

**ЧАМАНОВА М.** (Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан)

**АХМЕДОВ Ш.А.** (Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемура, Душанбе, Таджикистан)

**НАЖМУДИНОВ Ш.З.** (Академия наук Республики Таджикистан, Душанбе, Таджикистан)

**БАДАЛОВ А.** (Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан)

## УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВСИСТЕМ АЛЮМИНИЙ-ЛАНТАНОИДЫ СОСТАВОВ $\text{Al}_{11}\text{Ln}_3$ , $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ и $\text{Al}_3\text{Ln}$

Обеспечение эффективного развития отраслей промышленности на базе природных ресурсов с учетом необходимого качественного научного обоснования, балансирующего на разумном уровне научно-технического прогресса, обосновывается созданием новых материалов с заданными характеристиками. Для этого необходимы фундаментальные исследования физико-химических и термодинамических свойств различных систем, в частности интерметаллидов (ИМ), являющихся важной прикладной задачей. В настоящее время особенно актуальной становится изучение металлических систем на основе алюминия с участием редкоземельных металлов.

Рассматривается вопрос установления зависимостей изменения термохимических характеристик ИМ систем алюминий–лантаноиды составов  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ ,  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  и  $\text{Al}_3\text{Ln}$ , путем уточнения значений величин температуры и энтальпии плавления с использованием полуэмпирических и расчетных методов, позволяющих получить достаточно полные характеристики по температуре и энтальпии плавления ИМ составов, богатых алюминием, имеющих спрос в современных областях техники.

**Ключевые слова:** температура и энтальпия плавления, лантаноиды, интерметаллиды, закономерности изменения, тетрад-эффект

**Введение.** Фундаментальные исследования физико-химических и термодинамических свойств различных систем, в частности интерметаллидов (ИМ), способствуют решению важной прикладной задачи по созданию материалов с заданными характеристиками. Особенно актуальной становится изучение металлических систем на основе алюминия, которое является родоначальником элементов IIIA и IIIB подгрупп короткой формы III группы Таблицы химических элементов Д.И. Менделеева (ТХЭ) [1–4] с участием редкоземельных металлов, в частности лантаноидов (Ln).

**Обоснование темы.** С целью изучения и установления закономерностей изменения характеристик ИМ систем алюминий–лантаноиды сплавов  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ ,  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  и  $\text{Al}_3\text{Ln}$  целесообразно рассмотреть именно III группу ТХЭ, где доста-

точно ярко проявляются все виды аналогий, в том числе: групповая, типовая, электронная и слоевая, кайносимметричность орбиталей ( $p$ –орбитали у бора,  $d$ –орбитали у скандия и  $f$ –орбитали у лантана). В результате кайносимметрии проявляются контракционная аналогия  $3d$ –орбиталей,  $d$ – и  $f$ –контракции (или  $d$ – и  $f$ –сжатие), также вторичная и внутренняя периодичности [1–9].

Одновременно большой интерес исследователей и практиков к химии лантаноидов обусловлен другими факторами, в частности: большие сырьевые запасы Ln, наличие и разрабатываемые перспективные методы химической технологии по разделению и возможности получения Ln с высокой степенью чистоты. Лантаноиды и их соединения применяются в таких современных областях техники, как атомная энергетика, полупроводниковая, лазерная,

люминофорная, военная техника, для получения новых конструкционных, магнитных и сверхпроводящих материалов, в медицине, аграрной промышленности [6–16].

Отрывочные и взаимно несогласованные сведения о термических и термодинамических характеристиках ИМ систем алюминий–лантаноиды (Al–Ln) не позволяют провести системный анализ свойств подобных ИМ как внутри каждой системы ИМ, так и в пределах цериевой и иттриевой подгрупп, и в целом всех сходных соединений Ln [17–22].

Изучению диаграмм состояния систем Al–Ln посвящено много работ, результаты которых обобщены в фундаментальном справочнике [23]. В системах Al–Ln образуются ряд ИМ составов  $AlLn_3$ ,  $AlLn_2$ ,  $Al_2Ln_3$ ,  $AlLn$ ,  $Al_2Ln$ ,  $Al_3Ln$ ,  $\alpha-Al_{11}Ln_3$  и  $\beta-Al_{11}Ln_3$ . В работах [24–27] приводятся сведения о температуре плавления всех ИМ и энтальпии образования некоторых ИМ цериевой подгруппы – церия (Ce), празеодима (Pr) и неодима (Nd), однако нет никаких сведений об энтальпии плавления ИМ, образующихся в системах Al – Ln.

