

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**кандидата химических наук Мусоева Шарифджона Ахатовича на тему:**  
**«Реакционно-связанные материалы на основе замещенных**  
**средних фосфатов кальция»**  
**по специальности 1.4.15. Химия твердого тела**

**Актуальность темы диссертации**

Диссертация Мусоева Шарифджона Ахатовича направлена на разработку кальций-фосфатного цементного материала с управляемыми свойствами путем химической модификации состава затворяющей жидкости и высокоосновного твердого компонента на основе  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Актуальность данной направленности объясняется перспективностью получения материалов для биомедицинских исследований и растущей потребностью в эффективных остеозамещающих материалах для лечения различных дефектов таких как переломы, трещины и другие дефекты костей и могут частично или полностью заменить нативную костную ткань. Особый интерес для лечения повреждений костной ткани представляют биоматериалы на основе фосфатов кальция. Однако, остается недостаточно исследованными их прочностные характеристики, совместимость с прилегающими тканями организма, биорезорбируемость и бактерицидный эффект кальций-фосфатных цементов. В связи с этим, актуальным является формирование подходов к управлению микроструктурой и фазовым составом бранных цементных композитов, в том числе и армированных неорганическими волокнами, посредством биосовместимых катионных ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) и анионных ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_4^{4-}$ ) замещений в  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , используемом в качестве твердого основного компонента цементной смеси при затворении различными затворяющими жидкостями.

**Научная новизна работы**

Новизна научных положений, выводов и рекомендации заключается в следующем:

Соискателем установлены закономерности влияния изоморфных замещений ионов в  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  на времена схватывания и морфологию получаемых

из этого фосфата брушитных цементов.

Установлены закономерности влияния силикатного (базальтового) стекловолокна и Na соли карбоксиметилцеллюлозы на микроструктуру, время схватывания и прочностные характеристики брушитных цементов, полученных из замещенного  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

В атомистической модели проведены расчеты энергий точечных дефектов в  $\beta$ - и  $\alpha$ -полиморфных модификациях  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , позволившие показать их связь с фазовыми переходами в замещенном  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  и процессами при формировании цементов.

Уточнены условия изоморфного замещения иона фосфата на сульфат в  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

### **Практическая значимость работы**

Практическая значимость диссертационной работы заключается в полученных научных результатах, которые могут быть положены в основу разработки методов управления временем схватывания, микроструктурой, резорбируемостью и механическими характеристиками кальций-фосфатных цементов брушитного типа для медицинского применения через использование для получения таких цементов ортофосфата кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  с изоморфными замещениями различного типа, а также добавление в такие цементы армирующих силикатных (базальтовых) волокон и/или регулятора схватывания – Na соли карбоксиметилцеллюлозы.

Разработана модель потенциалов межатомного взаимодействия, позволяющая в рамках атомистических расчетов описывать энергетические характеристики точечных дефектов в  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  и связанные с ними свойства вещества, что может быть использовано при разработке и оптимизации свойств материалов на основе упомянутого фосфата.

**На защиту выносятся** следующие установленные в работе положения, составляющие основные научные результаты, полученные в работе:

Изоморфные замещения ионов (фосфата на сульфат или ортосиликат, кальция на натрий или калий) в  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  и использование различных затворяющих жидкостей (водного раствора фосфорной кислоты или воды при до-

бавлении в твердый компонент  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) приводят к изменению времени схватывания и микроструктуры брушитных цементов, получаемых из твердых растворов на основе  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

Силикатное (базальтовое) стекловолокно, как армирующий и локально изменяющий состав жидкой фазы компонент позволяет направленно изменять время схватывания, микроструктуру, прочность при сжатии, а также кислотность водной фазы при ее длительном контакте с брушитными цементами, полученными из  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  с различными как катионными, так и анионными изоморфными замещениями.

Рассчитанные энергии точечных дефектов в рамках атомистической модели межатомного взаимодействия, позволяют объяснить особенности термодинамики твердых растворов на основе  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , включая переход из  $\beta$  в  $\alpha$  модификацию  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  как незамещенного, так и с изоморфным замещением катионов или анионов, а также выявить корреляцию микроструктуры получаемых из замещенного  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  брушитных цементов с изменением пересыщения системы при образовании твердых растворов.

