Научная статья

Original article

УДК: 544.723:722.2:546.31.

# РАСЧЕТ АДСОРБЦИЙ И ПОВЕРХНОСТНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ КОМПОНЕНТОВ ТРОЙНЫХ СПЛАВОВ СЕЧЕНИЙ, ИДУЩИХ К ВЕРШИНАМ КОНЦЕНТРАЦИОННОГО ТРЕУГОЛЬНИКА СИСТЕМЫ НАТИЙ-КАЛИЙ-ЦЕЗИЙ

# CALCULATION OF ADSORPTION AND SURFACE CONCENTRATIONS OF COMPONENTS OF TRIPLE CROSS-SECTION ALLOYS GOING TO THE VERTICES OF THE CONCENTRATION TRIANGLE OF THE SODIUM-POTASSIUM-CAESIUM SYSTEM

**Цеева Фатимат Мухамедовна**, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры теоретической и экспериментальной физики института физики и математики, Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173, КБГУ. E-mail: mfmkbsu@mail.ru

**Tseeva Fatimat Mukhamedovna**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Theoretical and Experimental Physics of the Institute of Physics and Mathematics, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Chernyshevsky str., 173, KBSU. E-mail: mfmkbsu@mail.ru

**Аннотация:** Определены поверхностные натяжения (ПН) тройных сплавов сечений, идущих к вершинам Na, K и Cs концентрационного треугольника системы Na-K-Cs с использованием полуэмпирической формулы и расчетно-

графического метода. Результаты расчетов согласуются между собой удовлетворительно.

Вычислены адсорбции $\Gamma_i^{(N)}$ и поверхностные концентрации $X_i^{\omega}$ всех трех компонентов системы Na-K-Cs. Получено, что адсорбция Cs положительная, а адсорбция Na отрицательная для всех тройных сплавов сечений, идущих к вершинам Cs и Na треугольника составов. Адсорбция калия положительная $\Gamma_K^{(N)} > 0$ в тройных сплавах сечений, когда в исходных двойных сплавах Na-Cs концентрация цезия $X_{Cs} < 6.5$ ат.%. Когда содержание цезия в исходных двойных сплавах сечений $X_{Cs} > 6.5$ ат.%, адсорбция калия переходит в отрицательную величину $\Gamma_K^{(N)} < 0$ в тройных сплавах этих сечений. Если в исходном двойном сплаве сечения $X_{Na}$:$X_{Cs}$ концентрация $X_{Cs}$=6,5 ат.%, то адсорбция калия $\Gamma_K^{(N)} = 0$.

Показано, что в тройных сплавах системы Na-K-Cs условия $\sum \Gamma_i^{(N)}(X_i) = 0$ и $\sum X_i^{\omega} = 100$ (ат.%), где $i$ = Na, K и Cs, выполняются удовлетворительно; средняя относительная погрешность составляет около 3%.

**Annotation**: The surface tensions (ST) of triple cross-section alloys going to the vertices Na, K and Cs of the concentration triangle of the Na-K-Cs system are determined using a semi-empirical formula and a computational and graphical method. The results of the calculations agree satisfactorily with each other.

The adsorption $\Gamma_i^{(N)}$ and surface $X_i^{\omega}$ concentrations of all three components of the Na-K-Cs system are calculated. It is found that the adsorption of Cs is positive and the adsorption of Na is negative for all triple cross-section alloys going to the vertices of Cs and Na of the triangle compositions. Potassium adsorption is positive $\Gamma_K^{(N)} > 0$ in triple cross-section alloys when the concentration of cesium in the initial Na-Cs double alloys is $X_{Cs} < 6.5$ ат.%.. When the content of cesium in the initial double cross-section alloys is $X_{Cs} > 6.5$ ат.%, potassium adsorption turns into a negative value $\Gamma_K^{(N)} < 0$ in triple alloys of these cross-sections. If in the original double alloy of $X_{Na}$:$X_{Cs}$ cross section: concentration $X_{Cs}$=6,5 ат.%,, then potassium adsorption $\Gamma_K^{(N)} = 0$.

It is shown that in triple alloys of the Na-K-Cs system, the conditions $\sum \Gamma_i^{(N)}(X_i) = 0$ and $\sum X_i^{\omega} = 100$ (ат.%), where i = Na, K and Cs, are fulfilled satisfactorily; the average relative error is about 3%.

**Ключевые слова:** Поверхностное натяжение, щелочные металлы, адсорбция, поверхностная концентрация, тройные системы, концентрационный треугольник, натрий, калий, цезий, перспективные материалы.

**Keywords**: Surface tension, alkali metals, adsorption, surface concentration, triple systems, concentration triangle, sodium, potassium, cesium, promising materials.

