

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Тихонова Андрея Александровича на тему «Композиционные материалы для костной пластики на основе гидрогелей, наполненных слоистыми фосфатами кальция», представленную на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности

1.4.15. Химия твёрдого тела

Диссертационная работа Тихонова А.А. посвящена разработке методов синтеза слоистых фосфатов кальция с заданной гранулометрией в контролируемых условиях и изготовлению из них гидрогелей с полиэтиленгликоль диакрилатами (ПЭГ-ДА) различной молекулярной массы и детальному изучению свойств таких композитных биоматериалов. Кроме того, существенную часть работы занимает обоснованный и целенаправленный подбор рецептур фотоотверждаемых суспензий, изучению их основных характеристик, определение основных параметров стереолитографической трехмерной печати, изучение достижимого разрешения и наконец проведение широкого круга медико-биологических исследований и испытаний *in vitro* и *in vivo*.

Выбранная тема работы безусловно актуальна, поскольку поиск новых биоматериалов для резорбируемых имплантов является важной практической задачей. Такие материалы могут стать передовой альтернативой традиционно используемым в хирургии металлам, сплавам, композитам или биоинертной керамики, например на основе стабилизированного оксида циркония или оксида алюминия.

Автором впервые был предложен и экспериментально апробирован ряд новых составов фотоотверждаемых суспензий на основе смесей ПЭГ-ДА, воды, фотоинициатора, красителя и минерального наполнителя. В ходе поиска состав варьировался в широких пределах, подбирался тип и концентрация красителя, массовая доля фотоинициатора и природа наполнителя. Отметим, что в литературе алифатические диакрилаты полиэтиленгликольного ряда различной молекулярной массы и смеси на их основе широко используются различными авторами как основа для стереолитографической печати. Тем не менее, оппонент утверждает, что в данных гидрогелиевых составах у соискателя и его соавторов явный приоритет.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке способов синтеза порошков слоистых фосфатов кальция, брушита  $\text{CaHPO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  и октакальцевого фосфата  $\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2(\text{PO}_4)_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ . В диссертации впервые изучена термическая эволюция замещенных ОКФ, а также алкилфосфатов кальция. Впервые показано, что наиболее проницаемые и податливые варианты имплантов с высокой пористостью до 70% реализуются в случае архитектур Кельвина и типа «гиرويد». Систематически изучены фотохимические свойства суспензий на основе полиэтиленгликоль диакрилатов, показана их существенная зависимость от состава. Впервые предложены в качестве импланта гидрогели на основе ПЭГ-ДА наполненные резобируемыми фосфатами кальция, созданные с помощью стереолитографической 3D-печати.

Практическая ценность работы состоит в разработке аналитической зависимости среднего размера частиц ( $d_{50}$ ) слоистых фосфатов кальция от параметров синтеза; установлении условий термолиза замещенных ОКФ и алкилфосфатов кальция, описаны составы фотоотверждаемых суспензий и основные параметры 3D печати для формирования композитного макропористого биоматериала и изготовлении прототипов композитных имплантов на основе ПЭГ-ДА гидрогелей.

Текст диссертации вычитан и богато иллюстрирован, каждая иллюстрация проработана тщательно и весьма наглядна. Работа изложена грамотным научным языком, подача материала в целом четкая и подробная. Достоверность результатов и сделанных выводов не вызывает сомнения.

На мой взгляд, все основные научные результаты диссертации Тихонова А.А. опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях, индексируемых основными библиографическими базами данных, а также доложены на ряде специализированных международных и всероссийских конференциях (временной охват 2017-2022 гг.).

Автореферат соискателя в полной степени отражает основные результаты, содержащиеся в диссертации. Текст автореферата в целом изложен логично и структурировано. Вместе с тем, оппонентом обнаружен незначительный изъян в

оформления автореферата, абзац «объем и структура работы» частично повторяет следующим за ним абзац «основное содержание работы» (стр. 8-9).

В тексте диссертации встречаются единичные опечатки/описки, например, «лиомнной кислоты». Отдельные позиции в списке литературы диссертации и автореферата содержат стилистические шероховатости и проблемы оформления, но отмечу, что таких примеров минимальное количество.

К работе есть несколько формальных замечаний и вопросов:

Первое, можно было бы более развёрнуто указывать характеристики исходных мономеров, например пикнометрическая плотность, кинематическая вязкость, природа и содержание ингибитора полимеризации (обычно МЕНQ или ВНТ, они же параметоксифенол и бутилгидрокситолуол, ибо их содержание может достигать до 1000 ppm), хотя бы по информации от поставщика.

Второе, все полученные в работе порошки слоистых фосфатов кальция охарактеризованы широким набором инструментальных методов. Однако оппонент не нашел данных по удельной поверхности таких порошков, а эта характеристика может быть критической для приготовления фотоотверждаемых суспензий и влиять, например, на предельное наполнение.

Третье, в работе представлены данные по вязкости суспензий на основе ПЭГ-ДА-700 с различным содержанием брусшита (рис. 4.67), но отсутствуют систематизированные данные для иных слоистых фосфатов кальция и мономеров. Было бы любопытно их увидеть.

Четвертое, что можно сказать о временной (седиментационной) стабильности изученных суспензий? Этот параметр потенциально важен для практического применения.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования и не снижают общую положительную оценку работы.

Диссертационное исследование Тихонова Андрея Александровича «Композиционные материалы для костной пластики на основе гидрогелей, наполненных слоистыми фосфатами кальция» по актуальности, новизне исследований, достоверности результатов, их практической значимости полностью

соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 2.1 – 2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова), а также паспорту специальности 1.4.15. Химия твердого тела (химические науки) и является законченной квалификационной научной работой, а её автор Тихонов Андрей Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.15. Химия твердого тела.

Старший научный сотрудник  
Лаборатории неорганических технологий  
Отдела неорганических технологий  
Курчатовского комплекса  
химических исследований (ИРЕА),  
кандидат химических наук  
(02.00.21 – Химия твердого тела,  
02.00.01 – Неорганическая химия)

Соколов  
Петр Сергеевич  
тел.: +7 (495) 9637350  
e-mail: sokolov-petr@yandex.ru,



04.12.2023

Подпись П.С. Соколова заверяю

Главный Ученый секретарь  
НИЦ «Курчатовский институт»

Борисов  
Кирилл Евгеньевич

Адрес НИЦ «Курчатовский институт»:  
123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1  
e-mail: nrcki@nrcki.ru  
<http://www.nrcki.ru>