### **Соответствие работы критериям, предъявляемым к диссертациям и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Основные научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации, являются теоретически обоснованными и экспериментально подтвержденными. Результаты, представленные автором в рамках заявленной в диссертации темы, являются достаточными по объему и составу, а также согласуются с фундаментальными основами технологии получения реакционно-связанных (химически связанных) композитов на основе фосфатов кальция, в том числе кальций-фосфатных цементов брушитного типа. Достоверность результатов работы не вызывает сомнения, что подтверждается комплексом проводимых физико-химических методов исследований и атомистических расчетов, подробно описанных в разделе «Экспериментальная часть» текста диссертации, и согласованностью полученных результатов с имеющимися в литературе данными.

Результаты исследований диссертационной работы опубликованы в

4 научных журналах, включая 3 статьи в журналах, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук. Результаты работы представлены на 8 конференциях международного и всероссийского уровня в виде устных и стендовых докладов.

Диссертационная работа изложена на 109 страницах машинописного текста, иллюстрирована 40 рисунками и 28 таблицами. Список цитируемой литературы содержит 110 ссылок. Работа состоит из 7 разделов, включая список используемых обозначений, введение, литературный обзор, экспериментальную часть (описание методов синтеза и исследования материалов), обсуждение результатов, заключение, а также список литературы.

Во **введении** кратко обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи, показаны научная новизна и практическая значимость работы, а также описаны основные этапы исследования. В первом разделе, посвященном **обзору литературы**, рассмотрено строение кости и биоматериалов, описаны свойства биоматериалов, включающие в себя биорезорбируемость, совместимость, нетоксичность, механические свойства, также приведено описание кристаллических структур трикальцийфосфата ( $\alpha$ - и  $\beta$ - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), изоморфное замещение в которых рассматривается в работе, обсуждаются условия синтеза и применения реакционно-связанных материалов с армирующими компонентами для улучшения характеристик получаемых конечных продуктов. На основании проведенного обзора и анализа имеющейся литературы сделан вывод о научной актуальности сформулированных цели и задач работы. В **экспериментальной части** подробно изложены методы получения и исследования рассматриваемых в работе материалов. В разделе **обсуждение результатов** приведен анализ полученных в работе результатов исследований. В **заключении** подведены итоги работы, обозначены основные научные результаты, сформулированы выводы, даны рекомендации по дальнейшей научной разработке темы диссертационного исследования.

#### **Замечания по работе:**

При ознакомлении с материалами диссертации и автореферата Мусоева

Шарифа Ахатовича возникли следующие вопросы и замечания:

1. С чем связана существенная разница в пределах замещения  $\text{PO}_4^{3-}$  на  $\text{SiO}_4^{4-}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  в  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  при близких размерах этих трех анионов?
2. Как вид фазовых диаграмм систем  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{--NaCaPO}_4$  и  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{--KCaPO}_4$  связан с кристаллохимическими особенностями катионного замещения?
3. Какие диапазоны прочности характерны для  $\beta$ -ТКФ-цементов в целом, какие прочностные требования к цементам предъявляются использованием, как с этими требованиями соотносятся полученные в работе результаты?
4. Как рассмотренные в работе замещения влияют на биоактивность различных модификаций  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ?
5. Какие иные модели межатомных взаимодействий могут быть использованы в расчётах энергий дефектов в фосфатах?
6. Почему  $\beta$ - и  $\alpha$ - модификации  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  демонстрируют разное поведение при ионном замещении?

Автореферат в полной мере отражает содержание текста диссертации.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования **Мусоева Ш.А.** Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.4.15. Химия твердого тела (по химическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель **Мусоев Шарифджон Ахатович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.15. Химия твердого тела.

**Официальный оппонент:**

доктор технических наук, профессор РАН,  
заведующий кафедрой материаловедения и технологии материалов  
Инженерно-строительного института  
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный  
технологический университет имени В.Г. Шухова»

СТРОКОВА Валерия Валерьевна

---

*подпись*

1.12.2025 г.

*дата*

Контактные данные:

тел.: +7(4722) 55-87-85, e-mail: mitm@bstu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:  
05.23.05–Строительные материалы и изделия

Адрес места работы:

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, БГТУ им. В.Г. Шухова, инженерно-строительный институт, кафедра материаловедения и технологии материалов, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова»

Тел.: +7(4722) 55-87-85; e-mail: mitm@bstu.ru

Подпись сотрудника БГТУ им. В.Г. Шухова В.В. Строковой удостоверяю