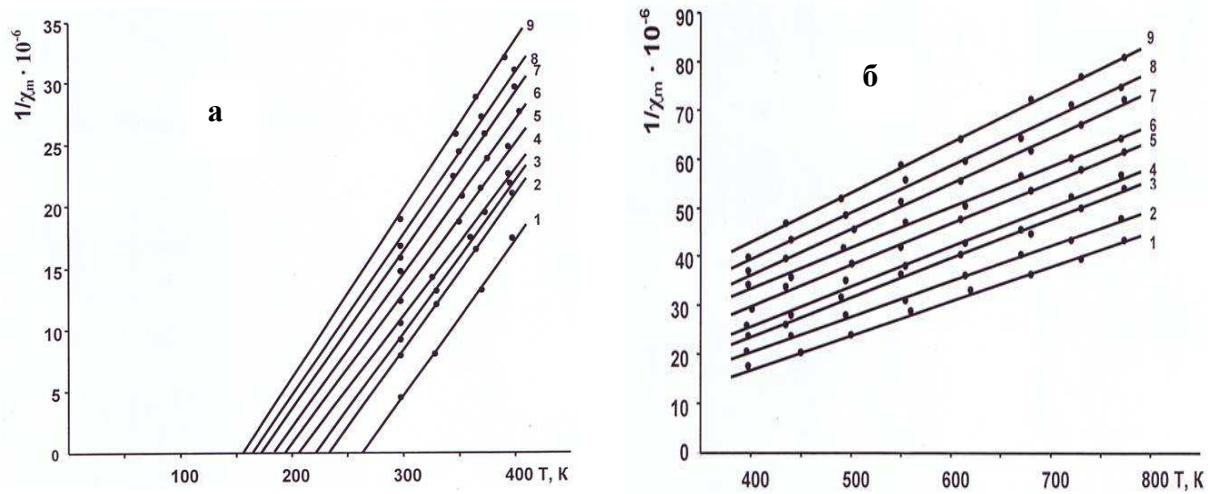
Чадвали 7 – Ҳосиятҳои магнитии висмутидҳои ЭНЗ

Висмутидҳо	$\chi_m \times 10^6$ при 298 К	θ_p , К	$\mu_{\text{эфф.}} \times 10^{24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Pr_5Bi_3	6539.3	13	34.22.
Nd_5Bi_3	7897.2	84	34.03
Gd_5Bi_3	280526.0	270	73.54
Tb_5Bi_3	94580.1	142	92.36
Dy_5Bi_3	62690.5	75	98.1
Ho_5Bi_3	50028.0	40	94.22
Er_5Bi_3	39908.2	15	88.2
Tm_5Bi_3	26318.2	12	68.7
Lu_5Bi_3	5051.2	5	31.9

Маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$; $(x = 0.5 \div 4.5)$) дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К ҳосиятҳои парамагнитӣ зохир менамоянд. Вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии ҳамаи антимонидҳо дар тамоми ҳудуди ҳарорат ба қонуни Кюри-Вайс мутобиқат менамояд.

Барои мисол, дар расми 20 а, б вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{5-x}\text{Tb}_x\text{Bi}_3$, $x = 0.5 \div 4.5$ дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К оварда шудааст.

Ҳосиятҳои магнитии баъзе маҳлулҳои саҳт дар ҷадвали 8 оварда шудаанд. Аз ҷадвал бармеояд, ки ҳангоми зиёд шудани концентратсияи гадолиний дар маҳлулҳои саҳт, афзоиши қиматҳои ҳарорати парамагнитии Кюри мушоҳида мешавад. Дар ин холат, ҳарорати парамагнитии Кюри (θ_p) маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$; $x = 0.5 \div 4.5$ аз бузургии θ_p Gd_5Bi_3 камтар аст, аммо аз бузургии Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) зиёдтар аст.



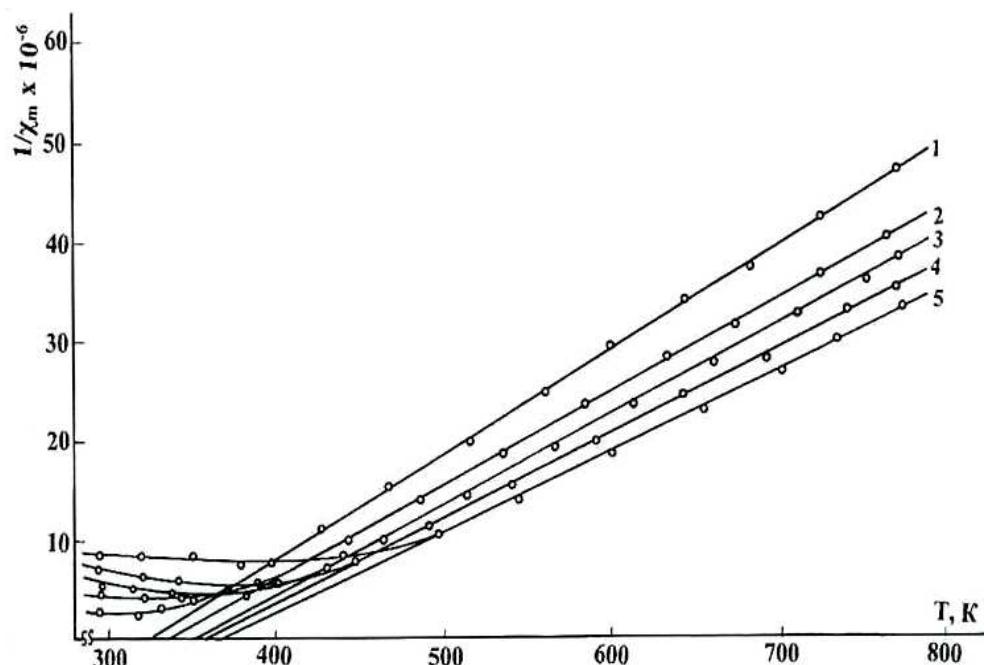
Расми 20 - Вобастагии хароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии маҳлулҳои саҳти $Gd_{5-x}Tb_xBi_3$, дорои 1-10, 2-20, 3-30, 4-40, 5-50, 6-60, 7-70, 8-80 ва 9-90 мол.% Tb_5Bi_3 дар худуди хароратҳои 298-400 К (а) ва 400-773К (б)

Ҷадвали 8 – Хосиятҳои магнитии маҳлулҳои саҳти системаҳои $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$)

Маҳлулҳои саҳт	$\chi_m \times 10^6$ ҳангоми 298 К	θ_p , К	$\mu_{eff.} \times 10^{24}$, А·м ²
Маҳлулҳои саҳти системаи $Gd_5Bi_3 - Tb_5Bi_3$			
$Gd_{4.5}Tb_{0.5}Bi_3$	225555.5	262	74.7
Gd_4TbBi_3	127424.2	232	76.0
$Gd_{3.5}Tb_{1.5}Bi_3$	108695.6	220	76.4
Маҳлулҳои саҳти системаи $Gd_5Bi_3 - Dy_5Bi_3$			
$Gd_3Dy_2Bi_3$	56179.9	148	76.1
$Gd_{2.5}Dy_{2.5}Bi_3$	51020.4	138	74.9
$Gd_2Dy_3Bi_3$	45454.5	126	73.3
Маҳлулҳои саҳти системаи $Gd_4Bi_3 - Ho_5Bi_3$			
$Gd_{1.5}Ho_{3.5}Bi_3$	40816.3	86	77.15
$GdHo_4Bi_3$	36496.3	74	75.02
$Gd_{0.5}Ho_{4.5}Bi_3$	34013.6	66	73.63
Маҳлулҳои саҳти системаи $Gd_5Bi_3 - Er_5Bi_3$			
$Gd_{4.5}Er_{0.5}Bi_3$	77500.4	194	74.4
Gd_4ErBi_3	60071.4	158	85.3
$Gd_{3.5}Er_{1.5}Bi_3$	51282.0	124	78.3
Маҳлулҳои саҳти системаи $Gd_5Bi_3 - Tm_5Bi_3$			
$Gd_3Tm_2Bi_3$	39462.3	112	71.03
$Gd_{2.5}Tm_{2.5}Bi_3$	36089.2	96	70.85
$Gd_2Tm_3Bi_3$	32117.2	76	70.0
Маҳлулҳои саҳти системаи $Gd_5Bi_3 - Lu_5Bi_3$			
$Gd_{1.5}Lu_{3.5}Bi_3$	8196.7	52	37.28
$GdLu_4Bi_3$	6801.5	34	35.14
$Gd_{0.5}Lu_{4.5}Bi_3$	5760.3	18	33.29

Вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии хӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаи Ln – Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb) дар ҳудуди ҳароратҳо 298-773 К дар рисола оварда шудаанд. Вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии хӯлаҳо ва пайвастагиҳо, ба истиснои баязе хӯлаҳои системаи Gd - Bi, дар тамоми ҳудуди ҳарорат ба қонуни Кюри-Вайс итоат мекунад.

Вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии хӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаи Gd - Bi дар ҳудуди концентратсияи 10-42.86 ат. % Bi сифатан аз вобастагиҳои шабеҳи хӯлаҳои системаҳои Ln - Bi (Ln = Pr, Nd) фарқ мекунад. Ҳамин тавр, вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии хӯлаҳо дар ҳудуди концентратсияи 10, 20, 30, 37.5, 42.86 ат. % Bi дар ҳароратҳои мутаносибан 353, 393, 434, 453 ва 498 К ба қонуни Кюри-Вайс итоат намекунад (Расми 21).



Расми 21 - вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии хӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои Gd – Bi (ат. % Bi): 1-10, 2-20, 3-30, 4-37.5 (Gd_5Bi_3), 5-42.86 (Gd_4Bi_3) дар ҳудуди ҳарорати 298-773

Дар ҳудуди 10-42.86 ат. % Bi, афзоиши ҳарорати парамагнитии Кюри мушоҳида мешавад, ки аз θ_p гадолиниуми холис (310 К) зиёдтар аст.

Баъдан, дар доираи концентратсияи 50-90 ат. % Bi, ҳарорати парамагнитии Кюрии хӯлаҳо аз 365 то 42 К якбора паст мешавад.

Дар ҷадвали 9 ҳосиятҳои магнитии баязе хӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои Ln - Bi (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb) оварда шудаанд.

