

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации *Шиндрова Александра Александровича*
на тему «*Смешанно-анионные железо-натрийсодержащие соединения как матрицы для
обратимой интеркаляции ионов щелочных металлов*»,
представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук
по специальности 1.4.15 – Химия твердого тела

В области накопителей энергии многообещающей альтернативой литий-ионным аккумуляторам выступают натрий-ионные аккумуляторы в связи с низкой стоимостью и высокой распространенностью минерального сырья. В настоящее время активно ведется поиск новых натрийсодержащих катодных материалов, которые обладают структурной устойчивостью, обеспечивающей стабильность материала при многочисленных циклах заряда/разряда, а также высоким рабочим напряжением за счет индуктивного эффекта. Поэтому актуальными являются цели и задачи, сформулированные в работе соискателем Шиндровым А.А.

Объектами исследования соискателем были выбраны смешанно-анионные железо-натрийсодержащие соединения: карбонат-фосфат железа-натрия $\text{Na}_3\text{FePO}_4\text{CO}_3$, гидроксо-сульфат железа-натрия $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ и сульфат-фосфат железа-натрия $\text{NaFe}_2\text{PO}_4(\text{SO}_4)_2$ в качестве матрицы для обратимой интеркаляции ионов Li^+ и Na^+ . Соискателем выполнен синтез указанных катодных материалов и комплексное физико-химическое исследование структурно-морфологических и электрохимических свойств. Характеристику полученных катодных материалов соискатель проводил с использованием современных методов рентгенофазового анализа с последующим уточнением структуры методом Ритвельда, сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, термического анализа, инфракрасной спектроскопии, спектроскопии ядерного магнитного резонанса, спектроскопии электрохимического импеданса, методов циклической хронопотенциометрии, вольтамперометрии и гальваностатического прерывистого титрования.

Соискателем представлен большой объем экспериментального материала и достоверная интерпретация полученных результатов.

Шиндров А.А. установил оптимальные условия низкотемпературного гидротермального и реологического методов синтеза однофазных катодных материалов: $\text{Na}_3\text{FePO}_4\text{CO}_3$, $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ и $\text{NaFe}_2\text{PO}_4(\text{SO}_4)_2$. Им изучена структура, морфология, термическая устойчивость и электрохимические свойства при циклировании в натриевых и литиевых электрохимических ячейках синтезированных соединений, проведен анализ ионного транспорта методом разбиения полиэдров Вороного-Дирихле. Полученные Шиндровым А.А. результаты имеют практическое значение, поскольку могут служить основой для создания нового поколения натрий/литий-ионных аккумуляторов.

Диссертационная работа Шиндрова А.А. является завершенным научным трудом. По материалам диссертации опубликовано 6 статей в рецензируемых изданиях, входящих


в перечень ВАК и системы цитирования Web of Science и Scopus. Основные результаты работы обсуждались на 8 российских и международных конференциях.

По автореферату диссертации можно высказать следующие замечания и уточнения:

1. Каким методом установлен состав натрий/литийсодержащих катодных материалов: $\text{Na}_{0,44}\text{Li}_{2,56}\text{FePO}_4\text{CO}_3$; $\text{Na}_{0,13}\text{Li}_{0,87}\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ и $\text{Na}_{0,4}\text{Li}_{0,6}\text{Fe}_2\text{PO}_4(\text{SO}_4)_2$ (стр. 5, пункт 3)?
2. Почему выбраны низкотемпературный гидротермальный и реологический методы синтеза катодных материалов? Какие характеристики катодных материалов (помимо монофазности) фиксировали при определении оптимальных условий синтеза катодных материалов? Определяли ли дисперсность катодных материалов, которая также влияет на электрохимические свойства?
3. Не указано, какой избыток Na_2CO_3 необходим для получения однофазного $\text{Na}_3\text{FePO}_4\text{CO}_3$ гидротермальным методом.
4. Какая информация получена в результате изучения магнитных свойств синтезированных материалов?
5. Какое из изученных автором соединений ($\text{Na}_3\text{FePO}_4\text{CO}_3$, $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ или $\text{NaFe}_2\text{PO}_4(\text{SO}_4)_2$) является на основе проведенных исследований предпочтительным для использования в качестве электродного материала?

Сделанные замечания не снижают высокую оценку выполненного исследования. Диссертационная работа Шиндрова А.А. соответствует паспорту специальности 1.4.15 – Химия твердого тела и требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 20 марта 2021 г. №426), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор - Шиндров Александр Александрович - заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.15 – Химия твердого тела.

Старший научный сотрудник
Института химии и технологии редких элементов
и минерального сырья им. И.В. Тананаева
ФИЦ «Кольский научный центр РАН»,
кандидат технических наук

 Куншина Галина Борисовна
20.09.2021г.

184209 Мурманская обл., г. Апатиты,
Академгородок, 26а
тел. (81555)-79339,
e-mail: g.kunshina@ksc.ru

Подпись Куншиной Г.Б. заверяю



Подпись <u>Куншиной</u> <u>Галины Борисовны</u>
По месту работы удостоверяю:
ИХТРЕМС КНЦ РАН <u>Власюк О.Н.</u>
« 20 » 09 2021 г.