

На правах рукописи



**ДЖАЙЛОЕВ ДЖАМШЕД ХУСЕЙНОВИЧ**

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО  
СПЛАВА АЖ 2.18 С ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

**02.00.04 - Физическая химия**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Душанбе – 2019**

Работа выполнена в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» Института химии им. В. И. Никитина АН Республики Таджикистан.

**Научный руководитель:** **Ганиев Изатулло Наврузович** – доктор химических наук, профессор, академик Академии наук Республики Таджикистан

**Официальные оппоненты:** **Назаров Холмурод Марипович** – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Агентства по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан

**Норова Муаттар Турдиевна** – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры «Аналитическая химия» Таджикского национального университета

**Ведущая организация:** Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни, кафедра «Общетеchnических дисциплин и машиноведения».

Защита состоится: «22» мая 2019 г. в 9<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 047.003.03 при Институте химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан по адресу: 734063, Республика Таджикистан г. Душанбе, ул. Айни, 299/2. E-mail: [dissovet@ikai.tj](mailto:dissovet@ikai.tj)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Института химии им В.И. Никитина АН Республики Таджикистан [www.chemistry.tj](http://www.chemistry.tj)

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 года

**Учёный секретарь**  
диссертационного совета,  
доктор технических наук



**Эшов Б.Б**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Алюминиевые сплавы в последнее время как конструкционный материал заняли значительную позицию вместо стальных конструкций. С учётом подробного исследования и анализа диаграмм состояния металлических систем были разработаны легкие сплавы на основе алюминия в качестве конструкционного материала, эквивалентные или превосходящие стальным, например, сплавы алюминия с добавками цинка, магния, меди и ряд других металлов.

Повышенное содержание примесей, как кремний и железо, в алюминии и алюминиевых сплавах является главным преткновением к их широкому применению в различных областях производства. Фазы с алюминием, которые образуются из примесей кремния и железа, в итоге создают внутренние дефекты как структурной неоднородности, что отрицательно оказывают влияние на качество продукции. Следовательно, затратным являются очистки из железа алюминия.

Анализ литературы показывает, что алюминий низкой чистоты с повышенным содержанием железа почти не находит использования, кроме для раскисления и дегазации стали. Также перспективным является разработка алюминиевых сплавов на основе технического алюминия с повышенным содержанием железа. Кроме того, сплавы алюминия с железом и щелочноземельных металлов широко применяют в качестве носителя электрического заряда в электротехнике.

Таким образом, актуальность работы заключается в разработке новых сплавов на основе низкосортного алюминия, с тем, чтобы превратить данный металл в сплав, который отличался бы особыми свойствами и мог применяться в промышленности. Для реализации поставленной цели в качестве объекта исследования был выбран сплав эвтектического состава Al+2.18%Fe (АЖ2.18), где далее подвергался модифицированию щелочноземельными металлами (Ca, Sr, Ba) в количестве от 0.005 до 0.5 мас. %.

**Целью работы** является установление термодинамических, кинетических и анодных свойств алюминиевого сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием с использованием их для разработки композиций, предназначенного для нужд отдельных отраслей промышленности.

### **Задачи исследования:**

- Изучение температурной зависимости теплоёмкости и изменение термодинамических функций сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием.
  - Изучение кинетики окисления тройных сплавов Al-Fe-Ca (Sr, Ba) в твердом состоянии и определение механизма процесса их окисления.
  - Экспериментальное определение влияния кальция, стронция и бария на анодное поведение сплава АЖ2.18 в среде электролита NaCl.
  - Оптимизация состава тройных сплавов на основе установления их физико-химических свойств и определение возможных областей их использования.

**Научная новизна исследований.** Установлены основные закономерности изменения теплоемкости и изменение термодинамических функций (энтальпии, энтропии и энергии Гиббса) сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием в зависимости от температуры и количества легирующего компонента. Показано, что с ростом температуры теплоемкость, энтропия и энтальпия сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием увеличиваются, а энергия Гиббса сплавов уменьшается. С увеличением доли кальция, стронция и бария в сплаве АЖ2.18 энтропия и энтальпия увеличиваются, а значение энергии Гиббса уменьшается.

Выявлено, что с ростом температуры скорость окисления сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием в твердом состоянии увеличивается. Константа скорости окисления имеет порядок  $10^{-4} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ . Установлено, что процесс окисления сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием описывается гиперболическим уравнением.

Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развертки потенциала 2 мВ/с установлено, что добавки легирующих компонентов до 0,5 мас.% увеличивают коррозионную стойкость исходного сплава АЖ2.18 на 25-35%. При этом отмечается сдвиг потенциала коррозии исходного сплава в положительную область, а потенциалы питтингообразования и репассивации – в отрицательном направлении оси ординат. При переходе от сплавов с кальцием к сплавам со стронцием наблюдается рост скорости коррозии, далее к сплавам с барием - его уменьшение (для сплавов с 0,05 мас.% добавки).

**Практическая значимость работы.** Выполненные исследования позволили выявить составы сплавов, отличающихся наименьшей окисляемостью при высоких температурах, и подобрать оптимальные концентрации модифицирующих добавок (кальция, стронция и бария) для повышения коррозионной стойкости исходного сплава АЖ2.18.

В целом на основе проведенных исследований отдельные составы сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием защищены малыми патентами Республики Таджикистан.

**Методы исследования и использованная аппаратура.** Объектом исследования служил сплав алюминия с железом эвтектического состава Al+2.18%Fe (мас.%), а также металлический кальций, стронций и барий. Исследования проводились измерением теплоемкости в режиме «охлаждения», термогравиметрическим, металлографическим, рентгенофазовым, потенциостатическим методами. Математическая обработка результатов проводилась с использованием стандартного пакета приложения и программы Microsoft Excel.

**На защиту выносятся:**

– Результаты исследования температурных зависимостей теплоемкости и изменение термодинамических функций сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием.

– Кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием, а также механизм окисления сплавов.

Расшифрованы продукты окисления сплавов и установлена их роль в формировании механизма окисления.

– Зависимости анодных характеристик и скорости коррозии сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием от концентрации модифицирующего компонента в среде электролита NaCl.

– Оптимальные составы сплавов, отличающихся наименьшей окисляемостью и повышенной коррозионной стойкостью, представляющие интерес в качестве анодного материала для изготовления протекторов, при защите от коррозии стальных конструкций.

**Личный вклад автора** заключается в анализе литературных данных, в постановке и решении задач исследований, подготовке и проведении экспериментальных исследований в лабораторных условиях, анализе полученных результатов, в формулировке основных положений и выводов диссертации.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Основные положения диссертации обсуждались на: Респ. научно-практ. конф. «Современные проблемы химии, химической технологии и металлургии» (ТГУ им. М. Осими, Душанбе, 2011); Респ. конф. «Основные задачи материаловедения в машиностроении и методика их преподавания», посвященной 20-летию 16-ой Сессии Верховного Совета и 15-летию Дня национального единства (ТГПУ им. С. Айни, Душанбе, 2012); Межд. научно-техн. конф. «Нефть и газ Западной Сибири» (ТИУ, Тюмень, 2013); научно-практ. конф. «Проблемы аналитического контроля объектов окружающей среды и технических материалов» (ТНУ, Душанбе, 2013); Межд. конф. «Химия рения» (Душанбе, 2014); XIII Межд. научно.-практ. конф. «Нумановские чтения», посвящ. 70-летию основания Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан и достижению химической науки за 25 лет Государственной независимости Республики Таджикистан (Душанбе, 2016); конф. XIV Нумановские чтения, посвящ. Году молодежи, «Вклад молодых учёных в развитие химической науки» Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан (Душанбе, 2017); Респ. научно-практ. конф. «Наука и техника для устойчивого развития» (Душанбе, 2018); VIII Межд. науч.-практ. конф. «Перспективы использования материалов, устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан», посвященной «Дню химика» (Душанбе, 2018).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 19 научных работ, из них 7 статей в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК Министерства высшего образования и науки Российской Федерации и 12 статей в материалах международных и республиканских конференций. Также получено 3 малых патента Республики Таджикистан.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и приложения, изложена на 139 страницах компьютерного набора, включает 82 рисунка, 38 таблиц, 121 библиографическое наименование.

**Во введении** изложены предпосылки и основные проблемы исследования, обоснована актуальность работы, раскрыта структура диссертации.

