

**РЕШЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА УрФУ 1.4.01.01  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК**

от 11 ноября 2021 г. № 21

о присуждении **Скутиной Любови Сергеевне**, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация **«Физико-химические свойства двойных перовскитов  $Sr_2MMoO_6$  ( $M = Mg, Ni, Fe$ ) и композитов на их основе как перспективных анодов твердооксидных топливных элементов»** по специальности **1.4.4. Физическая химия** принята к защите диссертационным советом УрФУ 1.4.01.01 01 октября 2021 г., протокол № 16.

Соискатель, **Скутина Любовь Сергеева**, 1992 года рождения, в 2016 г. окончила ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по направлению подготовки 04.04.01 – Химия; в 2020 г. окончила очную аспирантуру ФГБУН Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук по направлению подготовки 04.06.01 – Химические науки (Электрохимия); была прикреплена в качестве экстерна к ФГБУН Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук по направлению 04.06.01 – Химические науки (Физическая химия) с 14.01.2021 по 15.06.2021; на данный момент соискатель не работает.

Диссертация выполнена в лаборатории электрохимических устройств на твердооксидных протонных электролитах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук, Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор химических наук, Медведев Дмитрий Андреевич ФГБУН Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук, заместитель директора по научной работе.

Официальные оппоненты:

**Патракеев Михаил Валентинович**, доктор химических наук, ФГБУН Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург), лаборатория оксидных систем, главный научный сотрудник;

**Садыков Владислав Александрович**, доктор химических наук, профессор, ФГБУН Федеральный исследовательский центр Институт катализа им Г. К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск), отдел гетерогенного катализа, главный научный сотрудник;

**Истомин Сергей Яковлевич**, кандидат химических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», кафедра неорганической химии, доцент;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 25 работ, из них 8 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и WOS. Общий объем опубликованных работ по теме диссертации 6.7 п.л. / 2.0 п.л. – авторский вклад.

*Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ:*

1. **Skutina, L.** Undoped  $\text{Sr}_2\text{MMoO}_6$  double perovskite molybdates (M = Ni, Mg, Fe) as promising anode materials for solid oxide fuel cells / **L. Skutina**, E. Filonova, D. Medvedev, A. Maignan // *Materials*. – 2021. – V. 14. – No. 1715. (1.75 п.л./ 0.44 п.л.) Scopus, Web of Science.

2. Filonova, E.A.  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{0.7}\text{Mg}_{0.3}\text{MoO}_{6-\delta}$ : Correlation between synthesis conditions and functional properties as anode material for intermediate-temperature SOFCs / E.A. Filonova, O.V. Russkikh, **L.S. Skutina**, A.I. Vylkov, T.Yu. Maksimchuk, A.A. Ostroushko // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. (0.81 п.л./ 0.06 п.л.) Scopus.

3. **Skutina, L.S.** Catalytic properties of  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{0.75}\text{Mg}_{0.25}\text{MoO}_{6-\delta}$  based composites for application in hydrocarbon-fuelled solid oxide fuel cells / **L.S. Skutina**, A.I. Vylkov, K.A. Chistyakov, D.K. Kuznetsov, O.B. Pavlenko, D.A. Medvedev // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. – V. 46. – P. 16899–16906. (0.5 п.л./ 0.1 п.л.) Scopus, Web of Science.

4. **Skutina, L.S.** Tailoring Ni and  $\text{Sr}_2\text{Mg}_{0.25}\text{Ni}_{0.75}\text{MoO}_6$  cermet compositions for designing the fuel electrodes of solid oxide electrochemical cells / **L.S. Skutina**, A.I. Vylkov, D.K. Kuznetsov, D.A. Medvedev, V.Ya. Shur // Energies. – 2019. – V. 12. – No. 2394. (0.687 п.л./ 0.25 п.л.) Scopus, Web of Science.

5. Filonova, E.A. Influence of synthesis conditions on phase formation and functional properties of prospective anode material  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{0.75}\text{Mg}_{0.25}\text{MoO}_{6-\delta}$  / E.A. Filonova, O.V. Russkikh, **L.S. Skutina**, N.A. Kochetova, D.V. Korona, A.A. Ostroushko // Journal of Alloys and Compounds. – 2018. – V. 748. – P. 671–678. (0.5 п.л./ 0.16 п.л.) Scopus, Web of Science.

6. Filonova, E.A. Double  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{1-x}\text{Mg}_x\text{MoO}_6$  perovskites ( $x = 0, 0.25$ ) as perspective anode materials for  $\text{LaGaO}_3$ -based solid oxide fuel cells / E.A. Filonova, A.R. Gilev, **L.S. Skutina**, A.I. Vylkov, D.K. Kuznetsov, V.Y. Shur // Solid State Ionics. – 2018. – V. 314. – P. 112–118. (0.44 п.л./0.035 п.л.) Scopus, Web of Science.

