

*На правах рукописи*



**ЭСАНОВ НЕЪМАТ РУЗИЕВИЧ**

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА  
АЖ2.18 С РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ ЦЕРИЕВОЙ  
ПОДГРУППЫ**

**Специальность 1.4.4 - Физическая химия**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата химических наук**

**Душанбе – 2023**

Работа выполнена в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» ГНУ «Институт химии им. В. И. Никитина» Национальной академии наук Таджикистана (НАНТ).

**Научный руководитель:** доктор химических наук, профессор, академик Национальной академии наук Таджикистана  
**Ганиев Изатулло Наврузович**

**Официальные оппоненты:** **Амонзода Илхом Темур (Амонов Илхомджон Темурбоевич)** – доктор технических наук, доцент, ректор Технологического университета Таджикистана

**Сафаров Амиршо Гоибович** – кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ГНУ «Физико-технический институт им. С.У.Умарова НАН Таджикистана»

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

Защита состоится: «03» июля 2023 г. в 9<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета 73.1.002.03 при ГНУ «Институт химии им. В.И.Никитина» Национальной академии наук Таджикистана по адресу: Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2. E-mail: dissovet@ikai.tj

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ГНУ «Институт химии им В.И. Никитина» НАНТ [www.chemistry.tj](http://www.chemistry.tj).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 года

**Учёный секретарь**  
диссертационного совета,  
к.х.н., доцент



**Норова М.Т.**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Сплавы системы Al-Fe являются интересными с практической точки зрения, они находят широкое применение, как конструкционные материалы, потому что в содержании вторичного алюминия вторичном может присутствовать до 5.0% Fe. Известно, что содержания Fe в сплавах существенно снижает пластичность и коррозионностойкость сплавов алюминия. Одним из основных методов удаления из алюминиевых сплавов Fe является метод фильтрования, который достаточно трудоёмкий и дорогостоящий в аппаратурном оформлении. Поэтому в данном диссертационном исследовании в качестве альтернативы исследованы разработанные сплавы Al-Fe с различными легирующими компонентами. Также известным фактом является то, что в высокопрочных сплавах Al-Fe при увеличении в них содержания Fe происходит изменение физико-химических свойств этих сплавов, а именно усиливаются такие характеристики, как электросопротивление, вязкость расплавов, ползучесть, и снижаются величины теплопроводности и предела усталости, поскольку в сплавах происходит формирование фазы  $FeAl_3$ .

Сплавы Al с содержаниями Fe и редкоземельных металлов также находят применение, как проводниковые материалы в различных областях техники и производства – это шины, стержни, кабели, провода, авиационные и автомобильные двигатели, эти сплавы используют в электротехнике и электронике.

В литературных источниках практически отсутствуют данные о влиянии иттрия (Y) и химических элементов группы лантаноидов (лантан (La), церий (Ce), празеодим (Pr), неодим (Nd), самарий (Sm), европий (Eu)) на изменение термодинамических и теплофизических характеристик сплавов Al-Fe, а также изменение анодных и кинетических характеристик этих сплавов при введении в них La, Sm и Eu.

**Целью работы** является установление температурной зависимости теплоемкости и термодинамических (энтальпии, энтропии и энергии Гиббса), кинетических и анодных свойств алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном, церием, празеодимом, неодимом, самарием, европием и иттрием, предназначенного для нужд отдельных отраслей промышленности.

### **Задачи исследования:**

- изучены величины теплоёмкости и изменения термодинамических характеристик сплава АЖ2.18 с различными содержаниями редкоземельных металлов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Y) в зависимости от температуры;

- изучена кинетика окисления твёрдых тройных алюминиевых сплавов “АЖ2.18-La” (Sm и Eu) с определением механизмов протекания окислительных процессов в них;

- экспериментальными методами проведено определение влияния легирующих элементов РЗМ цериевой подгруппы на анодные характеристики сплава АЖ2.18 в электролитических средах NaCl;

- после определения химических и физических характеристик тройных сплавов проведена их оптимизация и показаны возможности их применения в различных областях.

### **Научная новизна работы.**

- Установлены основные закономерности изменения теплоёмкости и термодинамических характеристик для сплавов АЖ2.18 с РЗМ цериевой подгруппы в зависимости от количества модифицирующего компонента и температуры. Показано, что теплоёмкость, значения энтальпии и энтропии сплавов АЖ2.18 с РЗМ цериевой подгруппы увеличиваются при увеличении температуры, а величины энергии Гиббса, наоборот, уменьшаются. При увеличении в сплавах АЖ2.18 содержания элементов РЗМ цериевой подгруппы величины теплоёмкости энтальпии и энтропии также возрастают, а величины энергии Гиббса уменьшаются.

- Экспериментально подтверждено, что для твёрдых сплавов АЖ2.18 с различными содержаниями РЗМ цериевой подгруппы их скорости окисления увеличиваются при увеличении температуры. Константы скоростей этих окислительных процессов имеют порядок  $10^{-4}$  кг/м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>. Окислительный процесс в сплавах АЖ2.18 с различными содержаниями элементов РЗМ протекает согласно гиперболическим закономерностям.

- Проведены исследования кинетики окисления алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном, самарием и европием, в твердом состоянии. Установлено, что закономерности изменения кинетических характеристик окисления сплавов подчиняются гиперболическому закону с истинной скоростью окисления порядка  $10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup>. Судя по величине эффективной энергии активации выявлено, что самые минимальные значения скорости окисления имеют сплавы АЖ2.18 с лантаном, а максимальные – относятся к сплавам, модифицированным европием.

- Установлено потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме (скорость развёртки потенциала 2.0 мВ/с), что при введении в исходный сплав АЖ2.18 элементов РЗМ (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Y) с содержаниями от 0.5 до 2.5 мас% скорость коррозии увеличивается на 10-20%. При этом для исследуемых сплавов происходит смещение величин потенциалов репассивации, питтингообразования и свободной коррозии в более

отрицательные значения, а в ряду сплавов с элементами РЗМ – La→Ce→Pr→Nd→Sm→Eu – величина скорости коррозии увеличивается.

**Теоретическая ценность исследования.** В диссертации изложены теоретические аспекты исследований температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций, влияния структуры, изменений энергетических и кинетических характеристик, изменений электрохимического и коррозионного поведения сплава АЖ2.18 с РЗМ (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Y), изменение окисляемости и коррозионноустойчивости алюминиевого сплава АЖ2.18 в зависимости от концентрации электролитических растворов NaCl и содержания РЗМ.

**Практическая ценность исследования.** Выполненные исследования показывают, что введение в алюминиевый сплав АЖ2.18 различных содержаний РЗМ (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Y) увеличивают скорости коррозии в сравнении с исходным сплавом. Возрастает устойчивость изученных сплавов к окислительным процессам при высоких температурах. Выполненные исследования позволили подобрать концентрации модифицирующих добавок (РЗМ цериевой подгруппы) для повышения устойчивости исходного сплава АЖ2.18 к высокотемпературному окислению.

**Методы исследования и использованная аппаратура.** Объектом исследования служил сплав алюминия с железом эвтектического состава Al+2.18%Fe (мас.%), а также лантан металлический ЛаМ-1 (ТУ 48-4-218-72), церий металлический марки ЦеМ-1 (48-4-529-90), празеодим металлический-ПрМ-1 (ТУ 48-4-215-72), неодим металлический-НМ-2 (ТУ48-4-205-72), самарий металлический СмМ-1 (ТУ 48-4-207-72), европий металлический - ЕвМ-1 (ТУ 48-2-217-72) и иттрий металлический - (ИтМ-1 ТУ 48-4-208-72). Исследования проводились измерением теплоёмкости в режиме «охлаждения» металлографическим, металлографическим, (микроскоп НЕОРНОТ-31), рентгенофазовым (Дрон-3), потенциостатическим методом на потенциостате (ПИ-50.1.1). Математическая обработка результатов проводилась с использованием стандартного пакета приложения и программы MS Excel и Sigma Plot 10.

**Положения, выносимые на защиту:**

- результаты изучения изменений теплоёмкостных и термодинамических характеристик для алюминиевого сплава АЖ2.18 с различными содержаниями РЗМ (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Y) от температурных режимов;
- энергетические и кинетические характеристики окислительного процесса для алюминиевого сплава АЖ2.18 с различными содержаниями РЗМ (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Y), а также механизмы окислительных процессов в указанных

сплавах. Идентифицированы продукты, образующиеся в процессах окисления, определены их функции в протекании окислительного процесса;

- изменения анодных характеристик и скоростей коррозии для алюминиевого сплава АЖ2.18 с различными содержаниями РЗМ (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Y) в зависимости от содержания РЗМ и концентрации хлор-ионов в электролитических растворах NaCl;

- алюминиевые сплавы АЖ2.18 оптимальных составов, которые имеют минимальную окисляемость и максимальную жароустойчивость, предлагаемые для изготовления деталей различного оборудования.