**В первой главе** описаны структурообразование сплавов алюминия с железом, кальцием, стронцием и барием, теплофизические свойства алюминия, железа, кальция, стронция и бария, особенности окисления и коррозионно-электрохимического поведения сплавов алюминия с железом, кальцием, стронцием и барием в различных средах. На основе выполненного обзора отмечено, что теплофизические свойства алюминия, железа, кальция, стронция и бария хорошо изучены. Имеются сведения о влиянии температуры и чистоты металлов на их тепловые и теплофизические свойства. Однако в литературе отсутствует информация о физико-химических свойствах сплавов алюминия с железом, кальцием, стронцием и барием.

Таким образом, в связи с отсутствием систематических данных о физико-химических свойствах алюминиевого сплава АЖ2.18% с кальцием, стронцием и барием последние были взяты в качестве объекта исследования в данной диссертационной работе.

**Во второй главе** приведены результаты исследования температурной зависимости теплоёмкости и изменение термодинамических функций сплава  $Al+2.18\%Fe$ , модифицированного кальцием, стронцием и барием.

**Третья глава** посвящена экспериментальному исследованию кинетики окисления сплава АЖ2.18%, модифицированного кальцием, стронцием и барием.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментального исследования анодного поведения сплава АЖ2.18%, модифицированного кальцием, стронцием и барием в среде электролита  $NaCl$ .

Диссертационная работа завершается общими выводами, списком цитированной литературы и приложением.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОЁМКОСТИ И ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ2.18**

В данной работе измерение теплоемкости сплавов в режиме «охлаждения» производилось на установке, в основу работы которой положен метод С-калориметра с тепломером и адиабатической оболочкой.

Для измерения удельной теплоемкости металлов использован закон охлаждения Ньютона - Рихмана. Всякое тело, имеющее температуру выше окружающей среды, будет охлаждаться, причем скорость охлаждения зависит от величины теплоемкости тела и коэффициента теплоотдачи.

Если взять два металлических стержня определенной формы, то сравнивая кривые охлаждения (температуры как функции времени) этих образцов, один из которых служит эталоном (его теплоемкость и скорость

охлаждения должны быть известны), можно определить теплоемкость другого, определив скорость его охлаждения.

Количество теплоты  $\delta Q$ , теряемое предварительно нагретым телом массы  $m$  при его охлаждении на  $dT$  градусов, будет

$$\delta Q = C_p^0 m dT, \quad (1)$$

где  $C_p^0$ —удельная теплоемкость вещества, из которого состоит тело.

Потеря энергии происходит через поверхность тела. Следовательно, можно считать, что количество теплоты  $\delta Q_s$ , теряемое через поверхность тела за время  $d\tau$ , будет пропорционально времени, площади поверхности  $S$  и разности температур тела  $T$  и окружающей среды  $T_0$ :

$$\delta Q_s = -\alpha(T - T_0) S d\tau. \quad (2)$$

Если тело выделяет тепло так, что температура всех его точек изменяется одинаково, то будет справедливо равенство:

$$C_p^0 m dT = -\alpha(T - T_0) S d\tau. \quad (3)$$

Выражение (3) можно представить в виде

$$C_p^0 m \frac{dT}{d\tau} = -\alpha(T - T_0) S. \quad (4)$$

Полагая, что  $\alpha$ ,  $T$  и  $T_0$  в малом интервале температур не зависят от координат точек поверхности образца, нагретых до одной температуры и при одинаковой температуре окружающей среды, напишем соотношение (4) для двух образцов:

$$C_{p_1}^0 m_1 s_1 a_1 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1 = C_{p_2}^0 m_2 s_2 a_2 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2. \quad (5)$$

При использовании этой формулы для двух образцов (эталоны и любого другого), имеющих одинаковые размеры  $S_1 = S_2$  и состояния поверхностей (тогда их коэффициенты теплоотдачи предполагают равными  $\alpha_1 = \alpha_2$ ):

$$C_{p_1}^0 m_1 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1 = C_{p_2}^0 m_2 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2. \quad (6)$$

Следовательно, зная массы образцов  $m_1$  и  $m_2$ , скорости их охлаждения  $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)$  и удельную теплоемкость эталона  $C_{p_2}^0$ , можно вычислить теплоёмкость другого вещества  $C_{p_1}^0$ .

$$C_{p_1}^0 = \frac{C_{p_2}^0 m_2 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}{m_1 \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}. \quad (7)$$

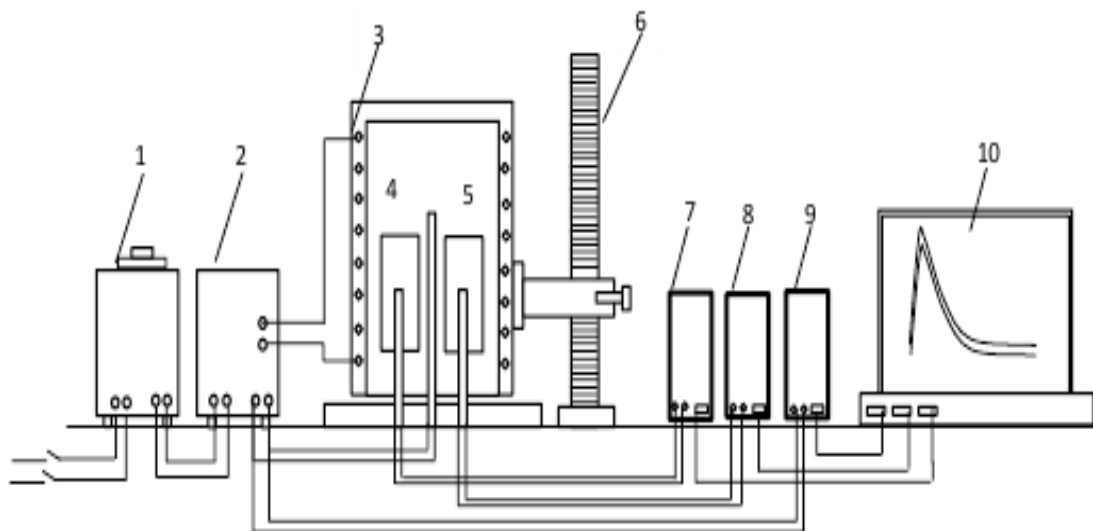
Для оправданности такого допущения экспериментально были установлены зависимости температуры образцов от времени охлаждения для алюминия и меди. Полученные значения теплоемкости хорошо согласуются с литературными данными. Температурный диапазон измерения - до 800 К. Погрешность измерения теплоемкости по данной методике не превышает 6%.

**В рамках данной работы исследовано влияние кальция, стронция и бария на теплоемкость и изменение термодинамических функций сплава АЖ2.18.** Для синтеза сплавов использовали металлы следующих марок:

алюминий - марки А5 (ГОСТ 11069-2001), железо-ч.д.а., кальций металлический марки КМ1(ТУ 48-40-215-72), стронций металлический марки СтМ1(ту 48-4-173-72), барий металлический марки БаМ1(ТК 48-4-465-85).

Синтез сплавов осуществлен в лабораторных шахтных печах сопротивления марки СШОЛ при температуре 750-850 °С с использованием лигатуры алюминий-железо (2.18% Fe). Из синтезированных сплавов в графитовые изложницы отливали цилиндрические образцы высотой 30мм и диаметром 16 мм.

Измерение теплоемкости проводилось на установке<sup>1</sup>, схема которой представлена на рисунке 1. Установка состоит из следующих узлов: электропечь (3) смонтирована на стойке (6), по которой она может перемещаться вверх и вниз (стрелкой показано направление перемещения). Образец (4) и эталон (5) (тоже могут перемещаться) представляют собой цилиндр длиной 30 мм и диаметром 16 мм с высверленными каналами с одного конца, в которые вставлены термопары (4 и 5). Концы термопар подведены к цифровому многоканальному термометру (7), который подсоединен к компьютеру (8).



**Рисунок 1** – Установка для определения теплоемкости твердых тел в режиме «охлаждения»: 1-автотрансформатор; 2-терморегулятор; 3-электропечь; 4-образец измеряемый; 5-эталон 6-стойка электропечи; 7-цифровой термометр измеряемого образца; 8-цифровой термометр эталона; 9-цифровой термометр общего назначения; 10-регистрационный прибор (компьютер).

Включаем электропечь (3) через автотрансформатор (1), установив нужную температуру с помощью терморегулятора (2). По показаниям цифрового многоканального термометра (7) отмечаем значение начальной

<sup>1</sup>Малый патент Респ. Таджикистан № TJ 877, приоритет изобретения от 20.04.2017 г.

