

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.10>

К ВОПРОСУ О СВЯЗИ МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТНЫМ НАТЯЖЕНИЕМ И РАБОТОЙ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА

Научная статья

Калажиков З.Х.¹, Гогия А.Р.²*^{1,2} Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Российская Федерация¹ Институт информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН, Нальчик, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (gogiya-95[at]mail.ru)

Аннотация

Ранее, на основе анализа экспериментальных данных по изучению концентрационных зависимостей поверхностного натяжения и работы выхода электрона бинарных растворов, авторами настоящей работы были получены уравнения изотерм ПН ($\sigma(x)$) и РВЭ ($\varphi(x)$), описывающие экспериментальные изотермы ПН и РВЭ во всем концентрационном интервале. В настоящем сообщении показано, что совместное рассмотрение этих уравнений позволяет получить новое уравнение, связывающее ПН с РВЭ бинарного раствора в зависимости от состава. Однако в последнем уравнении оказалось неизвестное выражение. Введение нового понятия – коэффициента чувствительности ПН и РВЭ раствора к изменению состава последнего, позволили определить величину неизвестного параметра, полученного уравнения через определяемые из данных экспериментов величины. Установлено, что ПН и РВЭ одинаковы по чувствительности к изменению состава раствора. Показано, что полученная формула описывает эксперимент достаточно точно во всей области составов как в твердом, так и в жидком состоянии бинарного раствора.

Ключевые слова: изотерма, поверхностное натяжение, работа выхода электрона, адсорбция, бинарная система, компонент, жидкое и твердое состояние.

TO THE ISSUE OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SURFACE TENSION AND ELECTRON RELEASE WORK

Research article

Kalazhikov Z.K.¹, Gogiya A.R.²*^{1,2} Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russian Federation¹ Institute of Informatics and Regional Management Problems KBSC RAS, Nalchik, Russian Federation

* Corresponding author (gogiya-95[at]mail.ru)

Abstract

Earlier, on the basis of the analysis of experimental data on the study of concentration dependences of surface tension and electron release work of binary solutions, the authors of the present work obtained the equations of ST ($\sigma(x)$) and ERW ($\varphi(x)$) isotherms describing the experimental isotherms of ST and ERW in the whole concentration range. In the present report, it is shown that the joint analysis of these equations yields a new equation relating the ST to the ERW of a binary solution as a function of composition. However, the latter equation turned out to contain an unknown expression. The introduction of a new concept – the coefficient of sensitivity of ST and ERW of the solution to changes in the composition of the latter, allowed to determine the value of the unknown parameter of the obtained equation through the values determined from the data of experiments. It has been established that ST and ERW are identical in sensitivity to changes in the composition of the solution. It is shown that the obtained formula describes the experiment accurately enough in the whole range of compositions in both solid and liquid states of the binary solution.

Keywords: isotherm, surface tension, electron release work, adsorption, binary system, component, liquid and solid states.

Введение

Вопрос о связи между поверхностным натяжением и работой выхода электрона в литературе обсуждается давно [1], [2]. Еще в [3], [4] было установлено, что поверхностное натяжение и работа выхода электрона (σ и φ) изменяются в зависимости от состава расплава одинаковым образом. Интерес к данному вопросу снова возник в связи с тем, что:

1. Методы измерения поверхностного натяжения и работы выхода электрона не сложные, дают информацию, не уступающую современным методам исследования поверхности как метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), электронной оже-спектроскопии (ЭОС) и др. При этом техника, реализующая эти методы, не является такой дорогостоящей как перечисленные выше электронно-спектроскопические методы исследования.

2. Для жидких расплавов разработана методика исследования поверхностных свойств, дающая богатую информацию о поверхности – метод измерения температурной и концентрационной зависимостей поверхностного натяжения [5]. Например, построив экспериментальную изотерму поверхностного натяжения – $\sigma(x)$, можно на основе термодинамики Гиббса [5], расчетным путем определить другие свойства поверхности расплава. К сожалению, для твердых растворов подобная методика разработана не до уровня практического его применения, хотя исследования велись в этом направлении довольно интенсивно [6]. Проблема в данном вопросе заключается в отсутствии в литературе достаточно надежных выражений, описывающих аналитические зависимости поверхностного натяжения и работы выхода электрона от состава раствора [1]. Кроме того, отсутствует аналитическое выражение, связывающее поверхностное натяжение ($\sigma(x)$) с работой выхода электрона ($\varphi(x)$), с использованием которого можно было бы перейти от исследования жидких растворов к исследованию растворов – сплавов в твердом состоянии [1], [3], [5].