**Чадвали 9 – Хосиятҳои магнитии хӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаи Ln– Bi
(Ln = Pr, Nd, Gd, Tb) ҳангомии 298 К**

60 Миқдори висмут дар хӯлаҳо ва пайвастагиҳо, дар% Bi	TbBi + Bi _{ТВ.р}	56279	58	91,25
висмут дар хӯлаҳо ва пайвастагиҳо, дар% Bi	Таркиби фазавӣ	$\chi_m \times 10^6$ ҳангоми 298 К	θ_p , К	$\mu_{\text{эф}} \times 10^{24}$, $A \cdot m^2$
Системаи Pr– Bi				
1	2	3	4	5
10	Pr ₂ Bi + эвтектика	5903	5	33.01
20	Pr ₂ Bi + эвтектика	6091.2	10	33.20
33.3	Pr ₂ Bi	6275.8	12	33.57
37.5	Pr ₅ Bi ₃	6539.3	13	34.22
42.86	Pr ₄ Bi ₃	5962	11	32.73
50	PrBi	5685	8	32.18
60	PrBi + PrBi ₂	4886.2	6	29.95
66.6	PrBi ₂	4458.6	5	28.65
70	PrBi ₂ + Bi _{ТВ.р.}	3989.4	4	27.17
80	PrBi ₂ + Bi _{ТВ.р.}	3008.8	3	23.64
90	PrBi ₂ + Bi _{ТВ.р.}	1498.4	2	16.69
Системаи Nd -Bi				
10	Nd ₂ Bi + эвтектика	6913.8	62	33.48
20	Nd ₂ Bi + эвтектика	7038.2	68	33.38
33.3	Nd ₂ Bi	7510.7	78	33.66
37.5	Nd ₅ Bi ₃	7897.2	84	34.03
42.86	Nd ₄ Bi ₃	6801.9	56	33.66
50	NdBi	6451.6	42	33.66
60	NdBi + NdBi ₂	4385.6	28	31.06
66.6	NdBi ₂	3426.8	21	25.5
70	NdBi ₂ + Bi _{ТВ.р.}	2986.4	16	24.01
80	NdBi ₂ + Bi _{ТВ.р.}	1984.6	11	19.75
90	NdBi ₂ + Bi _{ТВ.р.}	1210.04	4	14.74
Системаи Gd– Bi				
10	Gd ₅ Bi ₃ +эвтектика	288300	325	73.17
20	Gd ₅ Bi ₃ +эвтектика	204844.7	336	73.17
30	Gd ₅ Bi ₃ +эвтектика	147555.7	350	72.61
37.5	Gd ₅ Bi ₃	280526.0	270	73.54
42.86	Gd ₄ Bi ₃	116180.5	365	73.17
50	GdBi	35672.1	86	72.15
60	GdBi + Bi _{ТВ.р.}	31314.7	60	71.60
70	GdBi + Bi _{ТВ.р.}	28961.2	54	70.29
80	GdBi + Bi _{ТВ.р.}	28777	48	70.48
90	GdBi + Bi _{ТВ.р.}	28687.8	42	71.13
Системаи Tb– Bi				
10	Tb ₅ Bi ₃ +эвтектика	185970	206	92,55
20	Tb ₅ Bi ₃ +эвтектика	130421	178	92,36
30	Tb ₅ Bi ₃ +эвтектика	103529,4	154	92,09
37,5	Tb ₅ Bi ₃	94580,1	142	92,36
42,86	Tb ₄ Bi ₃	85448,2	128	92,36
50	TbBi	76086,9	112	91,81

Давоми чадвали 9

1	2	3	4	5
70	TbBi + Bi _{Tb.p.}	53049,3	50	90,23
80	TbBi + Bi _{Tb.p.}	48000	28	89,95
90	TbBi + Bi _{Tb.p.}	45486,3	16	89,67

Муҳокими натиҷаҳо ва дурнамои истифодабарии маҳлулҳои саҳт

Камомӯхташавии хӯлаҳо ва пайвастагиҳои ЭНЗ бо сурма ва висмут бо душвории ҳосил кардани маводҳои тоза ва гомогенӣ шарҳ дода мешавад. Ин ба як қатор сабабҳо вобаста аст. Якум, оксигени атмосфера дар ҳарорати хона метавонад ба ЭНЗ таъсир намоянд. Аз ин сабаб, барои пешгирии оксидшавии эҳтимолии ЭНЗ, амалиётҳои майда кардани онҳо ва гирифтани қисмҳои баркашидашуда бояд дар шароити вакуум ё дар муҳити ғайрифаъол гузаронида шаванд. Дуюм, нисбат ба маводе, ки аз он тиглҳо барои гузаронидани таъсири мутақобилаи ЭНЗ бо сурма ва висмут соҳта мешаванд, талаботҳои маҳсус пешниҳод мешаванд. Маводи тигл набояд бо компонентҳои истифодашаванда – элементҳои нодири замин, сурма, висмут ва маҳсулоти реаксия таъсири кунад. Ба ин талабот тиглҳои аз молибден, тантал ё волфрам соҳташуда ҷавобгӯ мебошанд. Саввум, аз сабаби он, ки фишори буғи сурма ва висмут дар ҳароратҳои баланд хеле баланд аст, барои пешгирий аз тағир додани таркиби маҳсулоти реаксия, имконияти гузаронидани синтези фазаи моеъ истисно карда мешавад. Дар ин ҳолат, тибқи қоида, онҳо танҳо бо синтези фазаи саҳт маҳдуд мешаванд.

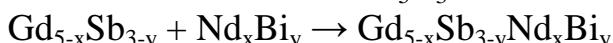
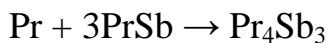
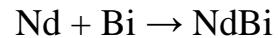
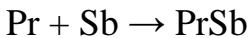
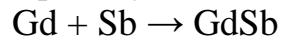
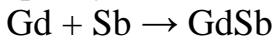
Таҳқиқи раванди таъсири ЭНЗ бо сурма ва висмут ҳангоми ҳосилшавии моноантимонидҳои LnSb ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), моновисмутидҳои LnBi ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидҳо Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) ва хӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои Ln - Bi ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}$), инчунин маҳлулҳои саҳти системаҳои $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) и $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}, \text{Yb}$) нишон дод, ки оғози ҳарорати таъсири мутақобилаи ЭНЗ бо сурма ва висмут аз таносуби компонентҳо вобаста нест. Тибқи маълумотҳои ТРФ таркиби маҳсулоти таъсири мутақобилаи ЭНЗ бо сурма ва висмут ҳангоми ҳосилшавии маҳлулҳои саҳт асосан аз ҳарорат вобаста аст. Дар ҳарорати нисбатан пасти синтез, моноантимонидҳо - LnSb($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), моновисмутидҳо - LnBi ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}, \text{Yb}$) ва ЭНЗ-и озод бартарӣ доранд. Ҳангоми баланд шудани ҳарорат, дар таркиби маҳсулоти мутақобила нопадид шудани моноантимонидҳо, моновисмутидҳо ва пайдоиши антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), ва инчунин маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5, y = 0.3 \div 2.7$) ва $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$) ба назар мерасад.

Таҳқиқотҳое, ки оиди синтези ин маҳлулҳои саҳт гузаронида шуданд, имконияти ҳосил намудани онҳоро тавассути таъсири мутақобилаи ЭНЗ, сурма ва

висмут, инчунин истифодаи антимонидҳои қаблан синтезшудаи Ln_4Sb_3 , висмутидҳои Ln_4Bi_3 ва Ln_5Bi_3 -ро ҳамчун компонентҳои ибтидой, нишон доданд.

Раванди таъсири мутақобилаи ЭНЗ бо сурма ва висмут, ҳангоми ҳосилшавии маҳлулҳои саҳти ҳамаи системаҳои омӯҳташуда, як намуд - марҳила ба марҳила меғузараид.

Ба сифати намуна раванди ҳосилшавии баъзе маҳлулҳои саҳт тавассути таъсири мутақобилаи компонентҳои аввалия оварда шудаанд:



$$x = 0.4 \div 3.6; y = 0.3 \div 2.7;$$

$$x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$$

Усули дуюми ҳосил намудани маҳлулҳои саҳт бо истифодаи антимонидҳои пешакӣ синтезшуда Ln_4Sb_3 , висмутидҳои Ln_4Bi_3 ва Ln_5Bi_3 ҳамчун компонентҳои аввалия, дар муқоиса бо усули аввал, як қатор бартарихо дорад:

- истифодаи антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) ва Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) пешакӣ синтезшуда, ҳосилшавии боэътиноми маҳлулҳои саҳтро таъмин менамояд;

- дар раванди синтез сурма ва висмут дар шакли баста мебошанд, ин имконоти бухоршавии онҳоро аз зонаи реаксионӣ ва тағйир ёфтани таркиби химиявии маҳсулоти реаксия - маҳлулҳои саҳтро истисно меқунад;

- истифодаи Ln_4Sb_3 , Ln_4Bi_3 ва Ln_5Bi_3 ҳамчун компонентҳои ибтидой имкон медиҳад, ки омехтаҳои реаксия бо суръати баланд гарм карда шаванд ва ба ин васила вақти синтези маҳлулҳои саҳт хеле кӯтоҳ карда шавад;

Ҳӯлаҳои системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) тавассути таъсири мутақобилаи компонентҳои ибтидой дар тигелҳои герметизатсияшудаи молибдени ҳосил карда шуданд.

Пайвастагиҳои системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) дар шаш сингония кристаллизатсия: намудҳои тетрагоналии Ti_2P , гексагоналии Mn_5Si_3 , ромбии Y_5Bi_3 , ромбии LaSb_2 , кубии NaCl ва кубии anti- Th_3P_4 .

Бояд қайд кард, ки азбаски синтези маҳлулҳои саҳт ва пайвастагиҳои инфириодии системаҳо дар тигелҳои герметизатсияшуда, бе талафоти массаи маводҳои аввала гузаронида шудааст, ин зарурати таҳлили химиявии ҳӯлаҳои ҳосилшударо аз байн мебарад (мо дар давоми таҳқиқот онро муқаррар кардем).

Бояд қайд кард, ки таҳқиқоти физикӣ-химиявӣ дар намунаҳои маҳлулҳои саҳти бо усули дуюм ҳосилшуда, гузаронида шудаанд.

Хусусиятҳои системаҳои омӯҳташуда ва қонуниятҳои дар соҳти онҳо ошкор гардида. Муқоисаи диаграммаҳои холати системаҳои омӯҳташудаи систем $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) ва $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) якхела будани онҳоро нишон медиҳанд.

Дар ин системаҳои мазкур маҳлулҳои саҳти чойивазкунандаи бо компонентҳои аввалия - Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Nd}, \text{Tm}, \text{Lu}$) изоструктурӣ буда ва дар сингонияҳои кубии навъи anti- Th_3P_4 , гексагоналии навъи Mn_5Si_3 ва ромбии навъи Y_5Bi_3 кристаллизатсияшаванд, ҳосил мешаванд.

Ҳосилшавии маҳлулҳои саҳт дар системаҳои омӯхташуда дар рисола аз нуқтаи назарияи мавҷуда шарҳ дода мешавад.

Ҳосилшавии маҳлулҳои саҳтро дар системаҳои $\text{Gd}_4\text{Sb}_3-\text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln}=\text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3-\text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3-\text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln}=\text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3-\text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln}=\text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3-\text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln}=\text{Pr}, \text{Nd}$) ва $\text{Gd}_5\text{Bi}_3-\text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln}=\text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), аз нигоҳи мо, ду омил мусоидат мекунанд: андозавӣ ва соҳторӣ.

