Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

**PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS
OF THE STUDY OF CLUSTERS,
NANOSTRUCTURES AND
NANOMATERIALS**

**FIZIKO-HIMIČESKIE ASPEKTY
IZUČENIÂ KLASTEROV,
NANOSTRUKTUR I NANOMATERIALOV**

выпуск 13

ТВЕРЬ 2021

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в журнале «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

<https://www.physchemaspects.ru>

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]. – Тверь: Издательство Тверского государственного университета, 2021. – Вып. 13. – 956 с.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-47789 от 13.12.2011.

Издание составлено из оригинальных статей, кратких сообщений и обзоров теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Журнал предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

Переводное название: Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials

Транслитерация названия: Fiziko-himičeskie aspekty izučeniâ klasterov, nanostruktur i nanomaterialov

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Print ISSN 2226-4442

Online ISSN 2658-4360

© Коллектив авторов, 2021

© Тверской государственнй университет, 2021

УДК 620.22 – 617.3: 661.635.41; 621.762.5

Оригинальная статья

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОРАЗМЕРНОГО АПАТИТА СО СВЯЗУЮЩИМ АГЕНТОМ – ЖЕЛАТИН

Е.А. Богданова, В.М. Скачков

ФГБУН «Институт химии твердого тела Уральского отделения

Российской академии наук»

620108, Россия, Екатеринбург, ул. Первомайская, 91

chemi4@rambler.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2021.13.664

Аннотация: Порошки наноразмерных гидроксиапатита и фторапатита синтезированы методом осаждения из растворов. В качестве связующего вещества использован пищевой желатин. Такая композиция имеет высокую адгезию на материалах различной природы и пористости. Получены также пористые пленки и гранулы с развитой удельной поверхностью. Рассмотрены их микроструктуры. Изучена возможность использования коллоидной суспензии и водной суспензии кристаллического апатита в сочетании с раствором желатина в качестве биоактивного материала, как для создания покрытий, так и получения гранул. Установлено, что использование порошка апатита совместно с желатином позволяет существенно сократить сроки формирования биоактивного покрытия и значительно повысить его адгезионную прочность. Сопоставлены получаемые гранулы апатита по размерам в зависимости от концентрации желатина в водном растворе. На разработанные биоактивные покрытия и гранулированный материал на основе наноразмерного апатита со связующим агентом поданы заявки на патент.

Ключевые слова: гидроксиапатит, фторапатит, желатин, коллаген, биоматериал, биоактивные покрытия, адгезия, гранулы.

1. Введение

При получении композиционных материалов часто применяют различные органические соединения, получая, например, металлополимерные нанокомпозиты [1]. Для биологических материалов также применяют различные связующие: полилактид, поливиниловый спирт и пр. [2, 3]. Гидроксиапатит $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ (ГАП) в современном материаловедении наиболее часто используемый биоматериал [4, 5], его высокая биосовместимость способствует использованию для лечения и замещения костной ткани. Фторапатит $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$ (ФАП) имеет свои преимущества в сравнении с другими апатитами, например, термическая устойчивость [6], но это не самый важный его аспект, чаще этот материал используют в качестве носителя связанного фтора, взамен фторида натрия, для восстановления зубной эмали, реминерализации костной ткани и дентина и пр. [7-11]. Проблема регенерации костных и мягких тканей указывает направление в поиске новых лекарственных форм, улучшении адгезии и эффективного взаимодействия лекарственных средств и биоматериалов с тканями и системами организма. ГАП и ФАП связанные

желатином в качестве естественных стимуляторов образования костной ткани могут стать биологически активными материалами, в которых в достаточном количестве присутствуют необходимые для роста и регенерации костей вещества, и применяться в медицине.

Наноразмерность порошков ГАП и ФАП (см. рис. 1 из [12]) позволяет получать однородную пластичную суспензию, которая прекрасно подходит для формирования покрытия.

Целью данной работы стало исследование адгезионных свойств на подложках различной природы, структуры и гранулируемости композиционного материала на основе нанодисперсных ГАП и ФАП с желатином.

Рис. 1. Микрофотографии ГАП (а) и ФАП (б) [12].