**Введение**

Щелочные металлы и их сплавы находят широкое применение в науке, технике и технологии благодаря их уникальным для металлических систем физическим свойствам – малой плотности и вязкости, высокой электро- и теплопроводности, рекордно низкой температуре плавления и широкой области жидкого состояния, низким значениям работы выхода электрона и т.д. Эти свойства самые благоприятные для практического применения, делают щелочные металлы и сплавы с их участием перспективными материалами XXI века. Они широко используются в ядерной энергетике, новых мощных химических источниках тока, эмиссионной электронике, аэрокосмическом материаловедении, медицине и др. Многокомпонентные жидкометаллические системы на основе щелочных металлов являются высокотемпературными теплоносителями принципиально нового типа и рассматриваются в качестве перспективных теплоносителей для ядерных реакторов на быстрых нейтронах. Однако щелочные металлы и их сплавы представляют объекты, экспериментальное исследование физико-химических свойств которых сопряжено с большими трудностями. К настоящему времени достаточно подробно изучены свойства щелочных металлов и их двойных сплавов. Что касается исследования свойств тройных систем щелочных металлов, то в литературе кроме наших данных имеются результаты экспериментального определения плотности только для трех тройных сплавов системы Na-K-Cs [1,2]. Между тем самую низкую температуру плавления среди

металлических систем имеет эвтектический сплав системы Na-K-Cs, равную 195 К (-78 $^0$C), который остается в жидком состоянии в любых земных условиях.

**Изотермы поверхностного натяжения тройных сплавов сечений, идущих к вершинам цезия, калия и натрия треугольника составов Na-K-Cs**

Щелочные металлы и их сплавы представляют объекты, экспериментальное исследование физико-химических свойств которых сопряжено с большими трудностями. В работе [3] предложен расчетно-графический метод определения поверхностного натяжения многокомпонентных сплавов щелочных металлов, который значительно сокращает объем экспериментальных работ при сохранении точности получаемых результатов. Предложенный в работе [4] аналитический способ расчета ПН для бинарных систем основан на использовании экспериментальных значений ПН чистых компонентов и двух сплавов произвольных составов. В случае определения ПН тройных сплавов сечений, идущих к одной из вершин треугольника составов, в качестве одного из «чистых» компонентов следует использовать исходный двойной сплав рассматриваемого сечения, а вторым чистым компонентом является добавляемый компонент.

Для расчета изотерм поверхностного натяжения $\sigma(x)$ сплавов трехкомпонентных щелочных систем используем формулу [4]

$$\sigma(x) = \beta_3 \cdot \frac{(F_3 - 1)(1-x)x}{1+(F_3-1)x} + \sigma_{ab}(1-x) + \sigma_3 x \qquad (1)$$

где $\beta_3$ и $F_3$ - постоянные параметры для рассматриваемой системы, $\sigma_{ab}$ – ПН исходного бинарного сплава, к которому добавляется третий компонент, концентрация которого $x$, $\sigma_3$ –ПН добавляемого третьего компонента. Смысл параметров $\beta_3$ и $F_3$ дается в работе [5].

Для расчета $\sigma(x)$ по (1) необходимо иметь значения $\beta_3$ и $F_3$ для данной системы. Чтобы определить их, запишем (1) для двух произвольных концентраций $x = x_1$ и $x = x_2$ добавляемого компонента:

$$\sigma(x_1) = \beta_3 \frac{(F_3 - 1)(1-x_1)x_1}{1+(F_3-1)x_1} + \sigma_{ab}(1-x_1) + \sigma_3 x_1 \qquad (2)$$

$$\sigma(x_2) = \beta_3 \frac{(F_3 - 1)(1 - x_2)x_2}{1 + (F_3 - 1)x_2} + \sigma_{ab}(1 - x_2) + \sigma_3 x_2 \quad (3)$$

Разрешая (2) и (3) относительно $\beta_3$ и $F_3$, получим:

$$\beta_3 = \frac{\Delta\sigma(x_1) \cdot \Delta\sigma(x_2)(x_2 - x_1)}{\Delta\sigma(x_1) f(x_2) - \Delta\sigma(x_2) f(x_1)} \quad (4)$$

$$F_3 = 1 + \frac{\Delta\sigma(x_1)}{\beta_3 \cdot f(x_1) - \Delta\sigma(x_1)x_1} = 1 + \frac{\Delta\sigma(x_2)}{\beta_3 \cdot f(x_2) - \Delta\sigma(x_2)x_2}, \quad (5)$$

где введены обозначения:

$$\Delta\sigma(x_1) = \sigma(x_1) - \sigma_a(1 - x_1) - \sigma_b x_1, \quad (6)$$

$$\Delta\sigma(x_2) = \sigma(x_2) - \sigma_a(1 - x_2) - \sigma_b x_2, \quad (7)$$

$$f(x_1) = (1 - x_1)x_1, \quad (8)$$

$$f(x_2) = (1 - x_2)x_2 \quad (9)$$

Таким образом, измерив в эксперименте $\sigma(x_1)$ и $\sigma(x_2)$ для двух произвольных составов $x = x_1$ и $x = x_2$, определим значения $\beta_3$ и $F_3$ для уравнения (1) данной системы. Тогда $\sigma(x)$ можно рассчитать по (1) для всей концентрационной области $0 \leq x \leq 100$ ат.%.