Радиусҳои атомии ЭНЗ нисбати радиуси атомии итербий на бештар аз 5,7% фарқ мекунанд, ки ин ба ҳосилшавии маҳлулҳои саҳт мусоидат мекунад. Омили соҳторӣ инчунин ҳосилшавии маҳлулҳои саҳтро ҷонибдорӣ мекунад, зоро компонентҳои аввалия ва маҳлулҳои саҳт изоструктурӣ мебошанд. Таъсири омили электрохимиявиро ба пайдоиши маҳлулҳои саҳт сарфи назар кардан мумкин аст, зоро ЭНЗ, сурма ва висмут дар компонентҳои ибтидой пайвастанд.

Ҳосиятҳои маҳсуси электрофизикӣ ва магнитии маҳлулҳои саҳт. Вобастагии концентратсионии ҳосиятҳои электрофизикӣ (муқовимати ҳоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ)-и маҳлулҳои саҳт дар ҳарорати хона бо ҳамаи системаҳои $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) и $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) ва $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) мувофиқат менамояд, зоро, ки дар каҷхатҳои ин вобастагиҳо нуқтаҳои экстрималӣ ба назар намерасанд.

Вобастагии концентратсионии муқовимати ҳоси электрикӣ ва термо-қ.э.ҳ-и ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳо дар ҳарорати хона бо системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) низ мувофиқат менамоянд.

Муайян карда шуд, ки ҳамчун компонентҳои ибтидой ба антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) ва маҳлулҳои саҳти системаҳои дар боло номбаршуда гузаронандагии металлӣ ҳос мебошад. Дар ин бора қиматҳои муқовимати ҳоси электрохимии антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳт дар ҳарорати 298 К ва тағирёбии хаттии онҳо дар ҳудуди ҳароратҳои 298-773 К шаҳодат медиҳанд.

Оиди гузаронандагии металлии системаҳои таҳқиқшаванд, вобастагиҳои концентратсионии микросаҳтии маҳлулҳои саҳт, ки бо каҷхатҳои максималӣ барои таркибҳои муайян тавсиф мешаванд, шаҳодат медиҳад. Маълум аст, ки ҳусусияти нишондодаи тағирёбии микросаҳти ба ҳамаи системаҳои металлие ҳос аст, ки дар онҳо маҳлулҳои саҳт ҳосил мешаванд.

Ин бо зиёд шудани устувории панҷараи кристаллии маҳлулҳои саҳт аз ҳисоби кам шудани масофаҳои байнатомӣ дар панҷараҳои кристалии онҳо шарҳ дода мешавад. Ҳамин тавр, агар дар антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) дарозии пайванди Pr-Pr , Nd-Nd , Gd-Gd , Tb-Tb , Dy-Dy ва Yb-Yb

мутаносибан, 0.362, 0.364, 0.358, 0.354, 0.356, 0.388 нм –ро ташкил дихад, пас дар сохтори маҳлулҳои сахти $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$) ва $Tb_{4-x}Dy_xSb_3$ ихтилофи дарозии ин пайвандҳо то ду фоизро ташкил медиҳад.

Барои дигар маҳлулҳои сахти системаҳои омӯхташуда дисперсияи ин пайвандҳо ба ҳисоби миёна 2.5-3 фоизро ташкил медиҳад. Ғайр аз ин, дар таркиби маҳлулҳои сахт устувории панҷараҳои кристалиро метавонад пайванди $Ln\text{-}Sb$ ва $Ln\text{-}Bi$ ташкил намояд. Дарозии миёнаи пайвандҳои $Ln\text{-}Sb$ ва $Ln\text{-}Bi$ дар маҳлулҳои сахти системаҳои омӯхташуда 0.3242 нм –ро ташкил менамояд. Зоҳирان, таъсири максималии ин пайвандҳо ба устувории панҷараҳои кристаллии маҳлулҳои сахт ба таркибҳои дори қимати максималии микросахтӣ рост меояд.

Муайян карда шуд, ки антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои сахт, хӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) дар гузаронандагии электрикӣ байни ноқилҳо ва нимноқилҳо мавқеи мобайниро ишғол мекунанд. Муқаррар карда шуд, ки ноқилияти электрикӣ антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои сахт як тартиб аз қобилияти электрикӣ ЭНЗ ва ду тартиб аз ноқилияти электрии ноқилҳои маълум (Ag, Cu, Au, Al) камтар мебошад. Қайд кардан лозим аст, ки қобилияти нисбатан пасти гузаронандагии электрикӣ онҳо бо сахми муқовимати магнитии хоси электрикӣ ба муқовимати хоси умумии электрикӣ шарҳ дода мешавад. Натиҷаҳои нисбатан пасти ноқилияти электрикӣ, ки онҳоро антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои сахт нишон медиҳанд, дар рисола бо сахми муқовимати магнитии хоси электрикӣ ба муқовимати хоси умумии электрикӣ ва бо таъсири бандҳои химиявӣ шарҳ дода мешавад

Натиҷаҳои таҳқиқоти хосиятҳои магнитии антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), маҳлулҳои сахти системаҳои $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) висмутидҳои Ln_5Bi_3 ($Ln = Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) ва хӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаи $Lu - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$), табиати парамагнитии онҳоро нишон медиҳанд. Вобастагии $1/\chi_m - T$ ҳамаи антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои сахти дар асоси онҳо ҳосилшуда, аз рӯи қонуни Кюри-Вайсс амал мекунанд.

Муқаррар карда шудааст, ки байни антимонидҳои таркиби Ln_4Sb_3 ($Ln=Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$) ва висмутидҳои таркиби Ln_4Bi_3 ($Ln=Pr, Nd, Gd, Tb, Yb$), Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) қимати баланди ҳарорати Кюриро (Θ_p) антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($Ln = Gd, Tb, Dy$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($Ln = Gd, Tb$) и Ln_5Bi_3 ($Ln = Gd, Tb$) доро мебошанд. Бинобар ин, қимати эффекти моменти магнитии ЭНЗ антимонидҳо ва висмутидҳои қайдшуда, ки вобаста аз маълумотҳои таҷрибавӣ муқаррар карда шудаанд ба қимати назариявии ионҳои сезарядай элементҳои нодирзамий наздик мебошанд.

Ҳарорати парамагнитии Кюри барои маҳлулҳои сахти $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$; $x = 0.4 \div 3.6$) системаи $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$) ва $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$ дар ҳамаи ҳудуди концентратси нисбат ба Θ_p -и Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$) зиёд мебошад ва инчунин аз Θ_p , неодим, тербий ва диспрозий низ зиёд мебошад. Бинобар ин, Θ_p маҳлулҳои сахти $Gd_{4-x}Tb_xSb_3$ ва $Gd_{4-x}Dy_xSb_3$ дар ҳудуди концентратсияи 10 -50 мол % Tb_4Sb_3 ва 10-40 мол % Dy_4Sb_3 , мутаносибан аз Θ_p

Gd_4Sb_3 зиёдтар мебошад.

Чадвали 10- Холати электронии моменти самараноки ионхой ЭНЗ ва ҳарорати парамагнитии Кюри

Ионхой ЭНЗ	Шумораи 4f-электронҳо	g_J -фактор	J	$\mu_{\text{теор.}} \times 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{м}^2$	$\theta_p, \text{К}$ ЭНЗ Адабиёт.
Pr^{+3}	2	4/5	4	33,20	-
Nd^{+3}	3	8/11	9/2	33.57	10
Gd^{+3}	7	2	7/2	73.63	310
Tb^{+3}	8	3/2	6	90,14	236
Dy^{+3}	9	4/3	15/2	98.67	151
Ho^{+3}	10	5/4	8	10.61	88
Er^{+3}	11	6/5	15/2	9.60	50
Tm^{+3}	12	7/6	6	7.56	17.4
Yb^{+3}	13	8/7	7/2	42.01	-
Lu^{+3}	14	0	-	-	-

Муайян карда шуд, ки дар байни маҳлулҳои сахти $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$; $x = 0.4 \div 3.6$) системаи $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) ва $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, ҳарорати баландтарини парамагнитии Кюриро маҳлулҳои сахти $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}$) доро мебошанд.

Натиҷаҳои таҳқиқоти хосиятҳои магнитии маҳлулҳои сахти $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$; $x = 0.4 \div 3.6$) системаи $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$) нишон дод, ки онҳо низ, ба мисли маҳлулҳои сахти системаҳои $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}$) ва $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, хосиятҳои парамагнитро бо қиматҳои нисбатан баланди ҳарорати парамагнитии Кюри (θ_p) нишон медиҳанд.

Ҳарорати парамагнитии Кюри барои маҳлулҳои сахти системаҳои $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) дар тамоми диапазони концентратсия аз θ_p висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Nd}_3$), инчунин аз θ_p празеодим ва неодим (чадвали 10) баландтар мебошад. Ҳарорати парамагнитии Кюри барои маҳлулҳои сахти системаи $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Tb}_4\text{Bi}_3$ аз θ_p Tb_4Bi_3 ва дар концентратсияи 10 мол% Tb_4Bi_3 аз θ_p тербий баландтар мебошад (Чадвали 9).

θ_p маҳлулҳои сахти $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$; ($x = 0.4 \div 3.6, y = 0.3 \div 2.7$) системаҳои $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) дар тамоми ҳудуди концентратсия аз θ_p висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) ва θ_p празеодим, неодим баландтар, vale камтар аз θ_p Gd_4Bi_3 мебошад. Дар ин ҳолат, θ_p маҳлулҳои сахти системаи $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Tb}_4\text{Bi}_3$, ки 10-20 мол % Tb_4Bi_3 доранд, нисбат ба θ_p тербий зиёдтар аст (чадвали 10).

Маҳлулҳои сахти $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$) системаҳои $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), ҳамчун маҳлулҳои сахти дар боло баррасишуда дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К хосиятҳои парамагнитӣ нишон медиҳанд. θ_p маҳлулҳои сахти дар тамоми диапазони концентратсия аз θ_p висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), празеодим ва неодим, зиёдтар аст, аммо аз θ_p Gd_5Sb_3 камтар мебошад.

Натиҷаҳои таҳқиқоти хосиятҳои магнитии висмутидҳои Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) нишон доданд, ки дар байни онҳо ҳароратҳои баландтарини

парамагнитии Кюри ба висмутидҳои Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}$) хосанд.

Ҳарорати парамагнитии Кюри маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3; x = 0,5 \div 4,5$ системаи $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) дар тамоми диапазони концентратсияи аз 0р Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) ва инчунин дар доираи концентратсияи 10 мол. % Tb_5Bi_3 , 10-30 мол. % Dy_5Bi_3 , 10-60 мол. % Ho_5Bi_3 , 10-70 мол. % Er_5Bi_3 , 10-90 мол. % Tm_5Bi_3 ва 10-90 мол. % Lu_5Bi_3 нисбат ба тербий, диспрозий, голмий, эрбий, тулий ва лютетсий баландтар аст.

Муайян карда шуд, ки ҳамаи ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаи $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$) дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К хосиятҳои парамагнитӣ доранд. Бинобар ин, ҳарорати парамагнитии Кюрии ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) аз 0р ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}$) камтар аст. Бояд қайд кард, ки пайвастагиҳои навъи Ln_2Bi ва LnBi_2 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$) дар системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}$) ба вучуд намеоянд.