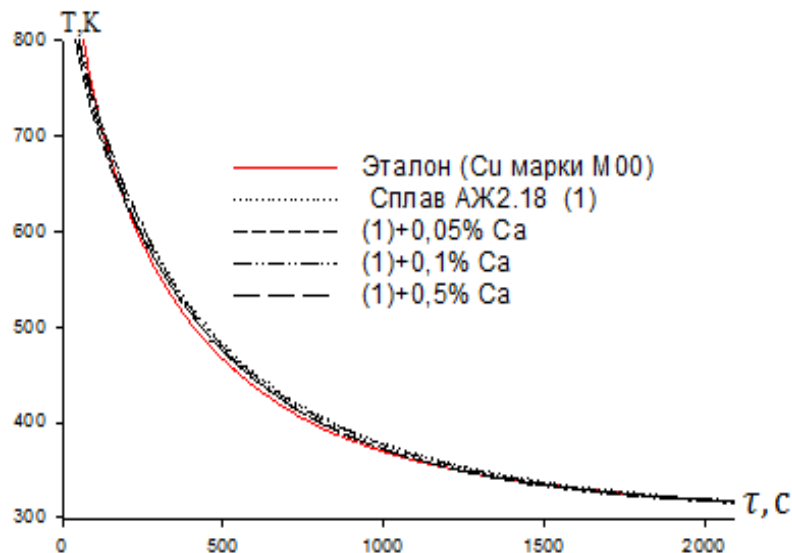


температуры. Вдвигаем измеряемый образец (4) и эталон (5) в электропечь (3) и нагреваем до нужной температуры, контролируя температуру по показаниям цифрового многоканального термометра на компьютере (8). Далее измеряемый образец (4) и эталон (5) одновременно выдвигаем из электропечи (3). С этого момента фиксируем снижение температуры. Записываем показания цифрового термометра (7) на компьютере (8) через фиксированное время (от 0,1 до 20 с). Охлаждаем образец и эталон ниже 300°С.

Температурную зависимость теплоемкости сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, изучали в режиме «охлаждения» в интервале температур 298,15-800К.

На рисунке 2 представлены экспериментально полученные зависимости температуры образцов сплава Al+2.18%Fe, модифицированного кальцием, которые описываются уравнением:

$$T = T_0 + \frac{1}{2} \left[ (T_1 - T_0) e^{-\tau/\tau_1} + (T_2 - T_0) e^{-\tau/\tau_2} \right] \quad (8)$$



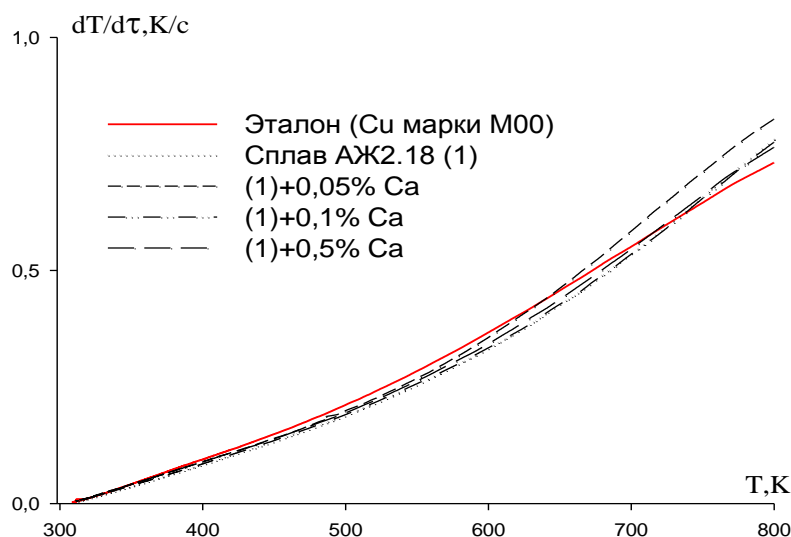
**Рисунок 2** – Зависимость температуры (Т) от времени охлаждения (τ) для образцов из сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, и эталона (Cu марки М00).

Проводя дифференцирование уравнения (8) по τ, получим уравнение для определения скорости охлаждения сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, вида:

$$\frac{dT}{d\tau} = -\left(\frac{T_1 - T_0}{\tau_1}\right)e^{-\tau/\tau_1} - \left(\frac{T_2 - T_0}{\tau_2}\right)e^{-\tau/\tau_2} . \quad (9)$$

По данному дифференцированному уравнению были рассчитаны скорости охлаждения образцов сплавов, которые графически приведены на рисунке 3. В таблице 1 для исследованных сплавов представлены экспериментальные значения коэффициентов  $\Delta T_{01}, \tau_1, \Delta T_{02}, \tau_2$  в уравнении (9). Результаты экспериментов обработаны по программе MS Excel, графики построены с

помощью программы Sigma Plot. При этом коэффициент корреляции составлял не менее 0,998.



**Рисунок 3** – Температурная зависимость скорости охлаждения образцов из сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, и эталона (Cu марки M00).

**Таблица 1** – Значения коэффициентов  $\Delta T_{01}$ ,  $\tau_1$ ,  $\Delta T_{02}$ ,  $\tau_2$  в уравнении (9) для сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, и эталона (Cu марки M00).

Содержание кальция в сплаве АЖ2.18, мас. %	$\Delta T_1$ , К	$\tau_1$ , с	$\Delta T_2$ , К	$\tau_2$ , с	$\Delta T_1/\tau_1$ , К/с	$\Delta T_2/\tau_2$ , К/с	$\Delta T_0$ , К
Сплав АЖ2.18(1)	185.68	139.39	411.15	569.25	1.33	0.72	307.41
(1)+ 0.05	185.68	139.39	411.15	569.25	1.33	0.72	307.41
(1)+ 0.1	185.31	139.67	410.33	570.39	1.33	0.72	306.80
(1)+ 0.5	181.96	142.24	402.93	580.86	1.28	0.69	301.26
Эталон (Cu M00)	277.41	109.73	390.83	543.51	2.53	0.72	308.35

Для вычисления удельной теплоемкости сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, использовали значения скорости охлаждения эталона (Cu M00) и сплавов по уравнению (7).

Температурная зависимость теплоемкости сплава АЖ2.18 с кальцием описывается уравнением:

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (10)$$

С помощью уравнения (7) были получены нижеследующие коэффициенты уравнения температурной зависимости удельной теплоемкости сплава АЖ2.18 и сплавов, модифицированных кальцием (таблица 2).

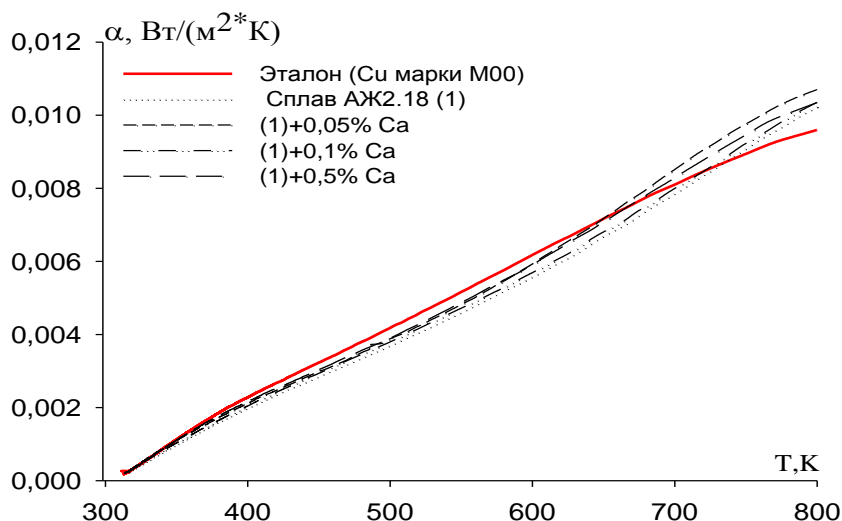
**Таблица 2** – Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  в уравнении (10) для эталона и сплава АЖ2.18 с кальцием

Содержание кальция в сплаве АЖ2.18, мас.%	$a$	$b$	$c$	$D$	Коэффициент корреляции $R^2$ , %
сплав АЖ2.18(1)	0.9020	$8.24 \cdot 10^{-4}$	$-7.40 \cdot 10^{-7}$	$3.05 \cdot 10^{-10}$	0.9999
(1)+ 0.01	0.8967	$7.52 \cdot 10^{-4}$	$-5.55 \cdot 10^{-7}$	$1.75 \cdot 10^{-10}$	0.9995
(1)+ 0.1	0.8385	$1.04 \cdot 10^{-4}$	$-9.89 \cdot 10^{-7}$	$4.13 \cdot 10^{-10}$	0.9998
(1)+ 0.5	0.9940	$1.70 \cdot 10^{-4}$	$6.05 \cdot 10^{-7}$	$-4.98 \cdot 10^{-10}$	0.994
Эталон (Cu марки М00)	0.3245	$2.75 \cdot 10^{-4}$	$-2.87 \cdot 10^{-7}$	$1.42 \cdot 10^{-10}$	100

Рассчитанные значения удельной теплоемкости для сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, через 100 К приведены в таблице 3.