Следует отметить, что рассматриваемая задача для трехкомпонентной системы решается при постоянном отношении концентраций компонентов исходного двухкомпонентного сплава $x_a/x_b=a$, к которому добавляется третий компонент для образования трехкомпонентного сплава.

На рис. 1-3 приводятся изотермы ПН тройных сплавов сечений, идущих к вершинам цезия, калия и натрия треугольника составов. Как видно из рис. 1-3, расчеты по формуле (1) согласуются с данными [6] (точки), полученными расчетно-графическим методом, что говорит о возможности использования (1) для построения изотерм ПН во всем интервале концентраций добавляемого компонента.

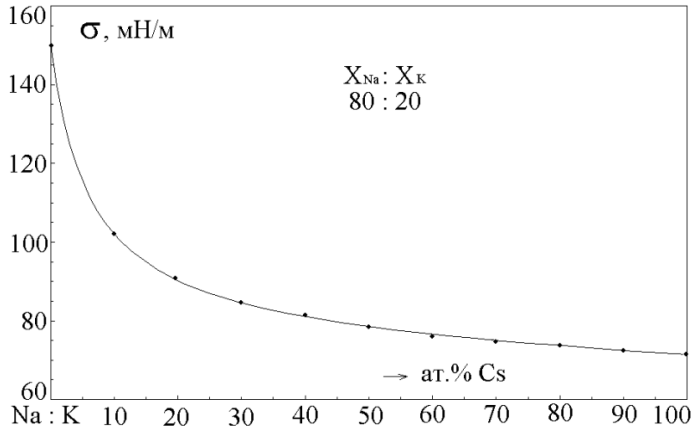


Рис. 1. Изотерма ПН тройных сплавов сечения $X_{Na} : X_K = 80 : 20$, идущего к вершине Cs треугольника составов. Линия – расчет по формуле (1), точки – данные расчетно-графического метода.

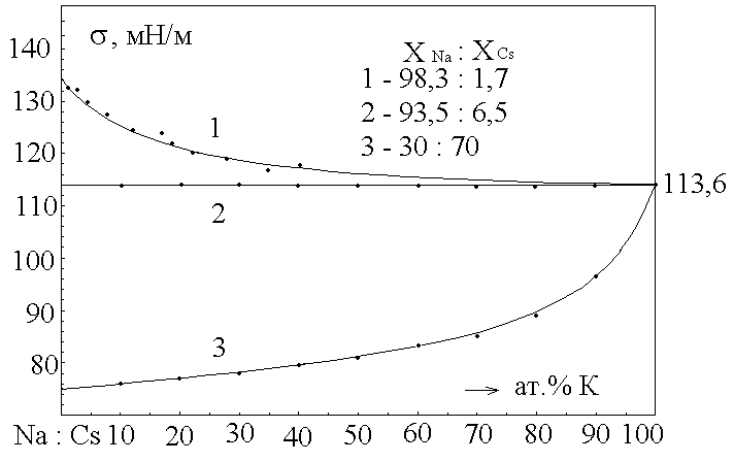


Рис. 2. Изотермы ПН сплавов системы Na-Cs-K при 373 К. Линия – расчет по формуле (1), точки на изотермах 1 и 2 – эксперимент [7], точки на изотерме 3 - данные расчетно-графического метода.

На рис. 2 приводятся изотермы ПН калия в сплавах трех сечений, идущих к вершине калия треугольника составов, при $X_{Na}:X_{Cs} = 98,3:1,7; 93,5:6,5; 30:70$. Точки на изотермах 1 и 2 это экспериментально полученные данные для тройных сплавов сечений 1 и 2, а точки на изотерме 3 - данные расчетно-графического метода. Как видно из рис. 2, *калий* является *поверхностно-активной добавкой* к тройным сплавам Na-Cs-K *(изотерма 1)*, когда в составах сплавов отношение концентраций $X_{Na}:X_{Cs}>14,4$; в тройных сплавах, в которых $X_{Na}:X_{Cs}<14,4$, *калий уже поверхностно-инактивная добавка (изотермы 3)*. Увеличение содержания цезия в тройной системе приводит к изменению знака поверхностной активности калия. Такое явление мы назвали эффектом *концентрационной инверсии*

поверхностной активности компонента. При $X_{Na}:X_{Cs}=14,4$ *(изотермы 2)*. поверхностная активность калия в тройных сплавах равна нулю, т.е. *добавление калия к тройным сплавам* этого сечения *не приводит к изменению поверхностного натяжения*: все тройные сплавы этого сечения имеют равные значения ПН $\sigma(X_K)=113,6$ мН/м при 373К. Это явление называется *концентрационной буферностью* ПН. Оно означает, что при изменении состава многокомпонентного раствора его свойство остается постоянным.