Ба тарики истисно, вобастагии ҳароратии мутақобилаи пазирандагии молярии магнитии ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаи $\text{Gd} - \text{Bi}$ дар ҳудуди концентратсияи 10-42,86 ат. % Bi аз ҳарорати хонагӣ мутаносибан то ҳароратҳои 353, 393, 434, 453 ва 498 К ба қонуни Кюри-Вайс итоат намекунанд. Истисно нест, ки дар ин ҳароратҳо ҳӯлаҳои таркиби зикршуда, эҳтимолан аз тартиби магнитӣ (ферри- ё ферромагнитӣ) мегузаранд, ки дар ин бора қиматҳои нисбатан баланди 0р барои ҳӯлаҳои системаи $\text{Gd} - \text{Bi}$, миқдори концентратсияи 10-42,86 дар. % Bi, шаҳодат медиҳанд.

Аз ҳама ҳарорати баландтарини парамагнитии Кюри (365 К) -ро Gd_4Bi_3 нишон медиҳад, ки бо маълумоти адабиётҳо мухолифат намекунад.

Маълум аст, ки дар элементҳои нодирзамини зергурӯҳи иттрий дар ҳароратҳои муайян сохторҳои мураккаби магнитӣ ба вучуд меоянд: геликоидалӣ, сиклоидалӣ ва синусоидалӣ. Ҳангоми хунук кардан ЭНЗ, ҳолати парамагнитии онҳо аввал ба антиферромагнитӣ мубаддал мешавад ва дар сурати боз ҳам паст шудани ҳарорат, ҳолати антиферромагнитӣ бо ферромагнитӣ иваз карда мешавад, бо тартиби муқаррарии параллелӣ (коллинеарӣ) ё ғайри параллелӣ (ғайриколинӣ) –и ҷойгиршавии моментҳои атом.

Бо назардошли ин, чунин таҳмин кардан мумкин аст, ки хосиятҳои магнитии Gd_4Bi_3 , дар муқоиса бо хосиятҳои магнитии Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), бо хусусияти сохтори магнитии он муайян карда мешаванд, ки баъдтар, масалан, бо роҳҳои нейтронография, резонансҳои магнитии ҳастай ва гамма-резонанси ҳастаи муайян кардан мумкин аст.

Тибқи назарияи мавҷуда, тартиби магнитӣ дар ЭНЗ зери таъсири мутақобила, тавассути электронҳои гузаронанда бо таъсири мутақобилаи Рудерман-Киттел-Касуи-Иосиды (РККИ) сурат мегирад. Моҳияти ин назария аз он иборат аст. Дар ЭНЗ масофаҳои байни қабатҳои 4f атомҳои ҳамсоя хеле калонанд, ки дар онҳо ҳамкории мустақими мубодила муқаррар карда шавад. Радиуси миёнаи қабати 4f - таҳминан 1/10 масофаи байниатомиро ташкил медиҳад. Дар ин ҳолат, таъсири мутақобилаи 4f электронҳо тавассути поляризатсияи электронҳои гузаронда тавассути гардиши 4f электрон ба амал меояд.

Дар механизми мубодила нақши муҳим ба таъсири мубодилаи s – f

электронхөө вогузор шудааст. Мувофиқи ин назария дар ЭНЗ магнетикхо ҳамчун электронхой локализатсияшудаи d- ё f-қабатхой үүброннашуда ва электронхой локализатсияшуда (s, p) мавчуданд, ки саҳми асосиро дар магнетизм мегузоранд.

Тахти таъсири мубодилаи s - f спинҳои электронҳои гузаронанда тавассути электрониҳои локализатсияшудай f - магнитӣ (поляризатсия) мешаванд. Таъсири мубодилаи s - f аз самти спинҳо вобаста аст. Ин ба тағирёбии даврии зичии электронхо бо самти муайяни гардиш, яъне ба ларзиш оварда мерасонад. Аз ин ҷо бармеояд, ки таъсири мубодилаи s - f боиси поляризатсияи спинҳои электронҳои гузаронандай хусусияти осциляторӣ мегардад.

Дар асоси натиҷаҳои бадастомада гуфтан мумкин аст, ки тартиби магнитӣ дар антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳт, инчунин дар ЭНЗ тоза тахти таъсири мубодилаи ғайримустақими 4f электронхо, тавассути электронҳои гузаронанда муқаррар карда мешавад. Чунин хосияти таъсир бо тағирии хаттии ҳарорати парамагнитии Кюрии антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) ва $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$ ва висмутидҳои Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) тасдиқ карда мешавад, ки ченаки энергияи ҳамкории мубодила аз омили Де Жанна мебошанд:

$$G = (g_J - 1)^2 \cdot J(J+1),$$

Дар ин ҷо: g_J – фактори Ланде; J – шумораи умумии квантии атом (Чадвали 9).

Қиматҳои нисбатан баланди ҳароратҳои парамагнитии Кюрии маҳлулҳои саҳтро бо энергияи нисбатан баланди мубодилаи байни ионҳои Gd-Gd ва Gd-Ln ($\text{Ln} = \text{Tb}, \text{Dy}$) шарҳ додан мумкин аст, чи тавре ки дар боло нишон дода шудааст, дар Ln_4Sb_3 антимонидҳо ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), дар висмутидҳо Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$) ва Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) ва дар ҳама маҳлулҳои саҳти ҳосилшуда, бо зиёд шудани концентратсияи ионҳои гадолиний, тербий ва диспрозий, афзоиши назарраси ҳарорати парамагнитии Кюри мушоҳида мешавад.

Муқоисаи хосиятҳои электрофизикӣ ва магнитии маҳлулҳои саҳти Ln_4Sb_3 антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), Ln_4Bi_3 висмутидҳо ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои Ln - Bi ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$) бо чунин хосиятҳои празеодим, неодим, гадолиний, тербий, диспрозий, холмий, эрбий, тулий, итербий ва лутетий ва пайвастагиҳои Ln_5Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$) монандии наздики онҳоро нишон медиҳад, ки ин монандидҳо аз инҳо иборат мебошанд.

Якум, маҳлулҳои саҳт, антимонидҳо, висмутидҳо ва ЭНЗ ноқилҳо мебошанд. Дуввум, маҳлулҳои саҳт, ба монанди ЭНЗ ва Ln_5Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$) дар ҳарорати хона парамагнетик буда, дорои қиматҳои нисбатан баланди ҳарорати прамагнитии Кюри мебошанд. Мувофиқи маълумоти адабиётҳо неодимий, гадолиний, тербий ва антимонидҳои Ln_5Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$) дар ҳарорати аз 0° поён тартиби ферри- ё ферромагнитӣ зохир менамоянд. Наздик будани хосиятҳои магнитии ЭНЗ, антимонидҳои Ln_5Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}$) ва маҳлулҳои саҳти системаҳои омӯхташударо ба назар гирифта, таҳмин намудан мумкин аст, ки охиринҳо низ дар ҳароратҳои аз 0° поён тартиби магнитӣ доранд.

Ҳамин тарик, дар кори рисола вазифаи муҳими техникий ҳал карда шудааст. Бори аввал маводҳои нави магнитӣ маҳлулҳои саҳти системаи Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3

($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), $\text{Tb}_4\text{Sb}_3 - \text{Dy}_4\text{Sb}_3$, $\text{Gd}_4\text{Bi}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}$), $\text{Gd}_4\text{Sb}_3 - \text{Ln}_4\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), $\text{Gd}_5\text{Sb}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}$), $\text{Gd}_5\text{Bi}_3 - \text{Ln}_5\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) бо хосиятҳои магнитии баланд нисбат ба компонентҳои аввалия - антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) ва висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}$), $\text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$, Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$) ҳосил ва таҳқиқ карда шуданд.

Дурнамои истифодаи антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳт. Маълумотҳои бадастомада дар бораи хосиятҳои электрофизикӣ ва магнитии антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), хӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаи $\text{Ln} - \text{Bi}$, инчунин маҳлулҳои саҳти системаҳои омӯхташуда ба мо имконият медиҳанд, ки дар бораи дурнамои истифодаи онҳо як қатор мулоҳизаҳо баён кунем.

Антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт, хӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаҳои $\text{Ln} - \text{Bi}$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}$), аз ҷиҳати гузаронандагии электрофициӣ, мавқеи мобайниро байни ноқилиҳо ва нимноқилиҳо ишғол мекунанд. Аз ин рӯ, онҳоро метавонанд дар техникаи электронӣ ҳангоми соҳтани термоэлементҳо ва резисторҳо истифода баранд.

Барои муқаррар намудани таъсири f - ва d - элементҳо ба хосиятҳои физикӣ-химиявии нимноқилиҳои навъи $A^{III}B^V$ ($\text{AlSb}, \text{GaSb}, \text{InSb}$) истифодаи антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳт ҳамчун иловаҳо ба ин пайвастагиҳо таваҷҷӯҳи хоса зоҳир менамоянд.

Антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳт бо ЭНЗ хосиятҳои наздики магнитӣ зоҳир менамоянд (қиматҳои баланди ҳароратҳои парамагнитии Кюри ва моментҳои магнитӣ). Ин имкон медиҳад, ки истифодаи ин хӯлаҳо дар он ҷойхое, ки ЭНЗ аллакай истифода шудаанд, аз он ҷумла ба сифати пайкон барои соленоидҳои (симҳалқаи атрофи дилак, ки ҳангоми аз он гузаштани ҷараёни электрофициӣ майдони магнитӣ пайдо мешавад) магнитии гузаронандагии фавқулодда баланд дошта. Файр аз он, маҳлулҳои саҳти дорои қиматҳои баланди ҳарорати парамагнитии Кюри доштаро метавонанд дар техникаи криогенӣ барои зиёд кардани сели магнитӣ дар дастгоҳҳое, ки на танҳо дар ҳарорати нитрогени моеъ, балки дар ҳарорати гелий низ коркунанда, истифода баранд.

Маҳлулҳои саҳтро ҳамчун иловаҳо ба маводи магнитӣ барои афзоиши индуксияи магнитӣ низ истифода намудан мумкин аст.

Санадҳои санчишӣ, ки маълумоти дар ин кор гирифташуда оид ба хосиятҳои магнитиро тасдиқ мекунанд, дар мисоли маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{5-x}\text{Tb}_x\text{Bi}_3$, $\text{Gd}_{5-x}\text{Dy}_x\text{Bi}_3$ ($x = 0.5 \div 4.5$) и $\text{Gd}_{4-x}\text{Tb}_x\text{Sb}_3$ ($x = 0.4 \div 3.6$) ба рисола замима мегарданд.

Маълумотҳо дар бораи хосиятҳои физикӣ-химиявӣ, электрофизикӣ, магнитии антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт, диаграммаҳои ҳолати система маводҳои маълумотӣ мебошанд. Ин маълумотро аспирантҳо ва муҳаққиқон дар раванди иҷрои корҳои илмӣ истифода бурда метавонанд. Файр аз ин, маводи ин кори рисоларо дар раванди таълим ҳангоми хондани лексияҳо оид ба химияи физикӣ, ғайриорганикӣ, таҳлили физикию химиявӣ ва маводшиносӣ низ истифода бурдан мумкин аст.