**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 диссертационного исследования.

#### **Степень достоверности и апробация результатов.**

Основные положения диссертации и отдельные вопросы, относящиеся к предмету диссертационного исследования, докладывались и обсуждались на:

**международных:** Международной научно-практической конференции (НПК) “Актуальные проблемы естественных и экономических наук” (Азербайджан, 2022 г.); Международной НПК “Металлургия: технологии, инновации, качество» в 2-х ч. Ч. 1 (Новокузнецк, СибГИУ, 2019 г.); Международной НПК “Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых” (Бустон, Горно-металлургический институт Таджикистана, 2019 г.); Международной НПК “Вопросы физической и координационной химии”, посвящ. памяти докторов химических наук, профессоров Х. М. Якубова и З. Н. Юсуфова (Душанбе, 2019 г.); Международной НПК, посвящ. 70-летию академика М. И. Илолова (Душанбе, 2018 г.); Международной НПК “Перспективы развития физической науки”, посвящ. памяти (80-летию) чл.-корр. АН РТ, доктора физико-математических наук, профессора Ф.Х. Хакимова (Душанбе, 2017 г.);

**республиканских:** Республиканской НПК “Фундаментальная наука - основа совершенствования технологий и материалов” (Душанбе, Центр исследования инновационных технологий при НАН Таджикистана, 2021 г.); Республиканской НПК “Ломоносовские чтения”, посвящ. 75-летию Победы в Великой Отечественной войне (1941-1945) (Душанбе, 2020 г.); Республиканской НПК “Роль народных промыслов в развитии и устойчивости национальной культуры”, посвящ. объявлению 2019-2021 гг. “Годами развития села, туризма и народных ремёсел” (Душанбе, 2019 г.); Республиканской НПК “Роль народного творчество в развитии и устойчивости национальной

культуры” посвящ. объявлению 2019-2021 гг. “Годами развития села, туризма и народных ремёсел” (Душанбе, Таджикский государственный педагогический университет имени С. Айни, 2019 г.); Республиканской НПК “Наука и техника для устойчивого развития” (Душанбе, 2018 г.); Республиканской НПК “Современные проблемы естественных наук” (Душанбе, Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова в г. Душанбе, 2017 г.); Республиканской НПК “XIV Нумановские чтения: Вклад молодых учёных в развитие химической науки”, посвящ. Году молодёжи (Душанбе, 2017г.).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 18 научных работ, из них 5 статей в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации и 13 статей в материалах международных и республиканских конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа включает введение, четыре главы, основные выводы и приложения, изложена на 179 страницах компьютерного набора, включает 82 рисунков, 69 таблиц, 144 библиографических наименования.

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

**В первой главе** описано структурообразование сплавов и теплофизические свойства алюминия, железа, лантана, церия, празеодима, неодима, самария, европия и иттрия, особенности окисления сплавов алюминия со скандием, иттрием, лантаном, церием, празеодимом, неодимом и сплава АЖ2.18 с литием, бериллием, магнием, кальцием, стронцием, барием. Показано, что коррозионно-электрохимическое поведение сплава АЖ2.18 с литием, бериллием, магнием, кальцием, стронцием и барием, в нейтральной среде электролита NaCl. Изучены на основе выполненного обзора можно отметить, что теплофизические свойства алюминия, железа, лантана, церия, празеодима, неодима, самария, европия и иттрия хорошо изучены. Имеются сведения о влиянии температуры и чистоты металлов на их тепловые и теплофизические свойства. Таким образом, в связи с отсутствием систематических данных о физико-химических свойствах сплава АЖ2.18 с редкоземельными металлами цериевой подгруппы последние были взяты в качестве объекта исследования в данной диссертационной работе.

**Во второй главе** приведены результаты исследования температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава Al+2.18%Fe, модифицированного лантаном, церием, празеодимом, неодимом, самарием, европием и иттрием.

**Третья глава** посвящена экспериментальному исследованию кинетики окисления алюминиевого сплава АЖ2.18%, модифицированного лантаном, самарием и европием, в твердом состоянии.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментального исследования анодного поведения сплава АЖ2.18%, модифицированного лантаном, самарием и европием, в среде электролита NaCl.

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АЖ2.18 С СОДЕРЖАНИЯМИ РЗМ ЦЕРИЕВОЙ ПОДГРУППЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Сплавы для исследования получали в шахтных лабораторных печах сопротивления типа СШОЛ в интервале температур 750-850<sup>0</sup>С из алюминиево - железного сплава АЖ2.18 (2.18 мас.% Fe), которое непосредственно извлекалось из одной электролизных ванн Таджикской алюминиевой компании ГУП «ТалКо» и лигатуры на основе алюминия, содержащей до 10 мас.% РЗМ. Там же в Центральной заводской лаборатории был проведен химический анализ сплавов на содержание железа, примесей и РЗМ. Лигатуры предварительно синтезировались в электропечи сопротивления вакуумного типа СНВЭ-1.3.1/16 И4. Состав полученных сплавов контролировался также взвешиванием образцов до и после сплавления. В дальнейшем исследованию подвергались сплавы, у которых разница в массе до и после сплавления не превышала 2% (отн.). Из полученных сплавов в графитовую изложницу отливали образцы диаметром 16 мм и длиной 30 мм.

Для измерения удельной теплоёмкости сплавов в широкой области температур использовался закон охлаждения Ньютона – Рихмана. Если взять два одинаковой формы металлических образца и охлаждать их от одной температуры, то по зависимости температуры образцов от времени (кривым охлаждения) можно найти теплоёмкость одного образца, зная теплоёмкость другого (эталоны).

Количества тепла, теряемого объёмом  $dV$  металла за время  $dt$ , равно

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

где  $C_p^0$  - удельная теплоёмкость металла,

$T$  – температура образца (принимается одинаковой во всех точках образца, так как линейные размеры тела малы, а теплопроводность металла велика).

Величину  $\delta Q$  можно подсчитать кроме того по закону:

$$\delta Q_s = -\alpha(T - T_0) \cdot S dt, \quad (2)$$

где  $dS$  – элемент поверхности,

$T_0$  – температура окружающей среды,

$\alpha$  - коэффициент теплоотдачи.



приравнивая выражения (1) и (2), получим

$$C_P^0 \cdot \rho \frac{dT}{d\tau} \cdot dV = \alpha(T - T_0) dS. \quad (3)$$

Количество тепла, которое теряет весь объём образца

$$Q = \int_V C_P^0 \cdot \rho \frac{dT}{d\tau} \cdot dV = \int_S \alpha(T - T_0) dS. \quad (4)$$

Полагая, что  $C_P^0$ ,  $\rho$  и  $\frac{dT}{d\tau}$  не зависят от координат точек объема, а  $\alpha$ ,  $T$  и  $T_0$  не зависят от координат точек поверхности образца, можно написать:

$$C_P^0 \cdot \rho \cdot V \frac{dT}{d\tau} = \alpha(T - T_0) S, \quad (5)$$

или

$$C_P^0 \cdot m \frac{dT}{d\tau} = \alpha(T - T_0) S, \quad (6)$$

где  $V$  – объём всего образца, а  $\rho \cdot V = m$  – масса,

$S$  – площадь поверхности всего образца.

Соотношение (6) для двух образцов одинакового размера при допущении, что  $S_1 = S_2$ ,  $T_1 = T_2$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2$  пишется так

$$C_{P_2}^0 = C_{P_1}^0 \cdot \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2} = C_{P_1}^0 \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{\Delta T}{\Delta \tau}\right)_1}{\left(\frac{\Delta T}{\Delta \tau}\right)_2}. \quad (7)$$

Следовательно, зная массы образцов  $m_1$  и  $m_2$ , скорости охлаждения образцов и удельную теплоемкость эталона  $C_{P_1}^0$ , можно удельную теплоемкость  $C_{P_2}^0$  неизвестного образца из уравнения:

$$C_{P_2}^0 = C_{P_1}^0 \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (8)$$

где  $m_1 = P_1 V_1$  – масса первого образца,

$m_2 = P_2 V_2$  – масса второго образца,

$\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1, \left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2$  – скорости охлаждения эталона образцов при данной

температуре.

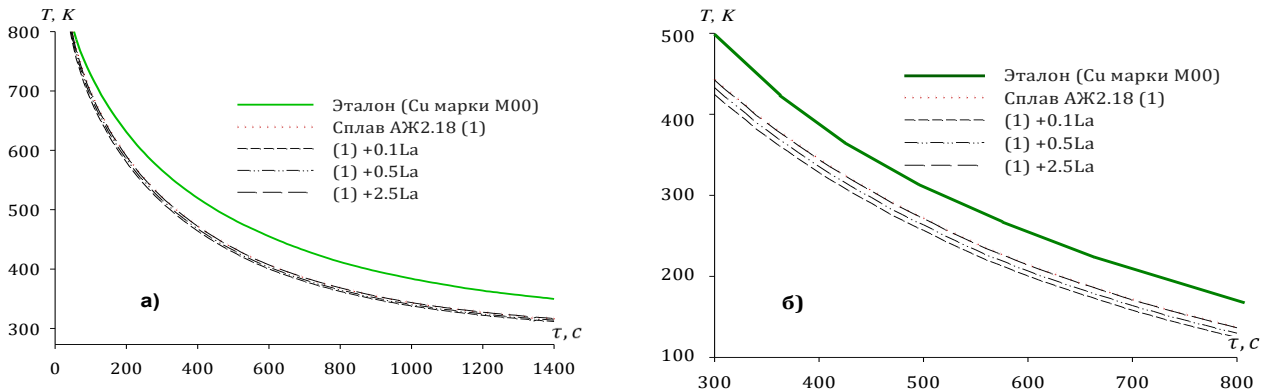
На практике находится средняя скорость охлаждения  $\frac{\Delta T}{\Delta \tau}$ , где  $\Delta T \approx 20\text{K}$ ,

$\Delta \tau$  – промежуток времени, соответствующий  $\Delta T$ .