7. **Скутина, Л.С.** Кристаллическая структура и фазовые переходы твердых растворов  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{1-y}\text{Mg}_y\text{MoO}_6$  / **Л.С. Скутина**, А.И. Вылков, К.В. Гржегоржевский, А.Ю. Чуйкин, А.А. Остроушко, Е.А. Филонова // Неорганические материалы. – 2017. – Т. 53. – № 12. – С. 1325–1330. (**Skutina, L.S.**Crystal structure and phase

transitions of  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{1-y}\text{Mg}_y\text{MoO}_6$  solid solutions / **L.S. Skutina**, A.I. Vylkov, K.V. Grzhegorzhevskii, A.Yu. Chuikin, A.A. Ostroushko, E.A. Filonova // *Inorganic Materials*. – 2017. – V. 53. – № 12. – P. 1293–1299. (0.44 п.л./ 0.25 п.л.) Scopus, Web of Science.

**8. Skutina, L.S.** Features of structural, thermal and electrical properties of Mo-based composite materials as fuel electrodes for high-temperature applications / **L.S. Skutina**, A.I. Vylkov, D.A. Medvedev, E.A. Filonova // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2017. – V. 705. – P. 854–861. (0.5 п.л./0.125 п.л.) Scopus, Web of Science.

На диссертацию и автореферат поступило 9 положительных отзывов: от чл.-корр. РАН, заведующего лабораторией ионики функциональных материалов ФГБУН Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, д.х.н. **Ярославцева Андрея Борисовича**, г. Москва; от член-корр. РАН, директора ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, д.х.н. **Немудрого Александра Петровича**, г. Новосибирск; от ведущего научного сотрудника ФГБУН Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, д.х.н. **Шляхтиной Анны Викторовны**, г. Москва; от заведующей кафедрой физической и коллоидной химии ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский государственный университет, д.х.н., профессора **Водянкиной Ольги Владимировны**, г. Томск; от доцента кафедры физической, коллоидной и аналитической химии, факультета технологии органических веществ Белорусского государственного технологического университета, к.х.н. **Клындюка Андрея Ивановича**, г. Минск; от ведущего научного сотрудника ФГБУН Институт химии твердого тела УрО РАН, к.х.н., доцента **Валеевой Альбины Ахметовны**, г. Екатеринбург; от старшего научного сотрудника лаборатории комплексных электрофизических исследований ФГБУН Институт электрофизики УрО РАН, к.х.н. **Калининой Елены Григорьевны**, г. Екатеринбург; от заведующего Отделом функциональных материалов для химических источников энергии ФГБУН Институт проблем химической физики

РАН, к.х.н. **Лыскова Николая Викторовича**, г. Черноголовка; от старшего научного сотрудника ФГБУН Институт химии твердого тела УрО РАН, к.х.н. **Ермаковой Ларисы Валерьевны**, г. Екатеринбург.

Отзывы содержат следующие критические замечания и вопросы: о взаимосвязи рассчитанных значений КТР и дефектности материалов; о выборе концентрационного диапазона композитов с  $\text{SrMoO}_3$ ; о причинах неоднородности железо-никелевых молибдатов стронция на воздухе и после восстановления и влиянии этого явления на свойства (Ярославцев А.Б.); об отсутствии специальных исследований или теоретических оценок по термодинамической стабильности материалов, о методах определения механической прочности композитных материалов; об отсутствии информации о времени контактных обжигов при исследовании химической совместимости; о причинах восстановления образца  $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1.5}\text{Mo}_{0.5}\text{O}_{6-\delta}$  на воздухе при более низких температурах по сравнению с восстановительной атмосферой; о причинах более низкой электропроводности композита с добавками никеля, полученного по растворной методике, по сравнению с композитом, полученным механическим смешением фаз; об отсутствии специальных методов по определению концентрационной перколяции в композитах; о способности фазы двойного перовскита сдерживать сильные механические деформации; замечания о несоответствии цветов и отсутствии обозначений на некоторых рисунках автореферата (Немудрый А.П.); о некорректности термина «кристаллоструктурные фазовые переходы»; о времени синтеза  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{0.75}\text{Mg}_{0.25}\text{MoO}_{6-\delta}$  при 1200 °С и необходимости учитывать летучесть оксида молибдена; о высоких значениях КТР композитов по сравнению с исходным двойным перовскитом; о имеющейся в тексте стилистической ошибке (Шляхтина А.В.); об отсутствии в автореферате численного значения степени конверсии углеводородов для композитов с 85% NiO; о необоснованности утверждения о возможном применении состава  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{0.75}\text{Mg}_{0.25}\text{MoO}_{6-\delta}$  в качестве функционального анодного слоя при конструировании ТОТЭ; о необходимости

