УДК 532.612.454; 4.722.2 *Краткое сообщение*

Влияние малых добавок лития на поверхностное натяжение расплавов висмута

О.Х. Канаметова, Ф.Ф. Дышекова
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»
360004, Россия, Нальчик, ул. Чернышевского, 173
kyasova16@mail.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2026.18.054

Аннотация: В работе представлены результаты экспериментального исследования температурных и концентрационных зависимостей поверхностного натяжения висмута и его сплавов с малыми добавками лития в интервале составов с содержанием до 0,44 ат.% *Li*. Измерения поверхностного натяжения проведены методом большой капли с использованием автоматизированной экспериментальной установки и программно-аппаратного комплекса «SigmaDrop» в интервале температур 570-700 К; погрешность составила около 2,5%. Специально разработанная цельнопаянная измерительная ячейка обеспечила идентичность условий приготовления сплавов и надёжное термодинамическое равновесие поверхности каждого сплава со своим насыщенным паром. В ходе исследования доказано, что температурная зависимость поверхностного натяжения всех жидких сплавов носит строго линейный характер. Построена концентрационная зависимость поверхностного натяжения при температуре 600 К, имеющая вид монотонной кривой. На основании полученных изотерм сделан вывод, что литий в изученной области составов является слабой поверхностно-инактивной добавкой. Полученные результаты находятся в согласии с критериями о поверхностной активности компонентов в двойных сплавах, а также с литературными данными о коэффициенте активности лития, сохраняющее постоянное значение в концентрационной области составов с малым содержанием лития в расплавах с висмутом.

Ключевые слова: литий, висмут, сплавы, поверхностное натяжение, метод большой капли.

Канаметова Оксана Хусеновна – к.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры теоретической и экспериментальной физики ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»
Дышекова Фатима Феликсовна – к.ф.-м.н., доцент кафедры теоретической и экспериментальной физики ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Original paper

The influence of small additives of lithium on the surface tension of alloys based on bismuth

O.Kh. Kanametova, F.F. Dyshekova
Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nal'chik, Russia

DOI: 10.26456/pcascnn/2026.18.054

Absract: The paper presents the results of an experimental study of the temperature and concentration dependences of the surface tension of bismuth and its alloys with small additives of lithium in a composition range containing up to 0,44 at.% *Li*. Surface tension measurements were carried out by the large drop method using an automated experimental setup and the «SigmaDrop» hardware and software complex in the temperature range of 570-700 K; the error was of approximately 2,5%. A specially developed solid-soldered measuring cell ensured identical alloy preparation conditions and reliable thermodynamic equilibrium of the surface of each alloy with its own saturated vapor. Our study demonstrated that the temperature dependence of the surface tension of all liquid alloys is

© О.Х. Канаметова, Ф.Ф. Дышекова, 2026

strictly linear. The concentration dependence of the surface tension at a temperature of 600 K was plotted as a monotonic curve. Based on the obtained isotherms, it was concluded that lithium is a weak surface-inactive additive in the studied composition range. The obtained results are in agreement with the criteria for the surface activity of components in binary alloys, as well as with the literature data on the activity coefficient of lithium, which maintains a constant value in the concentration range of compositions with a low lithium content in melts with bismuth.
Keywords: lithium, bismuth, alloys, surface tension, large drop method.

Oksana Kh. Kanametova – Ph. D., Senior Lecturer, Department of Theoretical and Experimental Physics, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov
Fatima F. Dyshekova – Ph. D., Docent, Department of Theoretical and Experimental Physics, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov

Поступила в редакцию/received: 21.07.2026; после рецензирования/revised: 28.08.2026; принята/accepted: 01.09.2026.