2. Материалы и методы

ГАП $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ и ФАП $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$ были получены методом осаждения из раствора в соответствии [13, 14], а коллоидные суспензии были высушены на воздухе. Связующее вещество – желатин пищевой [15]. Металлические основы-подложки: титан пористый (45%), пластины из титана марки ВТ1-0; пористый никель (40% и 95%), пластины из никеля марки Н-3; неметаллические материалы подложки: пластина из глинозема (алунд), стекло листовое бесцветное. Для покрытия подложек готовилась суспензия ГАП/ФАП-желатин: пищевой желатин в расчетном количестве заливали расчетным же объемом дистиллированной воды и выдерживали 15 мин для набухания, далее грели на водяной бане при 60–80 °С при перемешивании до полного растворения желатина. В этот теплый раствор при постоянном перемешивании вводили коллоидный либо порошковый кристаллический ГАП/ФАП, суспензия доводилась до нужной консистенции. Наносился биоактивный слой однократным смачиванием подложки в подготовленной суспензии. Предварительно подложки обезжиривались этиловым спиртом и сушили на воздухе при 50–75 °С. Во

время сушки происходило связывание апатита коллагеном, находящемся в желатине, и на поверхности подложек формировался ровный, гладкий слой биоактивного покрытия (ГАП/ФАП, пропитанного коллагеном), максимально соответствующего костной ткани.

Гранулирование ГАП/ФАП-желатин проводили на вибрационном грануляторе, который состоял из фторопластовой чаши, помещенной на перемешивающее устройство LS 110. На чашу вибрационного гранулятора, при частоте колебаний $200\text{--}300\text{ с}^{-1}$ подавался порошок кристаллического гидроксиапатита, слоем достаточным для покрытия всей поверхности гранулятора и опрыскивается теплым водным раствором желатина с различной его концентрацией.

Морфологию поверхности исследуемых образцов изучали на сканирующем электронном микроскопе JSM–6390 LA, JEOL (коэффициент увеличения от $\times 5$ до $\times 300000$, разрешающая способность $3,0\text{ нм}$ при 30 кВ). Поверхностные характеристики оценивали методом Брунауэра, Эммета и Тейлора (низкотемпературной адсорбции азота с помощью автоматического анализатора площади поверхности и пористости Gemini VII 2390 V1.03 (V1.03t, Micromeritics) при $T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 часа. Прочность сцепления биоактивного покрытия с основой определяли методом центробежного отрыва на центрифуге CM-6M, ELMi; центростремительное ускорение 500 м/с^2 . Адгезионную прочность D покрытий на матрицах различной природы (титан, никель, керамика, стекло) и пористости рассчитывали в соответствии с формулой:

$$P = m \times \omega^2 \times r / S,$$

где m – масса покрытия, ω – угловая скорость вращения в момент разрыва, r – расстояние от центра масс до оси вращения центрифуги, S – площадь контакта покрытия и подложки. Оценка прочностных характеристик проводилась на микротвердомере ПМТ-3М (нагрузка $0,98\text{ Н}$ (100 г), время нагружения – 10 с).

3. Результаты и обсуждение

Варьирование концентрационного интервала ГАП/ФАП позволяет использовать суспензию апатит-желатин для получения пленок различной толщины. При содержании фазы апатита $\leq 35\text{ мас.}\%$ образуются тонкие пористые пленки с размером пор $100\text{--}400\text{ мкм}$ (см. рис. 2 а). С увеличением доли апатита в суспензии пленки становятся сплошными. При содержании в суспензии ГАП/ФАП $50\text{--}55\text{ мас.}\%$ можно формировать бескаркасные биodeградируемые структуры (гранулы). Из суспензии с различным содержанием апатита в растворе желатина сформированы покрытия на поверхности компактных и пористых материалов (см. рис. 2 б, Таблицу 1). Образование более развитой поверхности при использовании материала

покрытия суспензии ГАП-желатин подтверждено методом БЭТ, характеристики поверхности пористого титана (45 %) до и после покрытия представлены в Таблице 2.