3. Детали и изделия из сплавов эксплуатируются в различных условиях. Чтобы им придать необходимые потребительские свойства, их подвергают различным воздействиям: облучают различными потоками частиц – фотонами разных энергии, электронами, ионами, отжигают в атмосферах различных газов и т.д. При этом их свойства меняются. Для придания заранее заданных свойств необходим контроль поверхностных свойств. Одним из методов может быть измерение работы выхода электрона ($\varphi(x)$) и контроль тем самым процесса изменения свойства изделия из сплава, находящегося в твердом состоянии. Но пока, к сожалению, нет надежного способа контроля свойств поверхности, хотя такой способ востребован [7] развитием технологий. Одним из таких способов могло бы стать измерение работы выхода электрона.

В настоящее время мы имеем достаточно надежные уравнения изотермы работы выхода электрона – $\varphi(x)$ [8], [11] и поверхностного натяжения – $\sigma(x)$ [9]. В работе [8] получено уравнение, связывающее поверхностное натяжение с работой выхода электрона, однако при выводе такого уравнения было сделано предположение о том, что поверхностное натяжение и работа выхода электрона одинаково чувствительны к изменению состава раствора [3], [4], [11]. В настоящей работе сделана попытка показать справедливость данного предположения.

Решение поставленной задачи

Для решения поставленной задачи рассмотрим уравнения изотерм поверхностного натяжения [9] и работы выхода электрона [8]:

$$\sigma(x) = \beta_0 \frac{(F-1)(1-x)x}{1+(F-1)x} + \sigma_A(1-x) + \sigma_Bx \quad (1)$$

$$\varphi(x) = \alpha_0 \frac{(F-1)(1-x)x}{1+(F-1)x} + \varphi_A(1-x) + \varphi_Bx \quad (2)$$

где σ_A , σ_B , φ_A и φ_B – поверхностные натяжения и работы выхода электрона чистых компонентов бинарной системы А-В, А и В – компоненты системы А-В.

Практика показала [8], [9], что эти уравнения справедливы во всем концентрационном интервале и описывают эксперимент с высокой точностью. Допустимая ошибка не больше 2,3%. Из этих уравнений легко получить для состава x_i :

$$\frac{\Delta\sigma(x_i)}{\Delta\varphi(x_i)} = \frac{\beta_0}{\alpha_0} = \gamma(x_i) = \gamma_0 \quad (3)$$

где x_i – состав произвольно выбранного i -го раствора, $\Delta\sigma(x_i)$ и $\Delta\varphi(x_i)$ значения изменений поверхностного натяжения $\sigma(x)$ и работы выхода электрона $\varphi(x)$ при переходе свежесформированной поверхности бинарного раствора от неравновесного в начале (при $t=0$) к равновесному состоянию поверхности раствора. Так как правая часть выражения (3) должна быть постоянной (β_0 и $\alpha_0 = const$) для данной бинарной системы, то и левая часть (3) должна быть постоянной величиной.

Проверим выполнение условия (3), тем более, что простое сравнение изотерм (1) и (2) – поверхностного натяжения $\sigma(x)$ и работы выхода электрона $\varphi(x)$ бинарной системы А-В показывает, что, действительно может иметь место выполнение условия (3). Такая корреляция между изотермами поверхностного натяжения и работы выхода электрона была обнаружена в [11].

2.1. Расчет отношений $\Delta\sigma(x_i)/\Delta\varphi(x_i)$

Чтобы убедиться в сказанном, нами был выполнен расчет отношений $\Delta\sigma(x_i)/\Delta\varphi(x_i)$ для каждой системы щелочных металлов в зависимости от состава в точках x_i , где x_i : 0,1; 0,2; 0,3,...,0,9.

