

УДК 541.48/.486; 544.31.031: 546.65

ВИСМУТ – АНАЛОГИЯ, ТЕРМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕГО СПЛАВОВ С ЛАНТАНИДАМИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ

С.К. Насриддинов, Г.К. Рузматова, А. Бадалов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Рассмотрена аналогия в свойствах сурьмы, висмута и свинца. Проведён системный анализ важной прикладной характеристики – температуры плавления интерметаллических соединений сплавов систем висмут (Bi)- лантаниды (Ln) полуэмпирическим методом, который учитывает особенности электронного строения лантанидов. Определены и/или уточнены температуры плавления интерметаллидов составов Bi_3Ln_5 , BiLn и Bi_3Ln_4 . Установлено, что закономерности изменения температуры плавления интерметаллидов в зависимости от природы лантанидов и от состава сплавов имеют сложный характер с проявлением «тетрад-эффект»-а. Составлены математические модели закономерностей.

Ключевые слова: аналогия, сплавы висмута с добавками лантанидов, температура плавления, закономерности изменения, природа лантанидов.

ВИСМУТ – АНОЛОГИЯ, ХОСИЯТҲОИ ТЕРМИКИИ ХУЛАҶО ОН БО ЛАНТАНИДҶО ВА ҚОНУНИЯТҲОИ ТАҒИЙРӢИ ОНҶО

С.Қ. Насриддинов, Г.К. Рузматова, А.Бадалов

Монандӣ дар хусусиятҳои сурма, висмут ва сурб баррасӣ гардид. Таҳлили мунтазами тавсироти муҳими амалӣ – ҳарорати ғудозиши пайвастагиҳои интерметаллии системаи висмут- лантанид бо усули нимэмпирикӣ анҷом дода шуд, бо назардошти сохтори электронии лантанидҳо. Ҳароратҳои ғудозиши интерметаллидҳои зерин Bi_3Ln_5 , BiLn ва Bi_3Ln_4 муайян ва ё дақиқ карда шуданд. Қонуниятҳои тағйирёбии ҳарорати ғудозиши интерметаллидҳо вобаста аз табиати лантанидҳо ва таркиби хулаҳо характери мураккаб дошта, бо зухуроти тетрад - эффекти зоҳир мегарданд. Моделҳои математикӣ ба қонуниятҳо тартиб дода шуданд.

Калидвожаҳо: аналогия, хулаҳои висмут бо иловаҳои лантанидҳо, ҳарорати ғудозиши, қонуниятҳои тағйирёбии, табиати лантанидҳо.

BISMUTH - ANALOGY, THERMAL CHARACTERISTICS OF ITS ALLOYS WITH LANTHANIDES AND REGULARITIES OF THEIR CHANGES

S.K. Nasriddinov., G.K. Ruzmatova., A. Badalov

The analogy in the properties of antimony, bismuth and lead is considered. A system analysis of an important applied characteristic – the melting point of intermetallic compounds of bismuth (Bi) – lanthanide (Ln) alloys – is carried out using a semi-empirical method that takes into account the features of the electron structure of lanthanides. The melting points of intermetallic compounds of the Bi_3Ln_5 , BiLn and Bi_3Ln_4 compositions are determined and/or refined. It is established that the patterns of change in the melting point of intermetallic compounds depending on the nature of lanthanides and the composition of alloys are complex with the manifestation of the “tetrad effect”. Mathematical models of the patterns are compiled.

Keywords: analogy, bismuth alloys with lanthanide additives, melting point, patterns of change, nature of lanthanides.

Введение

Химические элементы - сурьма, висмут и свинец в Таблице химических элементов расположены рядом и во многом проявляют аналогию в физико-химических свойствах. Долгое время висмут воспринимали как разновидность свинца, олова и сурьмы [1]. Аналогия характеристик сурьмы и висмута также проявляется в структурной аномалии, наряду с водой и галлием, заключающейся в том, что у них плотность жидкой фазы больше, чем твёрдой. Установлено, что в результате перехода висмута из жидкого в твёрдое состояние, его удельный объём увеличивается на 3.32 % при температуре плавления 544 К, а у воды структурная аномалия наблюдается при +277 К и объём возрастает на 9 % [1-3]. Исследователями Института физики Казанского федерального университета показано, что «...атомы этих металлов вблизи температуры плавления в расплаве могут образовывать связанные структуры в виде компактных кластеров или протяжённых цепочек» [2], которые возможно приводят к структурной аномалии. Согласно другой теории аномалия наблюдается так, как в твёрдом висмуте наличие ковалентно - металлической связи препятствует образованию более плотной упаковки атомов в кристаллической решётке, которая разрушается при переходе в жидкую фазу с проявлением только металлической связи между атомами.

Вместе с тем свинец ($^{207,282}\text{Pb}$) является устойчивым продуктом радиоактивного распада многих радиоактивных элементов, а висмут - ($^{208,98}\text{Bi}$) открывает порог тяжёлых радиоактивных элементов (α -распад) [1-2].