Экспериментально установлено, что при использовании 5–10 % коллоидного ГАП/ФАП [16] в качестве компонента суспензии желатин-апатит пластичный однородный материал не получить, сформированные покрытия разрывает после высушивания, оставляя значительные части основы непокрытыми пленкой из-за низкой исходной концентрации апатита.

Таблица 1. Результаты обработки поверхности различных материалов водно-желатиновой суспензией порошка апатита (ГАП/ФАП).

Материал основы	Характеристики покрытия			
	Доля апатита, масс. %	Адгезия, Н/м ²	Потеря веса при высушении, %	Микротвердость, НВ, МПа
титан пористый (45 %)	35	1122	60,7	22
никель пористый (40 %)	40	1089	48,2	19
пластина титана	45	606	42,9	10
пластина никеля	45	991	42,5	11
керамика	50	1323	43,2	12
стекло	55	1221	42,1	14

а

б

Рис. 2. Микрофотографии поверхности пленки ГАП–желатин с открытой пористостью (а) и поверхности покрытия ГАП–желатин, нанесенного на пористый титан (45 %) (б).

Данные в Таблице 1 явно показывают, что при обработке матриц различной природы водно-желатиновой суспензией порошков ГАП или ФАП природа и пористость матрицы на адгезию покрытия практически не влияют, т.е. способ нанесения приобретает универсальность.

Подготовленные в форме гранул биологически активные медицинские материалы могут быть востребованы в травматологии и реконструктивно-восстановительной хирургии, стоматологии, а также в системе доставки лекарственных препаратов. Использование раствора

желатина позволяет получить гранулы (см. рис. 3) определенного размера за счет изменения концентрации желатина, а также размер гранул можно увеличивать повторной обработкой (см. Таблицу 3).

Таблица 2. Характеристики поверхности пористого титана (45 %) и с нанесенным покрытием суспензией ГАП-желатин: S_{red} – площадь удельной поверхности, S_p, V_p – площадь и объем пор соответственно.

Исследуемый образец	Характеристика поверхности		
	S_{red} , м ² /г	S_p , м ² /г	V_p , см ³ /г
Пористый титан (45 %) – исходный	0,3256 ± 0,0453	1,3652	0,000783
ГАП-желатин	85,3228 ± 0,6884	6,4569	0,003670

а

б

Рис. 3. Микрофотографии внешнего вида гранулы на основе гидроксиапатита, общий вид (а), поверхность (б).

Таблица 3. Разделение гранул апатита (ГАП/ФАП) по фракциям после грануляции при орошении растворами желатина разной концентрации.

Фракция, мм	Содержание желатина в растворе, %					Повторная обработка гранул 10 % раствором желатина
	1	2,5	5	10	15	
	Выход гранул во фракции, %					
≥ 10	0	0	0	14,35	20,1	60,06
7-10	18,1	8,5	8,49	20,22	34,9	24,92
5-7	30,2	21,6	22,04	20,96	17,23	11,32
3-5	26,4	15,3	15,16	11,19	13,25	3,08
0,5-3,0	7,8	25,7	25,59	19,73	10,15	0,51
0,25-0,5	17,5	28,9	28,71	13,55	4,37	0,12
итого	100	100	100	100	100	100

После гранулирования ГАП/ФАП на вибрационном грануляторе конечный продукт пропитанный желатином можно получать разных фракций по крупности, от 250 мкм до 10 мм и более, с пористостью 0,5–1,5 м²/г и объемом пор (3,47–7,43)·10⁻⁴ см³/г.

4. Заключение

Таким образом, проведены исследования по подбору состава материала покрытия апатит-желатин, который пригоден для нанесения на матрицы различной природы и пористости. Хорошее покрытие получено на следующих основах: пористые титан и никель, пластины титана и никеля, стекла и керамики, эти покрытия были сформированы из водно-желатиновой суспензии порошка апатита, содержание ГАП/ФАП 35–55 мас.%. Введение связующего агента (желатин) позволяет существенно сократить сроки формирования покрытия, значительно повышает адгезионную прочность и способствует образованию равномерной развитой поверхности на пористых и гладких, в том числе стеклянных подложках. Регулируя содержание ГАП в суспензии, можно наряду с покрытиями и тонкими пленками, получать бескаркасные биодеградируемые структуры из суспензий с повышенной пластичностью.