1. Введение

Для современного материаловедения значительный интерес представляет изучение поверхностных свойств жидкометаллических систем с участием лития, которые находят применение в ядерной энергетике в качестве теплоносителей и т.д. [1,2]. Анализ результатов экспериментальных и расчетно-теоретических работ, посвященных изучению поверхностного натяжения (ПН) металлических систем показывает, что теплофизические свойства сплавов с участием лития изучены недостаточно [3-8]. В связи с этим остается актуальной проблема дальнейших исследований плотности, поверхностного натяжения, вязкости, смачиваемости и других физико-химических свойств сплавов с участием лития. Температурные и концентрационные зависимости поверхностного натяжения $\sigma(T,x)$ жидких сплавов Li на основе Bi мало изучены – известна лишь одна работа [9], в которой получены данные $\sigma(T,x)$ для 11 сплавов в области составов с содержанием от 0,49 до 10,46 ат.% Li в висмуте. В связи с этим в работе ставится задача изучения $\sigma(T,x)$ сплавов Bi с малыми (до 0,5 ат.%) добавками лития.

2. Экспериментальная установка

Для измерения ПН сплавов $Bi-Li$ использовалась автоматизированная экспериментальная установка (см. рис. 1), состоящая из вращающегося воздушного термостата с измерительной ячейкой (прибором), системы ввода и обработки фото- и видео изображений, катетометра В-630 и осветителя. Измерения ПН производятся в воздушном термостате с плоскопараллельными окнами, в котором устанавливается измерительный прибор, жестко укрепленный на вращающейся рамке.

Для устранения градиента температуры термостат снабжен устройством для непрерывного перемешивания воздуха, что позволяет поддерживать температуру в измерительном приборе с точностью ±0,5 К. Регистрация и контроль температуры осуществлялись с помощью копель-

алюмелевых термопар по ГОСТ 8.585-2001 [10], расположенных внутри самой ячейки и вне ее. Сигналы (ЭДС) термопар фиксировались электронным микровольтметром G-1202.010 с точностью до 0,1 мкВ. Термопары предварительно поверялись по реперным точкам Международной температурной шкалы 1990 года [11] – по температуре тройной точки воды (273,16 К) и температурам затвердевания индия (429,7485 К), олова (505,078 К) и цинка (693,677 К). Катетометр служит для юстировки чашки-подложки в горизонтальной плоскости перед проведением измерений ПН. Измерения ПН проводились методом большой капли с использованием программно-аппаратного комплекса «SigmaDrop», который представляет собой электронную систему ввода в ЭВМ изображений жидких капель металлов и их сплавов, цифровой обработки получаемых изображений и расчета коэффициента ПН [12]. Комплекс «SigmaDrop» состоит из цифровой камеры высокого разрешения, объектива и ЭВМ (персонального компьютера). В качестве приемника изображения выбрана 8-и мегапиксельная камера UCMOS08000KPA фирмы «Touptek», позволяющая получать изображения профиля капли с разрешением не менее 3264×2448 пикселей со скоростью до 10 кадров/сек. Оригинальная программная оболочка комплекса «SigmaDrop», разработанная нами в среде программирования C Sharp 5.0, позволяет проводить весь набор необходимых операций по получению и цифровой обработке изображений капель жидких металлов и сплавов.

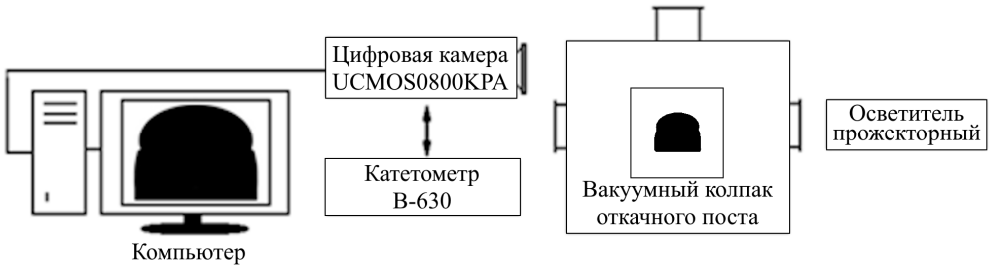

Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки для определения быстрых изменений ПН жидкометаллических расплавов методом большой капли.