Исходя из вышеизложенного весьма важным является вопрос установления зависимостей изменения характеристик ИМ систем Al–Ln составов  $\alpha-Al_{11}Ln_3$ ,  $\beta-Al_{11}Ln_3$  и  $Al_3Ln$ . Для обеспечения выполнения обозначенной задачи рассмотрим методы расчета термохимических параметров (температуры плавления ( $T_{пл}$ ) и энтальпии плавления ( $\Delta H_{пл}$ ) ИМ богатых алюминием составов  $\alpha-Al_{11}Ln_3$ ,  $\beta-Al_{11}Ln_3$

и  $Al_3Ln$ ), с целью установления и моделирования зависимостей изменения термохимических параметров в зависимости от природы Ln.

С использованием методов сравнительного расчета М.Х. Карапетьянца [28] и разностей В.А. Киреева [29] определяем отсутствующие в литературе значения температуры и энтальпии плавления указанных составов ИМ для лантана (La), гадолиния (Gd) и лютеция (Lu), которые являются базисными для проведения системного анализа искомых параметров (характеристик) ИМ других Ln.

С помощью полуэмпирического метода, разработанного Н.С. Полуэктовым с сотрудниками [30], проведем системный анализ, где указанный метод учитывает индивидуальные особенности электронного строения атомов Ln и их влияние на искомую характеристику

$A$  (где  $A - T_{пл}, \Delta H_{пл}$ ) ИМ.

Расчёт параметров (далее – Расчёт1 или P-1) проведена по следующему корреляционному уравнению:

$$A_{(AlxLn_y)} = A_{(AlxLay)} + \alpha N_f + \beta S + \gamma' L_{(Ce - Eu)} (\gamma'' L_{(Tb - Yb)}), \quad (1)$$

где коэффициенты:  $\alpha$  – учитывает долевое влияние 4f-электронов,  $\beta$  – спиновых (S) и  $\gamma$  – орбитальных (L) моментов движения атомов Ln, ( $\gamma'$  – для лантаноидов цериевой и  $\gamma''$  – для лантаноидов иттриевой подгрупп) на значения искомой характеристики ИМ. Вычисленные значения коэффициентов уравнения (1) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов корреляционного уравнения

Вещество	Параметры	$\alpha$	$\beta$	$\gamma'$	$\gamma''$
$Al_3Ln$	$T_{пл}, K$	–6,43	0	–8,31	–2,99
	$\Delta H_{пл}^0, Дж/моль-атомов$	–0,06	0,01	–0,18	–0,16
$\alpha-Al_{11}Ln_3$	$T_{пл}, K$	–6,43	0	12,01	12,01
	$\Delta H_{пл}^0, кДж/моль-атомов$	0,04	–0,13	0,10	0,11
$\beta-Al_{11}Ln_3$	$T_{пл}, K$	7,14	1,43	3,48	3,48
	$\Delta H_{пл}^0, кДж/моль-атомов$	0,06	–0,15	0,01	0,02

Таблица 2

Значения  $T_{пл}$  ИМ в кельвинах

ИМ	Ln	Цериевая подгруппа							
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	
$Al_3Ln$	a	1443	1408	1348	1478	н.д.	1393	н.д.	
	б	1443	1405	1382	1368	1361	1363	1297	
$\alpha-Al_{11}Ln_3$	a	1188	1293	1238	1223	н.д.	н.д.	н.д.	
	б	1188	1221	1229	1234	1228	1209	1116	
$\beta-Al_{11}Ln_3$	a	1513	1508	1513	1508	н.д.	1723	н.д.	
	б	1513	1510	1510	1507	1501	1491	1394	
ИМ	Ln	Иттриевая подгруппа							
		Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
$Al_3Ln$	a	1398	н.д.	1363	1360	1343	н.д.	1253	1353
	б	1398	1373	1364	1354	1348	1344	1263	1353
$\alpha-Al_{11}Ln_3$	a	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
	б	1143	1166	1184	1189	1193	1164	1090	1098
$\beta-Al_{11}Ln_3$	a	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
	б	1468	1465	1463	1456	1447	1439	1378	1413

Примечание: а – литературные данные; б – согласно P-1; н.д. – нет данных.

Результаты уточненных расчетов  $T_{пл}$  ИМ изученных составов, проводимые на основе данных табл. 1 с использованием корреляционного уравнения (1), приведены в табл. 2.

Анализ данных табл. 2 показывает, что с ростом порядкового номера лантаноидов наблюдается понижение  $T_{пл}$  ИМ, всех составов, которое составляет  $\Delta T_{пл} = 90-100^\circ$ . Понижение температуры плавления ИМ наблюдается и в ряду составов  $Al_3Ln \rightarrow \alpha-Al_{11}Ln_3$ , где имеется увеличенное содержание алюминия. Резкое

повышение  $T_{пл}$  (по сравнению с ИМ состава  $\alpha-Al_{11}Ln_3$ ) наблюдается у состава  $\beta-Al_{11}Ln_3$  (в пределах 315 К).

