

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Макаровой Светланы Витальевны  
«Исследование структуры и свойств механохимически синтезированных  
апатитов с катионным и анионным замещением»  
на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности  
1.4.15 - Химия твердого тела

Тема диссертации Макаровой С.В. несомненно актуальна и представляет теоретический и практический интерес для специалистов, работающих в области материаловедения и биомедицинской инженерии. Гидроксиапатит (ГА) является главным минеральным компонентом костной и зубной тканей человека и животных и широко применяется в челюстно-лицевой хирургии и ортопедии для восстановления дефектов костных и зубных тканей, а также при производстве имплантатов.

Среди известных жидкофазных и твердофазных способов получения ГА наиболее перспективным является механохимический синтез, т.к. имеет ряд существенных достоинств, таких как простота в исполнении, низкая времязатратность, отсутствие побочных продуктов. Известно, что введение в структуру ГА таких ионов, как цинк или лантан, придает материалу антибактериальные и противовоспалительные свойства, введение ионов железа, цинка или лантана ускоряет пролиферацию клеток остеобластов и улучшает адгезию синтетического материала к биологической костной ткани. Введение ионов кремния в структуру ГА улучшает механические свойства материала. Актуальным является исследование возможностей механохимического способа синтеза ГА с мультизамещением.

Реализация поставленной цели потребовала решения комплекса задач, связанных с изготовлением механохимически замещенных ГА катионами La, Zn, Fe и анионами Si, анализом их кристаллической структуры и биосовместимости. Итогом исследований стал ряд новых результатов, важных в теоретическом плане.

К таким результатам, прежде всего, следует отнести анализ кристаллической решетки, заселенности позиций в структуре апатита и расчет формул синтезированных апатитов, а также проведенные сравнения с номинальными формулами.

Также важными представляются результаты, отличающиеся научной новизной:

- показано, что механохимический способ синтеза может использоваться для получения апатитов с двойным замещением.

- обнаружено комплексное влияние ионов-заместителей на структурные характеристики замещенных апатитов и их термическую стабильность.

- проведены *in vitro* исследования биологических свойств апатита с двойным замещением на ионы лантана и кремния, цинка и кремния, железа и кремния.

- проведены исследования микротвердости образцов апатита с двойным замещением на ионы лантана и кремния.

Результаты работы достаточно полно опубликованы. По теме диссертации опубликовано 9 статей (из них 8 в научных изданиях, индексируемых в Web of Science/Scopus/RSCI) и 17 тезисов докладов. Приведён объёмный список ссылок на публикации – 245.

В работе использованы методы: механохимического синтеза в планетарной шаровой мельнице АГО-2, рентгенофазовый и рентгеноструктурный, анализ кристаллической структуры однофазных образцов полнопрофильным методом Ритвельда, определение микротвердости, *in vitro* исследований, включающих в себя определение цитотоксичности на клетках *Hek293*, *MG-63* и *MRC-5*, определение адгезии клеток остеобластов *MG-63* к поверхности таблетированных образцов.

Однако, представленный автореферат диссертации не лишен некоторых недостатков:

- как подтверждение новизны теоретических результатов, отсутствуют рекомендации по практическому применению, в том числе патенты на изобретения.

- отсутствуют основные параметры процесса механохимического синтеза в планетарной мельнице (соотношение шихты и размольных шаров, скорость вращения барабанов вокруг своей оси и оси ротора, время и механизм обработки). Также не указаны исходные данные состояния ГА, способ его получения, возникающие микронапряжения в порошке в результате механохимического синтеза. Это затрудняет формирование общего теоретического представления о свойствах замещённых ГА.

- при ознакомлении с материалом необходима тщательная специальная подготовка даже у специалиста владеющего и применяющего РСА и РФА в своих работах:

- не указаны основные положения метода Ритвельда, применяемые в представленной работе, что затрудняет применение результатов работы по анализу микронапряжений. Тем более, что не приведены микронапряжения в разнообразных ГА после механохимического синтеза. Возникает

представление, что микронапряжения возникают в результате отжига материала, что противоречит общим понятиям материаловедения.

- целесообразно для упрощения восприятия и понимания технического текста и теоретических позиций также: радиус ионов, используемых для замещения в структуре ГА, вывести в отдельную таблицу, не допуская применения символов в обозначении катионов со знаком аниона и наоборот; использовать рисунки зависимостей в более крупном масштабе, указать плоскости, межплоскостное расстояние которых рассматривается как параметры кристаллической решетки **a** и **c**, анализ которых широко используется в работе, иначе не совсем понятен рис. За, убрать или отметить из анализа зависимостей точки-выбросы, которые не объясняются.

- для практического применения результатов работы представляет интерес взаимосвязь ОКР с геометрическими размерами частиц и форма частиц.

Однако отмеченные недостатки не затрагивают по существу основных положений и результатов диссертационной работы Макаровой Светланы Витальевны. Диссертация отвечает требованиям и критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Макарова Светлана Витальевна заслуживает присуждения ей искомой степени.

Профессор кафедры Материаловедение  
и Биомедицинская Инженерия  
Саратовского государственного технического  
университета им. Гагарина Ю.А.

доктор технических наук

Мельникова Ираида Прокопьевна

12.12.2023 г.

410054, г. Саратов, Политехническая ул., д. 77

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет  
имени Ю.А. Гагарина»

тел. 89172117362, эл. почта melnikovaak@mail.ru