Важно также отметить, что специально разработанная и изготовленная цельнопаянная измерительная ячейка (прибор) [13, 14] позволяет при одной заправке исходными компонентами, без дальнейшего вскрытия и разгерметизации, в высоком статическом вакууме (~10^{-4} Па) готовить сплавы-образцы и определять ПН каждого из них в желаемых концентрационных интервалах, в том числе и в полном интервале составов. Это обеспечивает строгую идентичность условий приготовления всех сплавов и самих измерений ПН, а также гарантирует надежное термодинамическое равновесие поверхности каждого из исследуемых сплавов со своим насыщенным паром. Последнее особенно важно, поскольку равновесное значение ПН определяется свойствами обеих

сосуществующих фаз и результаты измерений не только в атмосфере различных газов, но и условиях высокого вакуума при постоянной откачке рабочей камеры, могут подчиняться совсем другим закономерностям, чем $\sigma(T)$ равновесных фаз [15-17]. Также прибор позволяет повторять измерения ПН любого из сплавов сколько угодно раз и набирать большие объемы первичных данных. В экспериментах для приготовления сплавов использованы висмут марки Ви-0000 (ГОСТ 10928-90 [18]) и дополнительно очищенный вакуумной перегонкой литий марки ЛЭ–1 (ГОСТ 8774-75 [19]). Диаграмма состояния системы $Bi-Li$ [20, 21] в области малого содержания Li в Bi характеризуется отсутствием области твердых растворов. В настоящей работе нами изучено ПН висмута и его пяти сплавов с содержанием от 0 до 0,44 ат.% Li в висмуте в интервале температур 570-700 К.

3. Результаты измерений и их обсуждение

Поверхностное натяжение висмута и его пяти сплавов с содержанием от 0 до 0,44 ат.% Li в висмуте определялось с погрешностью около 2,5% в интервале температур 570-700 К. Результаты измерения ПН $\sigma(T,x)$, обработанные методом наименьших квадратов, приведены в Таблице 1. Для всех сплавов зависимости $\sigma(T)$ описываются линейными уравнениями.

Таблица 1. Температурные и концентрационные зависимости поверхностного натяжения двойных сплавов висмут-литий (σ_m, T_m – значения, соответствующие температуре плавления).

Составы сплавов, ат.%		Температурная зависимость ПН (мН/м) $\sigma(T)=\sigma_m - d\sigma/dT(T-T_m)$	Температурные интервалы измерений ПН, К
Bi	Li		
100	0	$\sigma(T)=373{,}7-0{,}10(T-550)$	620-700
99,943	0,057	$\sigma(T)=369{,}2-0{,}04(T-550)$	560-700
99,856	0,144	$\sigma(T)=370{,}0-0{,}01(T-550)$	560-700
99,781	0,219	$\sigma(T)=371{,}9-0{,}14(T-550)$	560-700
99,673	0,327	$\sigma(T)=371{,}2-0{,}04(T-550)$	560-700
99,556	0,444	$\sigma(T)=370{,}0-0{,}07(T-550)$	560-700

В частности, для чистого висмута политерма ПН приведена в Таблице 1, сравнение которой с данными [9] $\sigma(T)=374{,}6-0{,}119(T-683)$ свидетельствует об удовлетворительном их согласии. В целом полученные нами данные ПН висмута удовлетворительно согласуются с рекомендуемыми литературными данными [3-6, 22]. Отметим, что температурный коэффициент ПН висмута, полученный нами, несколько превышает усредненные литературные данные, но находится в

удовлетворительном согласии с рекомендуемым B. Keene [22] $d\sigma / dT$ = -0,097 мН/м×К. На рис. 2 а, б представлены две характерные зависимости $\sigma(T)$ сплавов Li на основе Bi. Из них следует, что ПН сплавов с повышением температуры уменьшаются по линейному закону.