На основе вычисленных нами значений  $T_{пл}$  ИМ рассчитываем величину энтальпии плавления ( $\Delta H_{пл}^0$ ) с использованием формулы источника [31]:

$$\Delta H_{пл.T}^0 Al_xLn_y = T_{пл}^{ИМ}(n\Delta H_{пл}^{Ln}/T_{пл}^{Ln} + m\Delta H_{пл}^{мет}/T_{пл}^{мет})/n+m. \quad (2)$$

При расчетах по уравнению (1) в качестве опорных величин использованы значения энтальпии плавления ИМ лантана (La), гадолиния (Gd) и лютеция (Lu) определенные уравнением (2).

Таблица 3

Значения энтальпии плавления ИМ ( $\Delta H_{пл}^0$ , кДж/моль-атомов)

Составы ИМ	Ln	Цериевая подгруппа							
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	
$Al_3Ln$	P-1	17,30	16,55	16,41	16,15	16,09	16,22	15,16	
	P-2	17,30	16,55	15,77	15,99	н.д.	16,27	н.д.	
$\alpha-Al_{11}Ln_3$	P-1	12,01	12,32	12,50	12,57	12,54	12,41	12,05	
	P-2	12,01	12,21	12,55	12,55	12,57	12,53	12,05	
$\beta-Al_{11}Ln_3$	P-1	15,29	15,36	15,35	15,35	15,33	15,31	15,05	
	P-2	15,29	15,22	15,42	15,33	15,36	15,45	15,05	
Составы ИМ	Ln	Иттриевая подгруппа							
		Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
$Al_3Ln$	P-1	16,86	16,26	15,89	15,56	15,53	15,66	14,68	16,42
	P-2	16,86	н.д.	15,20	16,45	15,43	н.д.	14,68	н.д.
$\alpha-Al_{11}Ln_3$	P-1	11,82	12,28	12,60	12,81	12,92	12,91	11,44	12,55
	P-2	11,82	12,04	12,31	13,17	13,55	12,78	11,44	12,55
$\beta-Al_{11}Ln_3$	P-1	15,18	15,43	15,61	15,76	15,90	16,16	14,46	16,15
	P-2	15,18	15,13	15,21	16,13	16,44	16,14	14,46	16,15

Результаты расчётов (далее – Расчет2 или Р-2) величин энтальпии плавления, ИМ рассчитанные по уравнению (2), а также значения  $\Delta H_{\text{пл}}^0$  ИМ, вычисленные по уравнению (1), приведены в табл. 3 для сравнения.

На основе данных табл. 1, 2, 3 и использования полуэмпирического метода по уравнению (1) проведен системный анализ термохимических характеристик ИМ, установлена закономерность их изменения от природы лантаноидов. Графическая интерпретация аналитических данных приведена на рис. 1, где показаны кривые, отображающие закономерности изменения температуры плавления ИМ в пределах подгрупп Ln: кривая *a* – отражает зависимость изменения  $T_{\text{пл}}$  ИМ составов  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  от порядкового номера Ln ТХЭ (т.е. от природы Ln); кривая *b* – соответственно отражает зависимость изменения  $T_{\text{пл}}$  ИМ составов  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  от природы Ln.

Анализ показывает, что кривые *a* и *b* на рис. 1 в пределах подгрупп Ln имеют разный характер. Для интерметаллидов состава  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  наблюдается чёткое раз-

деление кривой на две подгруппы – цериевой и иттриевой с проявлением «тетрад-эффект» – *a*. Постепенное повышение  $T_{\text{пл}}$  ИМ с максимумом в середине, наблюдается в пределах подгрупп Nd и Er соответственно. Для состава  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  наблюдается линейное понижение  $T_{\text{пл}}$  с ростом порядкового номера Ln. Из общей закономерности явно выпадают ИМ европий (Eu) и иттербий (Yb), что обусловливается частичным или полным заполнением 4f-орбиталей этих элементов электронами.

На основе интерпретации результатов Расчетов 1 и 2 приведенных в табл. 3 построены кривые зависимости энтальпии плавления ( $\Delta H_{\text{пл}}^0$ ) ИМ от природы Ln (составов: *a* –  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ ; *b* –  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ ), которые изображены на рис. 2. Анализ упомянутых зависимостей показывает, что зависимость изменения  $\Delta H_{\text{пл}}^0$  ИМ от природы Ln имеют идентичный характер. В цериевой подгруппе наблюдается повышение  $\Delta H_{\text{пл}}^0$  состава  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  в пределах  $\Delta(\Delta H_{\text{пл}}^0 = 0,55)$  с максимумом для неодима (Nb), а для состава  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  этой подгруппы Ln наблюдается почти линейный характер зависимости.