**Таблица 3** – Изменение удельной теплоёмкости (Дж/кг·К) в зависимости от температуры для сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, и эталона (Cu марки М00).

Содержание кальция в сплаве АЖ2.18, мас.%	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Сплав АЖ2.18(1)	1.0908	1.1327	1.1671	1.1959	1.2208	1.2438
(1)+ 0.05	1.0771	1.1199	1.1558	1.1859	1.2112	1.2327
(1)+ 0.1	1.0726	1.1227	1.1629	1.1957	1.2235	1.2490
(1)+ 0.5	1.0860	1.1269	1.1680	1.2062	1.2386	1.2622
Эталон (Cu марки М00)	0.3850	0.3977	0.4080	0.4169	0.4251	0.4336



**Рисунок 4** – Зависимость коэффициента теплоотдачи сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, и эталона (Cu марки М00) от температуры.

По экспериментально полученным значениям скорости охлаждения и по

рассчитанным результатам теплоемкости модифицированного кальцием сплавов провели расчет температурной зависимости коэффициента теплоотдачи ( $\text{Вт/К}\cdot\text{м}^2$ ) по уравнению (5). Результаты расчёта представлены на рисунке 4.

Для расчета температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса были использованы интегралы от теплоемкости для сплава АЖ2.18 с кальцием по уравнениям (11) - (13).

$$H^0(T) - H^0(T_0) = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (11)$$

$$S^0(T) - S^0(T_0) = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (12)$$

$$[G^0(T) - G^0(298.15)] = [H^0(T) - H^0(298.15)] - T[S^0(T) - S^0(298.15)]. \quad (13)$$

Результаты расчёта температурной зависимости изменения энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, и эталона (Cu марки М00) через 100К представлены в таблице 4.

**Таблица 4** – Температурная зависимость изменений термодинамических функций сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием

Т, К	Эталон (Cu марки М00)	Сплав АЖ2.18	Сплав АЖ2.18 +0.05% Са	Сплав АЖ2.18 +0.1% Са	Сплав АЖ2.18 +0.5% Са
	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)], \text{кДж/кг}$ для сплавов				
300	0.7120	2.0173	1.9918	2.0787	2.0577
400	39.8686	113.2685	111.9024	119.0420	117.0481
500	80.1679	228.3200	225.7418	245.1042	240.9939
600	121.4193	346.5152	342.8724	380.5546	376.4495
700	163.5173	467.3806	462.7618	525.9301	526.2684
800	206.4419	590.6258	584.9824	682.0153	693.6028
$[S^0(T) - S^0(T_0^*)], \text{кДж/кг}\cdot\text{К}$ для сплавов					
300	0.0024	0.0067	0.0067	0.0066	0.0067
400	0.1154	0.3265	0.3226	0.3223	0.3247
500	0.2058	0.5831	0.5764	0.5773	0.5806
600	0.2816	0.7985	0.7899	0.7923	0.7970
700	0.3473	0.9847	0.9747	0.9788	0.9855
800	0.4055	1.1493	1.1378	1.1439	1.1525
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)], \text{кДж/кг}$ для сплавов					
300	-0.0042	-0.0062	-0.0062	0.0892	0.0431
400	-6.27802	-17.3298	-17.1207	-9.8908	-12.8336
500	-22.7266	-63.2165	-62.4751	-43.5610	-49.3102
600	-47.5615	-132.5721	-131.0705	-94.8493	-101.7534
700	-79.5877	-221.9334	-219.5038	-159.2256	-163.5631
800	-117.957	-328.7832	-325.2865	-233.0652	-228.4170

\*  $T_0 = 298,15\text{К}$ .

**Таблица 5** – Температурная зависимость удельной теплоёмкости (Дж/кг·К) сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, стронцием и барием

Сплав АЖ2.18 с ЦЗМ, мас.%	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Сплав АЖ2.18(1)	1.0908	1.1327	1.1671	1.1959	1.2208	1.2438
(1)+0.5Ca	1.0860	1.1269	1.1680	1.2062	1.2386	1.2622
(1)+0.5Sr	1.0452	1.0794	1.1143	1.1499	1.1866	1.2244
(1)+0.5Ba	1.0144	1.0574	1.0893	1.1134	1.1330	1.1513
Эталон (Cu марки МОО)	0.3850	0.3977	0.4080	0.4169	0.4251	0.4336

**Таблица 6** – Зависимость изменения энтальпии (кДж/кг), энтропии (кДж/кг·К) и энергии Гиббса (кДж/кг) от температуры для сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, стронцием и барием

Сплав АЖ2.18 с ЦЗМ, мас.%	Энтальпия					
	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Сплав АЖ2.18(1)	2.0173	113.2685	228.3200	346.5152	467.3806	590.6258
(1)+0.5Ca	2.0577	117.0481	240.9939	376.4495	526.2684	693.6028
(1)+0.5Sr	1.9392	108.6204	219.0466	333.3644	451.7367	574.3425
(1)+0.5Ba	2.0545	119.0670	248.4385	391.3870	549.4545	724.5070
Эталон (Cu марки МОО)	0.7120	39.8686	80.1679	121.419	163.5173	206.4419
Энтропия						
Сплав АЖ2.18(1)	0.00670	0.3265	0.5831	0.7985	0.9847	1.1493
(1)+0.5Ca	0.00670	0.3247	0.5806	0.7970	0.9855	1.1525
(1)+0.5Sr	0.00647	0.312456	0.557605	0.764277	0.944372	1.104972
(1)+0.5Ba	0.00630	0.3043	0.5438	0.7447	0.9178	1.0703
Эталон (Cu марки МОО)	0.00240	0.1154	0.2058	0.2816	0.3473	0.4055
Энергия Гиббса						
Сплав АЖ2.18(1)	-0.0062	-17.3298	-63.2165	-132.5721	-221.933	-328.7832
(1)+0.5Ca	0.0431	-12.8336	-49.3102	-101.7534	-163.563	-228.4170
(1)+0.5Sr	-0.00331	-16.362	-59.7558	-125.202	-209.324	-309.635
(1)+0.5Ba	0.1729	-2.6451	-23.4763	-55.4091	-93.0096	-131.7237
Эталон (Cu марки МОО)	-0.0042	-6.27802	-22.7266	-47.5615	-79.5877	-117.957

Проведенные исследования показали, что с ростом температуры удельная теплоемкость, энтальпия, энтропия сплавов увеличиваются, а значение энергии Гиббса уменьшается, что объясняется ростом степени гетерогенности структуры сплавов при модифицировании их ЦЗМ.

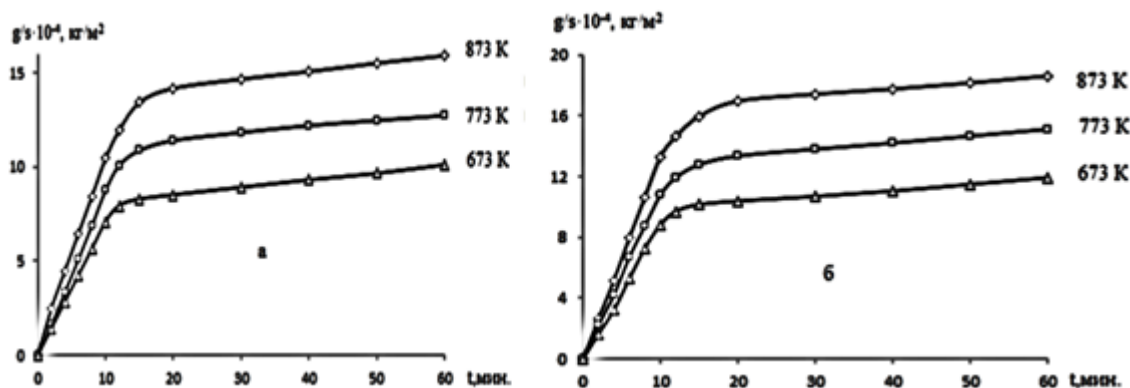
В таблицах 5, 6 обобщены результаты исследования теплоемкости и изменения термодинамических функций сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, стронцием и барием, на примере сплавов, содержащих 0,5 мас.% модифицирующего компонента. Видно, что с ростом температуры теплоемкость, энтальпия и энтропия увеличиваются, а величина энергии Гиббса сплавов уменьшается.