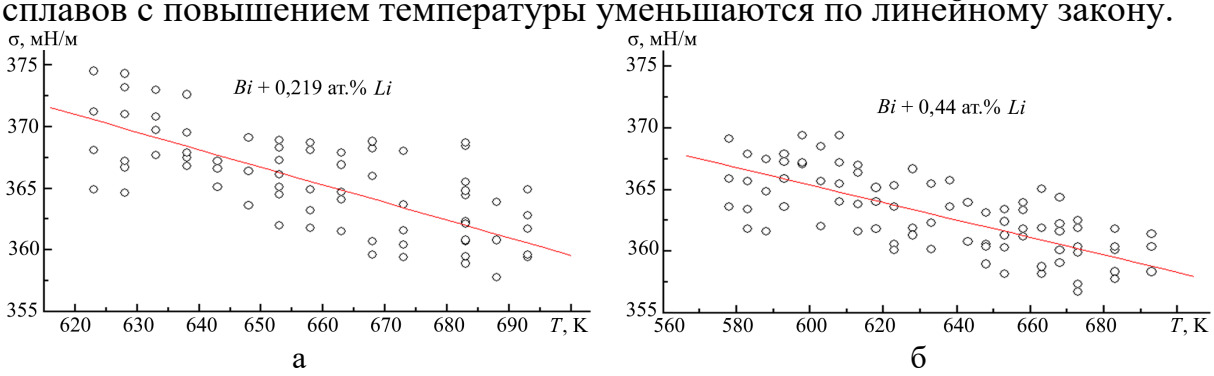

Рис. 2. Температурные зависимости ПН: а – сплава $Bi + 0{,}219$ ат.% Li; б – сплава $Bi + 0{,}44$ ат.% Li.

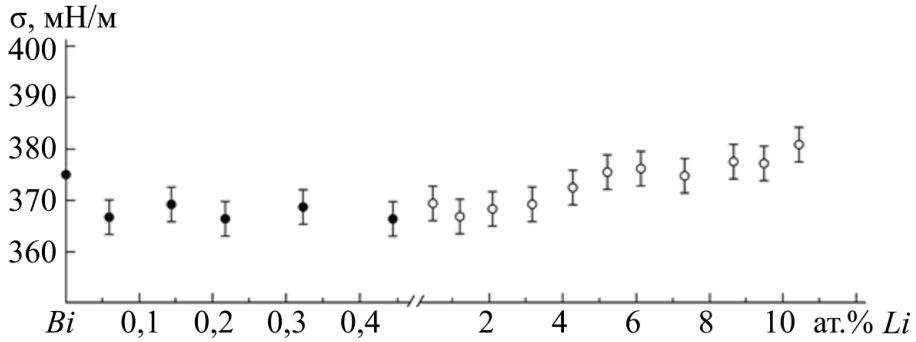

Рис. 3. Концентрационная зависимость ПН сплавов $Bi - Li$ при 600 К: ● – данные настоящей работы, ○ – данные [9].

Концентрационная зависимость ПН $\sigma(x)$ сплавов системы $Li - Bi$, построенная по данным изотермического (T = 600 К) разреза политерм ПН Bi и его сплавов, представляет собой монотонную кривую (см. рис. 3). ПН чистых висмута и лития составляют 373,7 и 406 мН/м соответственно, это свидетельствует о малой поверхностной инактивности Li в сплавах с висмутом. Заметим, что такой вывод находится не только в согласии с критериями о поверхностной активности компонентов в двойных сплавах [23], но и с тем, согласно [15-17], коэффициент активности лития сохраняет постоянное значение в концентрационной области составов от $x_{Li} = 0{,}028$ до x_{Li}=0,360. Отметим, что в [24] в атмосфере аргона исследовались термодинамические свойства жидких сплавов системы литий-висмут при температурах 510-560°С и показано, что в бедной литием части системы $Bi - Li$ выполняется закон Генри, т.е. активность лития линейно зависит от состава, а парциальная молярная энтропия лития в области составов с $x_{Li} < 0{,}32$ отрицательна, что характерно для систем с сильным взаимодействием между компонентами. Представляет интерес сравнение полученных в настоящей работе результатов измерения ПН

