ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА **24.1.045.01** НА БАЗЕ **ФГБУН ИНСТИТУТА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИИ УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН** ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от **04 февраля 2026 г. № 1**

о присуждении ***Кеслер Ксении Олеговне***,

гражданину Российской Федерации,

ученой степени кандидата **химических** наук

Диссертация «Теплофизические свойства расплавленных галогенидных смесей, содержащих хлорид и фторид церия» по специальности 1.4.4. Физическая химия принята к защите **05 ноября 2025 г., протокол № 18**, диссертационным советом 24.1.045.01, созданным на базе ФГБУН Института высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук (ИВТЭ УрО РАН), 620066, г. Екатеринбург, ул. Академическая, д. 20; приказ № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Кеслер Ксения Олеговна, 11 февраля 1996 года рождения, в 2019 г. окончила ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»; в 2024 г. окончила аспирантуру ИВТЭ УрО РАН;

работает **младшим научным сотрудником** лаборатории расплавленных солей имени М.В. Смирнова ИВТЭ УрО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории расплавленных солей имени М.В. Смирнова ИВТЭ УрО РАН.

Научный руководитель – кандидат химических наук ***Докутович Василий Николаевич***, заведующий лабораторией расплавленных солей имени М.В. Смирнова ИВТЭ УрО РАН.

Официальные оппоненты:

Денисов Виктор Михайлович, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры физической и неорганической химии ФГАОУ ВО

«Сибирский федеральный университет»,

Волкович Владимир Анатольевич, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры редких металлов и наноматериалов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБУН Институт металлургии имени академика Н.А. Ватолина Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, в своём положительном отзыве, подписанном Куликовой Татьяной Владимировной, доктором химических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории неупорядоченных систем, и Пайвиным Алексеем Сергеевичем, кандидатом химических наук, старшим научным сотрудником лаборатории металлургических расплавов, указала, что в диссертации К.О. Кеслер решена актуальная задача получения новых экспериментальных сведений о влиянии температуры и ионного состава на теплофизические свойства (теплопроводность, теплоёмкость и температуропроводность) галогенидных расплавов, содержащих соединения церия. Полученные автором данные имеют высокую практическую значимость для теплотехнического проектирования высокотемпературных энергетических установок и технологических процессов.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ, все по теме диссертации, в том числе **3 статьи** в рекомендованных ВАК рецензируемых научных изданиях, 1 статья, индексируемая в базе данных РИНЦ, 2 публикации в материалах конференций (вклад соискателя в каждой публикации составляет не менее 40%).

Наиболее значимые научные работы:

1. **Боброва (Кеслер) К.О.** Теплопроводность расплавленных смесей системы $CeCl_3$–MCl (M = Li, Na, K, Cs) / **Боброва (Кеслер) К. О.**, Докутович В. Н. // Расплавы. — 2023. — № 3. — С. 287–297. **DOI:** 10.31857/S0235010623030027.

2. **Kesler K.O.** The molten mixture FLiNaK–CeF_3: Dependence of thermal conductivity and heat capacity on composition and temperature / **Kesler K. O.**, Dokutovich V. N., Korzun I. V. // Russian Metallurgy (Metally). — 2024. — No. 2. — P. 217–224. **DOI:** 10.1134/S0036029524701532.

3. **Kesler K.O.** Radiative Contribution to Thermal Conductivity for FLiNaK–CeF_3 Molten Mixtures Used as an Example / **Kesler K. O.**, Dokutovich V. N. // Russian Metallurgy (Metally). — V. 2025. — No. 2. — P. 247–251. **DOI:** 10.1134/S0036029525701095.

Положительные отзывы на автореферат прислали:

1. Доктор технических наук ***Игнатьев Виктор Владимирович***, начальник отдела жидкосолевых ядерных реакторов НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва. Заданы вопросы и сделано замечание:

- Определяли ли итоговый состав солевых смесей, в том числе содержание кислородных примесей?
- С чем связаны расхождения (более 5%) с литературой для величин Ср (табл.3)?
- Не указаны интервалы применимости температурных зависимостей.

2. Кандидат химических наук ***Штин Сергей Анатольевич***, доцент кафедры аналитической химии и химии окружающей среды Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург:

- Как учитывали радиационные вклады в теплоперенос?

