

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2016

УДК 616.314-008.8-091-076:537.533.35

Златоустова О.Ю.^{1,2}, Васильев С.В.^{1,2}, Рудый А.С.^{1,2}

КЛИНИКО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

¹ФГБУН «Физико-технологический институт» Российской академии наук, ФАНО России, 150007, г. Ярославль, Россия;²ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», Минобрнауки России, 150000, г. Ярославль, Россия

Цель. Подробное изучение морфологии, состава и локализации минеральных компонентов зубных камней различного типа и стадий роста для выявления особенностей их формирования на различных стадиях образования.

Материалы и методы. Образцы для исследования – наддесневые и поддесневые камни, полученные от 6 пациентов (2 образца при профессиональной механической чистке зубов и 4 образца при полном удалении пораженных зубов). Методами электронной микроскопии изучены морфология и локализация минеральных отложений зубных камней. Элементный состав исследован методом рентгеновского микроанализа.

Результаты. Выявлены основные различия в начальном, промежуточном и заключительном этапах патологической минерализации. Начальные этапы дентальной поддесневой минерализации характеризуются формированием одиночных минеральных сферических частиц в органическом налете. Размеры минеральных частиц на этом этапе от 100 нм до 1 мкм. Более поздние стадии поддесневой минерализации характеризуются выстраиванием сферических частиц в нити, слипанием их в сгустки, все так же в органическом налете. Размер частиц на этом этапе больше, чем на начальных этапах, – от 400 нм до 2 мкм. Стадии развитых дентальных отложений на корневой частице зуба характеризуются массивными минеральными агломератами размером до нескольких сотен микрометров. Как на корне, так и на коронке зубов в органическом налете обнаружены скопления бактерий. Области скопления бактерий занимают более 50% всей пораженной минеральными соединениями поверхности зуба. Также выявлены основные морфологические различия наддесневой и поддесневой минерализации, различия их элементного состава.

Заключение. Объединяя полученные результаты, можно утверждать, что процесс патологической дентальной минерализации инициируется в органическом налете как корня, так и коронки зуба с образованием минеральных частиц размером от 100 нм. Полученные данные могут быть полезны при описании механизма формирования биоминеральных отложений в организме человека.

Ключевые слова: зубной камень; наддесневой камень; поддесневой камень; кальцийсодержащие частицы; патологическая минерализация; электронная микроскопия; рентгеновский микроанализ.

Для цитирования: Златоустова О.Ю., Васильев С.В., Рудый А.С. Клинико-морфологические особенности патологической дентальной минерализации. Российский стоматологический журнал. 2016; 20 (6): 292-300. DOI 10.18821/1728—2802 2016; 20 (6): 292-300

Zlatoustova O.Yu.^{1,2}, Vasil'ev S.V.^{1,2}, Rudyy A.S.^{1,2}

CLINICAL AND MORPHOLOGICAL FEATURES OF PATHOLOGICAL TOOTH MINERALIZATION

¹Yaroslavl Branch of the Physics and Technology Institute RAS, Yaroslavl, 150007, Russia;²P.G. Demidov Yaroslavl State University, Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Yaroslavl, 150000, Russia

Goal. The study of morphology, location and composition of the mineral deposits in the specimens of deposits on teeth at various stages of their damage by mineral compounds.

Materials and methods. Samples for the study – supragingival and subgingival stones obtained from 6 patients (two samples obtained at professional mechanical tooth cleaning and four samples obtained at the removal of affected teeth). The morphology and localization of mineral deposits in a form of odontolith was investigated by means of the electron microscopy. The elemental composition was studied by X-ray microanalysis.

Results. The key differences in the initial, intermediate and final stages of pathological mineralization were revealed. The initial stages of subgingival dental mineralization are characterized by the formation of solitary mineral spherical particles in the organic plaque. The size of the mineral particles at this stage varies from 100 nm to 1 micron. The later stages of subgingival mineralization are characterized by the alignment of spherical particles in the filaments and sticking them in the bunches, still in an organic plaque. The size of the particles themselves at this stage is a little bit larger than at the initial stages and varies from 0.4 to 2 micrometers. The stage of well developed dental deposits at root of the tooth features the massive mineral agglomerates up to several hundred micrometers in size. At the root and at the crown of the teeth the agglomerations of bacteria in the organic plaque were found. Areas of bacterial aggregation occupy more than 50% of the total tooth surface affected by mineral compounds. The main morphological differences of supragingival and subgingival mineralization as well as differences in their elemental composition were revealed.

