

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
Совет молодых ученых

# МОЛОДЕЖЬ В НАУКЕ 2021

Тезисы докладов  
XVIII Международной  
научной конференции  
молодых ученых  
(Минск, 27—30 сентября 2021 г.)

В двух частях

Часть 2

Медицинские,  
физико-  
математические,  
физико-  
технические  
науки, химия  
и науки о Земле

Минск  
«Беларуская навука»  
2021

снижения производительности и увеличения материальных и энергетических затрат.

Таким образом, полученные в этой работе результаты имеют несомненное значение для технологии препрегов, используемых для изготовления композитов различного назначения.

*И. Е. ГЛАЗОВ, В. К. КРУТЬКО, О. Н. МУССКАЯ*

## **ЖИДКОФАЗНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ НЕЗАМЕЩЕННОГО И КАРБОНАТ-ЗАМЕЩЕННОГО ГИДРОКСИАПАТИТА**

*Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
E-mail: che.glazov@mail.ru*

**Введение.** Синтетические костные имплантаты на основе гидроксиапатита (ГА)  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  вызывают большой интерес за счет их сродства к минеральной составляющей костной ткани – биогенному апатиту [1]. Тем не менее термодинамическая устойчивость ГА обуславливает его малую растворимость и пониженную скорость ремоделирования в нанокристаллический биогенный апатит [2]. Данные ограничения можно преодолеть путем введения ГА в состав композитов с менее устойчивыми фосфатами кальция, например трикальцийфосфатом (ТКФ)  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Наименее стабильной кальцийфосфатной фазой является аморфный фосфат кальция (АФК)  $\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ,  $n = 3,5-4,0$  [3], применение которого ограничено склонностью АФК к автокаталитической кристаллизации в апатит в водных растворах. Вместе с тем аморфизированный ГА и АФК обладают повышенной биоактивностью за счет наноразмерной структуры, что делает композит на их основе перспективным бифазным биоматериалом [1].

Цель данной работы – выявление факторов стабилизации АФК в условиях жидкофазного синтеза незамещенных и карбонат-замещенных апатитов для последующей разработки низкотемпературных кальцийфосфатных биокомпозитов.

**Материалы и методы.** Синтез фосфатов кальция осуществляли взаимодействием растворов 0,6 М  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  и 0,6 М  $\text{CaCl}_2$ , а для карбонат-ГА среда осаждения дополнительно содержала 0,6 М  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ . Образцы ГА и карбонат-ГА получали в равновесных условиях медленного смешивания реагентов при  $\text{Ca/P}$  1,67, pH 9 с последующим выдерживанием осадков под маточным раствором в течение 4 сут, а ТКФ и АФК – в неравновесных условиях быстрого взаимодействия реагентов при  $\text{Ca/P}$  1,50, pH 9 и выдерживания осадков под маточным раствором не более 30 мин. Полученные осадки промывали дистиллированной водой до pH 7, АФК дополнительно обезвоживали этанолом. Идентификацию образцов проводили после их высушивания при 60 °С до постоянной массы и прогрева при 400–800 °С в течение 2–5 ч, методами

рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре ADVANCE D8 (Bruker, Германия) при  $\text{CuK}_\alpha$  1,5405 Å и дифференциально-термического анализа (ДТА) на совмещенном термическом анализаторе STA 409 PC LUXX (NETZSCH, Германия) на воздухе при скорости нагрева 10°C/мин.