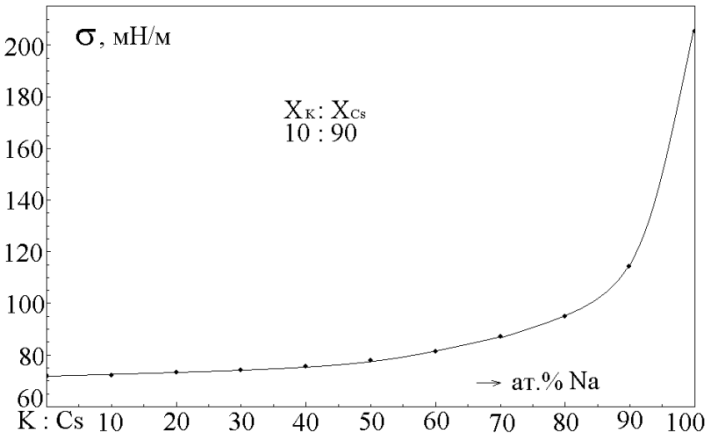


Рис. 3. Изотерма ПН тройных сплавов сечения $X_K : X_{Cs} = 10 : 90$, идущего к вершине Na треугольника составов. Линия – расчет по формуле (1), точки – данные расчетно-графического метода.

Проявление концентрационной буферности ПН различно в зависимости от способа изменения состава многокомпонентной системы. Явление концентрационной буферности свойств может иметь место для различных свойств многокомпонентных растворов, проявляться по разному и обусловлено разными факторами от многообразия концентрационной зависимости свойств растворов [8].

Как видно из рис. 1-3 результаты расчетов изотерм ПН по формуле (1) (сплошные линии) удовлетворительно согласуются с данными расчетов расчетно-графическим способом [6] (точки) и экспериментальными данными [7] (точки), что говорит о возможности использования (1) для построения изотерм поверхностного натяжения трехкомпонентных систем во всем концентрационном интервале добавляемого компонента, если на изотермах ПН не имеются экстремальных точек.

**Расчет адсорбции компонентов тройных сплавов трех сечений, идущих к вершинам концентрационного треугольника системы Na-K-Cs**

В поверхностном слое многокомпонентной системы может наблюдаться избыток (или недостаток) одного из компонентов по сравнению с его концентрацией в объеме. Это явление называется адсорбцией компонента. Адсорбция оказывает большое влияние на межфазные свойства материалов – поверхностное натяжение (ПН) и смачиваемость, электронную эмиссию и катализ, межфазную энергию и адгезию, поверхностную коррозию и т.д. Адсорбционные процессы протекают спонтанно, понижая поверхностную энергию и энтропию системы.

Для расчета адсорбции в многокомпонентных системах по $N$ – варианту Гуггенгейма-Адама выбирается такая разделяющая поверхность, на которой сумма адсорбций всех компонентов равна нулю $\sum \Gamma_i^{(N)} = 0$ [5]. В случае трехкомпонентной системы, например Na-K-Cs, с концентрациями компонентов $X_1$, $X_2$ и $X_3$ адсорбция 2-го компонента $\Gamma_2^{(N)}$ вычисляется по формуле

$$\Gamma_2^{(N)} = \frac{X_2(1-X_2)}{RT}\left(\frac{\partial\sigma}{\partial X_2}\right)_{X_1:X_3}, \qquad (10)$$

где $X_1 : X_3 = const$.

Необходимая для расчетов адсорбций частная производная от $\sigma(X_i)$ определяется либо методом графического дифференцирования кривых изотерм ПН $\sigma(X_i)$, либо дифференцирование уравнений типа (1), если оно удовлетворительно описывает изотермы ПН.

На рис. 4-6 приводятся изотермы адсорбций Cs, Na и K для тройных сплавов.