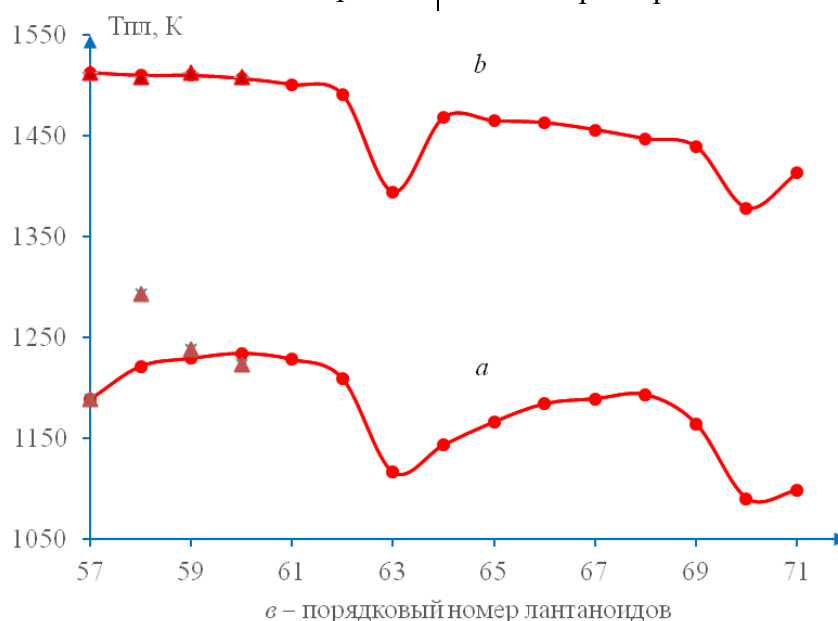


Рис. 1. Кривые зависимости изменения  $T_{\text{пл}}$  ИМ от природы лантаноидов:

*a* – составов  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ ; *b* – составов  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ ; ▲ и ● – точки значения  $T_{\text{пл}}$ :

▲ – литературные данные; ● – расчётные



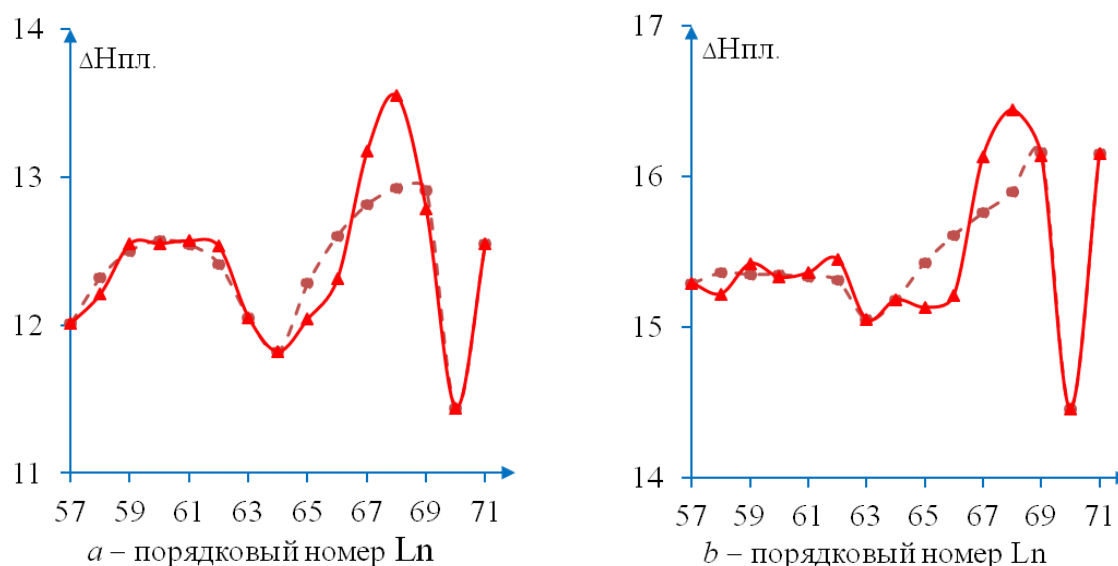


Рис. 2. Кривые зависимости изменения энтальпии плавления ИМ ( $H_{пл}^0$ ) от природы лантаноидов: а – составов  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ ; б – составов  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ .:  $B$  – точки значения  $H_{пл}^0$ :  $\blacktriangle$  – Расчет 1;  $\bullet$  – Расчет 2