**Результаты и выводы.** Дифрактограммы аморфизированных апатитов после 400 °С (рис. 1, кривые 1–3) представлены характерным рентгеноаморфным гало при  $2\theta$  30–35°, степень разрешения которого убывает в ряду ГА–ТКФ–карбонат-ГА. Пониженная разрешенность апатитного гало ТКФ и карбонат-ГА предположительно связана с присутствием АФК, который на дифрактограммах представлен широким рентгеноаморфным гало при  $2\theta$  26–36° (рис. 1, кривая 4). Дифрактограммы ГА и карбонат-ГА после 800 °С представлены преимущественно фазой ГА (рис. 1, кривые 1, 2), а присутствие побочной фазы СаО в составе карбонат-ГА свидетельствует о его термической нестабильности [5]. Основной фазой образцов ТКФ и АФК после 800 °С являлся  $\beta$ -ТКФ (рис. 1, кривые 3, 4), а в составе АФК дополнительно присутствовал  $\alpha$ -ТКФ, который образуется из аморфной фазы при 650 °С [3, 4]. Присутствие АФК в образце карбонат-ГА с равновесными условиями получения (рис. 1, кривая 2) может быть связано со стабилизирующим влиянием карбонат-ионов [3], а в случае ТКФ (рис. 1, кривая 3) образование включений АФК обусловлено неравновесными условиями получения. Согласно результатам нашего предыдущего исследования [4], характерным признаком композитов ГА/АФК с рН осаждения 11 является образование сопутствующей фазы  $\alpha$ -ТКФ после 800 °С. Однако дифрактограммы карбонат-ГА и ТКФ при рН осаждения 9 после 800 °С не содержали рефлексов  $\alpha$ -ТКФ, что обуславливает необходимость привлечения дополнительных методов идентификации бифазных систем ГА/АФК.

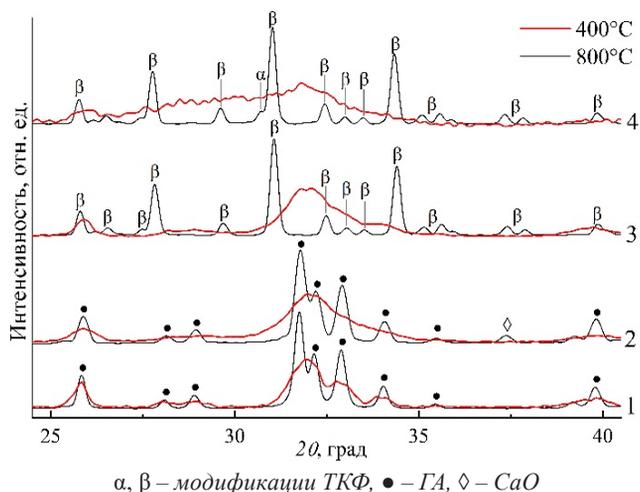


Рис. 1. Дифрактограммы после 400–800 °С. Образцы: 1 – ГА, 2 – карбонат-ГА, 3 – ТКФ, 4 – АФК