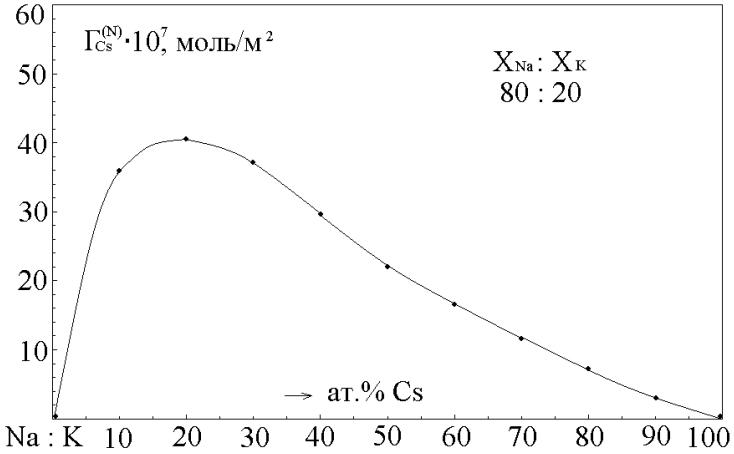


Рис. 4. Адсорбция Cs в сплавах сечения $X_{Na} : X_K = 80 : 20$, идущего к вершине Cs треугольника составов.

Как видно из рис. 4 и 6, адсорбция цезия положительная, а адсорбция натрия отрицательная для всех тройных сплавов сечений, идущих к вершинам Cs и Na. Адсорбция калия (рис.5) испытывает инверсию – переходит от положительной адсорбции для сплавов сечений $X_{Na} : X_{Cs} = const$, идущих к вершине К, когда в исходных двойных сплавах сечений содержания цезия $X_{Cs} < 6.5$ ат.%, к отрицательной адсорбции, когда в исходных двойных сплавах сечений $X_{Na} : X_{Cs} = const$ $X_{Cs} > 6.5$ ат.%. Если в исходном двойном сплаве сечения $X_{Na} : X_{Cs} = 93{,}5 : 6{,}5$, т.е., когда $X_{Cs} = 6.5$ ат.%, то адсорбция калия в сплавах сечений $\Gamma_K^{(N)} = 0$ во всем интервале (0-100 ат.%) концентрации калия. Последнее означает, что все тройные сплавы сечения с $X_{Na} : X_{Cs} = 93{,}5:6{,}5=14{,}38$ во всем интервале концентрации К имеют одинаковое значение ПН $\sigma(X_i) = 113{,}6$ мН/м при Т = 373К (концентрационная буферность ПН).

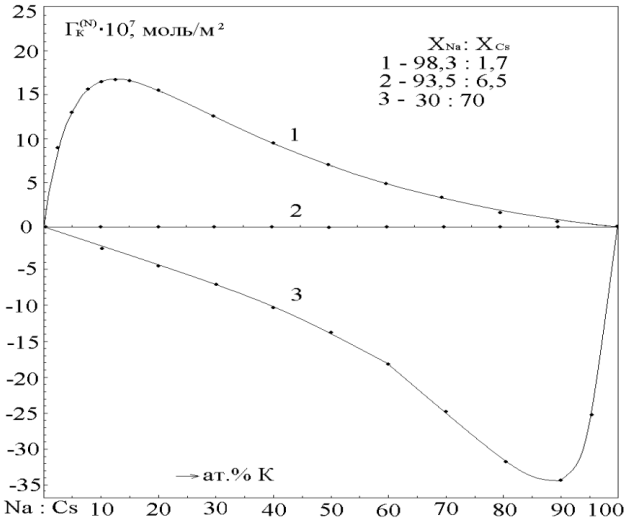


Рис. 5. Адсорбции K в сплавах сечений $X_{Na} : X_{Cs} = 98,3 : 1,7; 93,5 : 6,5; 30 : 70$, идущих к вершине K треугольника составов.

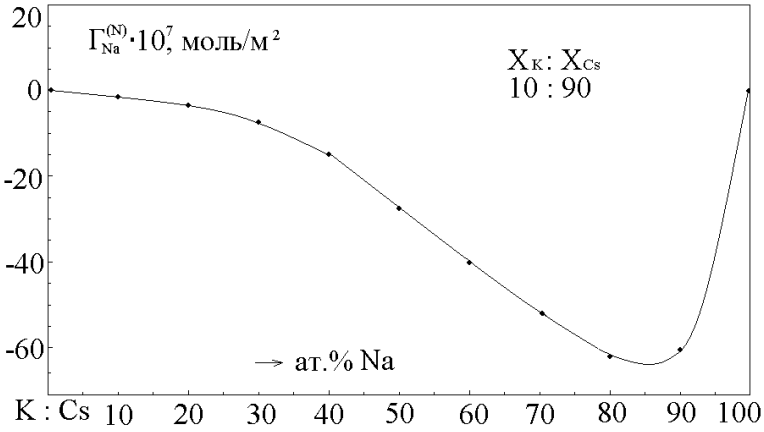


Рис. 6. Адсорбция Na в сплавах сечения $X_K : X_{Cs} = 10 : 90$, идущего к вершине Na треугольника составов.