На рисунке 1 для наглядности в виде графиков приведены экспериментальные зависимости значений $\Delta\sigma(x_i)/\Delta\varphi(x_i)$ от состава x_i для наиболее надежно изученных бинарных систем щелочных металлов [12], [13], [14]. Для удобства обозначим отношение (3) через γ_0 .

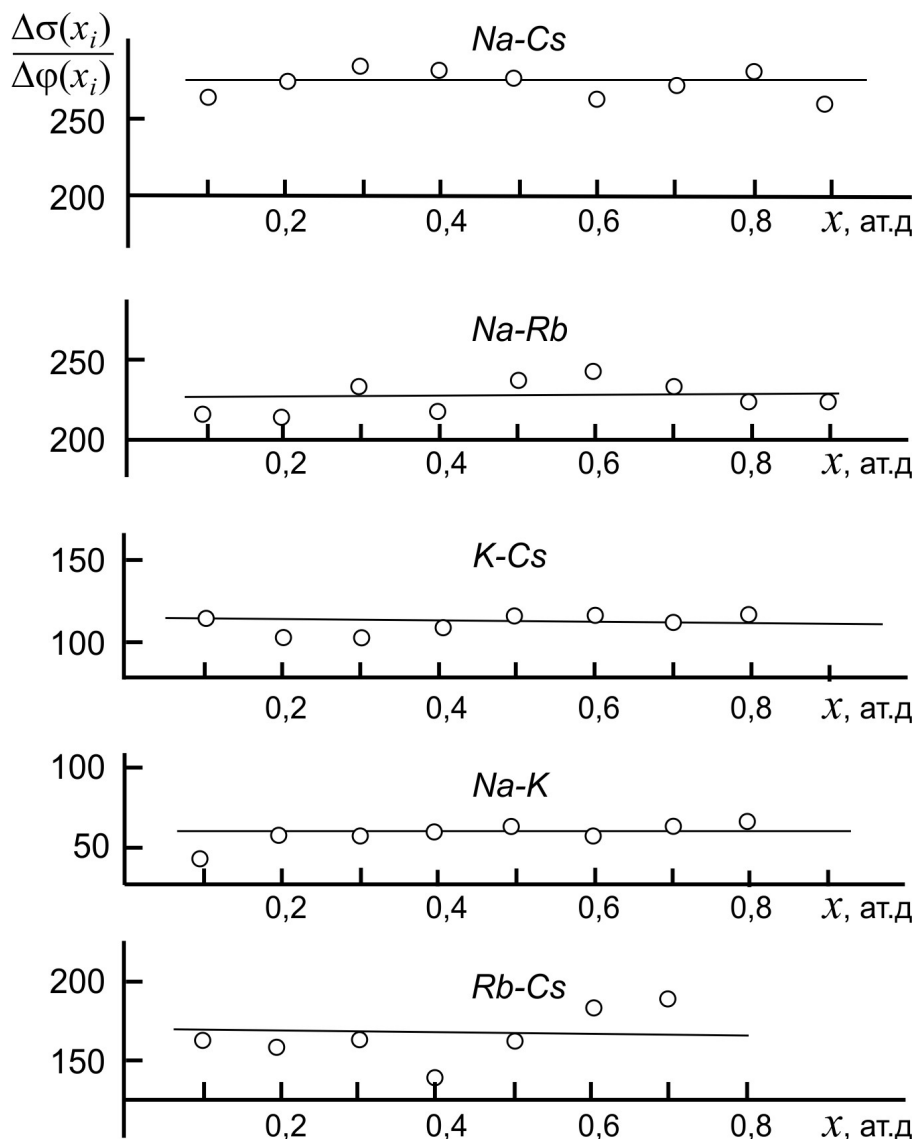


Рисунок 1 - Значения $\gamma(x_i)$ для бинарных систем щелочных металлов от состава раствора
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.10.1>

Из рисунка 1 видно, что $\gamma(x_i)$ – постоянная величина для данной системы в пределах ошибки экспериментов [8], [10].