Применяя метод грануляции при орошении ГАП/ФАП раствором желатина можно формировать гранулы различной крупности. Для увеличения размера гранул операцию гранулирования следует повторить и к уже образовавшимся гранулам апатит-желатин добавить кристаллический апатит в гранулятор и обработать раствором желатина. В результате получают прочные гранулы из биоактивного материала на основе гидроксиапатита или фторапатита пропитанного желатином – коллагеном природного происхождения, это, например, позволит предотвратить пыление наноразмерных порошков при транспортировке. Получить же обратно водную суспензию можно обработкой гранул горячей водой необходимого объема.

*Работа выполнена в соответствии с государственным заданием и планами НИР ИХТТ
УрО РАН.*

Библиографический список:

1. **Помогайло, А.Д.** Металлополимерные гибридные нанокомпозиты / А.Д. Помогайло, Г.И. Джардималиева. – М.: Наука, 2015. – 494 с.
2. **Мусская, О.Н.** Трехмерные модели на основе полилактида и гидроксиапатита / О.Н. Мусская, В.К. Крутько, А.И. Кулак и др. // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2019. – Вып. 11. – С. 326-335. DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.326.
3. **Мусская, О.Н.** Синтез фосфатов магния в полимерной матрице / О.Н. Мусская, В.К. Крутько, А.И. Кулак // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2020. – Вып. 12. – С. 860-867. DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.860.
4. **Баринов, С.М.** Биокерамика на основе фосфатов кальция / С.М. Баринов, В.С. Комлев. – М.: Наука, 2006. – 204 с.
5. **Tadic, D.** A thorough physicochemical characterisation of 14 calcium phosphate-based bone substitution materials in comparison to natural bone / D. Tadic, M. Epple // Biomaterials. – 2004. – V. 25. – I. 6. – P. 987-994. DOI: 10.1016/S0142-9612(03)00621-5.
6. **Богданова, Е.А.** Исследование термической устойчивости фторзамещенного ГАП / Е.А. Богданова, Н.А. Сабирзянов // Материаловедение. – 2015. – № 1. – С. 52-56.
7. **Wei, J.** Development of fluorapatite cement for dental enamel defects repair / J. Wei, J. Wang, W. Shan et al.

- // Journal of Materials Science: Materials in Medicine. – 2011. – V. 22. – I. 6. – P. 1607-1614. DOI: 10.1007/s10856-011-4327-2.
8. **Khan, A.S.** Synthesis and characterizations of a fluoride-releasing dental restorative material / A.S. Khan, S. Aamer, A.A. Chaudhry, F.S.L. Wong, I.U. Rehman // Materials Science and Engineering: C. – 2013. – V. 33. – I. 6. – P. 3458-3464. DOI: 10.1016/j.msec.2013.04.029.
9. **Elghazel, A.** Mechanical and tribological properties of tricalcium phosphate reinforced with fluorapatite as coating for orthopedic implant / A. Elghazel, R. Taktak, K. Elleuch, J. Bouaziz // Materials Letters. – 2018. – V. 215. – P. 53-57. DOI: 10.1016/j.matlet.2017.12.044.
10. **Kazuz, A.** α -Tricalcium phosphate/fluorapatite based composite cements: Synthesis, mechanical properties, and biocompatibility / A. Kazuz, Ž. Radovanović, Dj. Veljović et al. // Ceramics International. – 2020. – V. 46. – I. 16. – Part A. – P. 25149-25154. DOI: 10.1016/j.ceramint.2020.06.301.
11. **Легких, А.В.** Морфофункциональные особенности эмали и принципы превентивной терапии пациентов с ранними проявлениями повышенной стираемости зубов: дис. ... канд. мед. наук : 14.01.14: защищена 05.02.19 / Легких Александр Владимирович. – Екатеринбург: Ур. гос. мед. ун-т, 2018. – 151 с.
12. **Bogdanova, E.A.** Formation of nanodimensional structures in precipitated hydroxyapatite by fluorine substitution / E.A. Bogdanova, V.M. Skachkov, I.S. Medyankina et al. // SN Applied Sciences. – 2020. – V. 2. – I. 9. – Art. № 1565. – 7 p. DOI: 10.1007/s42452-020-03388-5.
13. **Пат. 2406693 Российская Федерация, МПК C01B25/32.** Способ получения суспензии гидроксиапатита / Сабирзянов Н.А., Богданова Е.А., Хонина Т.Г.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии твердого тела УрО РАН. – № 2008140563/15; заявл. 13.10.08; опубл. 20.12.10, Бюл. № 35. – 5 с.
14. **Пат. 2652193 Российская Федерация, МПК C01B25/32.** Способ получения суспензии апатита / Богданова Е.А., Сабирзянов Н.А., Скачков В.М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии твердого тела УрО РАН. – № 2017113484; заявл. 19.04.17; опубл. 25.04.18, Бюл. № 12. – 5 с.
15. Желатин. Технические условия: ГОСТ 11293-89. – Взамен ГОСТ 11293-78, ГОСТ 4821-77, ГОСТ ЭД 1 4821-87, ТУ 10-02-01-21-86; введ. 01.07.1991. – М.: ИПК Изд-во Стандартов, 1989. – 24 с.
16. **Богданова, Е.А.** Исследование реологических свойств гидроксиапатита и фторапатита, находящихся в коллоидном состоянии / Е.А. Богданова, В.М. Скачков // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2020. – Вып. 12. – С. 525-534. DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.525.