Измерение теплоемкости проводилось на установке, схема которой представлена в работах [3-5]

Полученные в ходе эксперимента кривые зависимости температуры от времени охлаждения образцов из алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном представлены на рисунке 1 и описываются уравнением вида

$$T = T_0 + \frac{1}{2} \left[ (T_1 - T_0) e^{-t/\tau_1} + (T_2 - T_0) e^{-t/\tau_2} \right] \quad (9)$$



**Рисунок 1.** График зависимости температуры от времени охлаждения для образцов из алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном (а) в интервале температур 300-800 К) (б).

Дифференцируя уравнение (9) по  $\tau$ , получаем уравнение для определения скорости охлаждения сплавов.

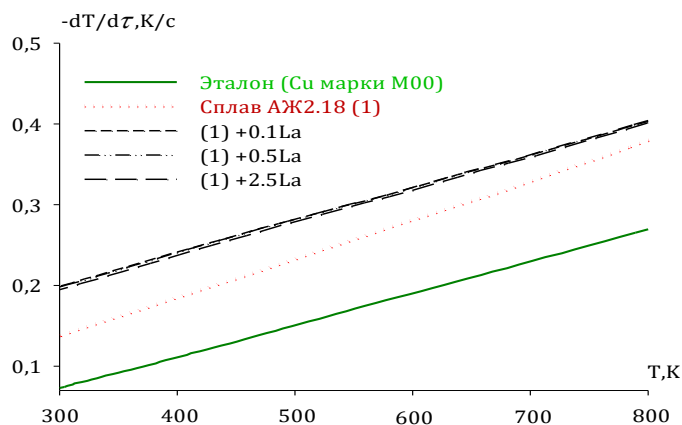
$$\frac{dT}{d\tau} = -\left(\frac{T_1 - T_0}{\tau_1}\right)e^{-\tau/\tau_1} + \left(\frac{T_2 - T_0}{\tau_2}\right)e^{-\tau/\tau_2}. \quad (10)$$

Температурная зависимость скорости охлаждения образцов из сплава АЖ2.18 с лантаном представлена на рисунке 3. Скорости охлаждения образцов нами были рассчитаны по уравнению (10) и для исследованных сплавов в таблице 1 представлены значения коэффициентов  $\Delta T_1$ ,  $\tau_1$ ,  $\Delta T_2$ ,  $\tau_2$  уравнении (10). Обработкой результатов по программе Microsoft Excel и с помощью программы SigmaPlot 10 построены графики. Значение коэффициента корреляции составляло не менее 0,998.

**Таблица 1**

Значения коэффициентов  $\Delta T_1, \tau_1, \Delta T_2, \tau_2$  в уравнении (10) для алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном и эталона (Cu марки М00)

Содержание лантана в сплаве, мас. %	$\Delta T_1, \text{K}$	$\tau_1, \text{C}$	$\Delta T_2, \text{K}$	$\tau_2, \text{C}$	$\Delta T_{01}/\tau_1, \text{K/c}$	$\Delta T_{02}/\tau_2, \text{K/c}$	$\Delta T_0, \text{K}$
Сплав АЖ2.18 (1)	202.6748	85.4701	426.4349	439.6764	2.3713	0.9699	199.2503
(1) +0.1	194.5420	83.3333	421.4922	432.7131	2.3345	0.9741	295.5909
(1) +0.5	196.5273	83.3333	425.7930	432.7131	2.3583	0.9840	297.6021
(1) +2.5	198.4879	85.4701	426.2906	439.5411	2.3223	0.9699	298.9901
Эталон	169.6379	91.7431	424.8275	516.2356	1.8491	0.8229	222.0934



**Рисунок 2.** Зависимость скорости охлаждения образцов из алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном эталона и от температуры.

Рассчитанные данные  $C_p$  для алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном через 100 К приведены в таблице 2 и на рисунке 3. Также, используя значения удельной теплоемкости сплава АЖ2.18 с лантаном, вычислили температурную зависимость коэффициента теплоотдачи сплава АЖ2.18 по уравнению

$$\alpha = \frac{C_p^0 m \frac{dT}{dt}}{(T - T_0) \cdot S}, \quad (11)$$

где:  $T$  и  $T_0$  – температура образца и окружающей среды,  $S$  и  $m$  - площадь поверхности и масса образца, соответственно. Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи для сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном, представлена на рисунке 4.

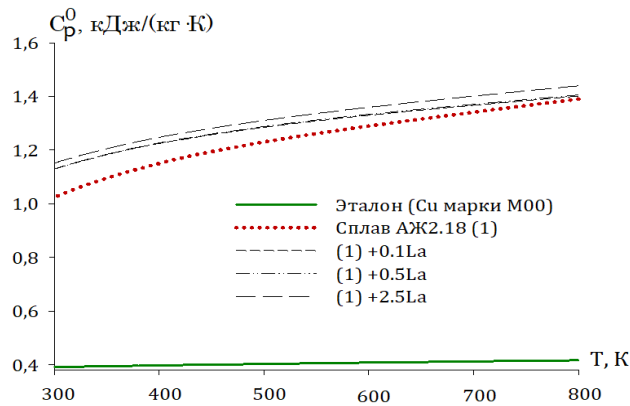
**Таблица 2**

Удельная теплоёмкость (кДж/(кг·К)) модифицированного лантаном сплава АЖ2.18 и эталона (Cu марки М00) в зависимости от температуры

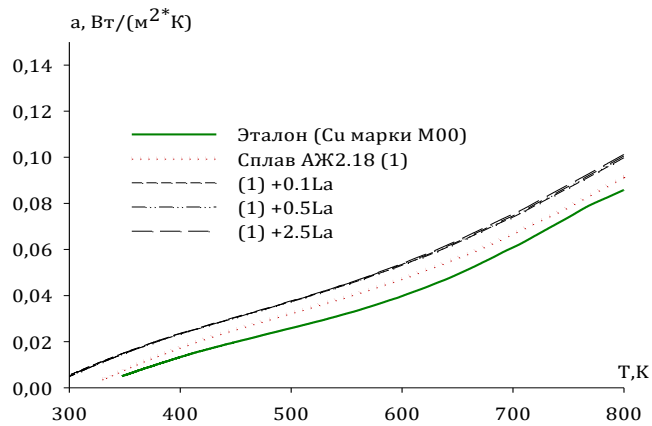
Содержание лантана в сплаве, мас. %	Т, К						Рост $C_p^0$ , %
	300	400	500	600	700	800	
Сплав АЖ2.18 (1)	0.8291	1.1298	1.3000	1.3910	1.4541	1.5407	85.82
(1) +0.1	0.8501	1.1896	1.3691	1.4576	1.5241	1.6376	92.63
(1) +0.5	0.8560	1.2024	1.3896	1.4848	1.5552	1.6580	93.69
(1) +2.5	0.8807	1.2186	1.3942	1.4930	1.5605	1.7121	94.41
Рост $C_p^0$ , %	6.22	7.85	7.24	7.33	7,32	7.87	
Эталон	0.3850	0.3977	0.4080	0.4169	0.4251	0.4336	12.62

Обработывая с применением программы SigmaPlot 10 кривые рисунка 3, получены нижеследующие уравнение, температурной зависимости удельной теплоемкости сплава АЖ2.18 с лантаном.

$$C_p^0 = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (12)$$



**Рисунок 3.** Температурная зависимость удельной теплоёмкости алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном



**Рисунок 4.** Коэффициент теплоотдачи алюминиевого сплава АЖ2.18 модифицированного лантаном, от температуры  
Значение коэффициентов уравнения (12) представлены в табл.3.

**Таблица 3**

Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  для алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном и эталона (Cu марки M00)

Содержание лантана в сплаве, мас.%	$a$ , кДж/кг·К	$b \cdot 10^{-2}$ , кДж/кг·К <sup>2</sup>	$c \cdot 10^{-5}$ , кДж/кг·К <sup>3</sup>	$d \cdot 10^{-9}$ , кДж/кг·К <sup>4</sup>	Коэффициент корреляции R, %
Сплав АЖ2.18 (1)	-1.3700	0.0116	-1.68	8.56	0.9964
(1) +0.1	-1.8184	1.44	-2.18	11.5	0.9959
(1) +0.5	-1.8104	1.43	-2.14	11.2	0.9959
(1) +2.5	-1.5108	1.26	-1.82	9.24	0.9964
Эталон	0.3245	0.0275	-0.0287	0.0142	1.00

В таблице 4 представлены результаты расчёта изменения термодинамических функций для алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном эталона (Cu марки М00) через 100 К.