ХУЛОСАХО

Натиңаҳои асосии илмии диссертация:

1. Дар асоси натиңаҳои таҳқиқоти раванди оғози таъсири мутақобилаи ЭНЗ бо сурма, висмут ва диаграммаҳои ҳолати системаҳои $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$), $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) усулҳои зерини синтези антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb$) ва висмутидҳои Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) таҳия карда шудаанд [1–3, 9–12, 18–24, 45, 49–52, 57, 60-М]:

- синтези антимонидҳо Ln_4Sb_3 , висмутидҳо Ln_4Bi_3 , Ln_5Bi_3 ва маҳлулҳои сахти $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x = 0.4 \div 3.6$), $Tb_{4-x}Dy_x Sb_3$; $x = 0.4 \div 3.6$, $Gd_{4-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb; x = 0.4 \div 3.6$), $Gd_{4-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb; x = 0.4 \div 3.6; y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd$); $x = 0.5 \div 4.5$; $y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$); $x = 0.5 \div 4.5$), бо таъсири мутақобилаи компонентҳо [75–77-М];
- синтези антимонидҳо Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), висмутидҳо Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$) ва Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) бо ба сифати сурма ва компонентҳои висмутдор истифода бурдани моногруппа антимонидҳо ва моновисмутидҳои ЭНЗ гузаронида шуда, маҳлулҳои сахти дар боло номбаршударо таввасути антимонидҳои пешаки синтезшудаи Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$) ва висмутидҳои Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) ҳосил намудем [77–79-М].

2. Бо маҷмӯи маълумотҳои таҳлили дифференсиалии ҳароратӣ, рентгенофазавӣ ва микросахти бисту як диаграммаи ҳолати системаҳои $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$, ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$), $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) соҳта шуданд. Вобастагии концентратционии муқовимати ҳоси электрикӣ ва термо –қ.э.х бо системаҳои даҳлдори онҳо муқаррар карда шудааст [1–3, 40–44, 54, 55, 59, 61, 70, 74-М].

3. Қонунҳои умумӣ дар соҳтори диаграммаҳои ҳолат муқаррар карда шуданд, ки дар инҳо зоҳир мешаванд [1–3, 9–12, 29–31, 30, 31, 35, 45, 56, 69, 71-М]:

-диаграммаи ҳолати системаҳои $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$, ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$), $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$) якшакла мебошанд. Дар системаҳо маҳлулҳои сахти омехташавии $Gd_{4-x}Ln_xSb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x = 0.4 \div 3.6$), $Tb_{4-x}Dy_x Sb_3$; $x = 0.4 \div 3.6$, $Gd_{4-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb; x = 0.4 \div 3.6$), $Gd_{4-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb; x = 0.4 \div 3.6; y = 0.3 \div 2.7$), $Gd_{5-x}Sb_{3-y}Ln_xBi_y$ ($Ln = Pr, Nd$); $x = 0.5 \div 4.5$; $y = 0.3 \div 2.7$ и $Gd_{5-x}Ln_xBi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$); $x = 0.5 \div 4.5$ ташкил мейбанд.

- ин маҳлулҳои сахт бо ҷузъҳои ибтидой изоструктурӣ мебошанд ва дар соҳтори кубии навъи $NaCl$, соҳтори кубии навъи анти- Th_3P_4 , соҳтори шашкунчаи навъи Mn_5Si_3 ва соҳтори ромбии навъи Y_5Si_3 кристаллизатсия мешаванд.

4. Таҳқиқоти ҳосиятҳои электрофизикавии антимонидҳои Ln_4Sb_3 ,

(Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Yb), висмутидҳои Ln_4Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Yb), Ln_5Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu), маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x = 0.4÷3.6), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; x = 0.4÷3.6, $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ (Ln = Pr, Nd, Tb; x = 0.4÷3.6), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ (Ln = Pr, Nd, Tb, Yb; x = 0.4÷3.6; y = 0.3÷2.7), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ (Ln = Pr, Nd); x = 0.5÷4.5; y = 0.3÷2.7) и $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu); x = 0.5÷4.5) дар ҳудуди ҳарорати 298-773 К муқаррар намуд, ки ба онҳо гузаронандагии метали хос аст. Бо ноқилияти электрикӣ ин маҳлулҳои саҳт як тартиб камтар аз қобилияти электрикӣ ЭНЗ ва ду тартиб камтар аз ноқили электрии ноқилҳои маълум (Ag, Cu, Au, Al) мебошад. Натиҷаҳои нисбатан пасти ноқилияти электрикӣ, бо саҳми ҷузъи магнитии муқовимати хоси электрикӣ ба муқовимати умумии электрикӣ ва бо ҳамкории мубодилаи электронҳои гузаронанда бо моментҳои локалии магнитии 4f - электронҳои ЭНЗ алоқаманд аст, шарҳ дода шудааст [7, 8, 13-15, 29, 32, 33, 36-39, 46-48, 66, 72, 73-М].

5. Таҳқиқоти хосиятҳои магнитии анимонидҳои Ln_4Sb_3 (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb), висмутидов Ln_4Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Tb, Yb), Ln_5Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu), твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x = 0.4÷3.6), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; x = 0.4÷3.6, $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ (Ln = Pr, Nd, Tb; x = 0.4÷3.6), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ (Ln = Pr, Nd, Tb, Yb; x = 0.4÷3.6; y = 0.3÷2.7), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ (Ln = Pr, Nd); x = 0.5÷4.5; y = 0.3÷2.7) и $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu; x = 0.5÷4.5) дар ҳудуди ҳарорати 298 -773 К муайян намуд, ки ба онҳо табиати парамагнити хос аст . Вобастагии ҳароратии ҳассосияти магнитии молярии ин антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳт дар ҳудуди ҳарорат аз рӯи қонуни Кюри-Вайсс амал мекунанд. Истисно ҳӯлаҳои системаи Gd-Bi мебошанд, ки дар доираи концентратсияи 10-42.86 ат. % Bi, вобастагии ҳароратии мутақобилаи ҳассосияти магнитии молярӣ, ки аз ҳарорати хонагӣ мутаносибан то 353, 393, 434, 453 ва 498 К ба қонуни Кюри-Вайс итоат намекунад. Эҳтимол аст, ки дар ин ҳароратҳо, ҳӯлаҳои таркиби зикршуда аз тартиботи магнитӣ (ферри- ё ферромагнитӣ) гузаранд, ки дар ин бора қиматҳои нисбатан баланди ҳарорати парамагнитии Кюри ҳӯлаҳои системаи Gd - Bi, миқдори концентратсияи 10-42,86 ат. % Bi шаҳодат медиҳанд [4-6, 9-12, 16, 17, 25-28, 63-65-М].

6. Қиматҳои ҳарорати парамагнитии Кюри, моментҳои магнитии самараноки ионҳои ЭНЗ ва антимонидҳои Ln_4Sb_3 (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb), висмутидҳои Ln_4Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Tb, Yb), Ln_5Bi_3 (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu), дар маҳлулҳои саҳти $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb; x = 0.4÷3.6), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; x = 0.4÷3.6, $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ (Ln = Pr, Nd, Tb; x = 0.4÷3.6), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ (Ln = Pr, Nd, Tb, Yb; x = 0.4÷3.6; y = 0.3÷2.7), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ (Ln = Pr, Nd); x = 0.5÷4.5; y = 0.3÷2.7) и $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ (Ln = Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu; x = 0.5÷4.5) муайян карда шудаанд. Муайян карда шуд, ки тартиби магнитӣ дар антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳт ба монанди ЭНЗ , дар зери таъсири мутақобилаи мубодилаи ғайримустақим, тавассути электронҳои гузаронанда, ба ном ҳамкории Рудерман-Киттел-Касуи-Иосида (РККИ), муқаррар карда мешавад [1-3, 9-12, 56-М].

Тавсияҳо оид ба истифодай амалии натиҷаҳо:

- дурнамои истифодай антимонидҳо Ln_4Sb_3 (Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb),

висмутидҳо Ln_4Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}$), Ln_5Bi_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}$), ахлулҳои саҳт $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Sb}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Tb}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$; $x = 0.4 \div 3.6$, $\text{Gd}_{4-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}; x = 0.4 \div 3.6$), $\text{Gd}_{4-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Tb}, \text{Yb}; x = 0.4 \div 3.6; y = 0.3 \div 2.7$), $\text{Gd}_{5-x}\text{Sb}_{3-y}\text{Ln}_x\text{Bi}_y$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}; x = 0.5 \div 4.5; y = 0.3 \div 2.7$) ва $\text{Gd}_{5-x}\text{Ln}_x\text{Bi}_3$ ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Er}, \text{Tm}, \text{Lu}; x = 0.5 \div 4.5$), ҳамчун маводи нави магнитӣ дар технологияи криогенӣ барои эҷоди термоэлементҳо ва резисторҳо, ҳамчун иловаҳо ба нимноқилҳои навъи А^{III}Б^V, барои зиёд кардани ҷараёни магнитӣ дар дастгоҳҳо, ки на танҳо дар ҳарорати гелий, балки дар ҳарорати азоти моёъ низ кор мекунанд, ҳамчун иловаҳо дар маводи магнитӣ барои афзоиши индуксияи магнитӣ, муайян карда шудааст;

- маводҳои кори диссертациониро дар раванди таълим ҳангоми хондани машгулиятҳои маърӯзӣ оиди фанҳои кимиёи физикӣ, ғайриорганикӣ, таҳлили физико-кимиёвӣ ва маводшиносӣ истифода бурдан, мумкин аст.

ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ ДАРЁФТИ ДАРАЧАИ ИЛМӢ АЗ РӮЙИ МАВЗӰИ ДИССЕРТАЦИЯ

*Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмӣ тавсиянамудаи КОА-и назди
Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашируда:*

[1-М]. **Назаров, X.X.** Диаграмма состояния системы $\text{Gd}_4\text{Sb}_3\text{-Tb}_4\text{Sb}_3$ / X.X. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2004.- Т. XLVII. - № 1-2. - С. 52-55.

[2-М]. Авезов, С.К. Твердые растворы системы $\text{Gd}_4\text{Sb}_3\text{-Tb}_4\text{Sb}_3$ / С.К. Авезов, В.Д. Абулхаев, **X.X. Назаров**, Б.А. Кадыров // Вестник Таджикского государственного педагогического университета им. К. Джураева. – 2004. - С. 30.

[3-М]. **Назаров, X.X.** Диаграмма состояния и некоторые свойства сплавов системы $\text{Tb}_4\text{Sb}_3\text{- Dy}_4\text{Sb}_3$ / X.X. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005.- Т. XLVIII. - № 1. - С. 4-7.

[4-М]. **Назаров, X.X.** Магнитные свойства сплавов системы $\text{Gd}_4\text{Sb}_3\text{-Tb}_4\text{Sb}_3$ / X.X. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005. - Т. XLVIII. - № 1. - С. 48-52.