3. Доктор химических наук ***Поляков Пётр Васильевич***, директор ООО «Лёгкие металлы», г. Красноярск:

- Влияет ли на измерения ДСК различие агрегатных состояний эталона и соли?
- Влияла ли на измерения коррозия никеля в расплаве?
- Распространяется ли вывод о пренебрежимо малом радиационном вкладе на расплавы с повышенным содержанием фторидов лантаноидов или актиноидов?
- Нет доверительных интервалов для коэффициентов уравнений в табл. 1, 2.

4. Доктор химических наук ***Кушхов Хасби Билялович***, заведующий кафедрой неорганической и физической химии Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик:

- На чем основан вывод об образовании комплексов CeF_7^{4-} и CeF_8^{5-}?
- Желательно было бы добавлять CeF_3 в расплав более мелкими порциями.

5. Кандидат технических наук ***Зубкова Елена Владимировна,*** доцент кафедры пожарной безопасности Академии государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва:

- Почему наклоны концентрационных зависимостей теплопроводности в хлоридных смесях разные?
- Можно ли сравнивать экспериментальные значения молярной теплопроводности фторидной смеси 0,75FLiNaK–0,25CeF_3 с расчётными величинами для изокатионной хлоридной системы?
- Есть недочеты в оформлении рисунков, таблиц, представлении уравнений.

6. Доктор химических наук ***Гаркушин Иван Кириллович***, профессор кафедры общей и неорганической химии Самарского государственного технического университета:

- Не указаны температуры плавления исследованных смесей.

7. Доктор физико-математических наук ***Бабак Владислав Николаевич***, ведущий научный сотрудник отдела полимеров и композиционных материалов ФИЦ Проблем химической физики и медицинской химии РАН, г. Черноголовка:

- Требуется экспериментальное подтверждение неподвижности расплава.
- Следовало бы подробнее рассмотреть радиационный перенос энергии через расплав.
- В таблице 3 размерность Ср дана в Дж/(г К), а не в Дж/(кг К). Это опечатка?

8. Кандидат физико-математических наук ***Акашев Лев Александрович***, ведущий научный сотрудник лаборатории физикохимии дисперсных систем Института химии твердого тела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург:

- Можно ли считать Ce имитатором Pu при изучении теплофизических свойств?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации. Оппоненты являются известными специалистами в области высокотемпературной физической химии (Денисов В.М.) и электрохимии и термодинамики редкоземельных элементов и их сплавов в среде расплавленных солей (Волкович В.А.). Область интересов сотрудников ведущей организации, Института металлургии имени

академика Н.А. Ватолина УрО РАН, включает исследование строения, физико-химических свойств и термодинамики оксидных, солевых и металлических расплавов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан на примере расплавленных смесей фторида церия с фторидами щелочных металлов алгоритм комплексного исследования теплофизических свойств многокомпонентных галогенидных расплавов, включающий в себя измерение теплопроводности апробированным методом коаксиальных цилиндров, определение удельной изобарной теплоёмкости с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии и оценку температуропроводности на основе полученных экспериментальных данных по теплопроводности и теплоёмкости, а также анализ установленных температурных и концентрационных зависимостей с привлечением сведений о структуре расплава;

предложено объяснение концентрационных зависимостей теплопроводности и температуропроводности расплавленных солевых смесей MCl–$CeCl_3$, где M = Li, Na, K, Rb, Cs, заключающееся в том, что с увеличением концентрации хлорида церия происходит усложнение структуры расплава (переход от простых ионов щелочных металлов и хлора через образование и накопление октаэдрических комплексов $[CeCl_6]^{3-}$ к более сложным ассоциатам и сетчатой структуре $CeCl_3$), которое приводит к нелинейному изменению величины теплопроводности: уменьшению на этапе комплексообразования и возрастанию при формировании ассоциатов и рыхлой сетчатой структуры, за исключением смесей с хлоридом лития, теплопроводность которого выше, чем у хлорида церия;

доказано, что в расплавленной эвтектической смеси FLiNaK в температурном интервале 723 – 1023 К превалирует кондуктивный механизм теплопереноса, вклад радиационной составляющей в эффективную теплопроводность пренебрежимо мал, причём эти закономерности сохраняются при добавлении в расплав фторида церия вплоть до 15 мол.%.

Теоретическая значимость исследования.