Преобразуем выражение (3). Умножим его на $(\varphi_A - \varphi_B)$ и разделим на $(\sigma_A - \sigma_B)$. При этом, будем иметь следующее выражение:

$$\frac{\Delta\sigma(x_i)}{\Delta\varphi(x_i)} \cdot \frac{\varphi_A - \varphi_B}{\sigma_A - \sigma_B} = k_{A-B} \quad (4)$$

где A и B – компоненты раствора, а k_{A-B} – некоторый параметр.

Выражение (4) можно записать в виде

$$\frac{\Delta\sigma(x_i)}{\sigma_A - \sigma_B} = k_{A-B} \cdot \frac{\Delta\varphi(x_i)}{\varphi_A - \varphi_B} \quad (5)$$

Левая часть (5) – $\Delta\sigma(x_i)/(\sigma_A - \sigma_B)$ и выражение $\Delta\varphi(x_i)/(\varphi_A - \varphi_B)$ при k_{A-B} имеют смысл относительных изменений поверхностного натяжения и работы выхода электрона. Тогда k_{A-B} – представляет собой коэффициент корреляции относительных изменений поверхностного натяжения и работы выхода электрона.

Из сравнения выражений (1) и (2) будем иметь

$$\sigma(x) = \sigma_A - (\sigma_A - \sigma_B)x + \gamma_0 [(\varphi(x) - \varphi_A) + (\varphi_A - \varphi_B)x] \quad (6)$$

– уравнение, связывающее поверхностное натяжение $\sigma(x)$ с работой выхода электрона $\varphi(x)$ бинарного раствора состава x , где $\gamma_0 = \beta_0/\alpha_0$.

Чтобы получить рабочее уравнение, нам нужно найти значение γ_0 . Для этого из (3) и (4) получим

$$\gamma_0 \cdot \frac{\varphi_A - \varphi_B}{\sigma_A - \sigma_B} = k_{A-B} \quad (7)$$

или

$$\gamma_0 = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{\varphi_A - \varphi_B} \cdot k_{A-B} \quad (8)$$

2.2. Расчет параметра k_{A-B}

Результаты наших расчетов параметра k_{A-B} по (4) с использованием наиболее надежных экспериментальных изотерм поверхностного натяжения ($\sigma_A - \sigma_B$) и работы выхода электрона ($\varphi_A - \varphi_B$) [2], [10], [13] (см. Рис. 1), а также данных по поверхностному натяжению и работе выхода электрона чистых металлов [2], [10], [13] приведены в Таблице 1.

Таблица 1 - Значения k_{A-B} бинарных систем щелочных металлов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.10.2>

Система	Na-Cs	Na-Rb	K-Cs	Na-K	Rb-Cs	Среднее
k_{A-B}	0,94	0,6	0,73	1,26	1,2	0,95

Примечание: вычислены по ист. [4]; система K-Rb не обрабатывается из-за аддитивности её изотерм

Как видно из Рис.1 и Табл. 1, значения k_{A-B} являются постоянными для каждой бинарной системы A-B щелочных металлов и не зависят от состава x , что и подтверждает справедливость сделанного нами предположения при выводе уравнения (6), связывающего поверхностное натяжение $\sigma(x)$ с работой выхода электрона $\varphi(x)$ раствора. Разброс данных k_{A-B} около единицы, по-видимому, связано с близостью работ выхода электрона чистых металлов между собой, разницы которых близки к допущенным погрешностям при определении работы выхода электрона.

Таким образом, из данных Табл. 1 можно сделать заключение о том, что значения k_{A-B} можно принять равными единице для всех систем щелочных металлов, то есть $k_{A-B} \approx 1$. Тогда из (4) следует выражение

$$\frac{\Delta\sigma(x_i)}{\sigma_A - \sigma_B} = \frac{\Delta\varphi(x_i)}{\varphi_A - \varphi_B} \quad (9)$$

что означает равенство относительных изменений (чувствительностей) поверхностного натяжения и работы выхода электрона при переходе неравновесной поверхности в равновесное состояние.