В иттриевой подгруппе обоих составов ИМ наблюдается заметное повышение энтальпии плавления в пределах  $\Delta(\Delta H_{пл}^0 = 0,90)$  с максимумом для эрбия (Er).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** На основе результатов, установленных по аналитическим зависимостям и графических их интерпретаций, обосновываются следующие **выводы**:

1. Получены достаточно полные термохимические характеристики по температуре и энтальпии плавления интерметаллидов составов, богатых алюминием –  $\text{Al}_3\text{Ln}$ ,  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  и  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ , позволяющие установить закономерности их изменения в зависимости от природы лантаноидов и от содержания алюминия, в том числе:

- установлена температура плавления ИМ: а) в цериевой подгруппе для: прометия (Pm) и европия (Eu) в составе  $\text{Al}_3\text{Ln}$ ; самария (Sm), Pm и Eu в составе  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ ; Sm, Pm и Eu в составе  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ ; б) в иттриевой подгруппе для: тербия (Tb) и тулия (Tm) в составе  $\text{Al}_3\text{Ln}$ ; гадолиния (Gd), тербия (Tb), диспрозия (Dy), гольмия (Ho), эрбия (Er), тулия (Tm), иттербия (Yb) и лютеция (Lu) в составе  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ ;

Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb и Lu в составе  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ ;

- определены значения величин энтальпии плавления интерметаллидов, образующихся в системах алюминий – лантаноиды.

2. Установленные значения таких параметров как температура и энтальпия плавления ИМ богатых алюминием составов  $\text{Al}_3\text{Ln}$ ,  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  и  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ , для цериевой и иттриевой подгрупп, с учетом закономерности их изменения в зависимости от природы лантаноидов и от содержания алюминия, – пополняют необходимые важные сведения термохимических характеристик ИМ, благодаря чему: расширяется база термохимических характеристик ИМ; упрощаются и уточняются системные анализы, а также решение важных прикладных задач по созданию материалов с заданными характеристиками, необходимых для соответствующих отраслей науки и техники.

#### Библиографический список

1. Коттон Ф., Уилкинсон Дж. Современная неорганическая химия. Ч. 1–3. – М.: Мир, 1969.