доказано с помощью экспериментов, что во всех изученных расплавах теплопроводность повышается с ростом температуры — это означает, что частота колебаний ионов растёт быстрее, чем расстояние между ними;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных физико-химических методов исследования: рентгенофазовый анализ, синхронный термический анализ для аттестации изученных солевых композиций, метод коаксиальных цилиндров для измерения теплопроводности, дифференциальная сканирующая калориметрия для определения удельной теплоемкости при постоянном давлении;

изложены закономерности изменения теплопроводности расплавленных смесей хлоридов щелочных металлов с трихлоридом церия, для которой во всём интервале концентраций $CeCl_3$ характерны отрицательные отклонения от аддитивных значений, причем их максимальная величина при переходе от LiCl к CsCl увеличивается от 4 до 25% в результате уменьшения эффективного катионного потенциала от 13,16 до 5,99 $нм^{-1}$, что свидетельствует о большей устойчивости образующихся комплексных ионов $[CeCl_6]^{3-}$;

изучено влияние анионного состава на теплофизические свойства расплавов посредством сопоставления молярной теплопроводности (то есть теплопроводности такого объема расплава, который содержит одинаковое количество номинальных частиц) расплавленных смесей изокатионного состава $0{,}75FLiNaK–0{,}25CeF_3$ и $0{,}75ClLiNaK–0{,}25CeCl_3$, показавшего, что эта величина для фторидной системы примерно в 1,7 раза больше, чем для хлоридной из-за большего числа актов обмена энергией между частицами меньшего размера и меньшей массы.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

определены температурные и концентрационные зависимости теплопроводности, теплоёмкости и температуропроводности для расплавов $CeCl_3–MCl$, где M = Li, Na, K, Rb, Cs и $(1\text{-}n)\ FLiNaK–n\ CeF_3$ (n = 0–0,30 мольных

долей), которые могут служить справочными данными для теплотехнических расчётов высокотемпературных процессов и аппаратов;

представлено эмпирическое уравнение, связывающее удельную изобарную теплоёмкость многокомпонентных хлоридных расплавов с их обратной молярной массой, которое позволяет оценить эту величину при отсутствии экспериментальных данных.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты получены с использованием сертифицированного оборудования – рентгеновского дифрактометра MiniFlex 600, Rigaku Corporation, синхронного термоанализатора STA 449 F1, Jupiter, NETZSCH, вольтметра В7-78/1, источника питания GW InstekGPD-73303S;

показана воспроизводимость результатов исследования в широком диапазоне температур (773-1223 К) при варьировании концентраций компонентов в хлоридных и фторидных системах.

Личный вклад соискателя: анализ литературы, подготовка исходных солей, приготовление смесей и их физико-химическая аттестация, интерпретация результатов, проведение экспериментов и расчётов, обработка, оформление результатов были выполнены лично диссертантом. Постановка цели и задач, обсуждение полученных данных и подготовка публикаций проведены совместно с научным руководителем.

В соответствии с паспортом специальности «**1.4.4. Физическая химия**» работа направлена на изучение физико-химических свойств расплавленных галогенидных смесей.

Результаты работы могут быть рекомендованы для использования специалистам в области теплофизических свойств и проектирования высокотемпературных аппаратов, в частности, в Институте высокотемпературной электрохимии УрО РАН и Уральском федеральном университете имени Первого президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург), Сибирском федеральном университете (г. Красноярск), Санкт-Петербургском государственном университете, ФИЦ Проблем химической физики и медицинской химии РАН (г.

Черноголовка), НИЦ «Курчатовский институт» и Объединённом институте высоких температур РАН (г. Москва).

В ходе защиты диссертации соискатель Кеслер К.О. ответила на заданные вопросы, критические замечания не были высказаны.

Диссертация Кеслер К.О. представляет научно-квалификационную работу, в которой решена важная для развития физической химии расплавленных солевых систем задача: установлено влияние температуры, катионного и анионного состава на теплопроводность, теплоёмкость и температуропроводность многокомпонентных галогенидных расплавов, перспективных для применения в высокотемпературных установках, включая ядерные реакторы.

На заседании 04 февраля 2026 г. диссертационный совет принял решение: присудить Кеслер К.О. ученую степень кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

При проведении тайного **голосования** диссертационный совет в количестве **18** человек, из них **5** докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из **25** человек, входящих в состав совета, проголосовали: **16** за, **1** против, **1** недействительный бюллетень.

Председатель диссертационного совета
член-корреспондент РАН,
доктор химических наук, профессор Зайков Юрий Павлович

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат химических наук Кулик Нина Павловна

06 февраля 2026 г.