Висмут относится к категории редких металлов и содержание его в земной коре оценивается в пределах $9 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-5} \%$ масс. [1-4]. Висмут и его сплавы проявляют важные прикладные свойства и поэтому находят широкое применение во многих областях промышленности: почти 46% производимого висмута используется для получения легкоплавких сплавов – для изготовления клише с деревянных матриц, в протезировании зубов, напайке колпаков на броневые снаряды, для спайки металла со стеклом, в автоматических системах

пожаротушения. Сплав состава BiMn применяется для изготовления мощных постоянных магнитов. Сплав системы Hg-Bi-In является основой для получения стабильных и надёжных элементов питания, используемых в космической и военной технике (из висмута получают изотоп ^{210}Po , который используется как источник на космических станциях и кораблях). Сплавы висмута используются в производстве люминофоров, сегнетоэлектрических, акустооптических, сверхпроводниковых, фотонных, лазерных и других материалов [3-5].

В последнее время проводятся интенсивные исследования по разработке высокотемпературных термоэмиссионных генераторов, преобразующих тепловую энергию в электрическую [6-8]. Особое значение приобретают эти исследования в области высокотемпературных теплоносителей в реакторах на быстрых нейтронах, как материалы для контура охлаждения бланкета термоядерных реакторов [9-12]. В этом аспекте сплавы висмута и его аналогов – сурьма и свинец с добавками редкоземельных металлов, в частности лантанидов, проявляют наряду с высокой термической устойчивостью и термоэмиссионные способности [13-14].

Методы и результаты исследования

В настоящей работе приведены результаты исследования важной характеристики - температуры плавления сплавов висмута с лантанидами (Ln) и её зависимость от природы лантанидов и от состава сплава.

Сведения по диаграммам состояния систем висмут (Bi) – лантаниды (Ln) обобщены в фундаментальном справочнике [15] и об их характеристиках в работе [16]. Установлено, что в системах висмут (Bi) – лантаниды (Ln) образуются интерметаллические соединения составов Bi_2Ln , Bi_4Ln_5 , Bi_3Ln_5 , $\text{Bi}_{10}\text{Ln}_{11}$, BiLn , Bi_3Ln_4 и BiLn_2 . Анализ литературных сведений показывает, что диаграмма состояния систем Bi-Ln относительно подробно изучена для лантанидов цериевой подгруппы (за исключением Bi-Eu), частично изучены системы Bi-Gd, Bi-Dy и отсутствуют сведения для иттриевой подгруппы (кроме Bi-Yb).

Анализ имеющихся сведений по температуре плавления интерметаллидов (ИМ) систем висмут – лантаниды показывает, что относительно подробно изучены и получены взаимосогласованные значения для составов Bi_3Ln_5 , BiLn и Bi_3Ln_4 , особенно для ИМ цериевой подгруппы. Поэтому эти системы стали объектами исследования настоящей работы. Для ИМ иттриевой подгруппы эти сведения изучены недостаточно и носят отрывочный характер. Поэтому невозможно установить закономерности в изменениях температуры плавления ИМ в зависимости от природы лантанидов в пределах всей группы.

С целью определения и/или уточнения температуры плавления интерметаллидов (ИМ) составов Bi_3Ln_5 , BiLn и Bi_3Ln_4 и получения наиболее полных сведений нами применён полуэмпирический метод, разработанный авторами работ [17-18].

Использовано корреляционное уравнение

$$T_{\text{пл. Bi}(x)\text{Ln}(y)} = A_{\text{Bi}(x)\text{La}(y)} + \alpha N_f + \beta S + \gamma' S_{(\text{Ce} - \text{Eu})} (\gamma'' L_{(\text{Tb} - \text{Yb})}) \quad (1)$$

ПО значениям коэффициентов уравнения (1) возможно учитывать влияние: α – $4f$ – электронов, β - и γ – спиновых (S) – и орбитальных (L) – моментов движения атомов и ионов лантанидов на температуру плавления ($T_{\text{пл.}}$) ИМ. Коэффициент γ' - относится к лантанидам цериевой подгруппы, γ'' – к металлам иттриевой подгруппы. Метод показал свою правомочность для аналогичных металлических систем с участием лантанидов [19-22].

Значения коэффициентов уравнения (1) по определению температуры плавления ИМ систем Bi-Ln составов Bi_3Ln_5 , BiLn и Bi_3Ln_4 приведены в таблице 1.

Таблица 1 –Значения коэффициентов уравнения (1) по определению температуры плавления ИМ систем Bi-Ln

ИМ	Параметр	α	β	γ'	γ''
BiLn	$T_{\text{пл.}}, \text{K}$	17,99	74,02	-12,39	-8,74
Bi_3Ln_4	$T_{\text{пл.}}, \text{K}$	-1,65	-39,55	27,50	-42,35
Bi_3Ln_5	$T_{\text{пл.}}, \text{K}$	-7,14	-25,71	-10,82	12,72

Из данных таблицы 1 можно отметить, что на величину температуры плавления ИМ существенное влияние оказывают для состава BiLn коэффициенты α и β , для составов Bi_3Ln_4 и Bi_3Ln_5 – β , γ' и γ'' .

Определённые и/или уточнённые, также литературные значения температуры плавления ИМ систем Bi-Ln обобщены и приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения температуры плавления изученных интерметаллидов систем
Bi – Ln: P-1 – расчётные, литература – источник: [15-16].