Таблица 4

Температурная зависимость изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном

Т, К	Эталон (Cu марки М00)	Сплав АЖ2.18 (1)	(1) +0.1% La	(1) +0.5% La	(1) +2.5% La
300	0.7120	1.5273	1.5651	1.5759	1.6221
400	39.8686	100.7773	105.1709	106.1026	107.5004
500	80.1679	223.1433	234.1518	236.7492	238.5928
600	121.4193	358.1373	375.9576	380.9559	383.4471
700	163.5173	500.4073	524.9384	532.8826	536.1554
800	206.4419	649.7373	682.3443	693.4092	696.3538
$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$ , кДж/(кг · К) для сплавов					
300	0.0024	0.0051	0.0052	0.0053	0.0054
400	0.1149	0.2886	0.3009	0.3036	0.3078
500	0.2048	0.5609	0.5880	0.5943	0.5995
600	0.2800	0.8068	0.8463	0.8570	0.8633
700	0.3449	1.0260	1.0758	1.0911	1.0986
800	0.4022	1.2252	1.2859	1.3052	1.3124
$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$ , кДж/кг для сплавов					
300	-0.0022	-0.0047	-0.0048	-0.0049	-0.0050
400	-6.1074	-14.645	-15.207	-15.331	-15.601
500	-22.243	-57.308	-59.855	-60.419	-61.161
600	-46.585	-125.923	-131.831	-133.242	-134.555
700	-77.903	-217.766	-228.149	-230.856	-232.869
800	-115.311	-330.453	-346.344	-350.785	-353.556

Таким образом, изучено изменение термодинамических функций сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном. Как видно из таблице 5, с повышением содержания модифицирующего компонента энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а энергия Гиббса уменьшается.

Результаты исследования теплоёмкость и термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ2.18 с La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu и Y на примере сплавов, содержащих 0,5 мас.% редкоземельного металла, обобщены в таблицах 5, 6.

Видно, что с ростом температуры теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов растут, а значение энергии Гиббса снижается.

Таблица 5

Зависимость удельной теплоёмкости (кДж/кг·К) алюминиевого сплава АЖ2.18 с РЗМ и эталона (Cu марки М00) от температуры

Теплоемкость	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
Сплав АЖ2.18 (1)	0.8291	1.1298	1.3000	1.3910	1.4541	1.5407
(1)+0.5 La	0.8560	1.2024	1.3896	1.4848	1.5552	1.6580
(1)+0.5 Ce	0.9133	1.2362	1.4248	1.5286	1.5971	1.6797
(1)+0.5 Pr	0.8719	1.1566	1.3448	1.4978	1.4969	1.5815
(1) +0.5 Nd	0.8712	1.1738	1.3593	1.4406	1.5018	1.5951
(1) +0.5 Sm	0.8827	1.1952	1.3648	1.4642	1.5545	1.6349
(1) +0.5 Eu	0.8601	1.1771	1.3277	1.4041	1.4588	1.5442
(1) +0.5 Y	0.8650	1.2113	1.4023	1.4941	1.5428	1.6046
Эталон	0.3850	0.3977	0.4080	0.4169	0.4251	0.4336

От содержания РЗМ при переходе от сплавов с лантаном к сплавам с европием теплоемкость уменьшается, далее к сплавам с европием мало изменяется. То же самое относится и к изменением энтальпии и энтропии.

Таблица 6

Зависимость энтальпии, энтропии и энергии Гиббса от температуры для сплавов систем АЖ2.18 – РЗМ и эталона (Cu марки М00).

Содержание легирующего компонента в сплаве, мас. %	Т, К					
	300	400	500	600	700	800
$[H^0(T) - H^0(T_0)]$ , кДж/кг для сплавов						
Сплав АЖ2.18 (1)	1.5273	100.773	223.143	358.134	500.407	649.737
(1)+0.5 La	1.576	106.10	236.75	380.96	532.88	693.41
(1)+0.5Ce	1.6575	108.825	240.666	386.265	539.618	699.625
(1)+0.5Pr	1.6068	104.304	228.716	364.757	507.474	657.051
(1) +0.5Nd	1.5675	103.677	229.757	368.730	514.834	667.623
(1) +0.5Sm	1.5842	105.717	235.596	379.577	531.424	690.317
(1) +0.5Eu	1.6809	107.599	234.028	371.386	515.254	666.373
(1) +0.5Y	1.5927	102.8654	230.6080	372.0187	519.9854	673.0120
Эталон	0.7120	39.8686	80.1679	121.419	163.5173	206.4419

$[S^0(T) - S^0(T_0)]$ , кДж/(кг · К) для сплавов						
Сплав АЖ2.18 (1)	0.0051	0.2886	0.5609	0.8068	1.0260	1.2252
(1)+0.5 La	0.0054	0.005	0.304	0.594	0.857	1.091
(1)+0.5Ce	0.0055	0.312	0.606	0.870	1.107	1.321
(1)+0.5Pr	0.0054	0.299	0.576	0.824	1.044	1.243
(1) +0.5Nd	0.0052	0.297	0.577	0.831	1.056	1.260
(1) +0.5Sm	0.0053	0.303	0.592	0.854	1.088	1.300
(1) +0.5Eu	0.0054	0.304	0.589	0.840	1.062	1.264
(1) +0.5Y	0.0053	0.3060	0.5992	0.8640	1.0982	1.3078
Эталон	0.0024	0.1149	0.2048	0.2800	0.3449	0.4022
$G^0(T) - G^0(T_0)$ , кДж/кг для сплавов						
Сплав АЖ2.18 (1)	-0.005	-14.645	-57.308	-125.923	-217.766	-330.453
(1)+0.5 La	-0.0049	-15.331	-60.419	-133.242	-230.856	-350.785
(1)+0.5Ce	-0.0051	-15.835	-61.875	-135.895	-234.958	-356.441
(1)+0.5Pr	-0.005	-15.235	-59.189	-129.410	-222.970	-337.430
(1) +0.5Nd	-0.0048	-15.056	-58.965	-129.613	-224.138	-340.037
(1) +0.5Sm	-0.0049	-15.309	-60.200	-132.717	-230.010	-349.540
(1) +0.5Eu	-0.005	-15.449	-60.264	-132.724	-228.033	-344.421
(1) +0.5Y	-0.0049	-19.5338	-68.9827	-146.4076	-248.759	-373.2251
Эталон	-0.0022	-6.1074	-22.243	-46.585	-77.903	-115.311

В целом характеристики температурной зависимости теплоемкости и изменений термодинамических функций (энтальпии, энтропии и энергии Гиббса) сплавов систем АЖ2.18-La (Ce, Pr, Nd, Sm, Eu и Y) показали, что с повышением концентрации легирующего компонента теплоемкость незначительно растет. Термодинамические функции сплава АЖ2.18 от содержанием легирующего компонента незначительно увеличиваются, а энергия Гиббса уменьшается.

### **ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ СПЛАВА АЖ2.18 С СОДЕРЖАНИЯМИ ЛАНТАНА, САМАРИЯ И ЕВРОПИЯ**

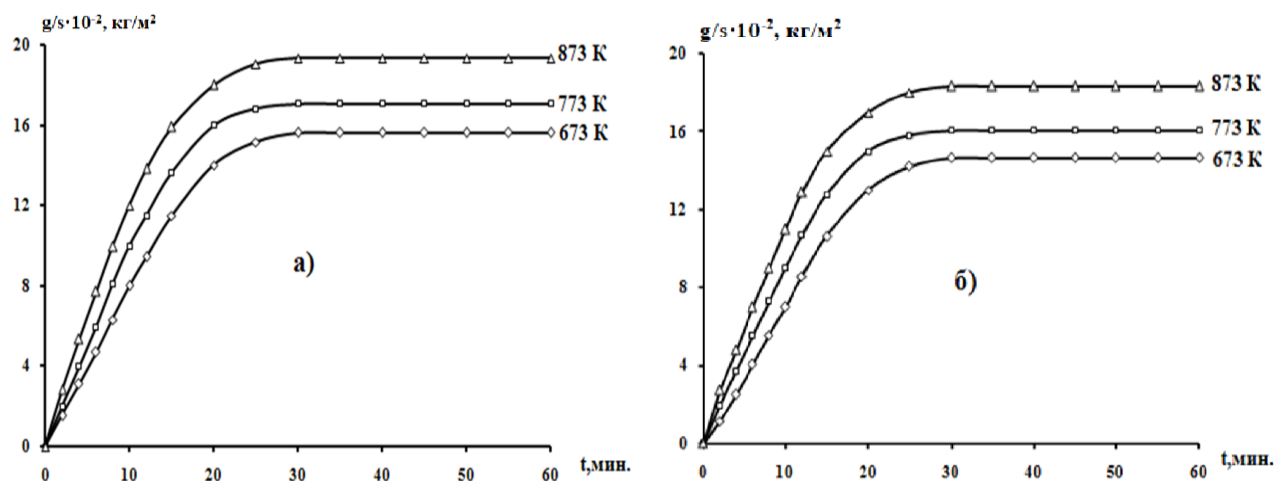
Нами изучено окисление алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного 0.1, 0.5 и 2.5 мас. % лантаном, при температурах 673 К,

773 К и 873 К. Кинетические и энергетические параметры окисления исходного сплава характеризуются высокими скоростями формирования оксидных пленок. Видно, что окисления завершается к 15-20 минутам и к 30-35 минутам привес сплавов становится постоянным. Быстрее идет формирование защитных оксидных пленок и с минимальным количеством кислородных вакансий при высоких температурах. Истинная скорость окисления сплава АЖ2.18 в зависимости от температуры изменяется от  $2.0 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>2</sup>·с при 673 К и  $2.41 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>2</sup>·с при 873К (рисунок 5а). Кажущаяся энергия активации процесса окисления определенная по тангенсу угла наклона составляет 148.0 кДж/моль (таблиц 7).