Для корреспонденции: Златоустова Ольга Юрьевна, младший научный сотрудник лаборатории «Диагностика микро- и наноструктур», E-mail: ginger89@yandex.ru

Conclusion. Summarizing these results, it can be argued that the process of pathological mineralization is initiated in the organic dental plaque at the root and the crown of the tooth to form the mineral particle of 100 nm in size. The data obtained may be useful in describing the mechanism of biomineral formation of deposits in the human body.

Key words: *deposits on teeth; supragingival calculus; subgingival calculus; calciferous particles; pathological mineralization; electronic microscopy; x-ray microanalysis.*

For citation: Zlatoustova O.Yu., Vasil'ev S.V., Rudyy A.S. *Clinical and morphological features of pathological tooth mineralization. Rossiyskiy stomatologicheskii zhurnal. 2016; 20 (6): 292-300. DOI 10.18821/1728—2802 2016; 20 (6): 292-300.*

For correspondence: Zlatoustova Ol'ga Yur'evna, junior researcher of the laboratory "Diagnostics of Micro- and Nanostructures", E-mail: ginger89@yandex.ru.

Information about authors:

Zlatoustova O.Yu., <http://orcid.org/0000-0002-4672-9951>

Vasil'ev S.V., <http://orcid.org/0000-0001-6444-8339>

Rudyy A.S., <http://orcid.org/orcid.org/0000-0003-4430-1991>

Acknowledgments. *The study had no sponsorship.*

Conflict of interest. *The authors declare no conflict of interest.*

Received 09.08.16

Accepted 16.08.16

Введение

В медицинской практике известны несколько десятков заболеваний зубов и пародонта. Все они, как правило, характеризуются поражением тканей зуба и/или ростом патологических отложений. Одним из основных признаков протекания патологических процессов в ротовой полости служит зубной камень.

Различают два вида зубных камней: наддесневой и поддесневой. Наличие наддесневого зубного камня в той или иной степени наблюдают практически у всех людей в зависимости от возраста, пола, места проживания, образа жизни, питания, индивидуальных особенностей организма и других факторов [1–4]. Удаление такого зубного камня сегодня чаще всего производят с помощью ультразвуковых методов, скальпием или другим механическим способом [3]. Поддесневые зубные камни располагаются в пародонтальных карманах на поверхности корня и пришеечной области зуба. Их наблюдают несколько реже, чем наддесневые, однако у людей в пожилом возрасте эти камни встречаются практически всегда. Удаление поддесневого зубного камня, как правило, осуществляется пародонтологом при стоматологической операции или полном удалении пораженного зуба. Впрочем, удаление зубного камня не приводит к полному выздоровлению, а всего лишь временно препятствует развитию патологических процессов. С течением времени дентальные отложения, как правило, начинают формироваться вновь. Зубной камень неблагоприятно влияет на окружающие ткани как десны, так и самого зуба. Его наличие сопровождается неприятным запахом изо рта, кровоточивостью десен и развитием заболеваний пародонта.

На сегодняшний день принято считать, что формирование зубного камня происходит при минерализации мягкого зубного налета. Вместо термина «мягкий зубной налет» часто также используют термин *dental plaque* (зубная бляшка). Образование зубной бляшки в первую очередь связывают с чрезмерным употреблением углеводов, неудовлетворительной гигиеной полости рта и индивидуальными особенностями организма. Зубная бляшка состоит из колонии бактерий и продуктов их жизнедеятельности. Удаляют ее с помощью