References:

1. Pomogailo A.D., Dzhardimalieva G.I. *Metallopolimernye gibridnye nanokompozity* [Metal-polymer hybrid nanocomposites]. Moscow, Nauka Publ., 2015, 494 p. (In Russian).
2. Musskaya O.N., Krut'ko V.K., Kulak A.I. i dr. Trekhmernye modeli na osnove polilaktida i gidroksiapatita [Three-dimensional models based on polylactide and hydroxyapatite], *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov* [Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials], 2019, issue 11, pp. 326-335. DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.326. (In Russian).
3. Musskaya O.N., Krut'ko V.K., Kulak A.I. Sintez fosfatov magniya v polimernoj matritse [Synthesis of magnesium phosphates in a polymeric matrix], *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov* [Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials], 2020, issue 12, pp. 860-867. DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.860. (In Russian).
4. Barinov S.M., Komlev V.S. *Biokeramika na osnove fosfatov kal'tsiya* [Calcium phosphate bioceramics]. Moscow, Nauka Publ., 2006, 204 p. (In Russian).
5. Tadic D., Epple M. A thorough physicochemical characterisation of 14 calcium phosphate-based bone substitution materials in comparison to natural bone, *Biomaterials*, 2004, vol. 25, issue 6, pp. 987-994. DOI: 10.1016/S0142-9612(03)00621-5.
6. Bogdanova E.A., Sabirzyanov N.A. Issledovanie termicheskoy ustojchivosti fluorozameshchennogo GAP [Investigation of the thermal stability of fluorine-substituted HAP], *Materialovedenie* [Materials Science], 2015, no. 1, pp. 52-56. (In Russian).
7. Wei J., Wang J., Shan W. et al. Development of fluorapatite cement for dental enamel defects repair, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 2011, vol. 22, issue 6, pp. P. 1607-1614. DOI: 10.1007/s10856-011-4327-2.
8. Khan A.S., Aamer S., Chaudhry A.A., Wong F.S.L., Rehman I.U. Synthesis and characterizations of a fluoride-releasing dental restorative material, *Materials Science and Engineering: C*, 2013, vol. 33, issue 6, pp. 3458-3464. DOI: 10.1016/j.msec.2013.04.029.