[5-М]. **Назаров, X.X.** Магнитные свойства твердых растворов $\text{Gd}_{4-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_3$ ($x=0.4 \div 3.6$) / X.X. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005. - Т. XLVIII. - № 1. - С. 70-73.

[6-М]. Абулхаев, В.Д. Магнитные свойства некоторых антимонидов РЭ системы Ln_4Sb_3 ($\text{Ln} = \text{Pr}, \text{Nb}, \text{Gd}, \text{Tb}, \text{Dy}, \text{Yb}$) / **X.X. Назаров**, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2005. - Т. XLVIII. - № 1. - С. 85-89.

[7-М]. Холов, Н.Ш. Температурные и концентрационные зависимости электрофизических свойств сплавов и соединений системы Nd–Bi / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **X.X. Назаров** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2007. - Т. 50. - №1. - С. 452-456.

[8-М]. Холов, Н.Ш. Электрофизические свойства сплавов и соединений системы Pr – Bi / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **X.X. Назаров** // Известия АН Республики Таджикистан. – 2007. - № 4 (129). - С. 26-30.

[9-М]. Холов, Н.Ш. Синтез, магнитные свойства сплавов и соединений системы Nd–Bi / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2008. - Т. 51. - № 3. - С. 203-207.

[10-М]. Холов, Н.Ш. Диаграмма состояния и магнитные свойства сплавов системы Nd₄Bi₃- Gd₄Bi₃ / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2008. - Т. 51. - № 6. - С. 436-441.

[11-М]. Холов, Н.Ш. Диаграмма состояния и магнитные свойства твердых растворов системы Gd₄Bi₃-Tb₄Bi₃ / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2008. - Т. 51. - № 7. - С. 526-531.

[12-М]. Холов, Н.Ш. Синтез, магнитные свойства сплавов и соединений системы Gd–Bi / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2008. - Т. 51. - № 8. - С. 610-614.

[13-М]. Холов, Н.Ш. Синтез, электрофизические и магнитные свойства твердых растворов системы Gd₄Bi₃ - Pr₄Bi₃ // Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Вестник ТТУ. – 2008. - № 3 - С. 25-29.

[14-М]. Рахимов, Х.А. Диаграмма состояния и некоторые физические свойства твёрдых растворов системы Gd₅Bi₃-Er₅Bi₃/ Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, С.О. Убайдов, **Х.Х. Назаров** // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2013. - Т. 56. - № 11. - С. 894-897.

[15-М]. Рахимов, Х.А. Электрофизические свойства висмутидов Ln₅Bi₃ (Ln=Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm,Lu) / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, С.О. Убайдов, И.Н. Ганиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2014. - Т. 57. - № 5. - С. 386-390.

[16-М]. Рахимов, Х.А. Магнетохимические свойства сплавов системы Gd₅Bi₃- Lu₅Bi₃ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Вестник Таджикского национального университета. – 2014. - № 1/4 (153). - С. 131-135.

[17-М]. Убайдов, С.О. Магнитные свойства твёрдых растворов системы Gd₅Sb₃-Pr₅Sb₃ / С.О. Убайдов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назарзода**, М.А. Балаев // Политехнический вестник ТТУ. - 2019. - № 3(47). – С. 87-91.

Мақолаҳои дар маводҳои конференсияҳо нашишуда:

[18-М]. **Назаров, Х.Х.** Твердые растворы на основе антимонидов гадолиния и диспрозия состава 4:3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Материалы республиканской конференции «Достижения в области химии и химической технологии». – Душанбе, 2002. - С. 40-44.

[19-М]. Абулхаев, В.Д. Магнитные материалы на основе антимонидов редкоземельных элементов / В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, О. Эргашев, И.Н. Ганиев // Материалы межвузовской научно практической конференции «Достижения в области металлургии и машиностроения Республики Таджикистан». – Душанбе, 2004. - С. 45-46.

[20-М]. **Назаров, Х.Х.** Твердые растворы системы Tb₄Sb₃-Dy₄Sb₃ / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Материалы шестой научной конф. молодых учёных Таджикистана посв.80-летию г.Душанбе. «Чавонон ва чаҳони андеша». – Душанбе, 2004. - С. 157-159.

[21-М]. **Назаров, X.X.** Диаграмма состояния и некоторые физические свойства сплавов системы Gd_4Sb_3 - Yb_4Sb_3 / X.X. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Депонирована в НПИЦентре Республики Таджикистан. – Душанбе, 2005. - Вып. 5. - № 29 (1713). - С. 1-6.

[22-М]. **Назаров, X.X.** Диаграмма состояния и магнитные свойства твердых растворов системы Gd_4Sb_3 - Nd_4Sb_3 / X.X. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Депонирована в НПИЦентре Республики Таджикистан. – Душанбе, 2005. - Вып. 5. - № 30 (1714). - С. 1-5.

[23-М]. **Назаров, X.X.** Диаграмма состояния системы Gd_4Sb_3 - Pr_4Sb_3 / X.X. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов, И.Н. Ганиев // Депонирована в НПИЦентре Республики Таджикистан. – Душанбе, 2005. - Вып. 5. - № 31 (1715). - С. 1-4.

[24-М]. **Назаров, X.X.** Диаграмма состояния и свойств сплавов систем Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3 ($Ln = Tb, Dy$) и Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3 / X.X. Назаров, В.Д. Абулхаев, Ю.С. Азизов // Материалы первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования в XXI веке». – Душанбе, 2005. - С. 106-107.

[25-М]. **Назаров, X.X.** Магнитные свойства сплавов систем Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3 / X.X. Назаров, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев // Материалы первой международной научно-практической конференции «Перспективы и развития науки и образования в XXI веке». – Душанбе, 2005. - С. 107-108.

[26-М]. Холов, Н.Ш. Концентрационная зависимость некоторых физических свойств сплавов и соединений системы Dy - Bi /Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, **X.X. Назаров** // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и её прикладные аспекты». – Душанбе, 2006. - С. 102-104.

[27-М]. Абулхаев, В.Д. Диаграмма состояния системы Gd_4Sb_3 - Dy_4Sb_3 /В.Д. Абулхаев, **X.X. Назаров** // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и её прикладные аспекты». – Душанбе, 2006. - С. 104-106.

[28-М]. Абулхаев, В.Д. Магнитные свойства сплавов системы Gd_4Sb_3 - Pr_4Sb_3 / В.Д. Абулхаев, **X.X. Назаров**, И.Н. Ганиев // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и её прикладные аспекты».– Душанбе, 2006. - С. 106-108.

[29-М]. Холов, Н.Ш. Кристаллохимические, магнитные и электрофизические свойства сплавов и соединений системы гольмий-висмут / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **X.X. Назаров** // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и её прикладные аспекты». – Душанбе, 2006. - С. 108-110.

[30-М]. Холов, Н.Ш. Сплавы и соединения системы Ln - Bi ($Ln = Er, Tm, Lu$) /Н.Ш. Холов, **X.X. Назаров**, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и её прикладные аспекты». – Душанбе, 2006. - С. 111-112.

[31-М]. Абулхаев, В.Д. Закономерности, проявлявшиеся в строении диаграмм состояния систем РЗЭ – висмут / В.Д. Абулхаев, Н.Ш. Холов, **X.X. Назаров** // Материалы международной конференции «Современная химическая наука и её прикладные аспекты». – Душанбе, 2006. - С. 113-115.

[32-М]. Холов, Н.Ш. Магнитные и электрофизические свойства сплавов и соединений системы тербий–висмут / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, И.Н. Ганиев // Материалы республиканской научно – практической конференции «Инновация-эффективный фактор связи науки с производством». – Душанбе, 2008. - С. 292-295.

[33-М]. Холов, Н.Ш. Некоторые физические свойства сплавов и соединений системы Gd–Bi./Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы республиканской научно – практической конференции «Инновация – эффективный фактор связи науки с производством».-Душанбе, 2008. - С. 295-299.

[34-М]. Холов, Н.Ш. Магнитные свойства сплавов и соединений системы Pr–Bi / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы научно – теоретической конференции посвященной 17–годовшины независимости РТ, 1150 летию основоположника таджикско – персидской литературы А. Рудаки и году Таджикского языка.– Душанбе, 2008. – Ч.1. - С. 46-47.

[35-М]. Холов, Н.Ш. Диаграмма состояния и некоторые свойства сплавов системы Pr_4Bi_3 - Gd_4Bi_3 / Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы научно-теоретической конференции посвященной 17 – годовшины независимости РТ, 1150 летию основоположника таджикско – персидской литературы А. Рудаки и году Таджикского языка.– Душанбе, 2008.- Ч.1.- С. 49-52.

[36-М]. **Назаров, Х.Х.** Получение и некоторые физические свойства сплавов системы Gd_4Bi_3 - Nd_4Bi_3 / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Д.Т. Исоев, Х.А, Рахимов, Н.Ш. Холов // Материалы Республиканской научно – практической конференции «Прогрессивные методы производства», посвященной 35–летию кафедры «Технология машиностроения металлорежущие станки и инструменты» Прогрессивные методы производства. – Душанбе, 2009. - С. 85-89.

[37-М]. Рахимов, Х.А. Электрофизические свойства сплавов и соединений системы Dy–Bi / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Материалы VI Нумановских чтений. – Душанбе, 2009. - С. 175- 177.

[38-М]. Абулхаев, В.Д. Синтез и концентрационные зависимости электрофизических свойств твердых растворов системы Gd_4Bi_3 - Pr_4Bi_3 / В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, Н.Ш. Холов // Материалы VI Нумановских чтений.– Душанбе, 2009. - С. 178- 180.

[39-М]. Рахимов, Х.А. Электрофизические свойства сплавов и соединений системы гольмий – висмут / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы VI Нумановских чтений. – Душанбе, 2009. - С. 180-182.

[40-М]. Балаев, М.А. Синтез и некоторые свойства сплавов и соединений системы Gd – Sb / М.А. Балаев, В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии».- Душанбе, 2009. – С. 136-138.

[41-М]. Рахимов, Х.А. Физико-химические свойства сплавов и соединений системы Gd - Bi / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, Н.Ш. Холов, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров** // Материалы республиканской научно-практической конференции «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии». – Душанбе, 2009. – С. 165-167.

[42-М]. **Назаров, Х.Х.** Новые магнитные материалы на основе сплавов систем Gd_4Sb_3 – Ln_4Sb_3 ($Ln=Tb, Dy$) / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Х.А. Рахимов, Н.Ш. Холов // Материалы республиканской научно-теоретической конференции молодых учёных Таджикистана, посвященной 1310-летию Имома Аъзама «Чавонон ва илми муосир». – Душанбе, 2010. – С. 180-184.

[43-М]. Абулхаев, В.Д. Получение и некоторые физические свойства сплавов и соединений системы Pr – Bi / В.Д. Абулхаев, Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров**, Х.А. Рахимов // Материалы республиканской научно-теоретической конференции молодых учёных Таджикистана, посвященной 1310-летию Имома Аъзама «Чавонон ва илми муосир». – Душанбе, 2010. – С. 185-188.