Таким образом, исследована зависимость от температуры удельной теплоемкости и коэффициента теплоотдачи сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, стронцием и барием.

### ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА КИНЕТИКУ ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВО-ЖЕЛЕЗОВОГО СПЛАВА АЖ2.18

Кинетику окисления сплава АЖ2.18 в твердом состоянии изучали термогравиметрическим методом. Сплавы для исследования были получены в печи сопротивления типа СШОЛ. Взвешивание шихты производили на аналитических весах АРВ-200 с точностью  $0.1 \cdot 10^{-6}$  кг.

Кинетика окисления сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, изучена на сплавах, содержащих: 0.005; 0.01; 0.05; 0.1; 0.5 мас.% добавки. Кинетические и энергетические параметры процесса окисления данных сплавов (результаты исследования) приведены на рисунке 5 и в таблице 7.



**Рисунок 5** – Кинетические кривые окисления алюминиевого сплава АЖ2.18(а) с 0.005 мас.% кальцием (б).

Характер кинетических кривых окисления алюминиевого сплава АЖ2.18 показывает, что окисление в начальных стадиях протекает интенсивно, о чем свидетельствует рост величины удельной массы образцов. Истинная скорость окисления сплава АЖ2.18 в зависимости от температуры изменяется в пределах  $1.96 \cdot 10^{-4}$  до  $2.40 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$  (рисунок 5а). Кажущаяся энергия активации процесса окисления, вычисленная по тангенсу угла наклона прямой зависимости  $\lg K - 1/T$ , составляет 149.0 кДж/моль (таблица 7).

Окисление сплава АЖ2.18, содержащего 0.005 мас.% кальция, в твёрдом состоянии проводили при температурах 673К, 773К и 873К. Кинетические кривые окисления сплава приведены на рисунке 5б. Скорость окисления сплава в зависимости от времени и температуры незначительно увеличивается. Однако рост величины удельной массы образца к 20 минутам приобретает постоянное значение равное  $16.92 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>2</sup> при 873К. Кажущаяся энергия активации процесса окисления составляет 146.3 кДж/моль (таблица 7).

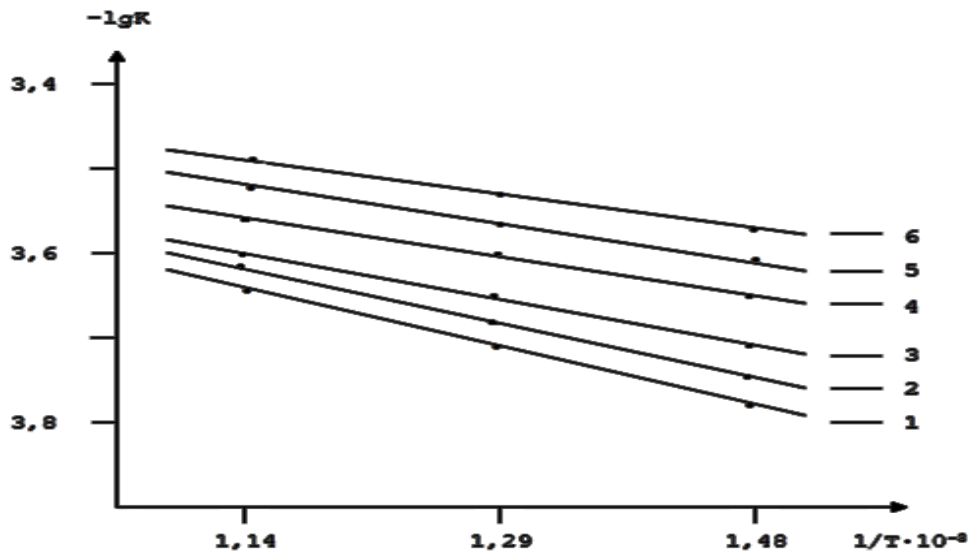
**Таблица 7** – Кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплава АЖ2.18 с кальцием в твердом состоянии

Содержание кальция в сплаве АЖ2.18, мас.%	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления $K \cdot 10^{-4}$ , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Кажущаяся энергия активации, кДж/моль
0.0	673	1.96	149.0
	773	2.10	
	873	2.40	
0.005	673	2.00	146.3
	773	2.20	
	873	2.50	
0.01	673	2.09	140.4
	773	2.32	
	873	2.55	
0.05	673	2.19	130.6
	773	2.53	
	873	2.66	
0.1	673	2.65	116.7
	773	2.78	
	873	2.93	
0.5	673	2.79	80.0
	773	3.21	
	873	3.30	

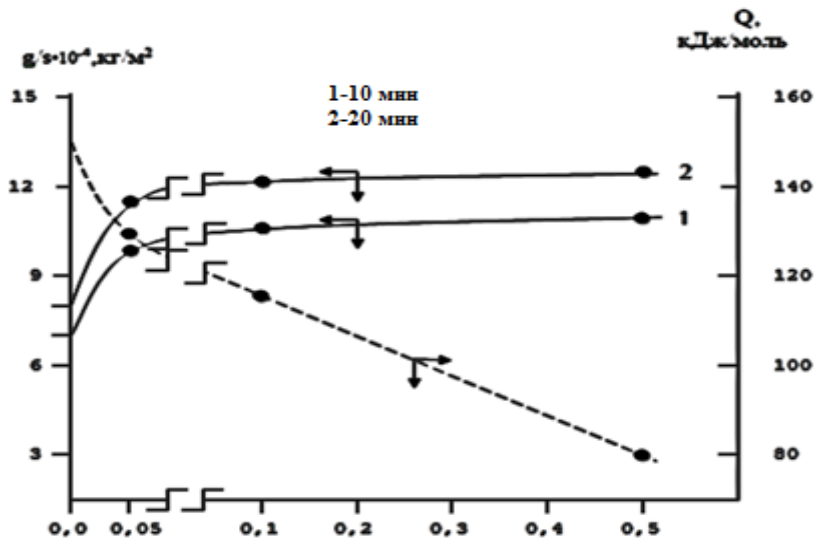
Приведенная на рисунке 7 зависимость  $\lg K-1/T$  для алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, показывает, что процесс окисления при вышеуказанных температурах протекает по параболическому закону.

Добавки кальция в пределах до 0.01 мас.% незначительно влияют на окисляемость алюминиевого сплава АЖ2.18. Дальнейшее увеличение концентрации кальция повышает окисляемость исходного сплава АЖ2.18 (рисунок 8).

Результаты исследования кинетики окисления сплава АЖ2.18, модифицированного ЦЗМ, приведены в таблице 8.



**Рисунок 7** – Зависимость  $\lg K$  от  $1/T$  для алюминиевого сплава АЖ2.18(1), модифицированного кальцием, мас. %: 0.005(2); 0.01(3); 0.05(4); 0.1(5); 0.5(6).



**Рисунок 8** – Изохроны окисления сплава АЖ2.18 с кальцием при 673 К.

**Таблица 8** – Зависимость кажущейся энергии активации процесса окисления алюминиевого сплава АЖ2.18 в твердом состоянии от содержания кальция, стронция и бария

Содержание компонентов в сплаве АЖ2.18, мас. %	Кажущаяся энергия активации, кДж/моль					
	Добавка, мас. %					
	0.0	0.005	0.01	0.05	0.1	0.5
Ca	149.0	146.3	140.4	130.6	116.7	80.0
Sr	149.0	139.4	126.7	115.0	105.5	69.7
Ba	149.0	132.0	123.1	111.5	97.6	53.9

Видно, что при переходе от сплавов с кальцием к сплавам с барием окисление сплавов растёт, о чём свидетельствует уменьшение величины



кажущейся энергии активации сплавов. Важную информацию о процессе окисления сплавов можно получить, исследуя продукты их окисления.