Состав	Подгруппа Ln		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	
BiLn	Цериевая		P-1	1888	1923	1954	1997	2052	2119	2000
	Литература		[15]	1888	1903	-	2073	-	2090	-
			[16]	1800 1943	1798	2083	2223	-	2090	-
	Иттри- евая	Ln	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
		P-1	2273	2246	2209	2182	2163	2152	1792*	2140*
	Литера тура	[15]	2273	-	2323	2045	773	-	-	2140*
		[16]	2300	2193	2173 2323	2193	2133	2153	-	2103 2323
Bi ₃ Ln ₄	Подгруппа Ln		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	
	Цериевая		P-1	1943	2003	2036	2042	2021	1972	1750*
	Литература		[15]	1943	2013	-	2023	-	1970	723
			[16]	1883	1903	1918	2023	-	1970	-
	Иттри- евая	Ln	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
		P-1	1793	1683	1616	1592	1610	1670	1650*	1920*
	Литера тура	[15]	1793	-	-	-	-	-	1773	-
[16]		1803	1848	-	-	-	-	1773	-	
Bi ₃ Ln ₅	Подгруппа Ln		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	
	Цериевая		P-1	1790*	1730	1689	1658	1638	1629	1450*
	Литература		[15]	1623	1673	-	1473	-	1878	623
			[16]	-	-	1643	1493	-	1878	-
	Иттри- евая	Ln	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
		P-1	1650*	1687	1718	1736	1742	1735	1250*	1690*
	Литера тура	[15]	1548	-	1788	-	1098	-	1673	-
[16]		1579	1743	1720	1693	1700	1783	1673	1723	

Из данных таблицы 2 видно хорошее совпадение расчётных и литературных значений температуры плавления ИМ с расхождением в пределах 50 - 150 градусов, которые составляют $\pm (5\div 8) \%$. Существенное расхождение данных наблюдается для ИМ состава Bi₃Ln₅, мало исследованных ИМ систем висмут - лантаниды цериевой подгруппы, и для ИМ BiEr, обусловленное трудностью получения соответствующей степени чистоты лантанидов.

Обсуждение результатов

Таким образом, на основе полученных сведений по температуре плавления ИМ составов BiLn, Bi₃Ln₄ и Bi₃Ln₅ установлены закономерности её изменения в зависимости от природы лантанидов и от состава в пределах всей группы лантанидов. Характерные особенности установленных закономерностей наглядно отражены на рисунках 1–3. Общей характерной особенностью кривых заключается в проявлении «тетрад-эффект»-а и их чёткого разделения по подгруппам лантанидов. Отклонение от общей закономерности для ИМ европия (№63) и иттербия (№70) обусловлено их электронным строением - частичным или полным заполнением 4f – орбиталей электронами.

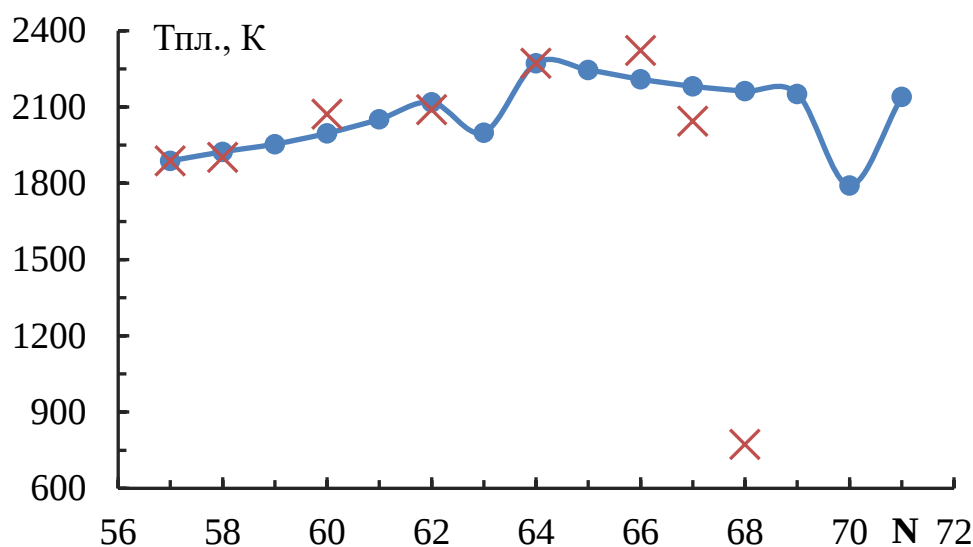


Рисунок 1- Кривая закономерности изменения температуры плавления ИМ состава BiLn в зависимости от природы лантанидов:

● — Расчёт, X — литература.