Преобразуем выражение (9) к виду

$$\frac{\Delta\sigma(x_i)}{\Delta\varphi(x_i)} = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{\varphi_A - \varphi_B} \quad (10)$$

Сравнивая выражения (3) и (10), получим

$$\gamma_0 = \frac{\sigma_A - \sigma_B}{\varphi_A - \varphi_B} \quad (11)$$

– постоянная величина.

Подставив γ_0 в (6) получим уравнение, связывающее работу выхода электрона с поверхностным натяжением.

После преобразования (6) получим

$$\sigma(x) = \sigma_A + \frac{\sigma_A - \sigma_B}{\varphi_A - \varphi_B} (\varphi(x) - \varphi_A) \quad (12)$$

– уравнение для расчетов изотермы поверхностного натяжения бинарного сплава через работу выхода электрона.

Заключение

1. Из анализа изотерм поверхностного натяжения и работ выхода электрона выявлен параметр γ_0 , определяемый разницей поверхностных натяжений и работ выхода электрона. Оказалось, что γ_0 постоянен для рассматриваемой бинарной системы A-B.

2. Параметр $\gamma_0 = \beta_0 / \alpha_0$, где β_0 – работа выхода поверхностно-активного компонента при выходе на поверхность раствора поверхностно-активного вещества, определяемого адсорбцией; α_0 – изменение работы выхода электрона поверхности раствора при переходе системы из неравновесного в равновесное состояние.

3. Введенный параметр γ_0 постоянен для данной бинарной системы и равен $(\sigma_A - \sigma_B) / (\varphi_A - \varphi_B)$.

4. Введенный параметр – коэффициент корреляции k_{A-B} изменений поверхностного натяжения и работы выхода электрона равен единице для систем щелочных металлов. Это означает, что поверхностное натяжение и работа выхода электрона одинаково чувствительным к изменениям состава раствора.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке
Внутреннего гранта КБГУ (Договор №1).

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The study was conducted with the financial support of an internal grant from Kabardino-Balkarian State University (Agreement no.1).