расплавов $Bi-Li$ с литературными. Для этого воспользуемся тем, что в работе [9] было также измерено ПН одного из сплавов висмута с минимальным содержанием лития (0,49 ат.% Li) – наиболее близкого по составу с изученным нами ранее расплавом Bi +0,444 ат.% Li. Полученные в них температурные зависимости ПН сплавов практически одинаковых составов описываются уравнениями, которые находятся в удовлетворительном согласии $\sigma(T) = 371{,}9 - 0{,}133(T - 663)$ и $\sigma(T) = 370{,}0 - 0{,}07(T - 550)$ соответственно.

4. Выводы

1. Впервые измерены температурные и концентрационные зависимости поверхностного натяжения 5 сплавов висмута с малыми добавками лития в области составов от 0,057 до 0,444 ат.% Li.

2. Показано, что литий в изученной области составов является слабой поверхностно-инактивной добавкой в сплавах с висмутом.

3. Полученные результаты находятся в согласии с критериями о поверхностной активности компонентов в двойных сплавах, а также с литературными данными о коэффициенте активности лития, сохраняющее постоянное значение в концентрационной области составов с малым содержанием лития в расплавах с висмутом от $x_{Li} = 0{,}028$ до $x_{Li} = 0{,}360$, т.е. в изученной нами области составов.

Библиографический список:

1. **Алчагиров, Б.Б.** Щелочные металлы и сплавы с их участием – перспективные материалы современной техники и энергетики / Б.Б. Алчагиров, Х.Б. Хоконов // Физика и химия перспективных материалов: сборник научных работ. – Нальчик: КБГУ, 1998. – С. 40-44.

2. **Subbotin, V.I.** Liquid-metal coolants for nuclear power / V.I. Subbotin, M.N. Arnol'dov, F.A. Kozlov, A.L. Shimkevich // Atomic energy. − 2002. − V. 92. − № 1. − P. 29-40. DOI: 10.1023/A:1015050512710.

3. **Ниженко, В.И.** Поверхностное натяжение металлов и сплавов. Справочник / В.И. Ниженко, Л.И. Флока. – М.: Металлургия, 1981. – 208 с.

4. **Алчагиров, Б.Б.** Поверхностное натяжение сплавов с участием щелочных металлов / Б.Б. Алчагиров, Р.Х. Архестов, Ф.Ф. Дышекова, Т.М. Таова // Теплофизика высоких температур. – 2013. – Т. 51. – № 2. С. 210-223.

5. **Sobolev, V.** Database of thermophysical properties of liquid metal coolants for GEN-IV: Sodium, lead, lead-bismuth eutectic (and bismuth) / V. Sobolev; version v1. – Mol: SCK CEN Publ., 2011. – 175 p.

6. **Алчагиров, Б.Б.** Поверхностное натяжение щелочных металлов и сплавов с их участием / Б.Б. Алчагиров // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. – М.: ИВТАН, 1991. – № 3-4. – 180 с.

7. **Алчагиров, Б.Б.** Термические свойства перспективных материалов и теплоносителей жидкометаллического бланкета термоядерного реактора. Свинец-литиевая эвтектика / Б.Б. Алчагиров, А.Г. Мозговой, Т.М. Таова, Т.А. Сижажев // Перспективные материалы. – 2005. – № 6. – С. 35-42.

8. **Алчагиров, Б.Б.** Поверхностное натяжение расплавов свинец–литий / Б.Б. Алчагиров, Ф.Ф. Дышекова, Р.Х. Архестов // Журнал физической химии. – 2016. – Т. 90. – № 11. – С. 1710-1718. DOI: 10.7868/S0044453716110029.

9. **Алчагиров, Б.Б.** Поверхностное натяжение сплавов лития на основе висмута / Б.Б. Алчагиров, Р.Х. Архестов, Ф.Ф. Дышекова, О.Х. Кясова // Доклады Адыгской (Черкесской) международной академии наук. – 2015. – Т. 17. – № 3. – С. 78-85.