**Поверхностная концентрация компонентов тройных сплавов трех сечений, идущих к вершинам концентрационного треугольника системы Na-K-Cs**

По значениям адсорбций компонентов K, Cs и Na рассчитаны их поверхностные концентрации по формуле [5]

$$X_i^{\omega} = X_i - \omega \frac{X_i(1-X_i)}{RT}\left(\frac{\partial\sigma}{\partial X_i}\right)_{X_j:X_l}, \qquad (11)$$

где $\omega = \sum \bar{\omega}_i X_i^{\omega}$ - молярная площадь поверхности сплава, $\bar{\omega}_i$ - парциально-молярная площадь поверхности $i$-го компонента. Для идеальной системы

$$\omega_i = \frac{1}{n} N_0^{1/3} V_i^{2/3}, \qquad (12)$$

где $V_i$ и $V_i^{\omega}$ - молярные объемы *i*-го компонента в объеме и поверхностном слое, n – число атомарных слоев на поверхности раздела фаз, $N_0$ – число Авогадро.

В случае трехкомпонентной системы формулу (11) с учетом (12) запишем

$$X_2^{\omega} = \frac{X_2 + \frac{\omega_{13}}{n}\Gamma_2^{(N)}}{1 - \frac{(\omega_{13} - \omega_2)}{n}\Gamma_2^{(N)}}, \qquad (13)$$

где $\omega_{13} = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_3)$.

Расчет поверхностных концентраций компонентов $X_i^{\omega}$ проводился по формуле (13). Значения мольно-парциальных площадей определялись по экспериментально измеренным и вычисленным расчетно-графическим способом плотностям исследуемых тройных сплавов [9].

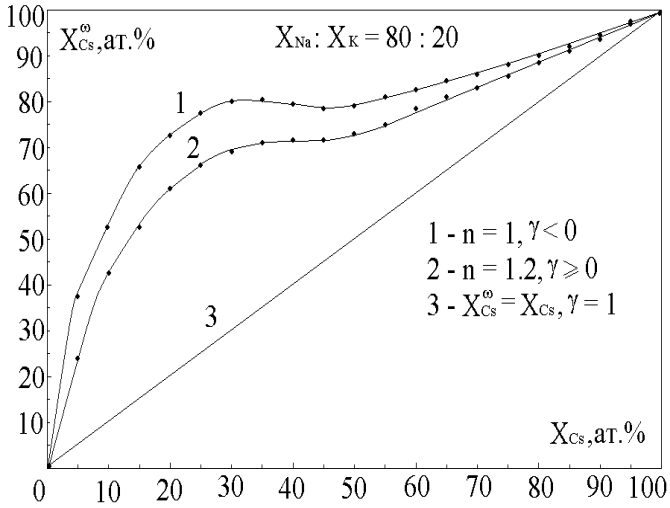


Рис.7. Зависимость концентрации цезия в поверхностном слое $X_{Cs}^{\omega}$ от объемных концентраций $X_{Cs}$ для сплавов сечения $X_{Na}$:$X_K$ = 80:20 при T=373K.

На рис. 7 приводятся результаты расчетов поверхностной концентрации цезия $X_{Cs}^{\omega}$ в тройных сплавах сечения $X_{Na} : X_K = 80 : 20$, системы Na-K-Cs для различного числа атомных слоев n. Требование выполнения условия симбатности изменения концентраций компонента в поверхностном слое $X_2^{\omega}$ и объеме $X_2$ раствора $\gamma = \frac{dX_2^{\omega}}{dX_2} > 0$ показало, что поверхностная концентрация Cs распределяется в поверхностном слое в виде $n = 1,2$ монослоев (рис.7, кривая 2). Это означает, что избыток концентрации цезия в поверхностном слое достаточен,

чтобы образовать 1,2 монослоя, но этот избыток распределяется по толщине поверхностного слоя в 5-6-ти атомных слоях сплава.