[44-М]. **Назаров, Х.Х.** Синтез и концентрационные зависимости некоторых физических свойств твердых растворов Gd_4Bi_3 - Nd_4Bi_3 / Х.Х. Назаров, Х.А. Рахимов, Н.Ш. Холов, В.Д. Абулхаев, Д.Т. Исоев // Материалы республиканской научно-теоретической конференции молодых учёных Таджикистана, посвященной «Года образования и технической культуры». «Чавонон ва илми муосир». – Душанбе, 2010. – С. 274-277.

[45-М]. Холов, Н.Ш. Диаграмма состояния и некоторые физические свойства твердых растворов системы Gd_4Bi_3 - Tb_4Bi_3 / Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров**, Х.А. Рахимов, Д.Т. Исоев, В.Д. Абулхаев // Материалы научно-теоретической областной конференции, посвященной «Году образования и технической культуры». - Курган – Тюбе, 2010. - С. 197-199.

[46-М]. Холов, Н.Ш. Диаграмма состояния, электрофизические и магнитные свойства твердых растворов системы Gd_4Bi_3 - Pr_4Bi_3 / Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров**, Д.Т. Исоев, Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев // Материалы научно-теоретической областной конференции, посвященной «Году образования и технической культуры». – Курган–Тюбе, - 2010. - С. 199-201.

[47-М]. Холов, Н.Ш. Электрофизические и магнитные свойства сплавов и соединений системы Gd – Bi / Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров**, Х.А. Рахимов, Д.Т. Исоев, В.Д. Абулхаев // Материалы республиканской научно-теоретической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры». – Курган–тюбе, 2010. - С. 137-139.

[48-М]. Холов, Н.Ш. Концентрационные зависимости электрофизических и магнитных свойств твердых растворов системы Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3 . ($Ln = Pr, Nd, Tb$). / Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров**, Х.А. Рахимов, Д.Т. Исоев, В.Д. Абулхаев // Материалы республиканской научно-теоретической конференции, посвященной «Году образования и технической культуры». – Курган-Тюбе. - 2010. - С. 139-141.

[49-М]. Убайдов, С.О. Твердые растворы системы Gd_4Sb_3 - Tb_4Bi_3 / С.О. Убайдов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, Х.А. Рахимов, Н.Ш. Холов // Материалы научно-теоретической конференции молодых учёных Таджикистана «Молодеж и современная наука», посвященной 20–летию 16- ой сессии Верховного Совета Республики Таджикистан». – Душанбе, 2012. – С. 320-324.

[50-М]. Рахимов, Х.А. Висмутиды редкоземельных элементов состава) Ln_5Bi_3 ($Ln = Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu$) / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, Н.Ш. Холов // Материалы научно-теоретической конференции молодых учёных Таджикистана «Молодеж и современная наука», посвященной 20–летию

16- ой сессии Верховного Совета Республики Таджикистан». – Душанбе, 2012. – С. 324-327.

[51-М]. **Назаров, X.X.** Твердые растворы на основе антимонидов системы $Gd_4Sb_3-Nd_4Sb_3$ / X.X. Назаров, В.Д. Абулхаев, Д.Т. Исоев // Материалы XIV Международной конференции по термическому анализу и калориметрии в России. - Санкт – Петербург. - 2013. - С. 225-228.

[52-М]. Рахимов, X.A. Физико-химическое взаимодействие системе $Gd_5Bi_3-Er_5Bi_3$ / X.A. Рахимов, В.Д. Абулхаев, Д.Т. Исоев, **X.X. Назаров** // Материалы Республиканской научно-практической коференции. "Наука и использование энергетического потенциала Таджикистана". – Курган-тюбе. - 2013. - С. 235-237.

[53-М]. Рахимов, X.A. Магнетохимические свойства сплавов системы $Gd_5Bi_3-Er_5Bi_3$ / X.A. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **X.X. Назаров**, С.О. Убайдов, Н.Ш. Холов // Материалы Республиканской научной конференции на тему: «Экология и вопросы обучения и воспитания», посвященной 70- летию заведующего кафедрой «Химическая технология и экология» ТГПУ им. С.Айни, доцента Шарипова И.Н. – Душанбе, 2014. - С. 48-50.

[54-М]. Рахимов, X.A. Синтез и электрофизические свойства твердых растворов системы $Gd_5Bi_3-Lu_5Bi_3$ / X.A.Рахимов, В.Д. Абулхаев, **X.X. Назаров**, С.О.Убайдов, Н.Ш. Холов // Материалы Республиканской научной конференции «Экология и вопросы обучения и воспитания», посвященной 70-летию заведующего кафедрой «Химическая технология и экология» ТГПУ им. С.Айни, доцента Шарипова И.Н. – Душанбе, 2014. - С. 50-52.

[55-М]. Рахимов, X.A. Синтез и некоторые физические свойства твёрдых растворов системы $Gd_5Bi_3-Lu_5Bi_3$ /X.A.Рахимов, **X.X. Назаров**, В.Д. Абулхаев, Н.Ш. Холов, Д.Т. Исоев // Материалы Девятая Международная теплофизическая школа. – Душанбе, 2014. - С. 258-262.

[56-М]. Рахимов, X.A. Диаграмма состояния системы $Gd_5Bi_3-Tm_5Bi_3$ / X.A. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **X.X. Назаров**, С.О.Убайдов // Материалы республиканской конференции «Применение современных технических средств в обучении предмета технологии», посвященной 20-летию конституции Республики Таджикистан. – Душанбе, 2015. - С. 184-186.

[57-М]. Рахимов, X.A. Твердые растворы системы $Gd_5Bi_3-Dy_5Bi_3$ / X.A. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **X.X. Назаров**, С.О.Убайдов // Материалы республиканской конференции: «Применение современных технических средств в обучении предмета технологии», посвященной 20–летию конституции Республики Таджикистан. – Душанбе, 2015. - С. 187-190.

[58-М]. Рахимов, X.A. Магнитные свойства твердых растворов системы $Gd_5Bi_3-Er_5Bi_3$ / X.A. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **X.X. Назаров**, С.О.Убайдов // Материалы республиканской конференции «Применение современных технических средств в обучении предмета технологии», посвященной 20–летию конституции Республики Таджикистан.– Душанбе, 2015. - С. 190-193.

[59-М]. Рахимов, X.A. Синтез и кристаллохимические свойства сплавов системы $Gd_5Bi_3-Ho_5Bi_3$ / X.A. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **X.X. Назаров** // Сборник тезисов докладов научной конференции «Актуальные проблемы современной науки, посвященной 70-летию Победы в ВОВ. – Душанбе, 2015. - С. 38-39.

[60-М]. Рахимов, Х.А. Твердые растворы на основе висмутидов гадолиния и лютения состава 5:3 / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Сборник тезисов докладов научной конференции «Актуальные проблемы современной науки, посвященной 70-летию Победы в ВОВ. – Душанбе, 2015. - С. 39-40.

[61-М]. Рахимов, Х.А. Синтез и некоторые физические свойства твердых растворов системы $Gd_5Bi_3-Lu_5Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Материалы XII Нумановских чтений «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Таджикистан», посвященные 55-летию со дня рождения доктора химических наук, профессора, член-корреспондента Академии наук Республики Таджикистан Куканиева М.А. – Душанбе, 2015. - С. 101-103.

[62-М]. Рахимов, Х.А. Кристаллохимические и магнитные свойства сплавов системы $Gd_5Bi_3 - Er_5Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Материалы XII Нумановских чтений «Состояние и перспективы развития органической химии в Республике Таджикистан», посвященные 55-летию со дня рождения доктора химических наук, профессора, член-корреспондента Академии наук Республики Таджикистан Куканиева М.А. – Душанбе, 2015. - С. 103-105.

[63-М]. Рахимов, Х.А. Синтез и некоторые физические свойства твердых растворов системы $Gd_5Bi_3 - Er_5Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров** // Материалы республиканской научно-теоретической конференции ТНУ, посвященной «25-летию государственной Независимости Республики». – Душанбе, 2016. - С. 143-147.

[64-М]. **Назаров, Х.Х.** Концентрационные зависимости некоторых физических свойств сплавов и соединений Dy-Sb / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев // Материалы республиканской научно-практической конференции «Экономические развитие энергетики в Республике Таджикистан», посвященной 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан. – Курган-Тюбе, 2016. - С. 99-101.

[65-М]. **Назаров, Х.Х.** Концентрационные зависимости и некоторых физических свойств твердых растворов на основе антимонидов $Gd_4Sb_3 - Nd_4Sb_3$ / Х.Х. Назаров, В.Д. Абулхаев, Н.Ш. Холов // Материалы республиканской научно-практической конференции «Экономические развитие энергетики в Республике Таджикистан», посвященной 25-летию государственной независимости Республики Таджикистан. – Курган-Тюбе, 2016. - С. 181-186.

[66-М]. Холов Н.Ш. Электрофизические и магнитные свойства сплавов и соединений системы Gd – Bi / Н.Ш. Холов, **Х.Х. Назаров**, Х.А. Рахимов, Д.Т. Исоеев, В.Д. Абулхаев // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. - 2016. - № 2-4 (42). - С. 71-74.

[67-М]. Рахимов, Х.А. Магнитные свойства сплавов системы $Gd_5Bi_3-Tm_5Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, Н.Ш. Холов // Материалы республиканской научно-практической конференции «Молодёж в поисках дружбы», посвященный 20-летию Национального примирения и году Молодёжи в Республики Таджикистан. – Бохтар, 2017. - С. 82-87.

[68-М]. Рахимов, Х.А. Магнетохимические свойства сплавов системы $Gd_5Bi_3 - Dy_5Bi_3$ / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, Н.Ш. Холов // Материалы республиканской научно-практической конференции «Развитие

стабильной энергетики в годы независимости», посвященный празднованию дня энергетиков и 10-летия Института энергетики Таджикистана. – Курган-Тюбе, 2016. - С. 181-186.

[69-М]. Рахимов, Х.А. Диаграмма состояния и магнитные свойства твёрдых растворов системы Gd_5Bi_3 - Tb_5Bi_3 / Х.А. Рахимов, В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назарзода** // Материалы международной научно-практической конференции «Независимость – основа развития энергетики страны», посвященной празднованию «День энергетики». – Бохтар, 2017. – С. 143-147.

[70-М]. Абулхаев, В.Д. Синтез и некоторые физические свойства твердых растворов системы Gd_5Sb_3 - Nd_5Bi_3 / В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назарзода**, С.О. Убайдов, Х.А. Рахимов // Сборник материалов международной научно-практической конференции «Перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан» посвященной «Дню химика» и 70-летию доктора химических наук, профессора академика АН Республики Таджикистан Ганиева И.Н. – Душанбе, 2017. – С. 54-55.

[71-М]. Абулхаев, В.Д. Диаграмма состояния систем Gd_4Bi_3 - Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nb, Gd, Tb, Dy$) / В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назарзода**, М.А. Балаев, Х.А. Рахимов // Материалы Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие водно – энергетического консорциума средней азии–главный путь достижения энергетической независимости Республики Таджикистан». – Кушониён, 2018. – С. 124-127.