2. Угай Я.А. Общая и неорганическая химия: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2004. – 527 с.
3. Comprehensive inorganic chemistry. 1. five volumes. Vol. 4. Lanthanides. Oxford - N.Y. – Toronto. Pergamon Press. 1973. – 494 p
4. Новиков Г.И. Основы общей химии. – М.: Высшая школа, 1988. – 431 с.
5. Greenwood, N. N.; Earnshaw, A. Chemistry of the elements. – 2nd ed. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997. – 1341 p.
6. The rare earth elements: fundamentals and applications / Ed.: David A. Atwood. – Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2012. – 606 p. – (Encyclopedia of inorganic and bioinorganic chemistry).
7. Ионова Г.В., Вохмин В.Г., Спицын В.И. Закономерности изменения свойств лантанидов и актинидов. – М.: Наука, 1990. – 240 с.
8. Серебренников В.В. Химия редкоземельных элементов. – Томск: Изд-во Томского университета, 1959. т. 1. – 362 с.; т. 2, 1961. – 278 с.
9. Тейлор К. Интерметаллические соединения редкоземельных металлов. – М.: Мир, 1974. – 224 с.
10. Спеддинг Ф., Даан А. Редкоземельные металлы – М.: Мир, 1965. – 324 с.
11. Бандуркин Г.А., Джурицкий Б.Ф., Тананаев И.В. Особенности кристаллохимии соединений редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1984. – 229 с.
12. Спицын В.И., Мартыненко Л.И. Координационная химия редкоземельных элементов. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 252 с.
13. Lanthanides, Tantalum and Niobium / Ed.: Peter Möller; Petr Černý; Francis Saupé. – Springer Berlin Heidelberg, 1989. – Vol. 7. – DOI:10.1007/978-3-642-87262-4.
14. Gray, T. The Elements: A Visual Exploration of Every Known Atom in the Universe. – New York: Black Dog & Leventhal Publishers, 2009. – 240 с.
15. Brumme, A. Wind Energy Deployment and the Relevance of Rare Earths. – 1st ed. – Gabler Verlag, 2014. – 87 с. – DOI:10.1007/978-3-658-04913-3.
16. Robert E. Krebs. The History and Use of Our Earth's Chemical Elements: A Reference Guide. – 2nd ed. – Greenwood Press, 2006. – 422 p.
17. Janz G.J. Thermodynamic and transport properties for molten salts // J. Phys. Chem. Ref. Data. 1988. V. 17. Suppl. 2.1. J.L
18. Gmelin Handbook of Inorganic Chemistry. 8 Ed. Sc, Y, La-Lu Rare earth elements. Part C 4a. System Number 39. Berlin Heidelberg – N.-Y. Springer. 1982. – 272 p.th
19. Gmelin Handbook of Inorganic Chemistry. 8 Ed. Sc, Y, La-Lu Rare earth elements. Part C 4b. System Number 39. Berlin Heidelberg – N.-Y. Springer. 1982. – 324 p.
20. CRC Handbook of Chemistry and Physics / Ed.: David R. Lide; William M. Haynes. – 90th ed. – London: CRC Press, 2009.
21. Handbook of the Physics and Chemistry of Rare Earths / Ed.: Karl A. Gschneidner, Jr.; Le Roy Eyring. – Vol. 11. – Elsevier Science Publishers B.V., 1988. – 594 p.
22. Handbook of the Physics and Chemistry of Rare Earths / Ed.: Karl A. Gschneidner, Jr., Jean-Claude G. Bünzli, Vitalij K. Pecharsky. – Vol. 41. – North Holland, 2011. – 560 p.
23. Диаграммы состояния двойных металлических систем. / Под ред. акад. РАН Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996, 1997, 2001, т.1-3. – 992, 1024, 1320 с.
24. Badalov A.B., Ganiev I.N., Nazarov Kh. M., Mirzoev Sh. I. Systematic analysis forecasting of thermal properties of alloy systems Cu-Ln and Al-Ln // IX Inter. Symposium Advanced Materials. Abstracts. ISAM – 2005: 19-22 Sept, Pakistan, Islamabad. – p.50.
25. Бадалов А.Б., Мирзоев Ш.И. Термические свойства сплавов системы алюминий – лантаниды // Вестник Таджикского аграрного университета им. Ш. Шотемура «Кишоварз» – 2005. – №1. – С. 42-47.
26. Чаманова М.Ч., Эшов Б.Б., Мирзоев Ш.И., Бадалов А. Температуры плавления и энтальпия растворения интерметаллидов систем Al-Ln составов AlLn, AlLn<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>Ln (Ln – лантаноиды). Материалы XV Междунар. конф. по термическому анализу и калориметрии в России (RTAC 16), СПбГПУ, 16–23. 09. 2016, ч. 2, с. 112 -115.
27. Чаманова М., Тсюан Тсзингжи, Мирзоев Ш.И., Бадалов А. Закономерности изменения термохимических характеристик интерметаллидов состава al<sub>11</sub>ln<sub>3</sub> и лантаноидов (Ln). Вестник Таджикского техн. универ. – №3 (35). – 2016. – С. 38-45.
28. Карапетьянц, М.Х. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ / М.Х. Карапетьянц, М.Л. Карапетьянц. – М.: Химия, 1968. – 471 с.
29. Киреев, В.А. Методы практических расчётов в термодинамике химических реакций / В.А. Киреев. – М.: Химия, 1975. – 536 с.
30. Мешков З.Б., Полуэктов Н.С., Топилова З.М., Данилкович М.М. Гадолиниевый излом



в ряду трехвалентных лантаноидов.– Коорд. хим., 1986, т. 12, вып. 4. – С. 481–484.