стандартных средств индивидуальной гигиены полости рта (зубная щетка, нить, паста, ополаскиватели и др.). Однако считают, что в зависимости от окружающей физико-химической обстановки может происходить ее минерализация, в результате чего и формируется зубной камень. На эту физико-химическую обстановку влияет множество факторов. В первую очередь это уровень pH, количество и вязкость слюны. Воспаление пародонта и околопародонтальных тканей также может сопровождаться формированием патологических минеральных отложений [1]. Неудовлетворительное состояние пищеварительной системы и организма в целом, курение, радиация, иммунные и другие факторы – все это может влиять на процесс формирования зубного камня. Существует мнение, что зубные камни образуются в процессе жизнедеятельности так называемых нанобактерий [5]. Некоторые исследователи считают, что образование зубного камня происходит путем осаждения веществ из ротовой жидкости [6]. Другие убеждены, что ключевым звеном при формировании зубного камня становится участие протеогликанов (сложных белков) как вещества, связывающего минеральные компоненты слюны, в результате чего образуются патологические отложения. Как правило, все эти гипотезы ограничены описанием влияния некоторых промоторных факторов на образование и рост патологических отложений [1–15], в то время как механизм возникновения зубного камня, охватывающий все этапы и стадии формирования, до настоящего момента полностью не отслежен. Для выявления особенностей формирования зубного камня необходимо изучение состава и морфологических особенностей дентальных отложений на разных стадиях его образования.

Цель работы – изучение морфологии, состава и локализации минеральных компонентов зубных камней различного типа и стадий роста для выявления особенностей их формирования на различных стадиях образования. Предлагаем использовать методы электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа.

Материал и методы

При профессиональной механической чистке зубов двух человек был получен образец № 1 (дентальные от-

ложения ранней стадии), представляющий собой чешуйки бурого цвета с поперечным размером около нескольких миллиметров, толщиной в несколько микрометров, и образец № 2 (дентальные отложения поздней стадии), представляющий собой желтовато-белые округлые частицы размером от 0,5 до 3 мм. Образцы № 3–6 получены от четырех людей путем удаления зубов, глубоко пораженных патологическими отложениями, и представляли собой массивные камни темно-коричневого цвета, покрывающие более 30% поверхности коронки и корня в целом.

Образцы № 1–2 исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Supra 40, образцы № 3–6 – с помощью сканирующего электронного микроскопа Quanta 3D 200i. Образцы № 1–2 фиксировали на никелевый столик для электронного микроскопа с помощью углеродного скотча и напыляли слой никеля толщиной около 2 нм для оттенения рельефа и защиты образца от разрушения электронным пучком. Никель был выбран в качестве основного элемента для напыления, т. к. его спектральные линии при рентгеновском микроанализе не пересекаются со спектральными ли-

ниями элементов, предположительно входящих в состав образца (фосфор, кальций). Образцы № 3–6 отмывали в хлороформе (CHCl_3) в течение 15 мин, далее в 95% растворе этилового спирта ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) в течение 15 мин, затем 5 раз отмывали в дистиллированной воде, фиксировали на алюминиевый столик с помощью углеродного скотча без дополнительного напыления.

Изображения были получены с помощью детекторов вторичных электронов (LFD – live fiber detector) и обратно рассеянных электронов (BSED – back-scattered electrons detector и AsB – angular selective back-scatter detector). С помощью детектора вторичных электронов хорошо заметна морфология, а с помощью обратно рассеянных – контраст по атомному номеру. При этом светлые области на изображении имеют в составе более тяжелые элементы, чем темные области. Для изучения особенностей локализации минеральных компонентов в образце, а также их состава использовали метод рентгеновского микроанализа с режимом поэлементного картирования. Погрешность определения интегральной интенсивности для основных элементов на рентгеновских спектрах не превышает 5%.