[72-М]. Абулхаев, В.Д. Электрофизические свойства антиманидов Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nb, Gd, Tb, Dy, Yb$) и висмутита Gd_4Bi_3 / В.Д. Абулхаев, М.А. Балаев, **Х.Х. Назарзода**, Х.А. Рахимов // Материалы Международной научно – практической конференции «Устойчивое развитие водно–энергетического консорциума средней азии – главный путь достижения энергетической независимости Республики Таджикистан». – Кушониён, 2018. – С. 128-131.

[73-М]. **Назарзода, Х.Х.** Электрофизические свойства сплавов и соединений системы $Tb-Sb$ / Х.Х. Назарзода, В.Д. Абулхаев, Х.А. Рахимов, М.А. Балаев // Материалы Международной научно-практической конференции «Развитие гидроэнергетики–развитие Таджикистана». – Кушониён, 2018. – С. 174-177.

[74-М]. Абулхаев, В.Д. Синтез и физико-химические свойства сплавов и соединений системы иттербий–сурьма / В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назарзода**, Х.А. Рахимов, М.А. Балаев // Материалы Международной научно-практической конференции «Ускоренная индустриализация – основной фактор развития Таджикистана». – Кушониён, 2019. – С. 11-12.

Ихтироот:

[75-М]. Абулхаев, В.Д. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 352. Твердые растворы на основе антимонида гадолиния и висмутита неодима / В.Д. Абулхаев, И.Н. Ганиев, **Х.Х. Назаров**, С.О. Убайдов // Заявление № 1000446, дата подачи заявления 12.04.2010 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 30.06.2010 г.

[76-М]. Абулхаев, В.Д. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 377. Твердые растворы на основе антимонида гадолиния и висмутита празеодима / В.Д. Абулхаев, **Х.Х. Назаров**, С.О. Убайдов // Заявление № 1000494, дата подачи

заявления 15.07.2010 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 02.09.2010 г.

[77-М]. Абулхаев, В.Д. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 671. Твердые растворы на основе висмутида гадолиния и висмутида тербия / В.Д. Абулхаев, X.A. Рахимов, **Х.Х. Назаров** // Заявление № 1400898 дата подачи заявления 20.06.2014 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 18.02.2015 г.

[78-М]. Абулхаев, В.Д. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 788. Твердые растворы на основе висмутидов Gd_5Bi_3 - Ho_5Bi_3 / В.Д. Абулхаев, X.A. Рахимов, **Х.Х. Назаров** // Заявление № 1601036 дата подачи заявления 04.05.2016 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 20.09.2016 г.

[79-М]. Абулхаев, В.Д. Малый патент Республики Таджикистан №ТJ 854. Твердые растворы на основе висмутидов Gd_5Bi_3 - Dy_5Bi_3 / В.Д. Абулхаев, X.A. Рахимов, **Х.Х. Назаров** // Заявление № 1701098 дата подачи заявления 09.03.2017 г. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 02.11.2017 г.

АННОТАЦИЯ

диссертацияи Назарзода Хайрулло Холназар дар мавзӯи «Маҳлулҳои саҳти антимонидҳо ва висмутидҳои элементҳои нодирзаминий», барои дарёфти дараҷаи илмии доктори илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси 05.02.01 – Маводшиносӣ (дар электротехника)

Калимаҳои калидӣ: синтез, таҳлилҳои ҳароратӣ, рентгенофазавӣ, микроструктуравӣ, муқовимати хоси электрикӣ, гармо-қ.э.ҳ, ҳассосияти магнитӣ, элементҳои нодирзаминий, сурма, висмут, маҳлулҳои саҳт, зичии пикнометрӣ.

Мавод ва усулҳои таҳқиқот, дастгоҳҳои истифодашуда. Антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳти ҳосилшуда бо усулҳои ТДҲ, ТРФ ва ТМС дар дастгоҳҳои ВДТА- 8МЗ, «ДРОН – 2» ва ПМТ-3, санчида шуданд. Санчиши муқовимати хоси электрикӣ ва гармо-қ.э.ҳ.-и антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳт дар дастгоҳи конструктории ихтироънамуда (муаллифи) ва таҳқиқоти молярии ҳассосияти магнитӣ дар дастгоҳе, ки бо усули раққосаки мизонӣ кор мекунанд, анҷом дода шудааст.

Мақсади таҳқиқот: соҳтани диаграммаҳои ҳолати системаҳои $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) и $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$); муайян намудани шароитҳои оптималии синтези маҳлулҳои саҳт, инчунин ҳӯлаҳои системаи $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$); бадастории маводе, ки нисбат ба антимонидҳои Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$) ва висмутидҳои Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb$) ва Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$), ҳосиятҳои бештари магнитӣ зоҳир менамоянд.

Натиҷаҳои таҳқиқот ва навғониҳои он. Усулҳои синтези антимонидҳо, висмутидҳо ва маҳлулҳои саҳт таҳия карда шуданд. Қонуниятҳо дар соҳти диаграммаҳои ҳолате, ки дар онҳо маҳлулҳои саҳти ҷойивазкунанда ҳосил мешаванд, ошкор карда шуданд. Муайян карда шудааст, ки маҳлулҳои саҳт ва ҳӯлаҳои системаи $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) гузаронандагии металлиро нишон медиҳанд. Тартиби магнитӣ ҳам дар ЭНЗ ва ҳам дар антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт ва ҳӯлаҳои системаи $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) дар зери таъсири мутақобилаи мубодилаи ғайримустақим тавассути электронҳои гузаронанда муқаррар карда шуданд.

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо:

- антимонидҳо, висмутидҳо, маҳлулҳои саҳт, ҳӯлаҳо ва пайвастагиҳои системаи $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) метавонанд дар техникии электронӣ ҳангоми соҳтани термоэлементҳо ва резисторҳо, инчунин ба сифати иловахо дар пайвастагиҳои $AlSb$, $GaSb$, $InSb$ ва маводи магнитӣ барои баланд бардоштани индуксияи магнитӣ истифода шаванд;
- маводи рисолаи диссертациониро дар раванди таълим ҳангоми хондани машгулиятҳои маърӯзавӣ оиди фанҳои кимиёи физикӣ, ғайриорганикӣ, таҳлили физикавӣ-кимиёвӣ ва маводшиносӣ истифода бурдан мумкин аст.

Соҳаи истифодабарӣ: саноати электротехникӣ.

АННОТАЦИЯ

**диссертации Назарзода Хайрулло Холназара «Твердые растворы антимонидов и висмутидов редкоземельных элементов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
05.02.01 – Материаловедение (в электротехнике)**

Ключевые слова: синтез, термический, рентгенофазовый, микроструктурный анализ, удельное электросопротивление, термо-Э.д.с., магнитная восприимчивость, редкоземельные элементы, сурьма, висмут, твердые растворы, пикнометрическая плотность.

Объекты и методы исследования, использованная аппаратура.

Синтезированные антимониды, висмутиды и твердые растворы исследовали методами ДТА, РФА и МСА на установках ВДТА- 8М3, «ДРОН – 2» и на приборе ПМТ-3. Исследования удельного электросопротивления и термо-Э.д.с. антимонидов, висмутидов и твердых растворов проводили на установке авторской конструкции, а исследования молярной магнитной восприимчивости на установке, работающей по принципу маятниковых весов.

Цель работы: построение диаграмм состояния систем $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) и $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$); выявление оптимальных условий синтеза твердых растворов, а также сплавов систем $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$); разработка материалов, проявляющих повышенные магнитные свойства, относительно антимонидов Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$) и висмутидов Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb$) и Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$).

Полученные результаты и их новизна. Разработаны методы синтеза, антимонидов, висмутидов и твердых растворов. Выявлены закономерности в строении диаграмм состояния, проявляющихся в образовании в них твердых растворов замещения. Установлено, что твердые растворы и сплавы системы $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) проявляют металлическую проводимость. Магнитный порядок как в РЗЭ, так и в антимонидах, висмутидах, твердых растворах и в сплавах систем $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) устанавливается под действием косвенного обменного взаимодействия через электроны проводимости.

Рекомендации по практическому использованию результатов:

- антимониды, висмутиды, твердые растворы, сплавы и соединения систем $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$), могут представить интерес для электронной техники при создании термоэлементов и резисторов; в качестве добавок в соединения $AlSb$, $GaSb$, $InSb$ и в магнитные материалы для повышения магнитной индукции;
- материалы диссертационной работы могут использоваться и в учебном процессе при чтении лекций по физической, неорганической химии, физико-химическому анализу и материаловедению.

Область применения: электротехническая промышленность.

ANNOTATION

dissertation of Nazarzoda Khairullo Kholnazar «Solid solutions of antimonides and bismuthides of rare earth elements», presented for a scientific degree of doctor technical science on specialty 05.02.01 Materials science (in electrotechnics)

Key words: synthesis, thermic, X-ray phase, microstructural analysis, specific electrical resistance, thermal e.m.f., magnetic susceptibility, rare earth elements, antimony, bismuth, solid solutions, pycnometric density.

Objects and methods of researches, the used equipment.

The synthesized antimonides, bismuthides and solid solutions researched by methods of DTA, XPA and MSA on installations of ВДТА- 8М3, «ДРОН – 2» and on the device ПМТ-3. Researches of specific electrical resistance and thermal e.m.f. with antimonides, bismuthides and solid solutions conducted on devise of invented (author's) construction and researches of molar magnetic susceptibility on the installation working by the principle of pendular scales.

Work objective: creation a diagram on systems condition $Gd_4Sb_3 - Ln_4Sb_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$), $Tb_4Sb_3 - Dy_4Sb_3$, $Gd_4Bi_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb$), $Gd_4Sb_3 - Ln_4Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd, Tb, Yb$), $Gd_5Sb_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Pr, Nd$) и $Gd_5Bi_3 - Ln_5Bi_3$ ($Ln = Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$); detection of optimal conditions of synthesis of solid solutions and also alloys of systems $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$); working out of materials, showing the increased magnetic properties, relatively antimonides Ln_4Sb_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Yb$) and bismuthides Ln_4Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb$) и Ln_5Bi_3 ($Ln = Pr, Nd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu$).

The received results and their novelty. Developed methods of synthesis, antimonides, bismuthides and solid solutions. Revealed patterns in the structure of the diagram conditions show in a formation of it solid solutions substitution. It is determined that solid solutions and alloys of a system $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) showing metal conductivity. Magnetic sequence as in REE, such and in antimonides, bismuthides, solid solutions and in alloys of systems $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$) determines under the influence of an indirect exchange interaction through conduction electrons.

Recommendations about practical use of results:

- antimonides, bismuthides, solid solutions alloys and connections of systems $Ln - Bi$ ($Ln = Pr, Nd, Gd, Tb$), can be of interest to electronic technique during creation of thermoelements and resistors; as additives in connections AlSb, GaSb, InSb and in magnetic materials for increase in magnetic induction;
- materials of dissertation work can be used also in educational process when lecturing on physical, inorganic chemistry, to the physical and chemical analysis and materials science.

Field of use: electrotechnical industry.

Разрешено в печать 25.01.2021 г., подписано в печать 01.02.2021 г.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура литературная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,0. Тираж 100 экз.