31. Баянов А.П., Славкина В.И. Материалы конференции, посвященной 100-летию Всесоюзного химического общества имени Д.И. Менделеева. Новокузнецк, 1969. – С. 25-39.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2018, No. 2, pp. 42-48	
<b>Title:</b>	<b>STUDY OF THERMOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF <math>\alpha</math>-Al<sub>11</sub>Ln<sub>3</sub>, <math>\beta</math>-Al<sub>11</sub>Ln<sub>3</sub> and Al<sub>3</sub>Ln ALUMINUM-LANTANOID INTERMETALLIDES</b>
<b>Author 1:</b>	Name & Surname: <b>M. Chamanova</b> Company: <b>Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi the Republic of Tajikistan</b> Address: <b>10, Academician Rajabov str., Dushanbe, Republic of Tajikistan, 734042</b> Scientific Degree: <b>Candidate of Engineering Sciences</b> Contacts: <b>chamanova.munira@mail.ru</b>
<b>Author 2:</b>	Name & Surname: <b>Sh. A. Akhmedov</b> Company: <b>Tajik Agrarian University named after Sh. Shotemur of the Republic of Tajikistan</b> Address: <b>146, Rudaki ave., Dushanbe, Republic of Tajikistan, 734042</b> Contacts: <b>sharafjon89@mail.ru</b>
<b>Author 3:</b>	Name & Surname: <b>Sh.Z. Nazhmudinov</b> Company: <b>Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan</b> Address: <b>33, Rudaki Avenue, Dushanbe, Republic of Tajikistan, 734025</b> Scientific Degree: <b>Candidate of Engineering Sciences</b> Contacts: <b>Najmiddinovsh2018@mail.ru</b>
<b>Author 4:</b>	Name & Surname: <b>A. Badalov</b> Company: <b>Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi the Republic of Tajikistan</b> Address: <b>10, Academician Rajabov str., Dushanbe, Republic of Tajikistan, 734042</b> Scientific Degree: <b>Dr. Sci. (Chem.)</b> Contacts: <b>badalovab@mail.ru</b>
<b>DOI:</b>	<b>10.17073/2500-0632-2018-2-42-48</b>
<b>Abstract:</b>	Ensuring effective development of industries consuming natural resources using scientific support requires creation of new materials with preset characteristics. This requires fundamental studies of physicochemical and thermodynamic properties of different chemical systems, in particular intermetallides (IM). At present, the study of aluminum-based metal systems with rare-earth metals is becoming especially important. The study is devoted to determining thermochemical characteristics of $\alpha$ -Al <sub>11</sub> Ln <sub>3</sub> , $\beta$ -Al <sub>11</sub> Ln <sub>3</sub> and Al <sub>3</sub> Ln aluminum-lanthanide IM, by refining the values of their melting temperature and enthalpy using semiempirical and calculation methods, allowing obtaining sufficiently complete data sets on of melting temperature and enthalpy of the aluminum-rich IM compounds, finding ready demand in modern technology.
<b>Keywords:</b>	temperature and enthalpy of melting, lanthanides, intermetallides, behavior, tetrad effect.
<b>References:</b>	1. Cotton F., Wilkinson J. Sovremennaya neorganicheskaya himiy [ <i>Modern inorganic chemistry</i> ]. Moscow, Mir, part 1-3, 1969. 2. Ugay Y.A. Obschchaya i neorganicheskaya himiya: Ucheb. dlya vuzov [ <i>General and Inorganic Chemistry: A Textbook for Higher Education</i> ]. Moscow: Higher School, 2004, 527 p. 3. Comprehensive inorganic chemistry. 1. five volumes. Vol. 4. Lanthanides. Oxford, N.Y., Toronto, Pergamon Press, 1973. 494 p.



4. Novikov G.I. *Osnovy obshchej himii [Fundamentals of General Chemistry]*. Moscow, Higher School, 1988, 431 p.
5. Greenwood N.N.; Earnshaw A. *Chemistry of the elements*. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997, 1341 p.
6. *The rare earth elements: fundamentals and applications*. Ed. David A. Atwood. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2012, 606 p. (Encyclopedia of inorganic and bioinorganic chemistry).
7. Ionova G.V., Vokhmin V.G., Spitsyn V.I. Zakonomernosti izmeneniya svojstv lantanidov i aktinidov [*Patterns of changes in the properties of lanthanides and actinides*]. Moscow, Nauka, 1990, 240 p.
8. Serebrennikov V.V. Himiya redkozemel'nyh ehlementov [*Chemistry of rare earth elements*]. Tomsk, Publishing house of Tomsk University, 1959, Vol. 1, 362 p, Vol. 2, 1961, 278 p.
9. Taylor K. Intermetallicheskie soedineniya redkozemel'nyh metallov [*Intermetallics Compounds of Rare-Earth Metals*]. Moscow, Mir, 1974, 224 p.
10. Spedding F., Daan A. Redkozemel'nye metally [*Rare earth metals*]. Moscow, Mir, 1965, 324 p.
11. Bandurkin G.A., Dzhurinsky B.F., Tananaev I.V. Osobennosti kristallohimii soedinenij redkozemel'nyh ehlementov [*Features of crystal chemistry of compounds of rare earth elements*]. Moscow, Nauka, 1984, 229 p.
12. Spitsyn V.I., Martynenko L.I. Koordinacionnaya himiya redkozemel'nyh ehlementov [*Coordination chemistry of rare earth elements*]. Moscow, Izd-vo MGU, 1979, 252 p.
13. *Lanthanides, Tantalum and Niobium*. Ed. Peter Möller; Petr Černý; Francis Saupé. Springer Berlin Heidelberg, 1989, Vol. 7. DOI:10.1007/978-3-642-87262-4.
14. Gray T. *The Elements: A Visual Exploration of Every Known Atom in the Universe*. New York, Black Dog & Leventhal Publishers, 2009, 240 p.
15. Brumme A. *Wind Energy Deployment and the Relevance of Rare Earths*. 1<sup>st</sup> ed. Gabler Verlag, 2014, 87 p. DOI:10.1007/978-3-658-04913-3.
16. Robert E. Krebs. *The History and Use of Our Earth's Chemical Elements: A Reference Guide*. 2<sup>nd</sup> ed. Greenwood Press, 2006, 422 p.
17. Janz G.J. *Thermodynamic and transport properties for molten salts*. J. Phys. Chem. Ref. Data, 1988, Vol. 17, Suppl 1. 2. 1. J.L.
18. *Gmelin Handbook of Inorganic Chemistry*. 8 Ed. Sc, Y, La-Lu Rare earth elements. Part C 4a. System Number 39. Berlin Heidelberg, N.-Y., Springer, 1982, 272 p.
19. *Gmelin Handbook of Inorganic Chemistry*. 8 Ed. Sc, Y, La-Lu Rare earth elements. Part C 4b. System Number 39. Berlin Heidelberg, N.-Y. Springer. 1982, 324 p.
20. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Ed. David R. Lide, William M. Haynes. 90<sup>th</sup> ed. London, CRC Press, 2009.
21. *Handbook of the Physics and Chemistry of Rare Earths*. Ed. Karl A. Gschneidner Jr., Le Roy Eyring. Vol. 11, Elsevier Science Publishers B.V., 1988, 594 p.
22. *Handbook of the Physics and Chemistry of Rare Earths*. Ed. Karl A. Gschneidner, Jr., Jean-Claude G. Bünzli, Vitalij K. Pecharsky. Vol. 41. North Holland, 2011, 560 p.
23. Diagrammy sostoyaniya dvojnyh metallicheskih sistem [*Diagrams of the state of double metal systems*]. Ed. acad. RAS N.P. Lakishev. Moscow, Mechanical Engineering, 1996, 1997, 2001, Vol.1-3, 992, 1024, 1320 p.
24. Badalov A.B., Ganiev I.N., Nazarov Kh. M., Mirzoev Sh.I. *Systematic analysis forecasting of thermal properties of alloy systems Cu-Ln and Al-Ln*. IX Inter. Symposium Advanced Materials. Abstracts .ISAM, 2005, 19-22 Sept, Pacistan, Islamabad, p. 50.





