

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Макаровой Светланы Витальевны  
на соискание ученой степени кандидата химических наук  
по специальности 1.4.15. Химия твердого тела  
на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕХАНОХИМИЧЕСКИ  
СИНТЕЗИРОВАННЫХ АПАТИТОВ С КАТИОННЫМ И АНИОННЫМ  
ЗАМЕЩЕНИЕМ»

Диссертационная работа Макаровой Светланы Витальевны посвящена механохимическому синтезу лантан-силикат-, цинк-силикат- и железо-силикат-замещенных апатитов с различными степенями замещения и выявлению влияния природы заместителя на структуру и свойства материала. Уникальная структура апатита позволяет проводить замещения в катионной и анионной подрешетках, и таким образом модифицировать материал. Актуальность исследований в данном направлении связана с востребованностью в остеопластических биоматериалах с дополнительной активностью (антибактериальной, противовоспалительной, противоопухолевой и др.) для реконструктивно-восстановительной хирургии. Включение в структуру гидроксиапатита ионов лантана или цинка придает материалу антибактериальные и противовоспалительные свойства, введение ионов железа, цинка улучшает адгезию синтетического материала к костной ткани, ускоряет пролиферацию остеобластов. Введение ионов кремния и лантана в структуру гидроксиапатита улучшает механические свойства; наличие ионов железа в гидроксиапатите позволяет проводить гипертермию при лечении опухолей.

Научная новизна работы заключается в установлении закономерностей формирования апатитов с двойным катион-анионным замещением в процессе механохимического синтеза. Диссертантом обнаружено комплексное влияние ионов-заместителей на структурные характеристики замещенных апатитов, термическую стабильность; впервые исследована биоактивность апатитов с двойным замещением.

Наиболее важные результаты диссертационной работы включают:

1. Получение механохимическим методом синтеза лантан-силикат-, цинк-силикат- и железо-силикат- замещенных апатитов разного состава  $\text{Ca}_{10-x}\text{La}_x(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{SiO}_4)_x(\text{OH})_{2-x}\text{O}_{x/2}$ ,  $\text{Ca}_{10-x}\text{La}_x(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{SiO}_4)_x\text{O}_x$ ,  $\text{Ca}_{10-x}\text{Zn}_x(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{SiO}_4)_x(\text{OH})_{2-x}$ ,  $\text{Ca}_{10-x}\text{Fe}_x(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{SiO}_4)_x(\text{OH})_{2-x}\text{O}_{x/2}$  с пределом замещения  $x=6,0$  для одновременного введения катиона лантана и силикатного аниона и  $x=1,0$  для введения катионов цинка или железа совместно с силикатной группой.

2. Средний размер кристаллитов апатитов со степенью замещения  $x=1,0$  составляет ~15 нм. Катионное замещение преимущественно происходит в позиции Ca2 со смещением ионов лантана к кислороду на оси  $c$ , а ионов цинка и железа к кислороду тетраэдров  $\text{PO}_4$ .

3. Введение катиона лантана и силикат-аниона повышает термическую стабильность до  $1400^\circ\text{C}$ , а введение силикат-аниона с катионом цинка или железа понижает термическую устойчивость материала до  $650\text{--}800^\circ\text{C}$  или  $600\text{--}700^\circ\text{C}$ .

Практическая значимость работы обусловлена тем, что полученные апатиты с двойным катион-анионным замещением являются биосовместимыми и перспективны для хирургии костных тканей. Лантан-силикат-замещенный гидроксиапатит с высокой термостабильностью и микротвердостью может использоваться для изготовления керамических изделий и покрытий, в то время как цинк-силикат- и железо-силикат-замещенные апатиты – для получения биорезорбируемых порошков, гранул и паст.

Основные положения диссертации отражены в 26 научных публикациях автора, включая 2 статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК, 8 статей в журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science, а также представлены на 17 международных конференциях.

Замечаний принципиального характера в автореферате диссертации не выявлено, однако интересно узнать мнение автора по следующим вопросам: 1) почему или за счет чего происходит значительная аморфизация гидроксиапатита после введения катионов цинка и железа после 40 мин механохимического синтеза, а введение катионов лантана в таких же условиях приводит к искажению структуры гидроксиапатита; 2) какое влияние на структуру гидроксиапатита оказывают внедренные силикатные группы, для чего их вводили в структуру гидроксиапатита совместно с различными катионами; 3) согласно таблице 2 при степени замещения  $x=6,0$  соединение  $\text{Ca}_4\text{La}_6\text{Si}_6\text{O}_{25}$  скорее всего является силикатом лантана кальция и к апатитам не относится, что подтверждается изменением профиля дифрактограммы (рис. 3).

В целом можно заключить, что диссертационная работа Макаровой С.В. является законченным исследованием и полностью соответствует критериям, утвержденным в Постановлении Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель – Макарова Светлана Витальевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.15. – «Химия твердого тела».

Заведующий лабораторией фотохимии  
и электрохимии ИОНХ НАН Беларуси  
кандидат химических наук, доцент

29.11.2023 г.

Крут'ко Валентина Константиновна

Государственное научное учреждение «Институт общей и неорганической химии  
Национальной академии наук Беларуси» (ИОНХ НАН Беларуси)

220012, г. Минск, ул. Сурганова 9/1

тел. +375-17-2841737; e-mail: [tsuber@igic.bas-net.by](mailto:tsuber@igic.bas-net.by)



Крут'ко В.К. дает согласие на обработку персональных данных, включение их в аттестационное дело соискателя, загрузку отзыва на сайте.