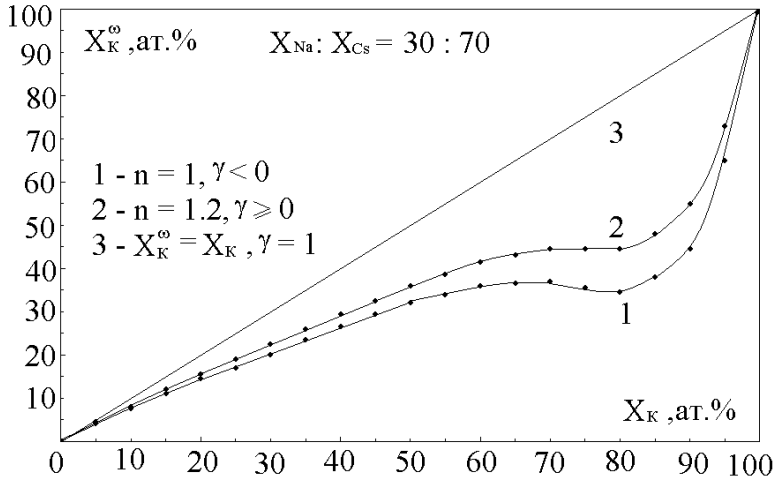


Рис.8. Зависимость концентрации калия в поверхностном слое $X_K^\omega$ от объемных концентраций $X_K$ для сплавов сечения $X_{Na}$:$X_{Cs}$ = *30:70* при Т=373К.

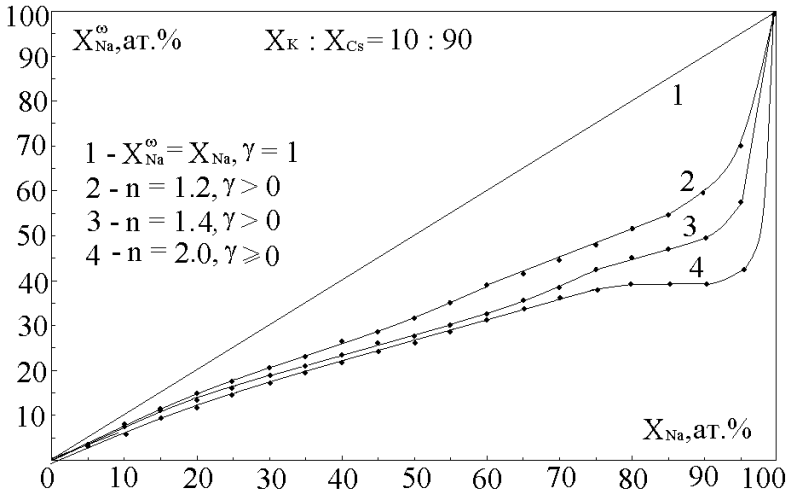


Рис.9. Зависимость концентрации натрия в поверхностном слое $X_{Na}^\omega$ от объемных концентраций $X_{Na}$ для сплавов сечения $X_K$:$X_{Cs}$ = *10:90* при Т=373К.

Как видно, из рис. 8 и 9 поверхностные концентрации компонента К в сплавах сечения $X_{Na}$:$X_{Cs}$ = *30:70* и компонента Na в сплавах сечения $X_K$:$X_{Cs}$ = *10:90* обнаруживают в поверхностном слое отрицательный избыток.

**Выводы и заключение**

Рассчитаны изотермы поверхностных натяжений (ПН) тройных сплавов пяти сечений, идущих к вершинам Na, K и Cs концентрационного треугольника

системы Na-K-Cs с использованием полуэмпирической формулы и расчетно-графического метода.

Приводятся результаты расчетов адсорбций компонентов K, Cs и Na тройной системы Na-K-Cs и поверхностных концентраций цезия, калия и натрия для сплавов сечения $X_{Na} : X_K = 80 : 20$, $X_{Na} : X_{Cs} = 30:70$, $X_K : X_{Cs} = 10:90$ при температуре 373 K, выполненных на основе изотерм поверхностного натяжения тройных сплавов сечений, идущих к вершинам K, Cs и Na концентрационного треугольника системы. Оказалось, что адсорбция цезия $\Gamma_{Cs}^{(N)} > 0$ для всех тройных сплавов сечений, идущих к вершине Cs концентрационного треугольника системы Na-K-Cs; адсорбция натрия $\Gamma_{Na}^{(N)} < 0$ для тройных сплавов сечений, идущих к вершине Na. Адсорбция калия $\Gamma_K^{(N)} > 0$ для тройных сплавов, заключенных между идущим к вершине K сечением с $X_{Na}$:$X_{Cs}$=93,5:6,5 и стороной концентрационного треугольника Na-K, а для всех остальных тройных сплавов $\Gamma_K^{(N)} < 0$, т.е адсорбция K испытывает инверсию при переходе через сечение $X_{Na}$:$X_{Cs}$=93,5:6,5, для тройных сплавов которого $\Gamma_K^{(N)} = 0$ и $\sigma(X_K) = const$.

Используя изотермы адсорбций $\Gamma_i^{(N)}$, рассчитаны поверхностные концентрации $X_i^{\omega}$ всех трех компонентов. Получено, что в трехкомпонентных сплавах соотношения $\Gamma_{Cs}^{(N)} + \Gamma_{Na}^{(N)} + \Gamma_K^{(N)} \approx 0$ и $X_{Na}^{\omega} + X_K^{\omega} + X_{Cs}^{\omega} \approx 100$ ат.% выполняются удовлетворительно.