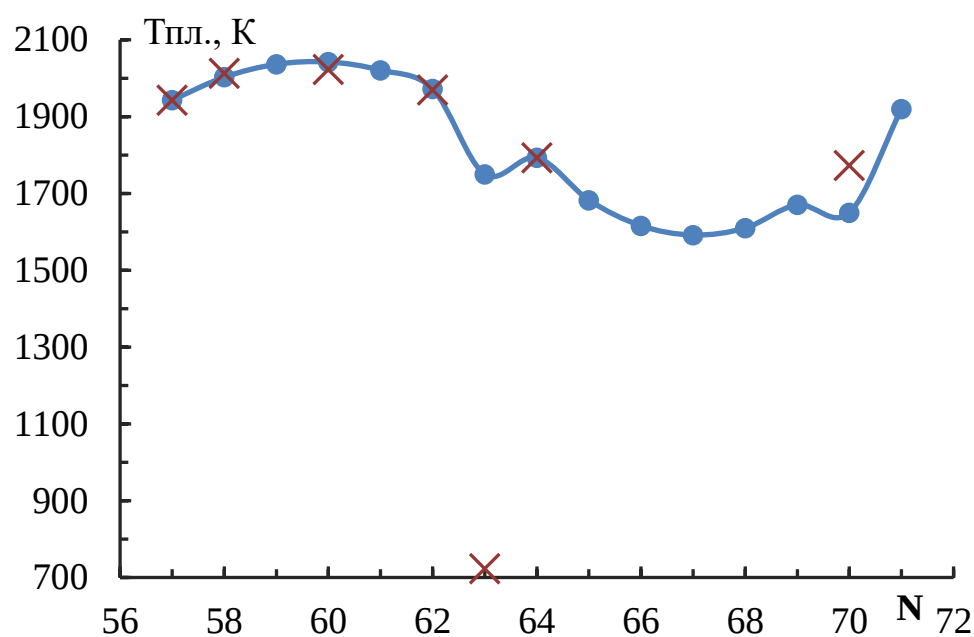


Рисунок 2 - Кривая закономерности изменения температуры плавления ИМ состава Bi₃Ln₄ в зависимости от природы лантанидов:

● — Расчёт, X — литература.

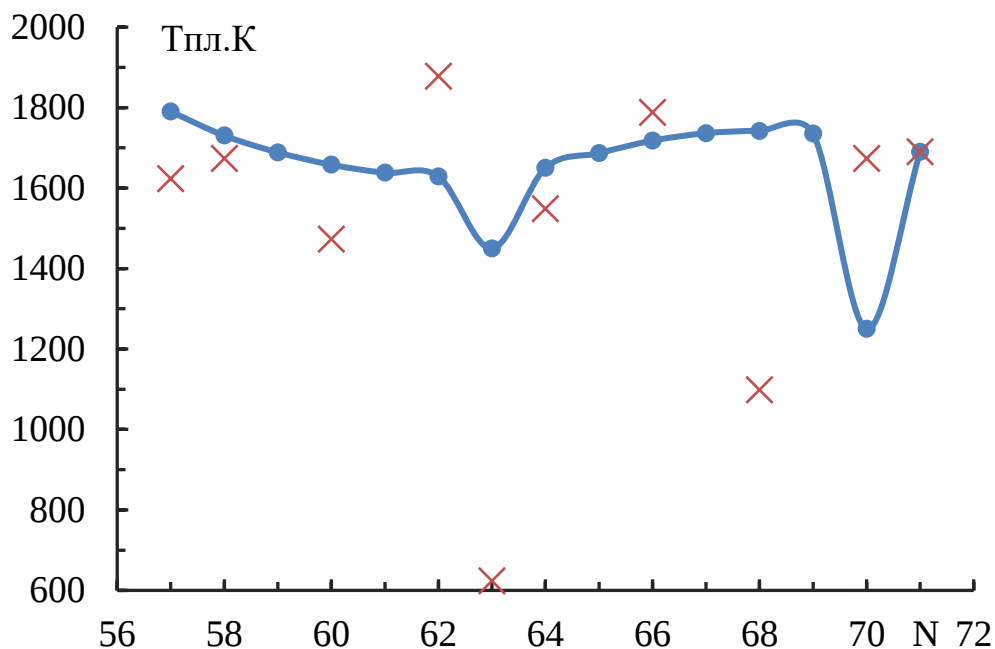


Рисунок 3 — График закономерности изменения температуры плавления ИМ состава Bi_3Ln_5 в зависимости от природы лантанидов: ●—Расчёт, X— литература.

Данные таблицы 2 позволяют установить закономерности изменения температура плавления изученных ИМ систем Bi-Ln в зависимости от состава сплавов. На рисунках 4 и 5 наглядно изображены характерные особенности этих закономерностей для соответствующих подгрупп лантанидов.