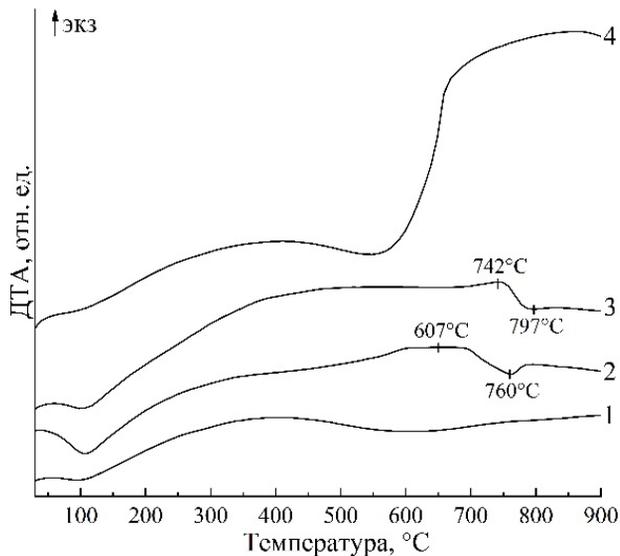


Рис. 2. Кривые ДТА. Образцы: 1 – ГА, 2 – карбонат-ГА, 3 – ТКФ, 4 – АФК

Дополнительную идентификацию включений АФК [3], которые не проявились на дифрактограммах, осуществляли методом ДТА по характерному экзотермическому эффекту его кристаллизации (рис. 2). Полученные данные указывают на термическую устойчивость стехиометрического однофазного ГА (рис.2, кривая 1). На кривых ДТА образцов карбонат-ГА и ТКФ (рис. 2, кривые 2, 3) присутствовали экзотермические эффекты кристаллизации включений АФК при 607 и 762 °С, а последующие эндотермические эффекты соответствовали разложению карбонат-ГА при 760 °С (рис. 2, кривая 2) либо кристаллизации  $\beta$ -ТКФ при 797 °С (рис. 2, кривая 3). В случае АФК (рис. 2, кривая 4) широкий интенсивный экзотермический эффект в диапазоне 700–900 °С соответствует последовательному превращению АФК  $\rightarrow$   $\alpha$ -ТКФ  $\rightarrow$   $\beta$ -ТКФ. Именно термические эффекты кристаллизации АФК являются надежным указателем присутствия включений данной фазы в составе апатитов, осажденных из водных растворов.

Результаты комплексного анализа методами РФА/ДТА указывают на формирование бифазных композитов ГА/АФК в условиях жидкофазного синтеза. Стабилизация фазы АФК в композите происходила при неравновесных условиях получения и в присутствии карбонат-ионов. Результаты исследования могут быть использованы при разработке материалов для костной пластики с управляемой резорбируемостью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственной программы научных исследований по заданию 2.1.04 НИР 7 на 2021–2025 гг. и гранта НАН Беларуси № 2021-27-173 на 2021 г.

## Литература

1. Dorozhkin, S. V. Calcium orthophosphate bioceramics / S. V. Dorozhkin // *Ceramics International*. – 2015. – Vol. 41, N 10. – P. 13913–13966.
2. Stabilisation of amorphous calcium phosphate in polyethylene glycol hydrogels / M. Schweikle [et al.] // *Acta biomaterialia*. – 2019. – Vol. 90. – P. 132–145.
3. Combes, C. Amorphous calcium phosphates: synthesis, properties and uses in biomaterials / C. Combes, C. Rey // *Acta biomaterialia*. – 2010. – Vol. 6, N 9. – P. 3362–3378.
4. Стабилизация низкотемпературного прекурсора  $\alpha$ -трикальцийфосфата в условиях осаждения гидроксиапатита / И. Е. Глазов [и др.] // XVII Междунар. науч. конф. «Молодежь в науке – 2020», г. Минск, 22–25 сент. 2020 г. – Минск: Беларуская навука, 2020. – С. 501–503.
5. Жидкофазный синтез карбонат-гидроксиапатита / И. Е. Глазов [и др.] // *Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук*. 2019. – № 4. – С. 391–399.

А. А. ГРАПОВ

## ИЗУЧЕНИЕ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ЖИРОВ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

*Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси,  
Гомель, Беларусь  
E-mail: anton.grapov.ru@gmail.com*

**Введение.** В настоящее время рост экологической напряженности привел ряд стран к необходимости разработки нового подхода к решению проблем предотвращения загрязнения окружающей среды продуктами нефтепереработки, широко используемыми в промышленном секторе.

В рамках технологии разработки и эксплуатации смазочных материалов использование нефтяных минеральных масел в качестве базовой основы обуславливает проблему загрязнения окружающей среды. Альтернативой в данном случае могут служить жиры животного происхождения. Возобновляемость и высокая биоразлагаемость сырья позволяет использовать данные продукты для производства всех видов смазочных материалов, что определяет актуальность развития данного направления.

В производстве смазочных материалов используются животные и растительные жиры, а также жирные кислоты, выделенные из природного и синтетического сырья. Из жиров животного происхождения в производстве смазок применяются говяжий и гусиный жиры, конское, баранье и свиное сало и др. По химическому составу они представляют собой полные сложные эфиры глицерина и высших одноосновных карбоновых кислот. Насыщенные жирные кислоты чаще всего представлены стеариновой, пальмитиновой кислотами, а ненасыщенные – линолевой кислотой [1].

Высококачественные смазочные материалы изготавливают на основе индивидуальных жирных кислот или их смесей определенного состава. Широкое