

шение параметров элементарной ячейки фазы ГА в образцах CuГА по сравнению с немодифицированным ГА ( $a=9,425 \text{ \AA}$ ,  $c=6,887 \text{ \AA}$ ), является косвенным доказательством того, что ионы меди входят в кристаллическую решетку ГА.

По данным РСМА образцов CuГА мольное соотношение Ca/P ( $\sim 1,8$ ) в них укладывается в диапазон (1,5–2,0) для биогенного ГА и значительно отличается от него для стехиометрического ГА (1,67).

Растворимость (резорбируемость) модифицированных образцов CuГА в физиологическом растворе при температуре  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ , близкой к физиологической, в среднем на один-полтора порядка ниже, чем у незамещенного ГА.

Биологическое тестирование [2] полученных образцов CuГА на их антибактериальную активность по отношению к золотистому стафилококку (*S. aureus*) показало, что образцы CuГА при  $x=0,01$ ;  $0,05$  не проявляют подавляющего воздействия на численность бактерий в

жидкой среде. Численность бактерий с этими образцами мало отличается от отрицательного и положительного контролей; статистически достоверность различий не установлена. Но отмечено, что с увеличением содержания замещающего иона численность бактерий уменьшается. Образец CuГА при  $x=0,1$  проявляет антибактериальную активность небольшой интенсивности; она оказывается наибольшей среди образцов всей серии ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, все полученные в условиях СВЧ-воздействия образцы CuГА являются высококристаллическими с преобладанием фазы гидроксиапатита ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ); их растворимость в физиологическом растворе соизмерима с таковой для немодифицированного ГА. Небольшая антибактериальная активность образцов CuГА по отношению к *S. aureus* позволяет в перспективе рекомендовать их в качестве минерального компонента для костных имплантов.

### Список литературы

1. Рассказова Л. А., Коротченко Н. М., Зеер Г. М. СВЧ-синтез гидроксиапатита и физико-химическое исследование его свойств // Журнал прикладной химии, 2013. – Т. 86. – № 5. – С. 744–748.
2. Войно Л. И., Строева С. С., Устинова Ю. В. Методические указания к лабораторному практикуму по дисциплине «Общая биология и микробиология» для студентов направления 240700.62 «Биотехнология». – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та пищ. производств, 2013. – 50 с.

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ГИДРОКСИАПАТИТА

О. О. Николаева, Н. М. Балтабаева

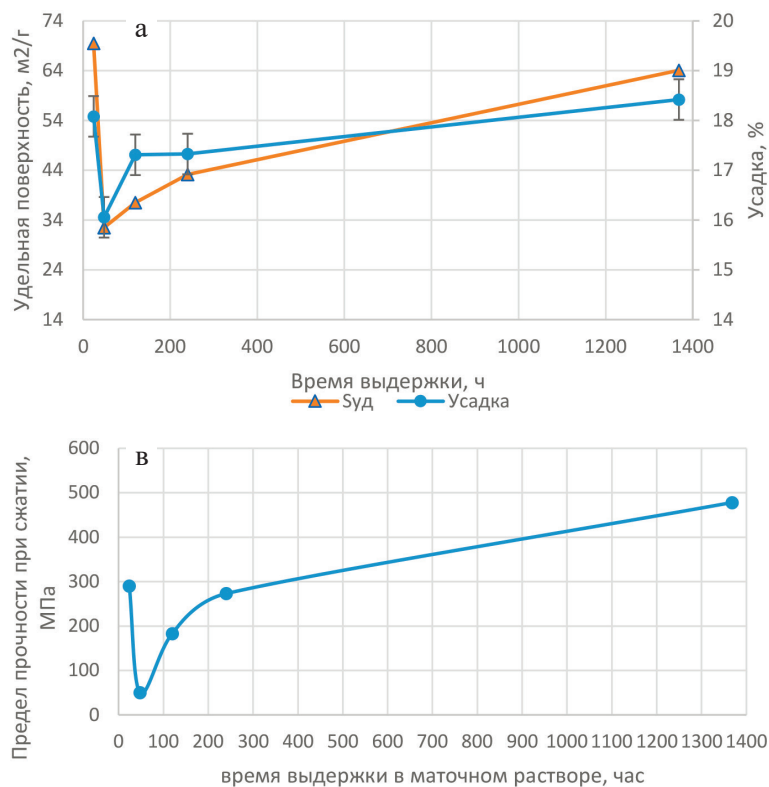
Научный руководитель – д.т.н., профессор НОЦ Н. М. Кижнера Т. А. Хабас

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, oonikolaeva@tpu.ru

Гидроксиапатит  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  широко применяется в восстановительной медицине, т. к. его химический состав близок к минеральной фазе костей млекопитающих. Известно, что высокой остеостимулирующей активностью обладает собственная кость организма. Её применение индуцирует биологические реакции и не вызывает конфликтных реакций, т. к. такая кость иммунологически своя. Однако использование такого материала сопряжено с травмой в момент забора, необходимостью открытия второго операционного поля [1]. Природный ГАП животного происхождения извлекают из костей

крупнорогатого скота, но такой материал не обладает требуемой скоростью биодеградации внутри организма, и его получение является дорогостоящим процессом, требующий значительных энергозатрат. Поэтому перспективным и широко применяемым является получение синтетических фосфатов кальция и, особенно, гидроксиапатита.

Несмотря на прогресс, достигнутый в последние годы, проблема создания биоматериалов с механическими и биологическими свойствами, имитирующими натуральную кость, остается открытой [2].



**Рис. 1.** Зависимость  $S_{\text{уд}}$  порошков гидроксиапатита, усадки (А) и предела прочности образцов (В) после спекания при  $T = 1250\text{ }^{\circ}\text{C}$  от времени выдержки в маточном растворе

Кроме прочих биомедицинских свойств необходимо, чтобы синтезированный гидроксиапатит обеспечивал механическую стабильность имплантатов до восстановления собственной кости.

В данной работе использовался химический синтез гидроксиапатита из растворов нитрата кальция и гидрофосфата аммония. Поскольку известно, что биорезорбируемость материала на основе кальцийфосфатных соединений зависит от состава и дисперсности, спекание порошков также зависит от размерности исходных частиц, то большое внимание в работе уделялось получению наноразмерных материалов и изучению зависимости дисперсности материала от условий синтеза. В ходе выполнения эксперимента

было отмечено большое влияние времени выдержки синтезированного порошка в маточном растворе.

Исследование площади удельной поверхности по методу БЭТ и анализ электронномикроскопических снимков показали, что агломераты гидроксиапатита при выдержке в маточном растворе сначала резко увеличиваются в размере, за счет чего падает удельная поверхность (48 часов), затем постепенно начинают разрушаться за счёт формирования кристаллов гидроксиапатита. Значение площади удельной поверхности полностью согласуется с размером частиц ГАП (не более 60 нм), что, соответственно, отражается на процессе спекания (рис. 1) и прочности спеченных образцов.

### Список литературы

1. Nosova M. A., [et al.] // *Parodontologiya*, 2021. – 26 (4). – P. 317–326.
2. Хабилов Н., Зиядуллаева Н., Хабилов Д., Буранов Б. // *Медицина и инновации*, 2021. – 1 (1). – 52–56.