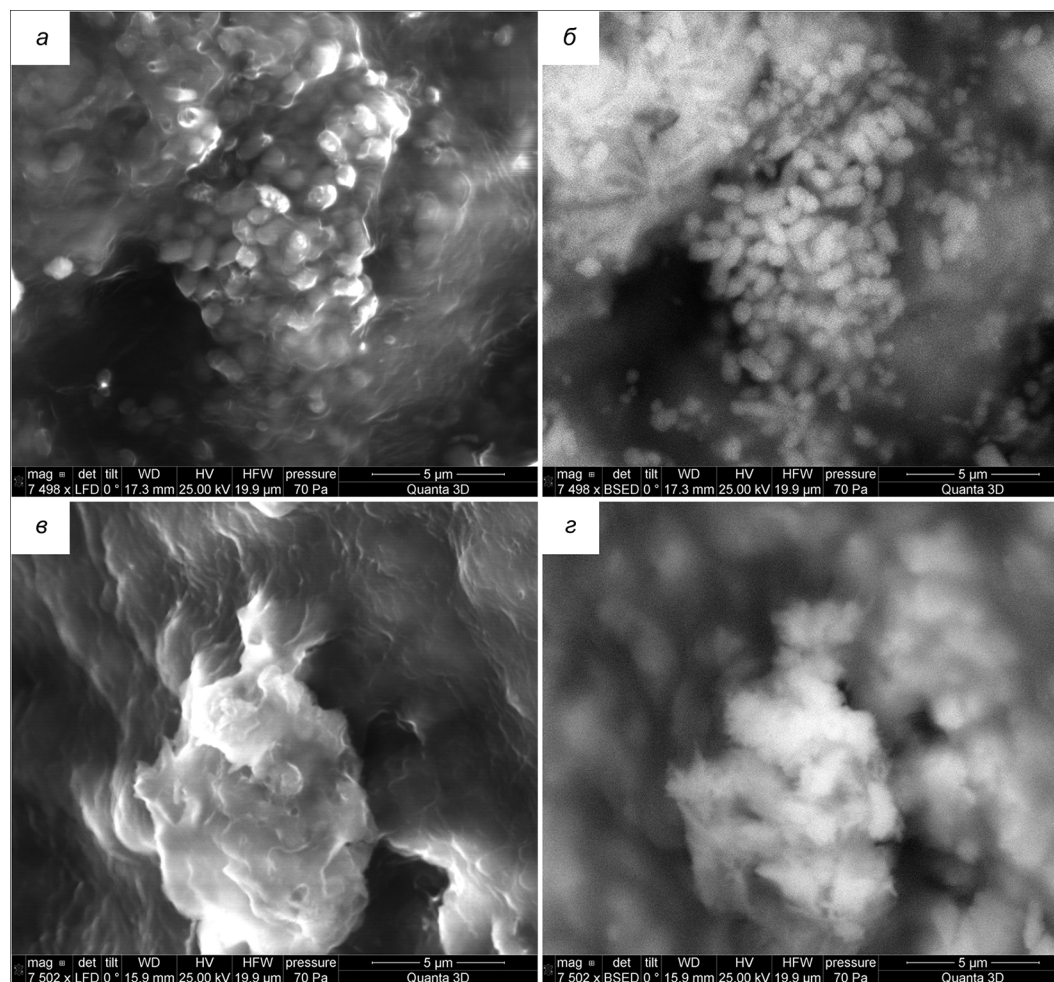


Рис. 2. СЭМ микрофотографии поддесневых камней, полученные на Quanta 3D 200i (Ув. 7500).

a–б – типичная морфологическая картина агломерации минеральных частиц; *в–г* – морфологическая картина промежуточных этапов минерализации; *a, в* – LFD; *б, г* – BSED.

Результаты

Во всех образцах поддесневых отложений присутствует органический налет с мелкими минеральными округлыми частицами. Размер частиц, находящихся в органическом субстрате, от 100 нм до 1 мкм (рис. 1, б на вклейке).

По мере уменьшения органического субстрата минеральные частицы увеличиваются в размерах и располагаются более компактно (рис. 1, а на вклейке, 2 а–б). В некоторых участках образцов наблюдают скопления нанометровых минеральных частиц около микронных частиц (см. рис. 1, б на вклейке). Также обнаружены частицы размером около 5 мкм, которые состоят из минеральных частиц с заметной кристаллографической огранкой (рис. 2, в, г). По всей видимости, нанометровые частицы сливаются в микронные частицы.

Мелкие частицы в субстрате (рис. 3, а) имеют округлую форму, иногда они выстроены в нити (см. рис. 3) и сгустки (см. рис. 2). В составе локальных агломераций сферических частиц, включенных в органический матрикс, присутствуют углерод, кислород, азот, фосфор, кальций, сера, магний и натрий (см. рис. 2, в).

Области обширной минерализации наблюдают на поверхности налета (рис. 4, а на вклейке). Размер частиц и их скоплений в данном случае максимальный

(частицы от 1 мкм, скопления до нескольких сотен микромметров). По мере удаления минеральных частиц от минерального агломерата уменьшается как размер самих частиц, так и их скоплений (рис. 4, б).