10. Государственная система обеспечения единства измерений. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования: ГОСТ Р 8.585-2001; введен 01.07.2002; взамен ГОСТ Р 50431-92, МИ

2559-99. – М.: Стандартинформ, 2010. – 81 с.
11. **Арнольдов, М.Н.** Основы метрологического обеспечения температурного контроля реакторных установок: учебное пособие для вузов / М.Н. Арнольдов, В.А. Каржавин, А.И. Трофимов. – М.: МЭИ, 2012. – 248 с.
12. **Свидетельство № 2015614191 Российская Федерация**. Программа автоматизации физического эксперимента по измерению поверхностного натяжения жидкостей методом лежащей капли / Б.Б. Алчагиров, З.А. Коков, Ф.Ф. Дышекова и др. – № 2015614191; заявл. 12.12.2014; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 08.04.2015. – 1 с.
13. **Авторское свидетельство № 1469318 СССР, МКИ4 G01N 13/02.** Устройство для определения поверхностного натяжения жидких металлов и сплавов / Б.Б. Алчагиров; заявитель КБГУ. – № 4181472/24-25-25; заявл. 24.11.86; опубл. 30.03.89, Бюл. № 12. – 3 с.
14. **Пат. 2511277 Российская Федерация, МПК G01N 13/02.** Прибор для совместного измерения поверхностного натяжения и работы выхода электрона жидкометаллических систем с участием компонентов с высокой упругостью насыщенного пара металлов и сплавов / Алчагиров Б.Б., Альбердиева Д.Х., Архестов Р.Х. и др.; заявитель КБГУ им. Х.М. Бербекова. – № 2012115798/28; заявл. 19.04.2012; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 10. – 11 с.
15. **Maze, C.** Estimation of non-equilibrium surface tension / C. Maze, G. Burnet // Surface of Science. – 1971. – V. 27. – I. 3. – P. 411-418. DOI: 10.1016/0039-6028(71)90178-6.
16. **Fima, P.** Effect of metal purity and testing procedure on surface tension measurements of liquid tin / P. Fima, R. Nowak, N. Sobczak // Journal of Materials Science. – 2010. – V. 45. – I. 8. – P. 2009-2014. DOI: 10.1007/s10853-009-3973-y.
17. **Унежев, Б.Х.** К методике измерения поверхностного натяжения жидких металлов особой чистоты / Б.Х. Унежев, М.М. Махова // В сборнике: Физика поверхностных явлений в расплавах. – Грозный: Чечено-Ингуш. гос. ун-т, 1977. – Часть 1. – С. 79-84.
18. Висмут. Технические условия: ГОСТ 10928-90; введен 01.01.1992; Взамен ГОСТ 10928-75. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 6 с.
19. Литий. Технические условия: ГОСТ 8774-75; введен 01.01.1977; взамен ГОСТ 8774-58. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 5 с.
20. **Лякишев, Н.П.** Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т. / Н.П. Лякишев, О.А. Банных, Л.Л. Рохлин и др.; под общей ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – Т. 1. – С. 656-658.
21. **Sangster, J.** The Bi-Li (bismuth-lithium) system / J. Sangster, A.D. Pelton // Journal of Phase Equilibria. – 1991. – V. 12. – I. 4. – P. 447-450. DOI: 10.1007/BF02645966.
22. **Keene, B.J.** Review of data for the surface tension of pure metals / B.J. Keene // International Materials Reviews. – 1993. – V. 38. – I. 4. – P. 157-192. DOI: 10.1179/imr.1993.38.4.157.
23. **Задумкин, С.Н.** Физика межфазных явлений в конденсированных средах / С.Н. Задумкин, Х.Б. Хоконов, Б.С. Карамурзов и др. − Нальчик: КБГУ, 2014. – 247 с.
24. **Демидов, А.И.** Термодинамические свойства жидких сплавов системы литий-висмут / А.И. Демидов, А.Г. Морачевский // Электрохимия. – 1973. – Т. 9. – Вып. 8. – С. 1393-1394.