#### **ГЛАВА 4. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА АЖ2.18, МОДИФИЦИРОВАННОГО ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

В данном разделе представлены результаты исследования анодного поведения сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, стронцием и барием, в среде электролита 0.03, 0.3 и 3%-ного NaCl. Выбор исходного сплава АЖ2.18 объясняется тем, что данный состав является эвтектическим, и структура его в основном состоит из включения эвтектики  $\alpha$ -Al- Al<sub>3</sub>Fe. Сплавы эвтектического состава обладают рядом преимуществ, главным из которых является минимальное значение интервала кристаллизации и, соответственно, усадочных характеристик. Полученные в данном разделе результаты послужат научной основой для синтеза новых анодных сплавов для протекторной защиты стальных конструкций.

Исследование анодных свойств сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, стронцием и барием, проводили с использованием потенциостата ПИ-50-1.1 и самописца ЛКД-4-002 в среде электролита NaCl марки ч.д.а. Электродом сравнения служил хлорсеребряный, а вспомогательным-платиновый. Скорость развертки потенциала составляла 2 мВ·с<sup>-1</sup>. По ходу прохождения полной поляризационной кривой определяли следующие электрохимические параметры:  $E_{ст}$  или  $E_{св.к}$  – стационарный потенциал или потенциал свободной коррозии;  $E_{рп}$  – потенциал репассивации;  $E_{по}$  – потенциал питтингообразования (или потенциал пробоя) до катодной поляризации;  $E_{по}^1$  – потенциал питтингообразования после катодной поляризации;  $E_{кор}$  – потенциал коррозии;  $i_{кор.}$  – ток коррозии. Расчет тока коррозии, как основной электрохимической характеристики процесса коррозии, проводился по катодной кривой с учетом тафеловской константы равной  $v_k = 0,12В$ . Скорость коррозии (K) определяли по формуле  $K=i_{кор.} \cdot k$ , где:  $i_{кор.}$  – плотность тока коррозии, а  $k=0.335$  г/А·ч электрохимический эквивалент алюминия.

Для электрохимических исследований образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питтингообразования (рис. 9, кривая I). Затем образцы поляризовали в обратном направлении (рис. 9, кривая II) и по пересечению кривых I и II определяли величину потенциала репассивации. Далее шли в катодную область до значения потенциала -1,1 В для удаления оксидной плёнки с поверхности электрода (рис. 9, кривая III) в результате подщелачивания при электродной поверхности. Наконец, образцы поляризовали вновь в положительном направлении и из анодных кривых определяли основные электрохимические параметры (рис. 9, кривая IV).

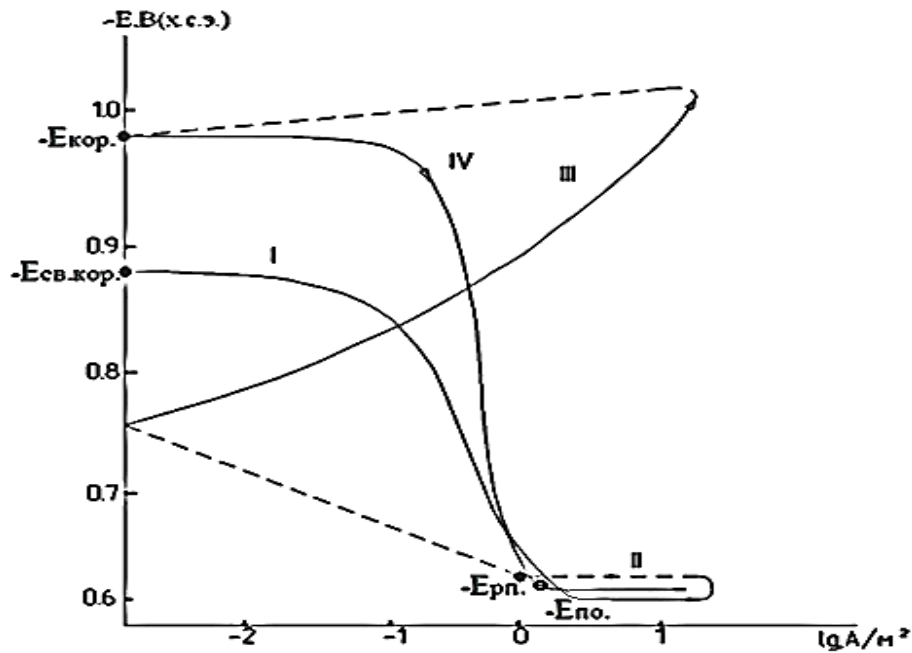


Рисунок 9 – Полная поляризационная (2мВ/с) кривая сплава АЖ2.18 в среде электролита 3%-ного NaCl.

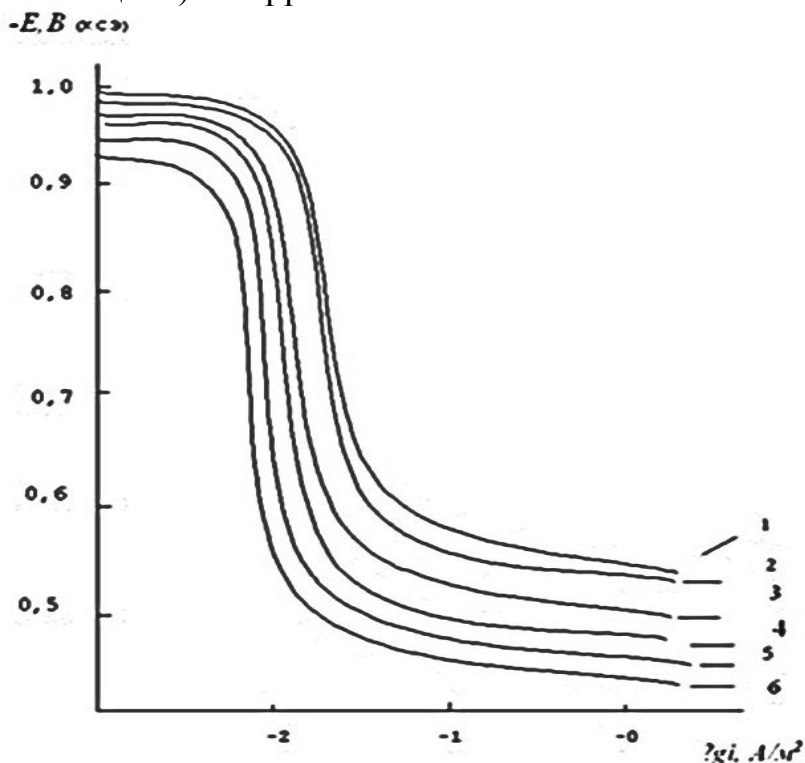
Таблица 9 – Коррозионно-электрохимические характеристики сплава АЖ2.18, модифицированного кальцием, в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас. %.	Содержание кальция, мас. %.	Электрохимические потенциалы (х.с.э.), В				Скорость коррозии	
		$-E_{св.кор.}$	$-E_{кор.}$	$-E_{п.о.}$	$-E_{рп.}$	$i_{кор.} \cdot 10^{-2}, \text{ А/м}^2$	$K \cdot 10^3, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ час}$
0.03	-	0.680	0.960	0.484	0.580	0.130	4.35
	0.005	0.700	0.950	0.350	0.480	0.125	4.19
	0.01	0.690	0.936	0.340	0.460	0.120	4.02
	0.05	0.670	0.920	0.320	0.440	0.115	3.85
	0.1	0.660	0.900	0.320	0.430	0.113	3.79
	0.5	0.640	0.880	0.300	0.420	0.110	3.69
0.3	-	0.850	0.978	0.560	0.600	0.160	5.36
	0.005	0.840	0.960	0.520	0.580	0.148	4.96
	0.01	0.830	0.954	0.520	0.573	0.135	4.52
	0.05	0.790	0.940	0.480	0.530	0.130	4.35
	0.1	0.770	0.920	0.460	0.520	0.127	4.25
	0.5	0.762	0.900	0.450	0.520	0.122	4.08
3.0	-	0.860	0.994	0.600	0.620	0.170	5.70
	0.005	0.860	0.990	0.560	0.610	0.165	5.53
	0.01	0.856	0.988	0.520	0.580	0.156	5.22
	0.05	0.844	0.968	0.500	0.550	0.150	5.02
	0.1	0.830	0.950	0.470	0.540	0.145	4.86
	0.5	0.820	0.920	0.460	0.520	0.130	4.35

Исследования показывают, что добавки кальция в пределах 0.005-0.5 мас.% способствуют смещению потенциала свободной коррозии в положительную область во всех исследованных средах электролита NaCl. При этом потенциалы питингообразования и репассивации также смещаются в положительную область значений (таблица 9).