25. Badalov AB, Mirzoev Sh.I. Termicheskie svojstva splavov sistemy alyuminij – lantanidy [Thermal properties of the alloys of the aluminum-lanthanide system]. Vestnik of the Tajik Agrarian University named after. Sh. Shotemur "Kishovarz", Dushanbe, 2005. No. 1, pp. 42-47.
26. Chamanova M.Ch., Eshov BB, Mirzoev Sh.I., Badalov A. Temperature plavleniya i ehntal'piya rastvoreniya intermetallidov sistem Al-Ln sostavov  $AlLn$ ,  $AlLn_2$ ,  $Al_2Ln$  (Ln – lantanoidy) [Melting and enthalpy of dissolution of intermetallics compounds of Al-Ln systems of  $AlLn$ ,  $AlLn_2$ ,  $Al_2Ln$  (Ln-lanthanide) compositions]. Materials of the XV International Conference on Thermal Analysis and Calorimetry in Russia (RTAC 16), SPbSPU, 16-23.09.2016, p. 2, pp. 112 -115.
27. Chamanova M., Tsyuan Tsingji, Mirzoev Sh.I., Badalov A. Zakonomernosti izmeneniya termohimicheskikh harakteristik intermetallidov sostava  $Al_1Ln_3$  i lantanoidov (Ln) [Regularities of changes in thermochemical characteristics of intermetallics compounds of the composition  $Al_1Ln_3$  and lanthanides (Ln)]. Bulletin of Tajik Tech. University, No. 3(35), 2016, pp. 38-45.
28. Karapetyants, M.H. Osnovnye termodinamicheskie konstanty neorganicheskikh i organicheskikh veshchestv [Basic thermodynamic constants of inorganic and organic substances] M.Kh. Karapetyants, M.L. Karapetyants. Moscow, Chemistry, 1968, 471 p.
29. Kireev V.A. Metody prakticheskikh raschyotov v termodinamike himicheskikh reakcijv [Methods of practical calculations in the thermodynamics of chemical reactions]. Moscow: Chemistry, 1975, 536 p.
30. Meshkov Z.B., Poluektov N.S., Topilova Z.M., Danilkovich M.M. Gadolinievyy izlom v ryadu trekhvalentnykh lantanoidov [Gadolinium fracture in a series of trivalent lanthanides]. Coord. Chem., 1986, Vol. 12, issue. 4, pp. 481-484.
31. Bayanov A.P., Slavkina V.I. Materialy konferencii, posvyashchennoj 100-letiyu Vsesoyuznogo himicheskogo obshchestva imeni D.I. Mendeleeva [Proc. of the conference dedicated to the 100th anniversary of the All-Union Chemical Society named after D.I. Mendeleev University]. Novokuznetsk, 1969, pp. 25-39.