Кинетика окисления сплава АЖ2.18, содержащего 0.1 мас. % лантана, в твердом состоянии изучалась при температурах 673 К 773К и 873 К и приведена на рисунке 5б. Скорость окисления сплава АЖ2.18 с лантаном в зависимости от температуры и времени нарастает и протекает с большими диффузионными затруднениями. Однако наибольшее его значение, равное  $2.27 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>2</sup>, достигается при температуре 873 К, а наименьшее  $1.78 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>2</sup> при температуре 673 К. Кажущаяся энергия активации окисления составляет 180.5 кДж/моль.

На рисунке 6 представлена зависимость  $\lg K - 1/T$  для алюминиевого сплава АЖ2.18, содержащего 0.1; 0.5; 2.5 мас. % лантана, при вышеуказанных температурах, которая имеет прямолинейный характер.

Видно, что с ростом содержания РЗМ скорость окисления сплавов уменьшается.



**Рисунок 5.** Кинетические кривые окисления алюминиевого сплава АЖ2.18 (а) с 0,1 мас.% лантаном (б).

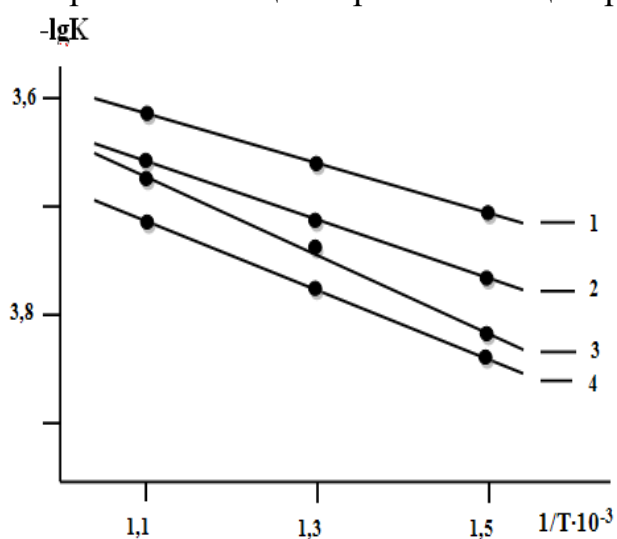


Таблица 7

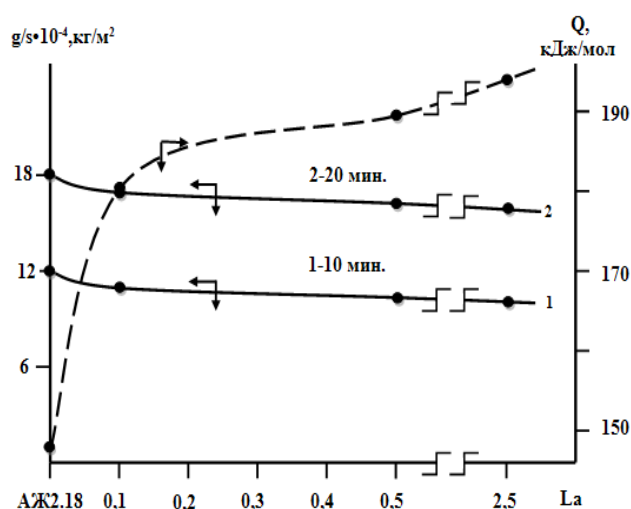
Кинетические и энергетические параметры процесса окисления  
алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном, в твердом состоянии

Содержание лантана в сплаве, 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	2.00	148.0
	773	2.15	
	873	2.41	
0.1	673	1.78	180.5
	773	2.00	
	873	2.27	
0.5	673	1.66	188.8
	773	1.85	
	873	2.14	
2.5	673	1.53	195.9
	773	1.70	
	873	2.03	

На рисунке 7 представлены изохронны процесса окисления сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном. Видно, что как при 10-минутной, так и при 20-минутной выдержке с увеличением концентрации лантана скорость процесса окисления уменьшается. Эта закономерность более четко выражается при температуре 823 К, о чем также свидетельствует увеличение кажущейся энергии активации с ростом концентрации лантана.



**Рисунок 6.** Зависимость  $\lg K$  от  $1/T$  для сплава АЖ2.18(1) с лантаном, мас. %: 0,1(2); 0,5(3); 2,5(4).



**Рисунок 7.** Изохронны процесса окисления алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном при 873К.

Судя по нелинейной зависимости  $(g/s)^2 - t$  окисления алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном, самарием и европием, кинетические кривые окисления, которые не укладываются на прямые линии, можно утверждать, что процесс окисления сплавов протекает по гиперболическому закону. Результаты исследования аналитической обработки квадратичных кинетических кривых процесса окисления сплавов представлены в таблице 8 на примере сплава АЖ2.18%, модифицированного 0.1, 0.5 и 2.5 мас.% La, Sm и Eu.

Проведены исследования кинетики окисления алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном, самарием и европием, в твердом состоянии. Установлено, что закономерности изменения кинетических характеристик окисления сплавов подчиняются гиперболическому закону с истинной скоростью окисления порядка  $10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup>. Судя по величине эффективной энергии активации выявлено, что самые минимальные значения скорости окисления имеют сплавы АЖ2.18 с лантаном, а максимальные – относятся к сплавам, модифицированным европием (табл.8).

Таблица 8

Кажущаяся энергия активации процесса окисления алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного La, Sm и Eu, в твердом состоянии

Содержание РЗМ в сплаве, мас. %	Концентрации РЗМ в сплаве, мас.%			
	0.0	0.1	0.5	2.5
	Эффективная энергия активации, кДж/моль			
La	148.0	180.5	188.8	195.9
Sm		172.3	179.9	185.4
Eu		158.5	165.9	172.1

### АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА АЖ2.18 С ДОБАВКАМИ ЛАНТАНА, САМАРИЯ И ЕВРОПИЯ

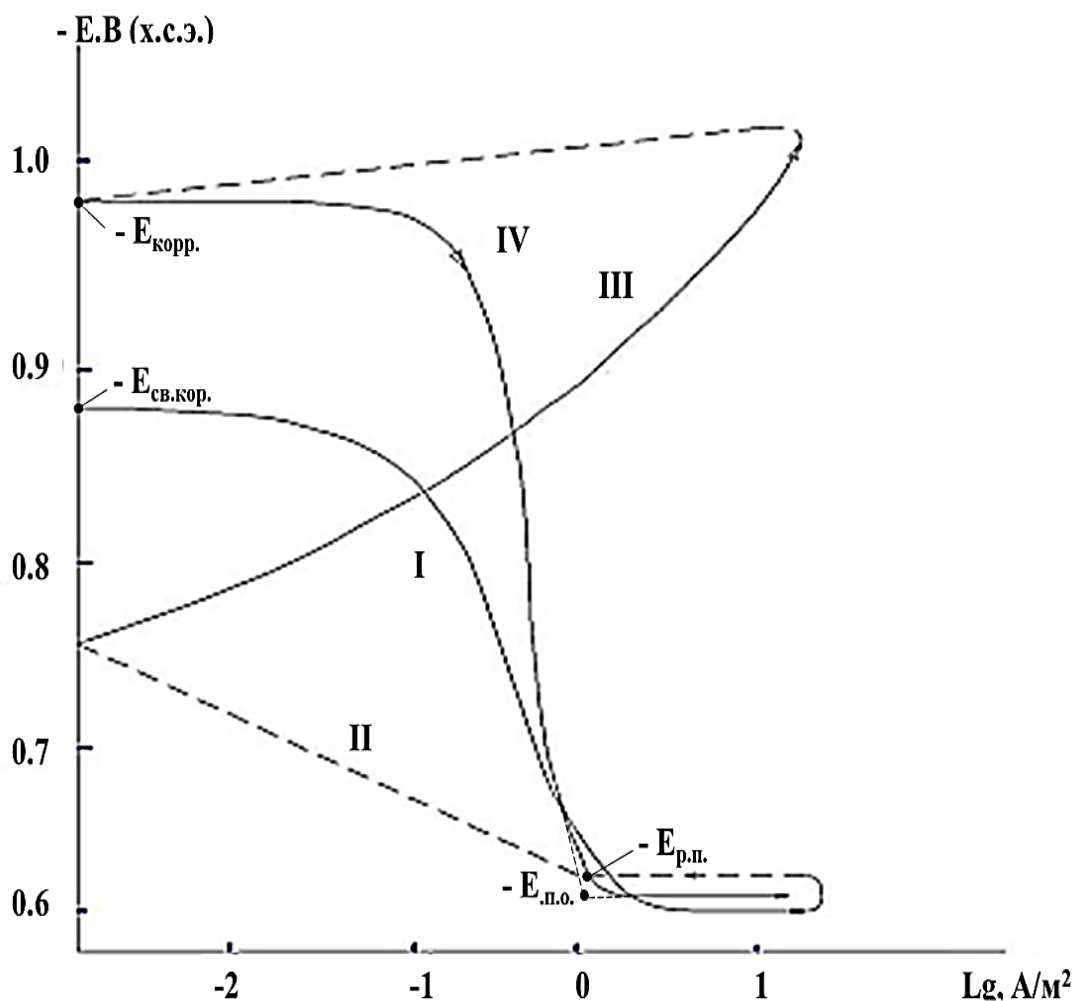
Известно, что низкосортный алюминий с повышенным содержанием железа практически не находит применения, за исключением дегазации и раскисления стали. Цель наших исследований заключается в разработке сплавов на основе низкосортного алюминия, с тем чтобы превратить данный металл в сплав, который отличался бы особыми свойствами и мог применяться в промышленности. Для достижения поставленной цели в качестве объекта исследования был выбран сплав эвтектического состава Al+2.18%Fe. Последний подвергался модифицированию редкоземельными металлами (La, Sm, Eu) в количествах от 0.1 до 2.5 мас.%. Однако нет данных о влиянии добавок лантана, самария и европия на коррозионно-электрохимическое поведение сплавов.