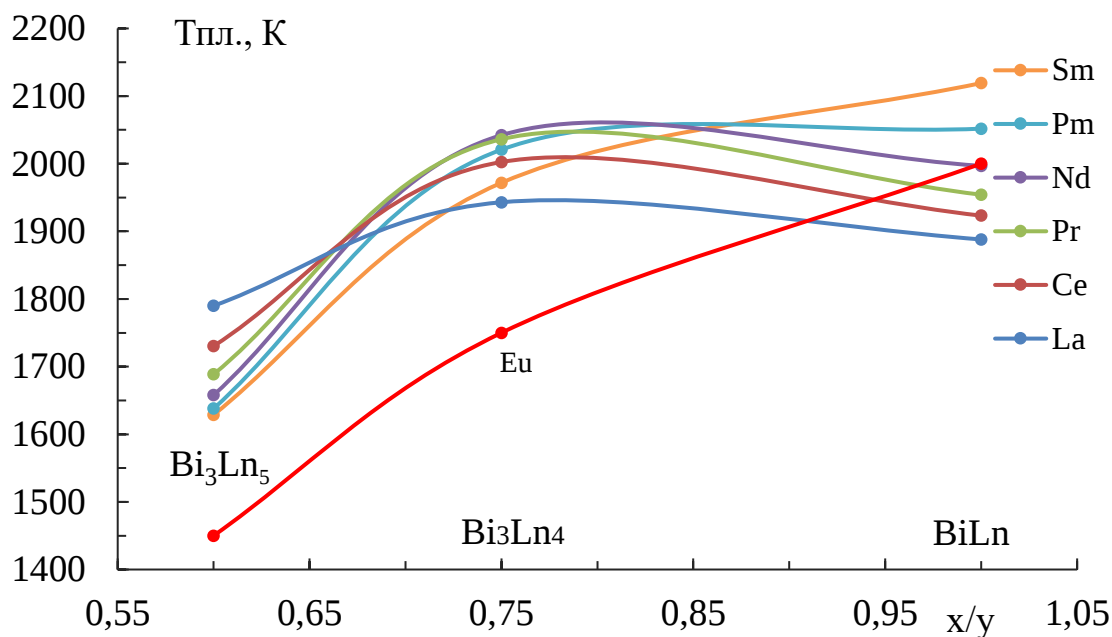


Рисунок 4 — Графики закономерности изменения температуры плавления в зависимости от состава для ИМ систем Bi-Ln (лантаниды цериевой подгруппы).

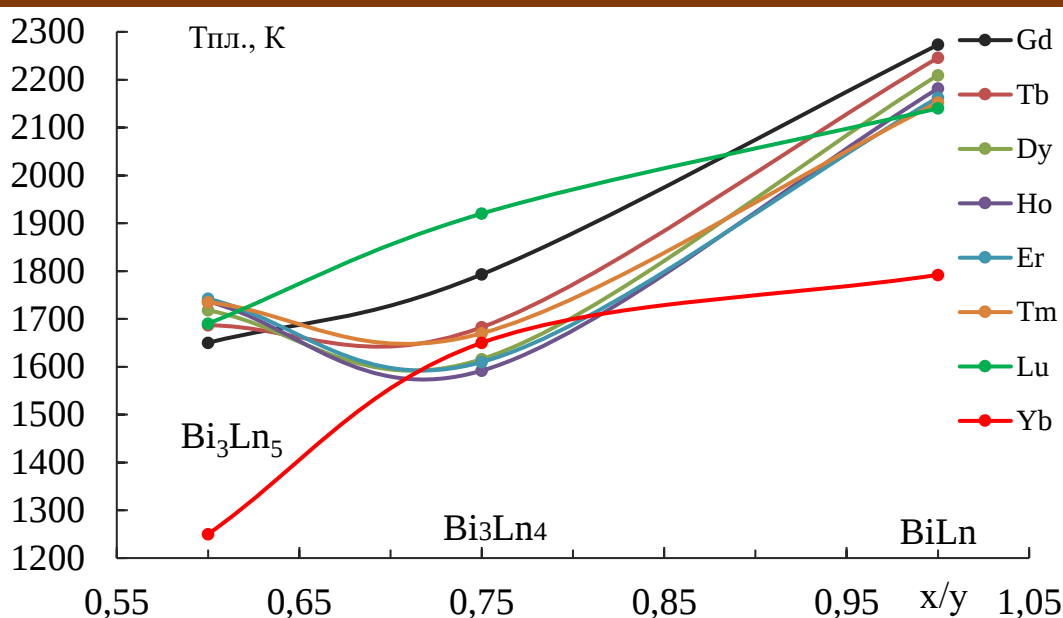


Рисунок 5 — Графики закономерности изменения температуры плавления в зависимости от состава для ИМ систем Bi-Ln (лантаниды иттриевой подгруппы).

Из рисунков 4,5 видно следующие характерные особенности:

- в целом, с ростом концентрации легирующей добавки лантанида в ряду $\text{Bi}_3\text{Ln}_5 \rightarrow \text{Bi}_3\text{Ln}_4 \rightarrow \text{BiLn}$ повышается температура плавления ИМ при разнохарактерности этих изменений в подгруппах лантанидов;
- для ИМ цериевой подгруппы при переходе $\text{Bi}_3\text{Ln}_5 \rightarrow \text{Bi}_3\text{Ln}_4$ наблюдается резкое повышение температуры плавления, которое замедляется при переходе $\text{Bi}_3\text{Ln}_4 \rightarrow \text{BiLn}$;
- для ИМ иттриевой подгруппы при переходе $\text{Bi}_3\text{Ln}_5 \rightarrow \text{Bi}_3\text{Ln}_4$ наблюдается резкое понижение температуры плавления, а при переходе $\text{Bi}_3\text{Ln}_4 \rightarrow \text{BiLn}$ происходит повышение данной характеристики ИМ;
- ИМ европия и иттербия отклоняются от установленных закономерностей, которые обусловлены их электронным строением.

Моделированием по стандартной программе MICROSOFT EXCEL получены уравнения (таблица 3), которые с высокой степенью достоверности выражают установленные закономерности изменения термохимических характеристик изученных ИМ систем Bi-Ln от природы лантанидов по их подгруппам. При расчётах не учтены данные для ИМ с участием европия и иттербия.