Скорость коррозии сплавов, содержащих 0.005-0.5% кальция, почти в 1.5 раза меньше, чем у исходного алюминиевого сплава АЖ2.18 (таблица 9). Добавки кальция к сплаву АЖ2.18 способствуют снижению скорости анодной коррозии, о чём свидетельствует смещение анодных кривых модифицированных сплавов в более положительную область потенциалов (рисунок 10). При этом по мере увеличения концентрации хлорид – иона в электролите NaCl скорость коррозии сплавов увеличивается независимо от содержания модифицирующего компонента – кальция, что сопровождается смещением в отрицательную область потенциалов коррозии, питингообразования и репассивации.

Применительно к настоящим исследованиям следует отметить, что в целом с ростом концентрации хлорид – иона в 10 (0.03% и 0.3% NaCl) и 100 (0.03% и 3% NaCl) раз потенциал питингообразования исходного сплава АЖ2.18 и сплавов с кальцием смещаются в отрицательную область значений. Так, для исходного сплава АЖ2.18 при переходе от концентрации 0.03% к 0.3% и 3% - ного NaCl  $E_{п.о.}$  составляет соответственно -0.484 В, -0.560 В и 0,600 В. Аналогичным образом изменяются потенциалы свободной коррозии (стационарный потенциал) и коррозии.



**Рисунок 10** – Потенциодинамические анодные поляризационные (2мВ/с) кривые сплава АЖ2.18, содержащего кальций, мас.‰: 0(1), 0.005(2), 0.01(3), 0.05(4), 0.1(5), 0.5(6), в среде электролита 3% - ного NaCl.

Таким образом, увеличение концентрации хлорид – иона способствует росту питтинговой коррозии сплавов, о чём свидетельствует величина скорости анодной коррозии сплавов. Так, если скорость коррозии исходного сплава в среде 0.03%- ного NaCl составляет  $-0.130 \text{ А/м}^2$ , то в среде 3%- ного NaCl  $-0.170 \text{ А/м}^2$  (таблица 9).

Обобщённые результаты исследования сплавов систем АЖ2.18 - Ca (Sr, Ba) представлены в таблицах 10 и 11. Потенциал свободной коррозии сплавов АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием с ростом концентрации щелочноземельного металла изменяется в положительном направлении оси ординат. С увеличением концентрации хлорид-иона потенциал свободной коррозии сплава АЖ2.18 уменьшается от  $-0.680 \text{ В}$  в среде 0.03 % NaCl до  $-0.860 \text{ В}$  в среде 3 %- ного NaCl (таблица 10).

**Таблица 10** – Потенциалы (х.с.э.) свободной коррозии ( $-E_{\text{св.корр.}}$ , В) и питтингообразования ( $-E_{\text{п.о.}}$ , В) сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием, барием в среде электролита NaCl.

Среда NaCl, мас. %	Содержание ЦЗМ, мас. %	Сплавы с Ca		Сплавы со Sr		Сплавы с Ba	
		$-E_{\text{св.корр.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.корр.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.корр.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$
0.03	-	0.680	0.484	0.680	0.484	0.680	0.484
	0.005	0.700	0.350	0.690	0.518	0.672	0.450
	0.01	0.690	0.340	0.682	0.500	0.665	0.440
	0.05	0.670	0.320	0.670	0.487	0.654	0.440
	0.1	0.660	0.320	0.658	0.460	0.640	0.430
	0.5	0.640	0.300	0.640	0.450	0.634	0.415
0.3	-	0.850	0.560	0.850	0.560	0.850	0.560
	0.005	0.840	0.520	0.794	0.530	0.790	0.480
	0.01	0.830	0.520	0.780	0.510	0.770	0.450
	0.05	0.790	0.480	0.768	0.500	0.754	0.440
	0.1	0.770	0.460	0.740	0.480	0.720	0.440
	0.5	0.762	0.450	0.700	0.464	0.695	0.418
3.0	-	0.860	0.600	0.860	0.600	0.860	0.600
	0.005	0.860	0.560	0.860	0.550	0.858	0.500
	0.01	0.856	0.520	0.848	0.534	0.840	0.484
	0.05	0.844	0.500	0.832	0.518	0.832	0.460
	0.1	0.830	0.470	0.818	0.500	0.810	0.446
	0.5	0.820	0.460	0.800	0.480	0.798	0.420

При переходе от слабого электролита к более сильному электролиту наблюдается уменьшение величины потенциала свободной коррозии независимо от содержания модифицирующего компонента. Величины потенциалов питтингообразования и репассивации сплава АЖ2.18 с ЦЗМ также по мере роста концентрации хлорид-иона в электролите изменяются в более отрицательном направлении оси ординат. Увеличение концентрации

модифицирующего компонента способствует росту величины потенциалов питтингообразования и репассивации во всех средах независимо от концентрации хлорид-иона. Установленные зависимости характерны для сплава АЖ2.18 со всеми щелочноземельными металлами. При переходе от сплавов с кальцием к сплавам со стронцием и барием потенциалы свободной коррозии и питтингообразования растут, т.е. изменяются в положительном направлении оси ординат (таблица 10).

Плотность тока коррозии и соответственно скорость коррозии сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием с ростом концентрации хлорид-иона увеличивается. Данная зависимость характерна для всех сплавов независимо от их состава и особенностей физико-химических свойств легирующего компонента. При переходе от сплава АЖ2.18 с кальцием к сплавам со стронцием и барием наблюдается уменьшение скорости коррозии, что не коррелирует со свойствами самих щелочноземельных металлов. Для сплава АЖ2.18 также характерен рост скорости коррозии с увеличением концентрации хлорид-иона в электролите (таблица 11).

**Таблица 11** – Зависимость скорости коррозии сплавов систем АЖ2.18 -Ca (Sr, Ba) от содержания ЩЗМ в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас.%	Содержание ЩЗМ, мас.%	Скорость коррозии					
		сплавов с Ca		сплавов со Sr		сплавов с Ba	
		$i_{корр.} \cdot 10^{-2}$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^{-3}$ г/м <sup>2</sup> ·час	$i_{корр.} \cdot 10^{-2}$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^{-3}$ г/м <sup>2</sup> ·час	$i_{корр.} \cdot 10^{-2}$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^{-3}$ г/м <sup>2</sup> ·час
0.03	-	0.130	4.35	0.130	4.35	0.130	4.35
	0.005	0.125	4.19	0.122	4.09	0.118	3.95
	0.01	0.120	4.02	0.118	3.95	0.115	3.85
	0.05	0.115	3.85	0.115	3.85	0.112	3.75
	0.1	0.113	3.79	0.112	3.75	0.090	3.01
	0.5	0.110	3.69	0.100	3.35	0.080	2.69
0.3	-	0.160	5.36	0.160	5.36	0.160	5.36
	0.005	0.148	4.96	0.145	4.86	0.140	4.69
	0.01	0.135	4.52	0.130	4.35	0.133	4.45
	0.05	0.130	4.35	0.124	4.15	0.129	4.32
	0.1	0.127	4.25	0.120	4.02	0.124	4.15
	0.5	0.122	4.08	0.118	3.95	0.110	3.68
3.0	-	0.170	5.70	0.170	5.70	0.170	5.70
	0.005	0.165	5.53	0.162	5.42	0.160	5.36
	0.01	0.156	5.22	0.150	5.03	0.148	4.96
	0.05	0.150	5.02	0.146	4.89	0.140	4.69
	0.1	0.145	4.86	0.134	4.48	0.135	4.52
	0.5	0.130	4.35	0.131	4.38	0.128	4.29

Таким образом, установлено, что модифицирование щелочноземельными металлами сплава АЖ2.18 до 0.5 мас.% повышает его анодную устойчивость на

25-35%, в среде электролита NaCl. При этом с ростом концентрации модифицирующего компонента отмечается изменение в положительном направлении оси ординат потенциалов свободной коррозии, питтингообразования и репассивации. С увеличением концентрации хлорид-иона в электролите потенциалы свободной коррозии, питтингообразования и репассивации сплавов уменьшаются, скорость коррозии увеличивается.