Из полученных по вышеописанной технологии сплавов отливали в графитовую изложницу стержни диаметром 8мм и длиной 140 мм. Не рабочая часть образцов изолировалась смолой (смесь 50% канифоли и 50% парафина). Рабочей поверхностью служил торец электрода. Перед погружением образца в рабочий раствор его торцевую часть зачищали наждачной бумагой, полировали, обезжиривали, тщательно промывали спиртом и затем погружали в раствор электролита NaCl. Температура раствора в ячейке поддерживалась постоянная  $-20^{\circ}\text{C}$  с помощью термостата МЛШ-8.

Для изучения электрохимических свойств тройных сплавов применяли потенциостатический метод исследования. Электрохимические испытания образцов проводили в потенциодинамическом режиме на потенциостате ПИ-50-1.1 со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с в среде электролита NaCl. Определение показателей коррозии и коррозионной стойкости рекомендуют провести определение коррозионной стойкости металлов в среде электролита 3% - ного NaCl. Для выяснения влияния хлорид – иона на коррозионную стойкость сплавов исследования также проводились при 10-кратном (0,3% NaCl) и 100-кратном ( 0,03% NaCl ) уменьшении концентрации коррозионно - активного хлорид-иона. Электродом сравнения служил хлоридсеребряный, вспомогательным – платиновый.

Образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питтингообразования (рис. 8, кривая I). Затем образцы поляризовали в обратном направлении (рис. 8, 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 оксидных плёнок с поверхности электрода (рис. 8, кривая III) в результате подщелачивания при электродной поверхности. Наконец, образцы поляризовали вновь в положительном направлении (рис. 8, кривая IV) и из анодных кривых определяли основные электрохимические параметры.

В качестве примера на рис. 8 представлена полная поляризационная диаграмма исходного сплава Al+2.18%Fe, в среде электролита 3%-ного NaCl. На полученных таким образом поляризационных кривых определяли основные электрохимические характеристики сплавов: ( $E_{п.о.}$ ), потенциал и ток коррозии ( $E_{кор.}$  и  $i_{кор.}$ ) потенциал питтингообразования. Потенциал репассивации ( $E_{р.п.}$ ) определялся графически как первый изгиб на обратном ходе анодной кривой или как точка пересечения прямого и обратного хода.



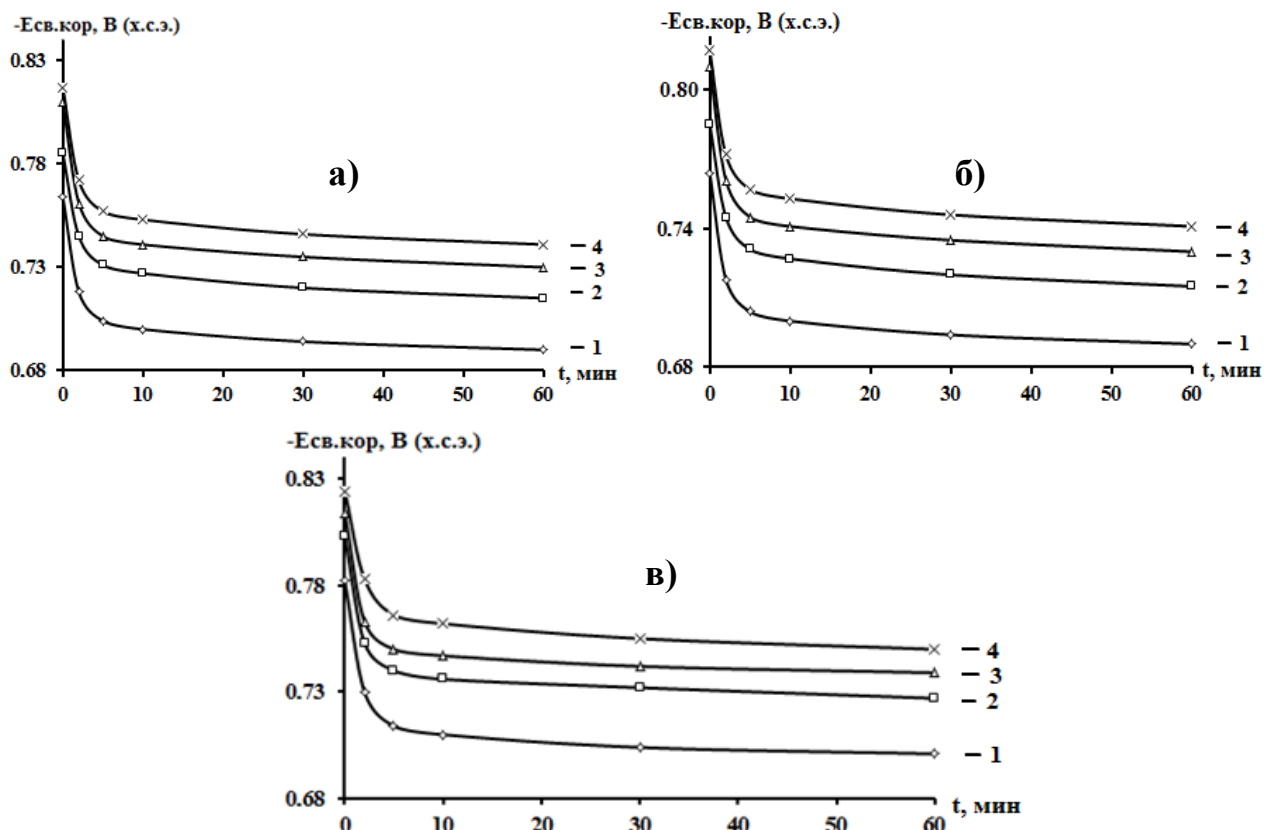
**Рисунок 8.** Полная поляризационная (2 мВ/с) кривая алюминиевого сплава АЖ2.18, в среде электролита 3 %- ного NaCl.

Расчет тока коррозии как основной электрохимической характеристики процесса коррозии проводили по катодной кривой с учетом тафеловской наклонной  $vk = 0,12$  В, поскольку в нейтральных средах процесс питтинговой коррозии алюминия и его сплавов контролируется катодной реакцией ионизации кислорода. Скорость коррозии, в свою очередь, является функцией тока коррозии, находимой по формуле:

$$K = i_{\text{корр.}} \cdot k,$$

где  $k = 0,335$  г/А · час для алюминия.

Результаты исследования сплавов системы АЖ2.18%е-La представлены в таблице 10. Потенциал свободной коррозии сплавов систем АЖ2.18%-La с ростом концентрации лантана изменяется в отрицательном направлении оси ординат, от величины наоборот. С увеличением концентрации хлорид-иона потенциал свободной коррозии сплава АЖ2.18 уменьшается от -0.660 В в среде 0.03 % NaCl до - 0.701 В в среде 3 %- ного NaCl (рисунок 9).



**Рисунок 9.** Временная зависимость потенциала (х.с.э.) свободной коррозии сплава АЖ2.18, содержащего лантан, мас. %: 0 (1), 0.1 (2), 0.5 (3), 2.5 (4), в среде электролита: 0.03% (а); 0.3% (б) и 3% - ного (в) NaCl.

Данная зависимость имеет место также для сплава АЖ2.18%, модифицированного лантаном, т. е. при переходе от слабого электролита к более сильному электролиту наблюдается уменьшение величины электрохимических потенциалов независимо от содержания легирующего компонента. Увеличение концентрации легирующего компонента способствует уменьшению величины потенциалов питтингообразования и репассивации во всех средах независимо от концентрации хлорид-иона.