Таблица 3. Уравнения закономерности изменения термических свойств ИМ систем Bi — Ln от природы лантанидов: (а) — цериевой, (б) — иттриевой подгруппы

Состав	Свойство	Вид уравнений		Вид тренда	R ²
BiLn	Т _{пл}	а	$y = 45,172x - 698,77$	Линейная	0,976
		б	$y = 2,8143x^2 - 399,44x + 16313$	Полином.	0,996
Bi ₃ Ln ₄	Т _{пл}	а	$y = -13,604x^2 + 1624,7x - 46466$	Полином.	0,999
		б	$y = 21,315x^2 - 2859,4x + 97486$	Полином.	1,000
Bi ₃ Ln ₅	Т _{пл}	а	$y = 6,048x^2 - 751,56x + 24977$	Полином.	0,999
		б	$y = -5,7456x^2 + 781,56x - 24837$	Полином.	0,998

Характерные особенности изменения закономерности в изменениях рассмотренных характеристик ИМ систем Bi-Ln в пределах лантанидных подгрупп наглядно показаны на рисунках 6 – 3.35.

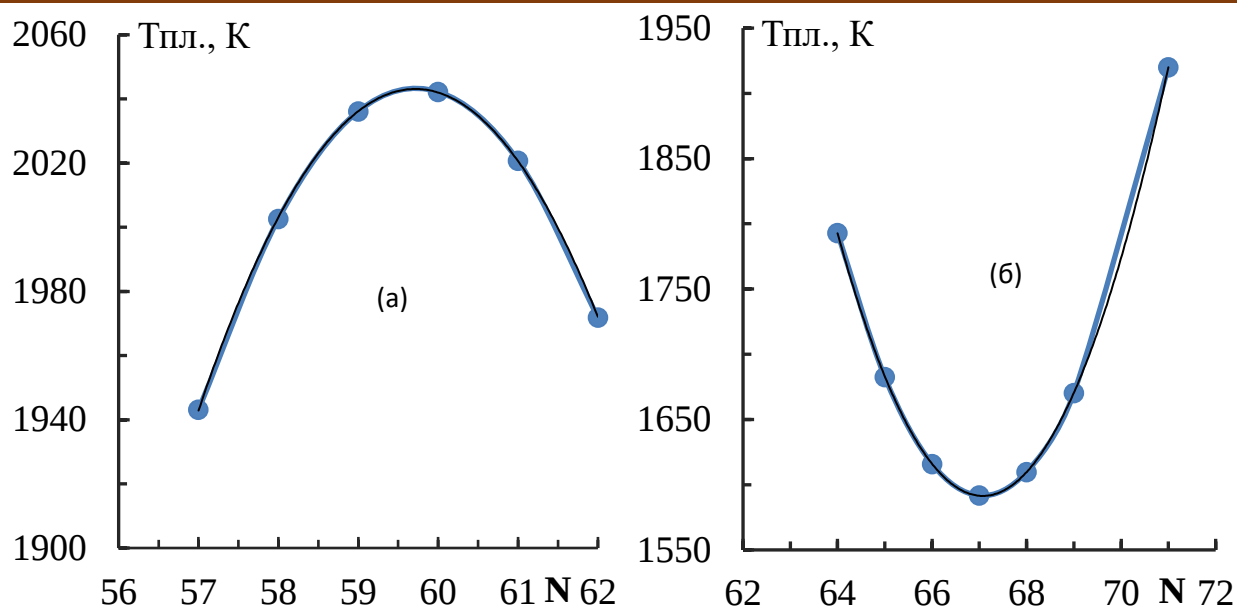


Рисунок 6 — Кривые закономерности изменения температуры и энтальпии плавления ИМ состава Vi_3Ln_4 от природы лантанидов цериевой (а) и иттриевой (б): N — порядковый номер лантанидов, (P-1), — линия тренда.

