

ОТЗЫВ  
официального оппонента на диссертационную работу  
Крылова Алексея Андреевича  
**«ПОЛУЧЕНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЖНООКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА  
ОСНОВЕ BIFEVOX»,**  
представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук  
по специальности 1.4.15. Химия твердого тела

**Актуальность темы диссертации, степень разработанности темы**

Диссертационная работа Крылова Алексея Андреевича посвящена комплексному систематическому исследованию модифицированных материалов на основе BIFEVOX с учетом их возможного использования в качестве компонентов электрохимических устройств. Поиск новых составов обусловлен современными требованиями к ТОТЭ, такими как увеличение кислород-ионной проводимости электролитов, снижение рабочей температуры устройств. Выбранная стратегия получения композиций твердых электролитов на основе BIFEVOX с участием нанопорошков простых оксидов, сложных оксидов, солей металлов, химически, термически и механически устойчивых и совместимых между собой; установление взаимосвязи между составом, способами получения и функциональными характеристиками материалов, определение оптимальных параметров их получения и применения в качестве твердых оксидных электролитов, несомненно, позволяет оценить избранное направление работы как **актуальное**. Поставленные задачи по получению, аттестации индивидуальных фаз, химической совместимости и свойствам сложных композиций логически вытекают из заявленной цели. Кроме того, актуальность темы диссертации подтверждается поддержкой данной тематики грантом РФФИ № 17–53-04098 «Оксидные нанофазы и композитные материалы: альтернативные способы получения и физико-химические характеристики» и Государственным заданием № 4.2288.2017/ПЧ «Функциональные материалы со смешанной электронной и кислородно-ионной проводимостью для электрохимических устройств и катализа».

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, выводов и списка литературы. Работа содержит 135 страниц, 21 таблицы, 104 рисунков и список литературы из 146 наименований.

Во введении отмечена актуальность, новизна и практическая значимость работы, указаны цель и задачи работы. В главе 1 проведен анализ современного состояния проблем получения композитных материалов. Рассмотрены основные структурные семейства висмутсодержащих сложных оксидов. Представлены литературные данные о композитных материалах с участием оксида висмута и его соединений. На основании анализа литературных данных обоснованы выбор составов исследуемых объектов; сформулированы цели и задачи диссертационного исследования. В главе 2 отражена методологическая часть исследований. Представительный комплекс использованных в работе методов аттестации и их современное аппаратурное и программное оформление, квалифицированное применение достаточны для решения поставленных в работе задач.

В главе 3 представлены результаты исследования процессов получения и характеристик электролита BIFEVOX, некоторых вторых компонентов возможных композитных материалов, выбранных исходя из предлагаемых в литературе подходов по модифицированию составов электролитов и созданию композитов с участием сложных или простых оксидов, или солей металлов. В качестве второго компонента создаваемого материала были выбраны: карбонат натрия как солевая фаза, порошки простых оксидов висмута, железа и алюминия как электролит/полупроводник/изолятор, ниобаты висмута, допированные эрбием или железом как кислородно-ионные проводники. Проведен подробный анализ совместимости компонентов модифицированных материалов и их функциональных свойств. Методом импедансной спектроскопии выявлены характер и особенности импедансных спектров, температурных и концентрационных зависимостей электропроводности полученных композитных составов. Измерениями электропроводности ряда составов в зависимости от парциального давления кислорода доказано, что при создании композитов тип проводимости не меняется и определяется базовым компонентом BIFEVOX. Несомненно, что полученные в работе новые оригинальные результаты по композитным материалам расширят представления о взаимосвязи состава, структуры и свойств вещества, позволят проводить целенаправленный поиск материалов твердых электролитов.

**Достоверность полученных автором результатов** обеспечивает систематический и обоснованный подход к постановке эксперимента, уровень осмысливания и обобщения результатов, соответствующий всем необходимым требованиям. Результаты работы опубликованы в 3 статьях в

научных журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых в базах Scopus и /или Web of Science, представлены на 24 международных и российских конференциях.

### **Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций.**

Исследования, проведенные Крыловым А.А. имеют определенное теоретическое и практическое значение. В результате получены принципиально новые результаты, касающиеся состава, получения, структуры и морфологии, электрохимических характеристик неисследованных ранее сложных составов электролитов на основе BIFEVOX, что расширяет представления о висмутсодержащих системах и их особенностях, вносит определенный вклад в развитие химии твердого тела.

По работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В работе не акцентируется внимание на плотности компактных образцов. Насколько заметно влияние относительной плотности материала на изучаемые свойства: электропроводность, термическое расширение?
2. Насколько отличаются значения КТР полученных в работе составов от значений КТР известных электролитных материалов (например, таких как YSZ, который используется в опытных образцах различных электрохимических устройств)?
3. В работе изучались свойства компактных материалов при различных парциальных давлениях кислорода, а также при смене атмосферы с окислительной на восстановительную. Наблюдались ли при этом изменения объема образцов?
4. Насколько длительными были отжиги составов с карбонатом натрия, за какое время происходило полное плавление образцов?

При прочтении диссертации были замечены некоторые шероховатости текстового и числового материала, а также оформления графического материала. Однако сделанные замечания по работе не снижают ее научной ценности.

### **Заключение**

Диссертационная работа А.А. Крылова представляет собой законченное научное исследование, соответствующее научному направлению «Химия твердого тела». Разделы работы взаимосвязаны и логично дополняют друг друга, выводы находятся в полном соответствии с полученными автором результатами. Содержание автореферата отражает

материал и выводы диссертации. Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ». Считаю, что автор диссертации, Крылов Алексей Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.15. Химия твердого тела.

Официальный оппонент:



В.Р. Хрустов

Сведения об официальном оппоненте:

Хрустов Владимир Рудольфович,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник лаборатории прикладной электродинамики  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт  
электрофизики УрО РАН»

Почтовый адрес: 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 106

Телефон: (343) 267-88-27

Эл. почта: khrustov@iep.uran.ru

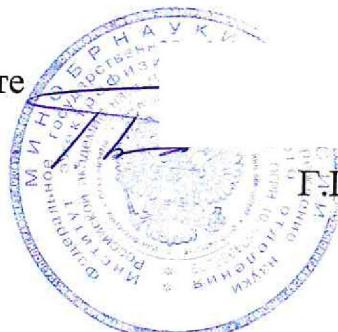
«11 » октября 2021 г.

Подпись Хрустова В.Р. удостоверяю:

заместитель директора по научной работе

Института электрофизики УрО РАН,

доктор физ.мат. наук



Г-Щ. Болтачев