изучения термического поведения индивидуальных фаз  $\text{SrMoO}_4/\text{SrMoO}_3$  (Водянкина О.В.); о наличии ошибок в обозначениях и неточностях в тексте автореферата; о термостабильности  $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1.5}\text{Mo}_{0.5}\text{O}_{6-\delta}$  по отношению к выделению кислорода в восстановительной и в окислительной атмосферах; об отличающихся значениях пористости композитов с добавками оксида никеля, полученных разными методами; об отсутствии данных по кислородной нестехиометрии материалов (Клындюк А.И.); об отсутствии подробного анализа экспериментальных рентгенограмм, определения областей когерентного рассеяния и микродеформаций, удельной площади поверхности и анализа объема пор методом Брунауэра-Эммета-Теллера; о применении метода дифференциальной сканирующей калориметрии для определения стабильности композитов в разных средах; об отсутствии в работе величин ошибок измерения (Валеева А.А.); о нестабильности композита с добавками оксида никеля в условиях многократных редокс-циклов; о прогнозах совместной устойчивости анодных материалов и многослойного электролита  $\text{Ce}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{O}_{1.85}/\text{LSGM}$  в условиях восстановительной среды (Калинина Е.Г.); о причинах неустойчивости сложного оксида  $\text{Sr}_2\text{MgMoO}_{6-\delta}$  в окислительных условиях; об изменении электропроводящих свойств материалов при редокс-циклировании атмосферы (Лысков Н.В.); об отсутствии данных по устойчивости и электропроводности исходных нелегированных двойных перовскитов; о продолжительности контактных отжигов анодного и электролитного материалов для установления возможности взаимодействия; об отсутствии подробного описания метода синтеза композита  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{0.75}\text{Mg}_{0.25}\text{MoO}_{6-\delta} + 85$  мольн. %  $\text{NiO}(\text{p})$  и о подтверждении формирования в композите фазы перовскита заданного состава; о причинах выбора оксида никеля в качестве компонента композита (Ермакова Л.В.)

**Выбор официальных оппонентов** обосновывается компетентностью Патракеева М.В., Садыкова В.А. и Истомина С.Я. в области физической химии, а именно их научными достижениями при изучении структурных,

электротранспортных, термических и каталитических свойств сложнооксидных соединений, что подтверждается публикациями в высокорейтинговых научных журналах.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата **химических** наук соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ и является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная задача по нахождению оптимального состава двойного перовскита и композита на его основе для применения в качестве функционального и коллекторного анодного слоя в ТОТЭ, установлению взаимосвязи между составом, способами получения и функциональными характеристиками материалов, что имеет весомое значение для развития физической химии.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. **Положения, выносимые на защиту**, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

– Получены и аттестованы Мо-содержащие сложнооксидные соединения состава  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{1-x}\text{Mg}_x\text{MoO}_{6-\delta}$ , устойчивые как в окислительных, так и в восстановительных атмосферах. Экспериментально доказана редокс устойчивость фазы при  $x = 0.25$ , а также ее высокая химическая и термическая совместимость с электролитом на основе галлата лантана ( $\text{La}_{0.88}\text{Sr}_{0.12}\text{Ga}_{0.82}\text{Mg}_{0.18}\text{O}_{3-\delta}$ );

– Дана оценка рентгенофазовым и микроструктурным характеристикам композитов  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{0.75}\text{Mg}_{0.25}\text{MoO}_{6-\delta} + 30$  мольн. %  $\text{SrMoO}_4$  и  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{0.75}\text{Mg}_{0.25}\text{MoO}_{6-\delta} + 85$  мольн. %  $\text{NiO}$  после спекания на воздухе и после восстановления. Доказано, что используемый метод получения композитов с добавкой оксида никеля оказывает влияние на спекаемость материалов на воздухе, на их пористость после

восстановления, а также на равномерность распределения частиц никеля в матрице двойного перовскита  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{0.75}\text{Mg}_{0.25}\text{MoO}_{6-\delta}$ .

– Установлены перколяционные пределы в композитах с добавками  $\text{SrMoO}_3$  и  $\text{Ni}$ , при которых материалы демонстрируют высокие значения электропроводности. Показано, что до предела перколяции композиты ведут себя как полупроводники, а проводимость после предела перколяции имеет металлический тип.

– Установлено, что при дилатометрическом циклировании, во время изотермической выдержки в восстановительной среде материалы подвергаются химическому сжатию, которое связано с высвобождением кислорода из решетки. Обнаружено, что оптимальные значения КТР и механотермическая стабильность характерны только для двойных перовскитов общего состава  $\text{Sr}_2\text{Ni}_{1-x}\text{Mg}_x\text{MoO}_{6-\delta}$  и композитов с добавками  $\text{SrMoO}_4$ .

– Показано, что исследуемые материалы обладают каталитической активностью по отношению к реакции окисления углеводородного топлива воздухом. Обнаружено, что добавки  $\text{SrMoO}_4$  и оксида никеля (в случае использования растворного метода синтеза) выступают в качестве защитного слоя для перовскитной фазы в среде углекислого газа. Продемонстрирована фазовая стабильность материалов после испытаний и устойчивость к отложению углерода.

На заседании 11 ноября 2021 г. диссертационный совет УрФУ 1.4.01.01 принял решение присудить Скутиной Л.С. ученую степень кандидата химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет УрФУ 1.4.01.01 в количестве 16 человек, из них 3 доктора наук по профилю рассматриваемой



диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – 2.

Председатель диссертационного совета  
УрФУ 1.4. 01.01



*Handwritten signature in blue ink.*

Черепанов Владимир  
Александрович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
УрФУ 1.4.01.01.

Кочетова  
Надежда Александровна

11.11.2021