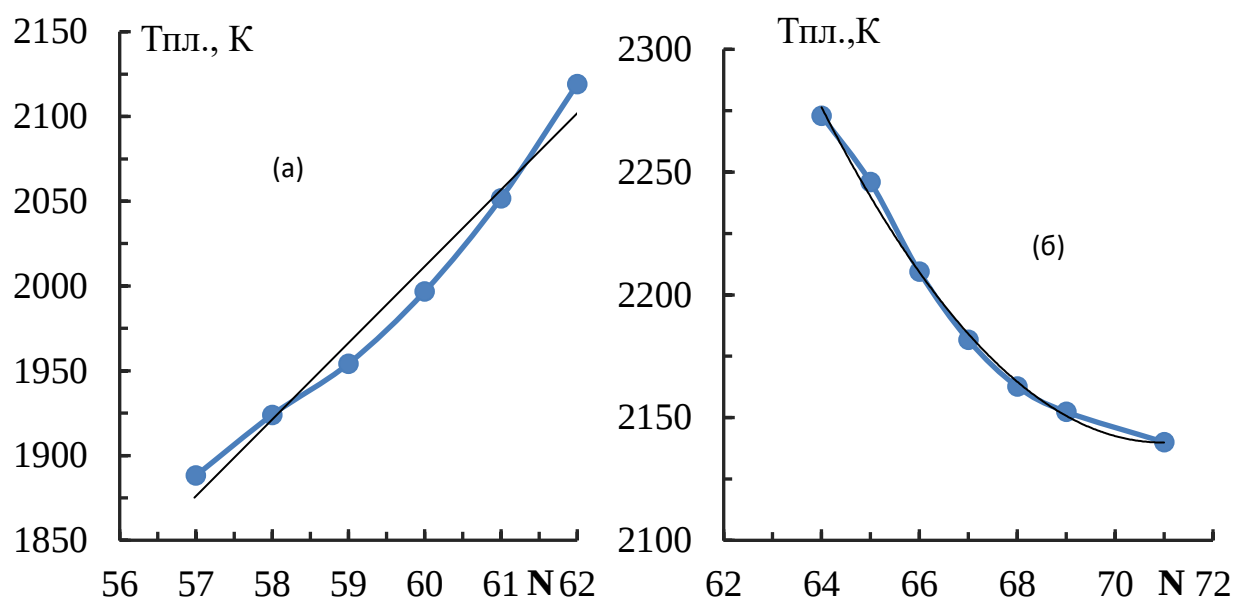


Рисунок 7 — Кривые закономерности изменения температуры и энтальпии плавления ИМ состава $ViLn$ от природы лантанидов цериевой (а) и иттриевой (б): N — порядковый номер лантанидов, (P-1) — линия тренда.

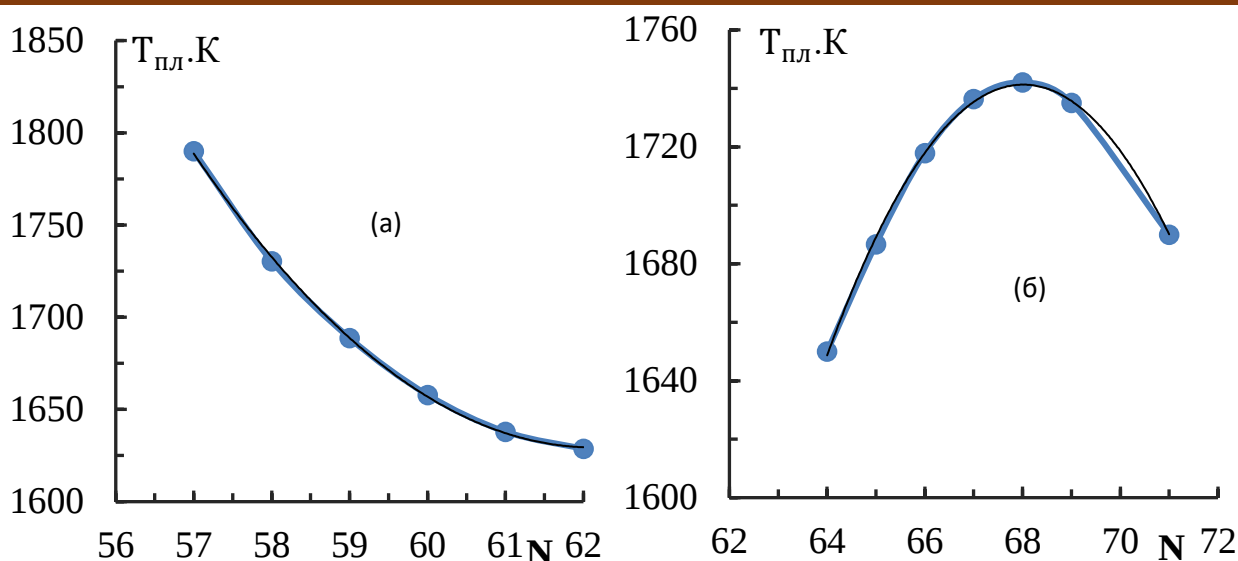


Рисунок 8 — Кривые закономерности изменения температуры и энтальпии плавления ИМ состава Bi_3Ln_5 от природы лантанидов цериевой (а) и иттриевой (б): N — порядковый номер лантанидов, (P-1), — линия тренда.

Заключение

Полученные сведения о термических характеристиках интерметаллидов помогут внести поправки и уточнить диаграммы состояния исследованных систем висмута с участием лантанидов. Полученные сведения имеют фундаментальный характер, которые пополняют банк термических характеристик металлических систем новыми данными и будут способствовать более широкому применению этих сплавов. Установленные закономерности изменения температуры плавления ИМ систем Bi-Ln от природы лантанидов позволяют, исходя из условий эксплуатации, подобрать соответствующий лантанид и состав сплава, что важно для наукоёмких отраслей промышленности.