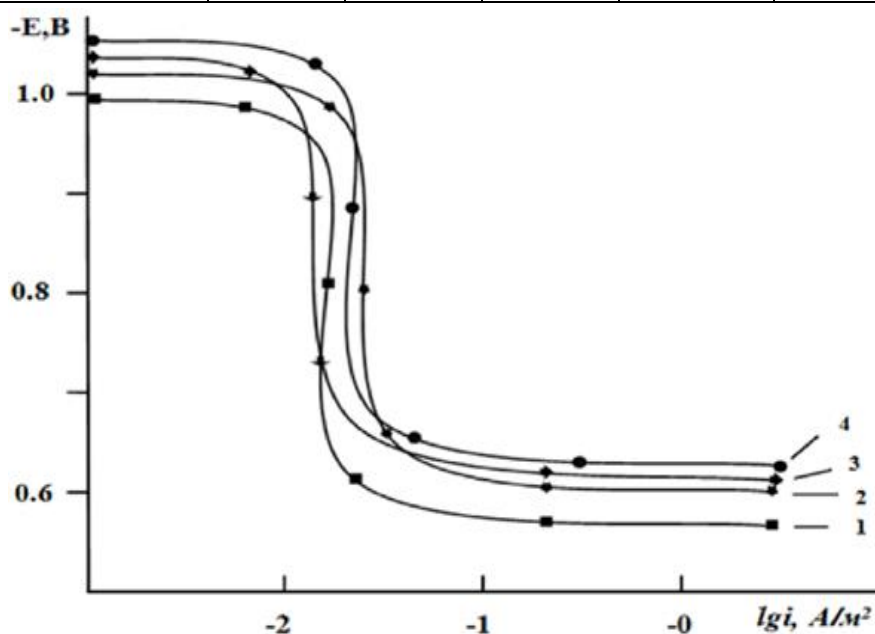
Плотность тока коррозии и, соответственно, скорость коррозии сплавов системы АЖ2.18%-La с ростом концентрации хлорид-иона увеличивается. Данная зависимость характерна для всех сплавов независимо от их состава и особенностей физико-химических свойств легирующего компонента. С ростом содержания лантана в сплаве АЖ2.18 наблюдается рост скорости коррозии. Для сплава АЖ2.18 также характерен рост скорости коррозии с увеличением концентрации хлорид-иона в электролите (таблица 9).

Анодные ветви потенциодинамических кривых сплавов систем АЖ2.18% – La, в среде электролита NaCl (рисунок 10) показывают, что кривые, относящиеся к модифицированным сплавам, располагаются левее кривой исходного сплава АЖ2.18%, т.е. скорость анодной коррозии модифицированных сплавов несколько больше, чем у сплава АЖ2.18%, во всех исследованных средах.

Таблица 9

Коррозионно-электрохимические характеристики алюминиевого сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном, в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас. %	Содержание лантана в сплаве, мас. %	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		$-E_{\text{св.кор.}}$	$-E_{\text{кор.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{рп.}}$	$i_{\text{кор.}} \cdot 10^2$	$K \cdot 10^3$
						$\text{А/М}^2$	$\text{Г/М}^2 \cdot \text{Ч}$
0.03	0.0	0.660	0.931	0.540	0.642	0.020	6.07
	0.1	0.679	0.985	0.560	0.659	0.023	7.70
	0.5	0.690	0.996	0.575	0.673	0.026	8.71
	2.5	0.703	1.008	0.588	0.680	0.029	9.71
0.3	0.0	0.690	0.940	0.573	0.679	0.026	8.71
	0.1	0.715	1.000	0.590	0.688	0.028	9.38
	0.5	0.730	1.013	0.605	0.697	0.030	10.05
	2.5	0.741	1.027	0.619	0.710	0.032	10.72
3.0	0.0	0.701	0.997	0.596	0.680	0.040	13.40
	0.1	0.727	1.017	0.625	0.702	0.042	14.07
	0.5	0.739	1.030	0.642	0.715	0.044	14.74
	2.5	0.750	1.042	0.654	0.726	0.046	15.41



**Рисунок 10.** Потенциодинамические анодные поляризационные (2мВ/с) кривые сплава АЖ2.18, содержащего лантан, мас. %: 0 (1); 0.1(2); 0.5(3); 2.5(4), в среде электролита 3% - ного NaCl.

Таким образом, установлено, что модифицирование лантаном сплава АЖ2.18 до 2,5 мас. % снижает его анодную устойчивость на 10% в среде электролита NaCl. При этом с ростом концентрации легирующего компонента отмечается изменение в отрицательном 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.

Обобщённые результаты исследования сплавов систем АЖ2.18 - La (Sm, Eu) представлены в таблицах 10 и 11. Потенциал свободной коррозии сплава АЖ2.18 с лантаном и самарием с ростом концентрации РЗМ изменяется в отрицательном направлении оси ординат, с европием - наоборот. С увеличением концентрации хлорид-иона потенциал свободной коррозии сплава АЖ2.18 с 2,5% снижается от -0.703 В в среде 0.03 % NaCl до - 0.750 В в среде электролита 3.0 %- ного NaCl. (таблица 11).

**Таблица 10**

Потенциалы (х.с.э.) свободной коррозии и питтингообразования алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном, самарием и европием, в среде электролита NaCl.

Среда NaCl, мас.%	Содержание La, Sm, и Eu в сплаве, мас.%	Сплавы с La		Сплавы с Sm		Сплавы с Eu	
		-E <sub>св.кор.</sub>	-E <sub>п.о.</sub>	-E <sub>св.кор.</sub>	-E <sub>п.о.</sub>	-E <sub>св.кор.</sub>	-E <sub>п.о.</sub>
0.03	0.0	0.660	0.540	0.660	0.540	0.660	0.540
	0.1	0.679	0.560	0.645	0.505	0.540	0.470
	0.5	0.690	0.575	0.656	0.514	0.556	0.483
	2.5	0.703	0.588	0.666	0.525	0.572	0.494
0.3	0.0	0.690	0.573	0.690	0.573	0.690	0.573
	0.1	0.715	0.590	0.670	0.580	0.618	0.520
	0.5	0.730	0.605	0.682	0.591	0.630	0.531
	2.5	0.741	0.619	0.693	0.600	0.642	0.543
3.0	0.0	0.701	0.596	0.701	0.596	0.701	0.596
	0.1	0.727	0.625	0.700	0.605	0.650	0.580
	0.5	0.739	0.642	0.710	0.617	0.666	0.590
	2.5	0.750	0.654	0.720	0.630	0.680	0.600

Можно отметить, что потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развёртки 2 мВ/с исследовано влияние лантана, самария и европия на анодное поведение алюминиевого сплава АЖ2.18 в среде электролита NaCl. Выявлено, что модифицирование сплава АЖ2.18 до 2.5 мас.% лантаном, самарием и европием понижает анодную устойчивость исходного сплава 10-20%, в среде электролита NaCl.

Анодное поведение сплава АЖ2.18 с европием показывает аналогию со сплавами с щелочноземельными металлами, т.е. малые добавки европия повышают (в среде 3.0%-ного NaCl) устойчивость сплава АЖ2.18, а более высокие концентрации >0.1мас.% несколько ухудшают его устойчивость к коррозии. Среди исследованных РЗМ (La, Sm, Eu) в качестве модифицирующей добавки к сплаву АЖ2.18 в плане улучшению коррозионной стойкости самым эффективным является сплавы, содержащие европий. В ряду сплавов с лантаном, самарием и европием минимальная скорость коррозии приходится на

сплавы с европием (табл.11). Все это объясняется электронным строением европия, на внешней оболочке которой как у ЦЗМ имеется два электрона.

**Таблица 11**

Зависимость скорости коррозии алюминиевого сплавов АЖ2.18 от содержания РЗМ, в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас. %	Содержание РЗМ в сплаве, мас. %	Сплавы с La		Сплавы с Sm		Сплавы с Eu	
		$i_{кор.} \cdot 10^2$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^3$ г/м <sup>2</sup> ·ч	$i_{кор.} \cdot 10^2$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^3$ г/м <sup>2</sup> ·ч	$i_{кор.} \cdot 10^2$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^3$ г/м <sup>2</sup> ·ч
0.03	0.0	0,020	6,07	0,020	6,07	0,020	6,07
	0.1	0,023	7,70	0,022	7,37	0,021	7,03
	0.5	0,026	8,71	0,024	8,04	0,023	7,70
	2.5	0,029	9,71	0,026	8,71	0,025	8,37
0.3	0.0	0,026	8,71	0,026	8,71	0,026	8,71
	0.1	0,028	9,38	0,027	9,45	0,025	8,37
	0.5	0,030	10,05	0,029	9,71	0,027	9,04
	2.5	0,032	10,72	0,031	10,38	0,029	9,71
3.0	0.0	0,040	13,40	0,040	13,40	0,040	13,40
	0.1	0,042	14,07	0,041	13,73	0,039	13,06
	0.5	0,044	14,74	0,043	14,40	0,041	13,73
	2.5	0,046	15,41	0,045	15,07	0,043	14,40

## ВЫВОДЫ

1. На основе анализа имеющихся в литературе сведений сделан вывод о необходимости модифицирования алюминиевого сплава АЖ2.18 – La (Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Y) с целью разработки состава новых сплавов как анодных протекторов для защиты от коррозии стальных конструкций.

2. В режиме «охлаждения» исследована температурная зависимость теплоемкости алюминиевого сплава АЖ2.18 с редкоземельными металлами. Установлено, что с ростом температуры и содержание РЗМ теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов растут, а значение энергии Гиббса снижается. При переходе от сплавов с лантаном к сплавам с европием теплоемкость растет далее к сплавам с европием мало изменяется.

3. Исследованиями температурных зависимостей изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса для сплава АЖ2.18 с La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Y показано, что с повышением концентрации модифицирующих компонентов значение теплоемкости растет. От температуры значения энтальпии и энтропии сплавов растут, энергии Гиббса снижается. Энтальпия и энтропия от сплавов с церием к сплавам с европием уменьшается.