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Задумкин С.Н. Уравнение, связывающее работу выхода электрона с поверхностным натяжением металлических растворов / С.Н. Задумкин, Х.И. Ибрагимов, Х.Б. Хоконов // ЖФХ. — 1977. — Т. 51. — № 1. — С. 133.
2. Алчагиров Б.Б. Поверхностное натяжение щелочных металлов и сплавов с их участием / Б.Б. Алчагиров // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. — М.: ТФЦ РАН, 1991. — № 3 (89)-4 (90). — 180 с.
3. Лазарев В.Б. Фотоэлектрические и поверхностные явления в двойных и тройных металлических системах / В.Б. Лазарев, В.К. Семенченко, Ю.И. Малов [и др.] // Поверхностные явления в расплавах и возникающих из них твердых фазах. — Киев.: Наукова думка, 1968. — С. 258–269
4. Лазарев В.Б. Экспериментальное изучение внешнего фотоэффекта с поверхности разбавленных амальгам калия в жидком и твердом состоянии / В.Б. Лазарев, Ю.И. Малов // Докл. АН СССР. — 1965. — Т. 161. — № 4. — С. 875–877.
5. Семенченко В.К. Поверхностные явления в металлах и сплавах / В.К. Семенченко. — Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1957. — 491 с.
6. Лазарев В.Б. О связи между поверхностными свойствами расплавов и образующихся из них твердых фаз / В.Б. Лазарев, В.К. Семенченко, Ю.И. Малов // Поверхностные явления в расплавах и возникающих из них твердых фазах / Под. ред. С.Н. Задумкина. — Нальчик, 1965. — С. 185–189.
7. Мусохранов М.В. Определение значения поверхностной энергии через работу выхода электрона / М.В. Мусохранов, Ф.И. Антонок, В.В. Калмыков // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 6.
8. Зихова К.В. Расчет концентрационной зависимости работы выхода электрона бинарных сплавов / К.В. Зихова, З.Х. Калажиков, Х. Заур [и др.] // Известия вузов. Сев.-Кав. регион. Серия естественные науки. — 2010. — № 6. — С. 47–48.
9. Калажиков З.Х. Расчет поверхностного натяжения и адсорбции сплавов бинарных систем р-металлов / З.Х. Калажиков, К.В. Зихова, З.Х. Калажиков [и др.] // Теплофизика высоких температур. — 2012. — Т. 50. — № 6. — С. 781–784.
10. Алчагиров Б.Б. Работа выхода электронов щелочных металлов и сплавов с их участием. Обзоры по теплофизическим свойствам веществ / Б.Б. Алчагиров, В.Б. Лазарев, Х.Б. Хоконов. — М.: ИВТАН, 1989. — № 5 (79). — С. 76–146.
11. Калажиков З.Х. К вопросу о связи между поверхностным натяжением и работой выхода электрона бинарных сплавов / З.Х. Калажиков, З.Х. Калажиков, З.А. Кумышева [и др.] // Третий международный междисциплинарный симпозиум «ФПЯ и ФП». — Ростов-на-Дону, 2013. — Вып. 3. — С. 97–99.
12. Алчагиров Б.Б. Работа выхода электронов щелочных металлов и сплавов с их участием. Обзоры по теплофизическим свойствам / Б.Б. Алчагиров, В.Б. Лазарев, Х.Б. Хоконов. — М.: ИВТАН, 1989. — № 5 (79). — С. 76–146.
13. Ибрагимов Х.И. Исследование поверхностного натяжения систем: олово-висмут и олово свинец / Х.И. Ибрагимов, Н.Л. Покровский, П.П. Пугачевич [и др.] // Поверхностные явления в расплавах и возникающих из них твердых фазах. — Нальчик: КБГУ, 1965. — С. 269–276.
14. Алчагиров Б.Б. Расчет адсорбции калия в сплавах натрий-калий: учет активности компонентов / Б.Б. Алчагиров, Л.Х. Афаунова, Т.М. Таова [и др.] // Вестник КБГУ. Сер. Физические науки. — 2009. — Вып. 12. — С. 9–11.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zadumkin S.N. Uravnenie, svyazyvajushhee rabotu vyhoda jelektrona s poverhnostnym natjazheniem metallicheskih rastvorov [The equation relating the work of electron yield to the surface tension of metallic solutions] / S.N. Zadumkin, H.I. Ibragimov, H.B. Hokonov // ZhFH. — 1977. — Vol. 51. — № 1. — P. 133. [in Russian]
2. Alchagirov B.B. Poverhnostnoe natjazhenie shhelochnyh metallov i splavov s ih uchastiem [Surface tension of alkali metals and alloys with their participation] / B.B. Alchagirov // Obzory po teplofizicheskim svojstvam veshhestv [Reviews on thermophysical properties of substances]. — M.: TFC RAS, 1991. — № 3 (89)-4 (90). — 180 p. [in Russian]
3. Lazarev V.B. Fotoelektricheskie i poverhnostnye javlenija v dvojnyh i trojnyh metallicheskih sistemah [Photoelectric and surface phenomena in double and ternary metallic systems] / V.B. Lazarev, V.K. Semenchenko, Ju.I. Malov [et al.] // Poverhnostnye javlenija v rasplavah i vznikajushhih iz nih tverdyh fazah [Surface phenomena in melts and solid phases arising from them]. — Kyiv.: Naukova dumka, 1968. — P. 258–269 [in Russian]