References:

1. Alchagirov B.B., Khokonov Kh.B. Shchelochnyye metally i splavy s ikh uchastiyem – perspektivnyye materialy sovremennoy tekhniki i energetiki [Alkali metals and alloys containing them – promising materials for modern engineering and energy], *Fizika i khimiya perspektivnykh materialov [Physics and chemistry of advanced materials], collection of scientific papers.* Nal'chik, KBSU Publ., 1998, pp. 40-44. (In Russian).
2. Subbotin V.I., Arnol'dov M.N., Kozlov F.A., Shimkevich A.L. Liquid-metal coolants for nuclear power, Atomic energy, 2002, vol. 92, no. 1, pp. 29-40. DOI: 10.1023/A:1015050512710.
3. Nizhenko V.I., Floka L.I. *Poverkhnostnoye natyazheniye metallov i splavov. Spravochnik* [Surface tension of metals and alloys. Handbook], Moscow, Metallurgiya Publ., 1981, 208 p. (In Russian).
4. Alchagirov B.B., Arkhestov R.Kh., Dyshekova F.F., Taova T.M. Surface tension of alloys with additives of alkali metals, *High Temperature*, 2013, vol. 51, issue 2, pp. 183-196. DOI: 10.1134/S0018151X13020016.
5. Sobolev V. *Database of thermophysical properties of liquid metal coolants for GEN-IV: Sodium, lead, lead-bismuth eutectic (and bismuth)*, version v1. Mol, SCK CEN Publ., 2011, 175 p.
6. Alchagirov B.B. *Poverkhnostnoye natyazheniye zhidkikh shchelochnykh metallov i splavov s ikh uchastiyem* **[**Surface tension of liquid alkali metals and alloys containing them], Obzory po teplofizicheskim svoystvam veshchestv [Reviews on thermophysical properties of substances]. Moscow, Institute of High Temperatures of the USSR Academy of Sciences, 1991, no. 3-4, 180 p. (In Russian).