**Литература**


1. Tepper F., King J., Greer J. Multicomponent alkali alloys // Alkali Metals. Spec. Publ. 22. London: Chem. Soc. 1967. – P.23-31.
2. Новиков И.И., Шпильрайн Э.Э., Якимович К.А. и др. Исследование плотности жидких натрий-калий-цезиевых сплавов при высоких температурах // Перспективные материалы. 2001. - №5. – С.37-41.
3. Таова Т.М. К расчету поверхностного натяжения системы Na-K-Cs с использованием данных для сплавов, лежащих на линиях разрезов, идущих к одной из вершин треугольника составов. // Расплавы. 2007. – №1. – С.68-75.
4. Калажоков З.Х., Барсокова К.В., Калажоков Заур Х., Калажоков Х.Х., Таова Т.М. К расчету концентрационной зависимости поверхностного натяжения

сплавов металлических систем. / Труды Второго международного междисциплинарного симпозиума «Физика низкоразмерных систем и поверхностей» (LDS-2). г. Ростов-на-Дону – п. Лоо. 2010 – С. 104-107.

5. Задумкин С.Н., Хоконов Х.Б. Физика межфазных явлений. Адсорбция. Нальчик: КБГУ. 1982. 45с.
6. Таова Т.М., Карамурзов Б.С., Алчагиров Б.Б., Архестов Р.Х., Хоконов Х.Б. Жидкометаллические теплоносители для ядерных реакторов на быстрых нейтронов. Поверхностное натяжение в жидкой фазе. // Перспективные материалы. – 2009. №2. С.25-31.
7. Архестов Р.Х. Диссертация кандидата ф.-м.н., Нальчик, КБГУ. 2001. 140 с.
8. Дадашев Р.Х. Термодинамика поверхностных явлений / Под ред. Х.Б.Хоконова. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2007.–280 с.
9. Таова Т.М., Мальсургенова Ф.М., Алчагиров Б.Б., Хоконов Х.Л. Плотность и мольные объемы тройных сплавов сечений системы натрий-калий-цезий при технически важных температурах. // ТВТ. 2009. - №6. – С. 850-855.

**References**

1. Tepper F., King J., Greer J. Multicomponent alkali alloys // Alkali Metals. Spec. Publ. 22. London: Chem. Soc. 1967. - P.23-31.
2. Novikov I.I., Shpilrain E.E., Yakimovich K.A., etc. Investigation of the density of liquid sodium-potassium-aluminum alloys at high temperatures // Perspective materials. 2001. - No.5. - pp.37-41.
3. Taova T.M. On the calculation of the surface tension of the Na-K-Cs system using data for alloys lying on the lines of sections going to one of the vertices of the triangle of compositions. // Rasplavy/Melts. 2007. - No. 1. C. p.68-75.
4. Kalazhokov Z.H., Barsokova K.V., Kalazhokov Zaur H., Kalazhokov H.H., Taova T.M. On the calculation of the concentration dependence of the surface tension of alloys of metal systems. / Proceedings of the Second International Interdisciplinary Symposium "Physics of Low-dimensional systems and surfaces" (LDS-2). Rostov-on-Don - v. Loo. 2010 - pp. 104-107.
5. Zametkin S.N., Khokonov H.B. Physics of Interphase phenomena. Adsorption. Nalchik: KBSU. 1982. 45s.

6. Taova T.M., Karamurzov B.S., Alchagirov B.B., Archestov R.H., Khokonov H.B. Liquid metal heat carriers for fast neutron nuclear reactors. Surface tension in the liquid phase. // Perspective materials. - 2009. No.2. pp.25-31.
7. Archestov R.H. Dissertation of candidate of Ph.D., Nalchik, KBSU. 2001. 140 p.
8. Dadashev R.H. Thermodynamics of surface phenomena / Edited by H.B.Khokonov. - M.: FIZMATLIT. 2007.-280 p.
9. Taova T.M., Malsurgenova F.M., Alchagirov B.B., Khokonov H.L. Density and molar volumes of triple cross-section alloys of the sodium-potassium-caesium system at technically important temperatures. // High temperature. 2009. - No. 6. - pp. 850-855.

*© Цеева Ф.М., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.*

**Для цитирования:** *Цеева Ф.М.* РАСЧЕТ АДСОРБЦИЙ И ПОВЕРХНОСТНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ КОМПОНЕНТОВ ТРОЙНЫХ СПЛАВОВ СЕЧЕНИЙ, ИДУЩИХ К ВЕРШИНАМ КОНЦЕНТРАЦИОННОГО ТРЕУГОЛЬНИКА СИСТЕМЫ НАТИЙ-КАЛИЙ-ЦЕЗИЙ // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.