4. Lazarev V.B. Jeksperimental'noe izuchenie vneshnego fotojffekta s poverhnosti razbavlenykh amal'gam kalija v zhidkom i tverdom sostojanii [Experimental study of the external photoeffect from the surface of dilute potassium amalgams in liquid and solid states] / V.B. Lazarev, Ju.I. Malov // Dokl. AN SSSR [Reports of AS USSR]. — 1965. — Vol. 161. — № 4. — P. 875–877. [in Russian]
5. Semenchenko V.K. Poverhnostnye javlenija v metallah i splavah [Surface phenomena in metals and alloys] / V.K. Semenchenko. — State Publishing House of Technical and Theoretical Literature, 1957. — 491 p. [in Russian]
6. Lazarev V.B. O svjazi mezhdu poverhnostnymi svojstvami rasplavov i obrazujushhijhsja iz nih tverdyh fazah [On the connection between surface properties of melts and solid phases formed from them] / V.B. Lazarev, V.K. Semenchenko, Ju.I. Malov // Poverhnostnye javlenija v rasplavah i vznikajushhijhsja iz nih tverdyh fazah [Surface phenomena in melts and solid phases formed from them] / Ed. by S.N. Zadumkin. — Nalchik, 1965. — P. 185–189. [in Russian]
7. Musohranov M.V. Opredelenie znachenija poverhnostnoj jenerгии cherez rabotu vyhoda jelektrona [Determination of the surface energy value through the electron yield work] / M.V. Musohranov, F.I. Antonjuk, V.V. Kalmykov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija [Modern Problems of Science and Education]. — 2014. — № 6. [in Russian]
8. Zihova K.V. Raschet koncentracionnoj zavisimosti raboty vyhoda jelektrona binarnykh splavov [Calculation of the concentration dependence of the electron yield work of binary alloys] / K.V. Zihova, Z.H. Kalazhokov, H. Zaur [et al.] // Izvestija vuzov. Sev.-Kav. region. Serija estestvennye nauki [Proceedings of universities. North Caucasus region. Series Natural Sciences]. — 2010. — № 6. — P. 47–48. [in Russian]
9. Kalazhokov Z.H. Raschet poverhnostnogo natjazhenija i adsorbicii splavov binarnykh sistem r-metallov [Calculation of surface tension and adsorption of alloys of binary systems of p-metals] / Z.H. Kalazhokov, K.V. Zihova, Z.H. Kalazhokov [et al.] // Teplofizika vysokih temperatur [Thermophysics of high temperatures]. — 2012. — Vol. 50. — № 6. — P. 781–784. [in Russian]
10. Alchagirov B.B. Rabota vyhoda jelektronov shhelochnykh metallov i splavov s ih uchastiem. Obzory po teplofizicheskim svojstvam veshhestv [Electron yield work of alkali metals and alloys with their participation. Reviews on thermophysical properties of substances] / B.B. Alchagirov, V.B. Lazarev, H.B. Hokonov. — M.: IVTAN, 1989. — № 5 (79). — P. 76–146. [in Russian]
11. Kalazhokov Z.H. K voprosu o svjazi mezhdu poverhnostnym natjazheniem i rabotoj vyhoda jelektrona binarnykh splavov [On the question of the relationship between surface tension and electron yield work of binary alloys] / Z.H. Kalazhokov, Z.H. Kalazhokov, Z.A. Kumysheva [et al.] // Tretij mezhdunarodnyj mezhdisciplinarnyj simpoziuma «FPJa i FP» [Third International Interdisciplinary Symposium "FPYA and FP"]. — Rostov-on-Don, 2013. — Iss. 3. — P. 97–99. [in Russian]
12. Alchagirov B.B. Rabota vyhoda jelektronov shhelochnykh metallov i splavov s ih uchastiem. Obzory po teplofizicheskim svojstvam [Electron yield work of alkali metals and alloys involving them. Reviews on thermophysical properties] / B.B. Alchagirov, V.B. Lazarev, H.B. Hokonov. — M.: IVTAN, 1989. — № 5 (79). — P. 76–146. [in Russian]
13. Ibragimov H.I. Issledovanie poverhnostnogo natjazhenija sistem: olovo-vismut i olovo svinec [Study of the surface tension of the systems: tin-bismuth and tin-lead] / H.I. Ibragimov, N.L. Pokrovskij, P.P. Pugachevich [et al.] // Poverhnostnye javlenija v rasplavah i vznikajushhijhsja iz nih tverdyh fazah [Surface phenomena in melts and solid phases arising therefrom]. — Nalchik: KBSU, 1965. — P. 269–276. [in Russian]
14. Alchagirov B.B. Raschet adsorbicii kalija v splavah natrij-kalij: uchet aktivnosti komponentov [Calculation of potassium adsorption in sodium-potassium alloys: accounting for the activity of components] / B.B. Alchagirov, L.H. Afaunova, T.M. Taova [et al.] // Vestnik KBGU. Ser. Fizicheskie nauki [Bulletin of KBSU. Ser. Physical Sciences]. — 2009. — Iss. 12. — P. 9–11. [in Russian]