7. Alchagirov B.B., Mozgovoi A.G., Taova T.M., Sizhazhev T.A. Termicheskiye svoystva perspektivnykh materialov i teplonositeley zhidkometallicheskogo blanketa termoyadernogo reaktora. Svinets-litiyevaya evtektika [Thermal properties of promising tritium-reproduced materials and heat-transfer agents for liquid-metal blanket of thermonuclear reactor. Pb-Li eutectic], *Perspektivnye materialy*, 2005, no. 6, pp. 35-42. (In Russian).
8. Alchagirov B.B., Dyshekova F.F., Arkhestov R.K. Surface tension of lead–lithium melts, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2016, vol. 90, issue 11, pp. 2262-2269. DOI: 10.1134/S0036024416110029.
9. Alchagirov B.B., Arkhestov R.Kh., Dyshekova F.F., Kyasova O.Kh. Poverkhnostnoye natyazheniye splavov litiya na osnove vismuta [Surface tension of bismuth-based lithium alloys], *Doklady Adygskoj (Cherkesskoj) mezhdunarodnoj akademii nauk [Reports of the Adyghe (Circassian) International Academy of Sciences]*, 2015, vol. 17, no. 3, pp. 78-85. (In Russian).
10. GOST R P 8.585-2001. *Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij. Termopary. Nominal'nye staticheskie kharakteristiki preobrazovaniya* [Russian State Standart 8.585-2001. State system for ensuring the uniformity of measurements. Thermocouples. Nominal static characteristics of conversion]. Moscow, Stadartinform Publ., 2010, 81 p. (In Russian).
11. Arnol'dov M.N., Karzhavin V.A., Trofimov A.I. *Osnovy metrologicheskogo obespecheniya temperaturnogo kontrolya reaktornykh ustanovok: uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Fundamentals of metrological support for temperature monitoring of reactor facilities: a textbook for universities]. Moscow, MEI Publ., 2012, 248 p. (In Russian).
12. Alchagirov B.B., Kokov Z.A., Dyshekova F.F. et al. *Programma avtomatizatsii fizicheskogo eksperimenta po izmereniyu poverhnostnogo natyazheniya zhidkostej metodom lezhashchej kapli* [A program for automating a physical experiment to measure the surface tension of liquids using the sessile drop method]. Certificate RF, no. 2015614191, 2015. (In Russian).
13. Alchagirov B.B. *Ustroystvo dlya opredeleniya poverkhnostnogo natyazheniya zhidkikh metallov i splavov* [Device for determining the surface tension of liquid metals and alloys]. Certificate of authorship USSR, no. 1469318, 1989. (In Russian).
14. Alchagirov B.B., Alberdieva D.Kh., Arkhestov R.Kh. et al. *Pribor dlya sovmestnogo izmereniya poverkhnostnogo natyazheniya i raboty vykhoda elektrona zhidkometallicheskikh sistem s uchastiyem komponentov s vysokoy uprugost'yu nasyshchennogo para metallov i splavov* [Device for joint measurement of surface tension and electron work function of liquid metal systems involving components with high saturated vapor pressure of metals and alloys], Patent RF, no. 2511277, 2014. (In Russian).
15. Maze C., Burnet G. Estimation of non-equilibrium surface tension, *Surface of Science*, 1971, vol. 27, issue 3, pp. 411-418. DOI: 10.1016/0039-6028(71)90178-6.
16. Fima P., Nowak R., Sobczak N. Effect of metal purity and testing procedure on surface tension measurements of liquid tin, *Journal of Materials Science,* 2010, vol. 45, issue 8, pp. 2009-2014. DOI: 10.1007/s10853-009-3973-y.
17. Unezhev B.Kh., Makhova M.M. K metodike izmereniya poverkhnostnogo natyazheniya zhidkikh metallov osoboy chistoty [To the method of measuring the surface tension of liquid metals of special purity], *Fizika poverkhnostnykh yavleniy v rasplavakh [Physics of surface phenomena in melts]*. Grozny: Chechen-Ingush State University Publ., 1977, Part 1, pp. 79-84. (In Russian).
18. GOST 10928-90. Vismut. Tekhnicheskie usloviya [Russian State Standart 10928-90. Bismuth. Specifications]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1990, 6 p. (In Russian).
19. GOST 8774-75. *Litij. Tekhnicheskie usloviya* [Russian State Standart 8774-75. Lithium. Specifications]. Moscow, IPK Standartov Publ., 2001, 5 p. (In Russian).
20. Lyakishev N.P., Bannykh O.A., Rokhlin L.L. et al. *Diagrammy sostoyaniya dvoinykh metallicheskikh sistem: Spravochnik* [State diagrams of binary metal systems: handbook], ed. by N.P. Lyakisheva. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1996, vol. 1, pp. 656-658. (In Russian).
21. Sangster J., Pelton A.D. The Bi-Li (bismuth-lithium) system, *Journal of Phase Equilibria*, 1991, vol. 12, issue 4, p. 447-450. DOI: 10.1007/BF02645966.
22. Keene B.J. Review of data for the surface tension of pure metals, *International Materials Reviews,* 1993, vol. 38, issue 4, pp. 157-192. DOI: 10.1179/imr.1993.38.4.157.
23. Zadumkin S.N., Khokonov Kh.B., Karamurzov B.S. и др. *Fizika mezhfaznykh yavleniy v kondensirovannykh sredakh* [Physics of interfacial phenomena in condensed media], Nalchik: KBSU Publ., 2014. 247 p. (In Russian).
24. Demidov A.I., Morachevsky A.G. Termodinamicheskiye svoystva zhidkikh splavov sistemy litiy-vismut [Thermodynamic properties of liquid alloys of the lithium-bismuth system], *Elektrokhimiya [Soviet Electrochemistry]*, 1973, vol. 9, issue 8, pp. 1393-1394. (In Russian).