4. Методом термогравиметрии исследована кинетика процесса окисления алюминиевого сплава АЖ2.18 с лантаном, самарием и европием. Установлено, что окисление сплавов подчиняется гиперболическому закону с истинной скоростью окисления порядка  $10^{-4}$  кг·м<sup>-2</sup>·сек<sup>-1</sup>; выявлено, что самые



минимальные значения скорости окисления имеет сплав АЖ2.18 с лантаном, а максимальные – относятся к сплавам с европием. Среди легирующих элементов наибольшее значение кажущейся энергии активации характерно для сплавов с лантаном.

5. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 2 мВ/с исследовано анодное поведение сплава АЖ2.18, модифицированного лантаном, самарием и европием. Показано, что добавки модифицирующего компонента в количествах от 0.1 до 2.5 мас.% несколько увеличивают скорость коррозии алюминиевого сплава АЖ2.18, в среде электролита хлорида натрия.

6. Исследованный алюминиевый сплав АЖ2.18, модифицированный лантаном, самарием и европием, имея потенциал коррозии - 0.750В ÷ - 0.703В, характеризуются защитным сдвигом потенциала - 0.700 В и могут обеспечить 90-95% уровень защиты стальных изделий от коррозии.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ**

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

1. Ганиев, И.Н. Анодное поведение железо-алюминиевого сплава АЖ2.18, легированного церием, празеодимом и неодимом, в водном растворе NaCl / **Н.Р.Эсанов**, И.Н.Ганиев, А.Х. Хакимов, Т.М. Умарова // Коррозия: Материалы, Защита. -2022, -№ 3. -С. 10-15.

2. Хакимов А.Х. Анодное поведение алюминиевого – железового сплава АЖ 2.18 с иттрием, гадолинием и эрбием, в среде электролита 0.3 %-ного NaCl / А. Х. Хакимов, Т.М. Умарова, Н. Ганиев, **Н.Р. Эсанов** // Вестник горно-металлургической секции Российской Академии естественных наук. Отделения металлургии, Новокузнецк. -2020, -С. 180-186.

3. Ганиев И. Н. Температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций сплава АЖ2.18 с церием / И. Н. Ганиев, **Н.Р. Эсанов**, А. Х. Хакимов, Н. И. Ганиева // Вестник Сибирской государственной индустриальной университет, -2019, № 2 (28), - С. 25-30.

4. **Эсанов, Н.Р.** Влияние празеодима на температурную зависимость удельной теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ2.18 / Н. Р. Эсанов, И. Н. Ганиев, А. Х. Хакимов, Н.Ф. Иброхимов // Вестник Брянской государственной технической университет, - 2019, № 8 (81), - С. 56-63.

5. **Эсанов, Н.Р.** Влияние иттрия на удельную теплоемкость и изменение термодинамических функций сплава АЖ2.18 / Н.Р. Эсанов, И. Н. Ганиев, А. Х. Хакимов, Н. Ф. Иброхимов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. Курск, -2018. Том 8.-№2 (27)-С.75-84.

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

6. **Эсанов, Н.Р.** Изучение влияния лантана на кинетику процесса окисления алюминиевого сплава АЖ2.18 в твердом виде / Н.Р. Эсанов, И. Н. Ганиев, А. Х. Хакимов, Н.И.Ганиева // матер. Межд.научно-теор. конф. на тему: «Факторы развития естественных наук в Таджикистане» посвященная 30-летию сессии верховного совета РТ, Двадцатилетия изучения и развития естественных, точных наук в направлении науки и просвещения, 90-летия ГОУ “ХГУ им. акад. Б. Гафурова” (29 ноября). Худжанд, 2022.-С.91-96.

7. Ганиев И.Н. Анодное поведение алюминиевого сплава АЖ 2.18, легированного неодимом, в среде электролита 3.0%-ного NaCl / И. Н. Ганиев, **Н.Р. Эсанов**, А. Х. Хакимов, Н.И.Ганиева // матер. Межд.научно-теор.конф. на тему: «Факторы развития естественных наук в Таджикистане» посвященная 30-летию сессии верховного совета РТ, Двадцатилетия изучения и развития естественных, точных наук в направлении науки и просвещения, 90-летия ГОУ “ХГУ им. акад. Б. Гафурова” (29 ноября). Худжанд, 2022.-С.85-90.

8. **Эсанов, Н.Р.** Температурная зависимость теплоемкости и коэффициента теплоотдачи алюминиевого сплава АЖ2.18 с церием / Н.Р. Эсанов, И. Н. Ганиев, А. Х. Хакимов, Р.А. Исмоилов // Материалы Респуб. научно-практ. конф. «Фундаментальная наука - основа совершенствования технологий и материалов», Центр исследования инновационных технологий при НАН Таджикистана, -2021. -С.115-118.

9. **Эсанов, Н.Р.** Анодное поведение алюминиевого – железозового сплава АЖ 2.18 с самарием, в среде электролита NaCl / Ганиев И.Н., Хакимов А.Х., Умарова Т.М., Эсанов Н.Р. // Мат. X-ой научно-практ. конф. «Ломоносовские чтения» посв. 75-летию Победы в Великой Отеч.войне (1941-1945). (25-26 сентября), Ч.1., (естеств.науки). -2020, -С93-99.

10. **Эсанов, Н.Р.** Анодное поведение алюминиевого сплава АЖ 2.18, модифицированного редкоземельными металлами, в среде 0.01н раствора HCl / Н.Р. Эсанов, А. Х. Хакимов, Т.М. Умарова, И. Н. Ганиев // Материалы Международной конференции «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых». Министерство промышленности и новых технологий Республики Таджикистан, Горно-металлургический институт Таджикистана. Бустон, -2019, -С.55-56.

11. Хакимов А.Х. Анодное поведение алюминиевого – железозового сплава АЖ 2.18 с редкоземельными металлами в среде NaCl / А. Х. Хакимов, Т.М. Умарова, И. Н. Ганиев, **Н.Р. Эсанов**// Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых». Министерство промышленности и новых технологий Республики Таджикистан, Горно-металлургический институт Таджикистана. Бустон, -2019, -С.57-58.

12. Хакимов А.Х. Потенциодинамическое исследование алюминиевого-железозового сплава АЖ 2.18 с церием, празеодимом и неодимом, в среде электролита 0,3% NaCl / А. Х. Хакимов, Т.М. Умарова, И. Н. Ганиев, **Н.Р.**

**Эсанов** // Материалы IV Международной научной конференции «Вопросы физической и координационной химий», посвящ. памяти докторов химических наук, профессоров Якубова Х. М. и Юсуфова З.Н., Душанбе, -2019, -С. 374-378.

13. Хакимов А.Х. Потенциодинамическое исследование алюминиевого сплава АЖ 2.18 с церием, празеодимом и неодимом, в среде электролита 0.3%-ного NaCl / А. Х. Хакимов, Т.М. Умарова, И. Н. Ганиев, **Н.Р. Эсанов** // Респуб. научно-практ. конф. «Роль народных промыслов в развитии и устойчивости национальной культуры», посвященная 2019-2021 году сельского развития, туризма и народных промыслов, Душанбе, -2019, -С. 247-252.

14. **Эсанов, Н.Р.** Теплофизические свойства алюминиевого сплава АЖ2.18 с празеодимом / Н.Р. Эсанов, И.Н. Ганиев, А.Х. Хакимов, Н.Ф. Иброхимов // Мат. XXI Межд. научно-практ. конф. «Металлургия: технологии, инновации, качество» в 2-х ч. Ч. 1 / под ред. Е.В. Протопопова (СибГИУ, Новокузнецк, 23-24 октября), -2019, -С.240-245.

15. Хакимов А.Х. Влияние празеодима и неодима на анодное поведение сплава АЖ2.18, в среде электролита NaCl / А. Х. Хакимов, Т.М. Умарова, И. Н. Ганиев, **Н.Р. Эсанов** // Наука и техника для устойчивого развития. Материалы Республиканской научно-практической конференции. Душанбе, -2018. Часть 1. - С. 203-207.

16. **Эсанов, Н.Р.** Математические модели температурной зависимости теплоемкости сплава АЖ2.18 с иттрием / Н.Р. Эсанов, И. Н. Ганиев, А. Х. Хакимов, Н.Ф. Иброхимов // Материалы Международной конференции, посвященной 70 - летию академика Илолова М., Душанбе, -2018, - С. 193-196.

17. **Эсанов, Н.Р.** Определение температурной зависимости теплоемкости алюминиевого сплава АЖ2.18 в режиме “охлаждения” / Н.Р. Эсанов, И. Н. Ганиев, А. Х. Хакимов, Н.Ф. Иброхимов // Мат. Респ. научно-практ. конф. «Современные проблемы естественных наук», Филиал МГУ им. М. В. Ломоносова в г. Душанбе, -2017, -С.145-147.

18. Джайлоев Дж. Х. Температурная зависимость теплоёмкости и термодинамических функции сплава АЖ2.18 / Дж.Х. Джайлоев, И. Н. Ганиев, Х.Х.Азимом, **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. Душанбе, -2017, -С. 134-138.