Рецензент: Саидов С. — к.т.н., доцент кафедры «Органическая химия» ПНУ

Литература

1. Гумбрис Е.Г. Актуальность получения и исследование висмутосодержащих комплексов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2009. №2 (72). С. 95-97.
2. Mokshin A. V. Galimzyanov B.N. Barrat L. Extension of Classical Nucleation Theory for Uniformly Sheared Systems Phys. Rev. E-2013. – V.87. – P.062307(1) – 062307(5).
3. Угай Я.А. Общая и неорганическая химия: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк.; 2004. -527 с.: ил.
4. Кренёв В.А., Дробот Н.Ф., Фомичёв С.В. Висмут: ресурсы, области применения и мировой рынок. Химическая технология том 15. № 1.2014.
5. Авдонин В. В., Бойцов В.Е., Григорьев В. М. и др. Месторождения металлических полезных ископаемых. М.: Трикта, 2005. 719 с.
6. Brown SR, Kauzlarich SM, Gascoin F, Snyder GJ. Yb₁₄MnSb₁₁: new high efficiency thermoelectric material for power generation. Chem Mater. 2006; 18:1873–7.
7. Chan JY, Olmstead MM, Kauzlarich SM, Webb DJ. Structure and ferromagnetism of the rare-earth Zintl compounds: Yb₁₄MnSb₁₁ and Yb₁₄MnBi₁₁. Chem Mater. 1998; 10:3583–9.
8. Магомедов А.М, Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Глава 8 Термоэлектрогенераторы. ИПО «Юпитер», Махачкала- 1996- 194 с.
9. Meschel S.V., Nash P., Du Yong, Wang J.C. The thermochemistry of some 5:3 binary lanthanide–lead compounds by high temperature direct synthesis calorimetry. J of Alloy and Compd., 2016, V. 656, p. 88-93.
10. G. Borzone, N. Parodi, R. Ferro, M. Gambino, V. Vassiliev, J.P. Bros, J of Alloy and Compd, 220(1993)111-116.
11. Новицкий А. П. Влияние дефектов и замещение висмута редкоземельными элементами на термоэлектрические свойства оксиселенидов BiCuSeO / Автореф. дис.....к. ф.-м. н., Москва, 2019, 26 с.
12. Влияние замещения висмута празеодимом и лантаном на термоэлектрические свойства оксиселенидов BiCuSeO . А.П. Новицкий, И.А. Сергиенко, С.В. Новиков и др. Физика и техника полупроводников, 2019, том 53, вып. 2. С.226-230.

13. Абулхаев, В.Д. Синтез и физико-химические свойства сплавов и соединений редкоземельных элементов с сурьмой и висмутом: дис...д-ра хим. наук: 02.00.01/Абулхаев В. Дж. – Душанбе. -1996. -355 с.
14. Abdusalyamova M.N., Bismuthides of rare earth elements: Monograph/ M.N. Abdusalyamova, S.A. Gadoev, F.A. Makhmudov – Dushanbe: PD TTU, 2021 - 56 pp.
15. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Под ред. акад. РАН Лякишева Н.П. М.: Машиностроение, 1996, 1997, 2001, т.1-3, 992, 1024, 1320 с.
16. Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник. Минск: Современная школа, 2005. - 608 с.
17. Мешкова, С.Б. Гадолиниевый излом в ряду трёхвалентных лантаноидов / С.Б. Мешкова, Н.С. Полуэктов, З.М. Топилова, М.М. Данилкович // Координационная химия. -1986. -Т.12. -Вып.4. -С.481-484.
18. Полуэктов, Н.С. Корреляционный анализ в физико - химии соединений трёхвалентных ионов лантаноидов / Н.С. Полуэктов, С.Б. Мешкова, Ю.В. Коровин, И.И. Оксиденко // Докл. АН СССР. -1982. –Т.266. -№5. –С.1157-1160.
19. Ахмедов Ш.А. Получение и физико-химические свойства сплавов системы алюминий – церий / Ахмедов Ш.А., Мирзоев Ш.И., Эшов Б.Б., Рузматова Г.К., Бадалов А. Вестник Хорогского университета, №1(29), 2024. С. 207-211, ISSN 2664-5696.
20. С. А. Гадоев, Б. Ш. Рахмонов, Б.Б. Эшов, А. Бадалов. Температура плавления интерметаллидов состава Ln_5Pb_3 (где Ln – лантаниды) и закономерности их изменения. Вестн. ТТУ Серия: Инженерные исследования. № 4 (68) 2024. -С.92-98.
21. Ахмедов Ш.А., Исмоилов И.Р., Мирзоев Ш.И., Бадалов А. Температура плавления интерметаллидов систем магний - лантаноид. Кишоварз, ТАУ им. Ш Шотемур, №4 (80), 2018, с.147- 151.
22. Тсюан Тингжи, Азизов Ю.С., Бадалов А. Закономерность изменения температуры плавления эвтектики систем сурьма – лантаниды в области богатые сурьмой. Политехнический вестник. Сер. инженер. исследования (ТТУ), № 1 (49) – 2020, с.83 – 86.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ-INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Насриддинов Субхиддин Камарович	Насриддинов Субхиддин Камарович	Nasriddinov Subhiddin Kamarovich
номзади илмҳои химия,	кандидат химических наук	Candidate of Chemical Sciences,
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
E-mail: subhiddin@mail.ru .		
TJ	RU	EN
Рузматова Гулноза Камоловна	Рузматова Гулноза Камоловна	Ruzmatova Gulnoza Kamolovna
номзади илмҳои химия,	кандидат химических наук	Candidate of Chemical Sciences,
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
E-mail: Gulnoz@mail.ru .		
TJ	RU	EN
Бадалов Абдулхайр	Бадалов Абдулхайр	Badalov Abdulkhair
узви вобастаи АИ ҚТ, д. и.х., профессор.	чл.-корр. АН РТ, д. х. н., профессор.	Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Doctor of Chemical Sciences, Professor.
ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ	ТТУ имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after acad. M.S. Osimi
E-mail: badalovab@mail.ru		