## ВЫВОДЫ

1. В режиме «охлаждения» исследована температурная зависимость теплоемкости алюминиевого сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием. Показано, что с ростом концентрации модифицирующего компонента и температуры теплоемкость сплавов увеличивается. При переходе от сплавов с кальцием к сплавам со стронцием и барием величина теплоемкости и коэффициент теплоотдачи сплавов уменьшаются.

2. Исследованиями температурных зависимостей изменения термодинамических функций сплава АЖ2.18 с элементами подгруппы кальция показано, что при переходе от сплавов с кальцием к сплавам со стронцием величины энтальпии и энтропии уменьшаются, а к сплавам с барием растут. С ростом температуры энтальпия и энтропия сплавов растёт, значение энергии Гиббса уменьшается. Указанные изменения связаны с ростом степени гетерогенности структуры сплавов в результате их модифицирования ЦЗМ.

3. Методом термогравиметрии исследована кинетика окисления алюминия сплава АЖ2.18 с кальцием, стронцием и барием. Установлено, что окисление сплавов описывается уравнением гиперболы с истинной скоростью окисления порядка  $10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup>. Выявлено, что самые минимальные значения скорости окисления относятся к сплаву АЖ2.18 с кальцием, а максимальные - к сплавам со стронцием.

4. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2мВ/с исследовано анодное поведение сплава АЖ2.18, модифицирующего кальцием, стронцием и барием. Показано, что добавки модифицирующего компонента в пределах 0.005-0.5 мас.% повышают коррозионную стойкость сплава АЖ2.18 в среде электролита NaCl на 25-35.

5. На основании выполненных исследований разработаны составы новых сплавов, которые защищены тремя малыми патентами Республики Таджикистан.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

### Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства высшего образования и науки Российской Федерации

1. **Джайлоев, Дж.Х.** Анодное поведение сплава Al+2,18 Fe, легированного кальцием, в среде электролита NaCl / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, Х.Х. Азимов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология, 2015. -Т.58, -№12, -С. 38-42.
2. **Джайлоев, Дж.Х.** Потенциодинамическое исследование сплава Al+2,18Fe, легированного барием / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, Х.Х. Азимов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология, 2014. -Т.57, -№2, -С. 97-98.
3. **Джайлоев, Дж.Х.** Влияние щелочноземельных металлов на анодное поведение сплава Al+2.18%Fe в нейтральной среде / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, Н.Р. Эсанов // Вестник СибГИУ, 2017. -№3, -С. 40-44.
4. **Джайлоев, Дж.Х.** Анодное поведение сплава Al+2.18%Fe, легированного стронцием, в среде электролита NaCl / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, У.Ш. Якубов // Вестник СибГИУ, 2019. -№1 (26), -С.41-46
5. **Джайлоев, Дж.Х.** Анодное поведение сплава Al+2/18%Fe, легированного барием / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, Р.О. Азизов // Доклады АН Республики Таджикистан, 2012. -Т.55, -№9, -С. 747-749.
6. **Джайлоев, Дж.Х.** Влияние бария на температурную зависимость удельной теплоемкости и изменение термодинамических функций сплава АЖ2.18 / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов, Н.Ф. Ибрахимов, Х.Х. Азимов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук, 2018. -№4, -С. 240-248.
7. **Джайлоев, Дж.Х.** Кинетика окисления алюминиевого сплава АЖ2.18 с кальцием / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов, Х.Х. Азимов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук, 2018. -№4, -С. 214-220.

### Изобретения по теме диссертации

8. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 569, МПК С22С 21/00. Сплав на основе алюминия с железом / **Дж.Х. Джайлоев**; заявитель и патентообладатель: И.Н. Ганиев, Амонов И.Т., Азимов Х.Х., Сафаров А.М., Ганиева Н.И., Азимов П.Х., Турсунов А.А., Иброхимов Н.Ф. / №1200751; заявл.09.11.12; опубл. 05.06.13.
9. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 562, МПК С22С 21/00. Сплав на основе алюминия с железом / **Дж.Х. Джайлоев**; заявитель и патентообладатель: И.Н. Ганиев, Амонов И.Т., Азимов Х.Х. / №1200752; заявл.16.11.12; опубл. 05.06.13.
10. Малый патент Республики Таджикистан № TJ 757, МПК С22С 11/00. Способ улучшения коррозионной устойчивости сплава алюминия с железом легированием литием / **Дж.Х. Джайлоев**; заявитель и патентообладатель: И.Н.

Ганиев, Одинаев Х.О., Азимов Х.Х., Амонов И.Т., Ганиева Н.И., Назаров Ш.А., Иброхимов Н.Ф., Зокиров Ф.Ш. / №1400844; заявл.27.03.14; опубл. 27.05.14.

**Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:**

11. **Джайлоев, Дж.Х.** Температурная зависимость теплоёмкости и термодинамических функций сплава АЖ2.18 / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, Х.Х. Азимов, Н.Р. Эсанов // Конф. XIV Нумановские чтения, посвящённые Году молодежи «Вклад молодых учёных в развитие химической науки Института химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан», 2017. -С. 134-138.

12. **Джайлоев, Дж.Х.** Влияние кальция на температурную зависимость теплоёмкости сплава АЖ2.18 / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонзода Хакимов А.Х. // Матер. Республиканской научно-практической конференции «Наука и техника для устойчивого развития». Технологический университет Таджикистана, 2018. -С. 184-187.

13. **Джайлоев, Дж.Х.** Влияние стронция на температурную зависимость теплоёмкости алюминиевого сплава АЖ2.18 / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов, Н.Ф. Иброхимов, Ф.А. Рахимов // Матер. Межд. научно-практической конференции «Перспективы использования материалов, устойчивых к коррозии, в промышленности Республики Таджикистан», посвященной Дню химика: Душанбе, 2018. -С. 39-43.

14. **Джайлоев, Дж.Х.** Кинетика окисления алюминиево-железовых сплавов, легированных кальцием / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев, Амонов И.Т. // Мат. Межд. научно-техн. конф. «Нефть и газ Западной Сибири». -Тюмень, 2013. -С. 96-99.

15. **Джайлоев, Дж.Х.** Окисление алюминиево-железового сплава Al+2.18%Fe, легированного барием / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, А.Э. Бердиев // Мат. научно-практ. конф. «Проблемы аналитического контроля объектов окружающей среды и технических материалов». -Душанбе. -ТНУ, 2013. -С. 20-23.

16. **Джайлоев, Дж.Х.** Об анодном поведении алюминиево-железовых сплавов с некоторыми щелочноземельными металлами. / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов // Межд. научно-техн. конф. «Нефть и газ Западной Сибири», Тюмень, 2013. -С. 94-96.

17. **Джайлоев, Дж.Х.** Влияние хлорид-иона на анодное поведение сплава Al+2,18% Fe, легированного кальцием / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, Х.Х. Азимов // Матер. Респ. научно-практ. конф. «Внедрение наукоёмкой техники и технологии в производство». Душанбе, ТУТ, 2013. -С. 14-18.

18. **Джайлоев, Дж.Х.** Влияние кальция на потенциал свободной коррозии сплава Al+2.18% Fe / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов, З.Р. Обидов // Мат. Респ. научно-практической конференции «Современные



проблемы химии, химической технологии и металлургии». ТТУ им. М.Осими, 2011. -С. 145-146.

19. **Джайлоев, Дж.Х.** Анодное поведение сплава Al+2/18%Fe, легированного стронцием / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов // Материалы научно-практической конференции «Перспективы инновационной технологии в развитии химической промышленности Таджикистана» - Душанбе. -ТНУ, 2013. -С. 40-41.

20. **Джайлоев, Дж.Х.** Влияние стронция на анодные характеристики сплава Al+2.18%Fe / Дж.Х. Джайлоев, Х.Я. Шарипова, И.Н. Ганиев, И.Т. Амонов // Мат. Респ. конф. «Основные задачи материаловедения в машиностроении и методика их преподавания», посвященной 20-летию 16-ой Сессии Верховного Совета и 15-летию Дня национального единства. -Душанбе. ТГПУ им. С. Айни, 2012. -С. 96-98.

21. **Джайлоев, Дж.Х.** Влияние хлорид - иона на анодное поведение сплава Al+2.18% Fe, легированного барием / Дж.Х. Джайлоев, И.Н. Ганиев, Х.Х. Азимов, М.Ш. Джураева, Л.А. Бокиев // Мат. Респ. конф. «Состояние химической науки и её преподавание в образовательных учреждениях Республики Таджикистан». ТГПУ им. С.Айни. Душанбе, 2015. -С. 57-59.