9. Elghazel A., Taktak R., Elleuch K., Bouaziz J. Mechanical and tribological properties of tricalcium phosphate reinforced with fluorapatite as coating for orthopedic implant, *Materials Letters*, 2018. vol. 215, pp. 53-57. DOI: 10.1016/j.matlet.2017.12.044.
10. Kazuz A., Radovanović Ž., Veljović Dj. et al. α -Tricalcium phosphate/fluorapatite based composite cements: Synthesis, mechanical properties, and biocompatibility, *Ceramics International*, 2020, vol. 46, issue 16, part A, pp. 25149-25154. DOI: 10.1016/j.ceramint.2020.06.301.
11. Legkikh A.V. *Morfofunktsional'nye osobennosti emali i printsipy preventivnoj terapii patsientov s rannimi proyavleniyami povyshennoj stiraemosti zubov* [Morphofunctional features of enamel and principles of preventive therapy in patients with early manifestations of increased tooth erasability], Cand. med. sci. diss. Ekaterinburg, Ural State Medical University Publ., 2018, 151 p. (In Russian).
12. Bogdanova E.A., Skachkov V.M., Medyankina I.S. et al. Formation of nanodimensional structures in precipitated hydroxyapatite by fluorine substitution, *SN Applied Sciences*, 2020, vol. 2, issue 9, art. no. 1565, 7 p. DOI: 10.1007/s42452-020-03388-5.
13. Sabirzyanov N.A., Bogdanova E.A., Khonina T.G. *Sposob polucheniya suspenzii gidroksiapatita* [A method of obtaining a suspension of hydroxyapatite]. Patent RF, no. 2406693, 2010. (In Russian).
14. Bogdanova E.A., Sabirzyanov N.A., Skachkov V.M. *Sposob polucheniya suspenzii apatita* [A method of obtaining a suspension of apatite]. Patent RF, no. 2652193, 2018. (In Russian).
15. *Zhelatin. Tekhnicheskie usloviya: GOST 11293-89* [Gelatin. Specifications: State Standard 11293-89]. Moscow, IPK Standartov Publ., 1989. 24 p. (In Russian).
16. Bogdanova E.A., Skachkov V.M. Issledovanie reologicheskikh svoystv gidroksiapatita i fluorapatita, nakhodyashchikhsya v kolloidnom sostoyanii [Investigation of rheological properties of hydroxyapatite and fluorapatite in colloidal state], *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov* [Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials], 2020, issue 12, pp. 525-534. DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.525. (In Russian).

Original paper

PROMISING COMPOSITE MATERIALS BASED ON NANOSCALE APATITE WITH GELATIN AS A BINDING AGENT

E.A. Bogdanova, V.M. Skachkov

Institute of Solid State Chemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

DOI: 10.26456/pcascnn/2021.13.664

Abstract: Nanoscale hydroxyapatite and fluorapatite powders were synthesized by precipitation from solutions. Food gelatin is used as a binder. This composition has a high adhesion on materials of different nature and porosity. Porous films and granules with a developed specific surface area were also obtained. Their microstructures are considered. The possibility of using a colloidal suspension and an aqueous suspension of crystalline apatite in combination with a gelatin solution as a bioactive material, both for creating coatings and obtaining granules, has been studied. It is established that the use of apatite powder together with gelatin can significantly reduce the time of formation of a bioactive coating and significantly increase its adhesive strength. The obtained apatite granules are compared in size depending on the concentration of gelatin in an aqueous solution. Patent applications have been filed for the developed bioactive coatings and granular material based on nanoscale apatite with a binding agent. **Keywords:** *hydroxyapatite, fluorsubstituted hydroxyapatite, gelatin, collagen, biomaterial, bioactive coatings, adhesion, granules.*

Богданова Екатерина Анатольевна – к.х.н., старший научный сотрудник лаборатории химии гетерогенных процессов, ФГБУН «Институт химии твердого тела Уральского отделения РАН».

Скачков Владимир Михайлович – к.х.н., старший научный сотрудник лаборатории химии гетерогенных процессов, ФГБУН «Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук».

Ekaterina A. Bogdanova – Ph. D., Senior Researcher, Laboratory of Heterogeneous Processes, Institute of Solid State Chemistry of the Ural Branch of RAS

Vladimir M. Skachkov – Ph. D., Senior Researcher, Laboratory of Heterogeneous Processes, The Institute of Solid State Chemistry of the Ural Branch of RAS

Поступила в редакцию/received: 22.07.2021; после рецензирования/revised: 20.08.2021; принята/accepted 27.08.2021.