В составе области обширной минерализации идентифицируются фосфор, кальций, кислород, магний, натрий и углерод (рис. 5), в то время как в области отдельных минеральных частиц в органическом субстрате идентифицируется еще и сера (см. рис. 5, 3, в). Азот присутствует в образце и в той, и другой областях и распределен достаточно равномерно, отдельных центров его локализации не выявлено (см. рис. 5).

Наддесневая минерализация чаще характеризуется заметной кристаллографической огранкой частиц и агломератов. Иногда минеральные отложения наблюдают в виде пластинок (рис. 6 на вклейке).

Округлые минеральные частицы размером от 100 нм встречаются в наддесневых камнях в органическом субстрате, но намного реже, чем в поддесневых (рис. 7 на вклейке). Области обширной наддесневой минерализации наблюдают на поверхности налета, однако не зафиксирована тенденция к выстраиванию минеральных наночастиц в нити в отличие от поддесневой минерализации. Магний идентифицируется в следовом количестве и не повторяет локализацию фосфора и кальция в отличие от поддесневых (рис. 8). В наддесневых отло-

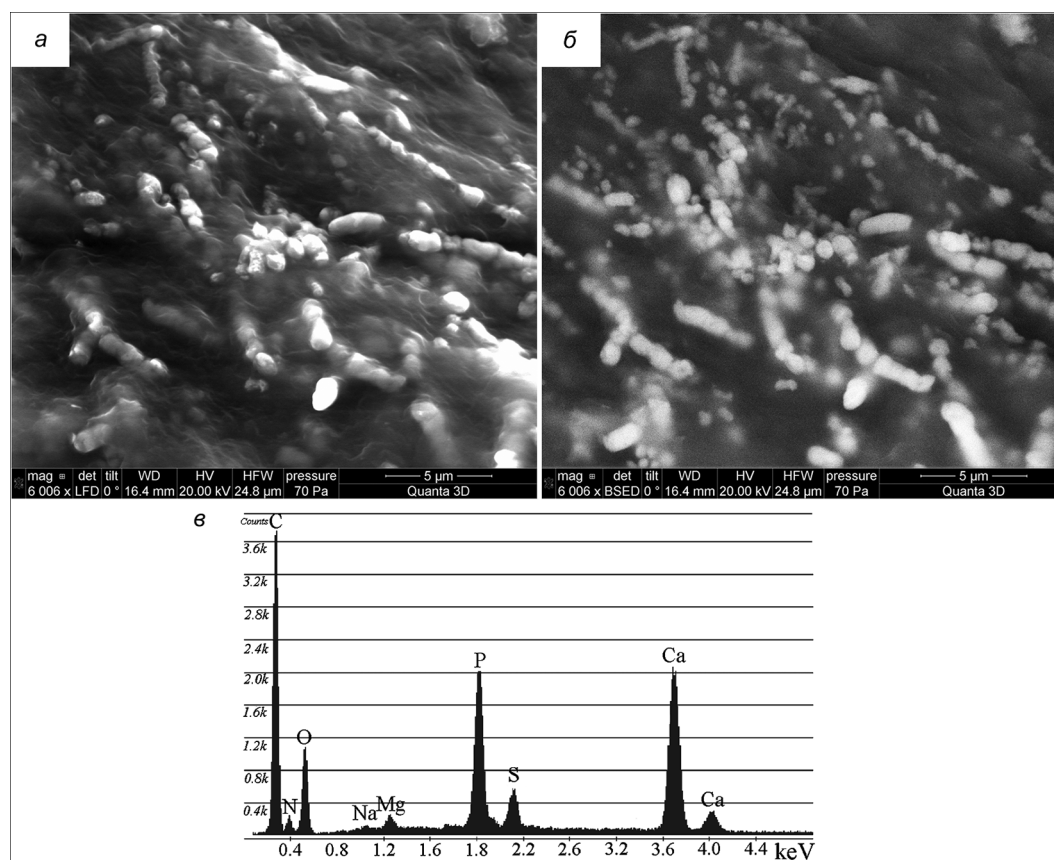


Рис. 3. СЭМ микрофотографии начальных этапов формирования поддесневых камней (а–б), полученные на Quanta 3D 200i. а – LFD; б – BSED; Ув. 6000; в – рентгеновский спектр, полученный от участка образца, представленного на (а–б).

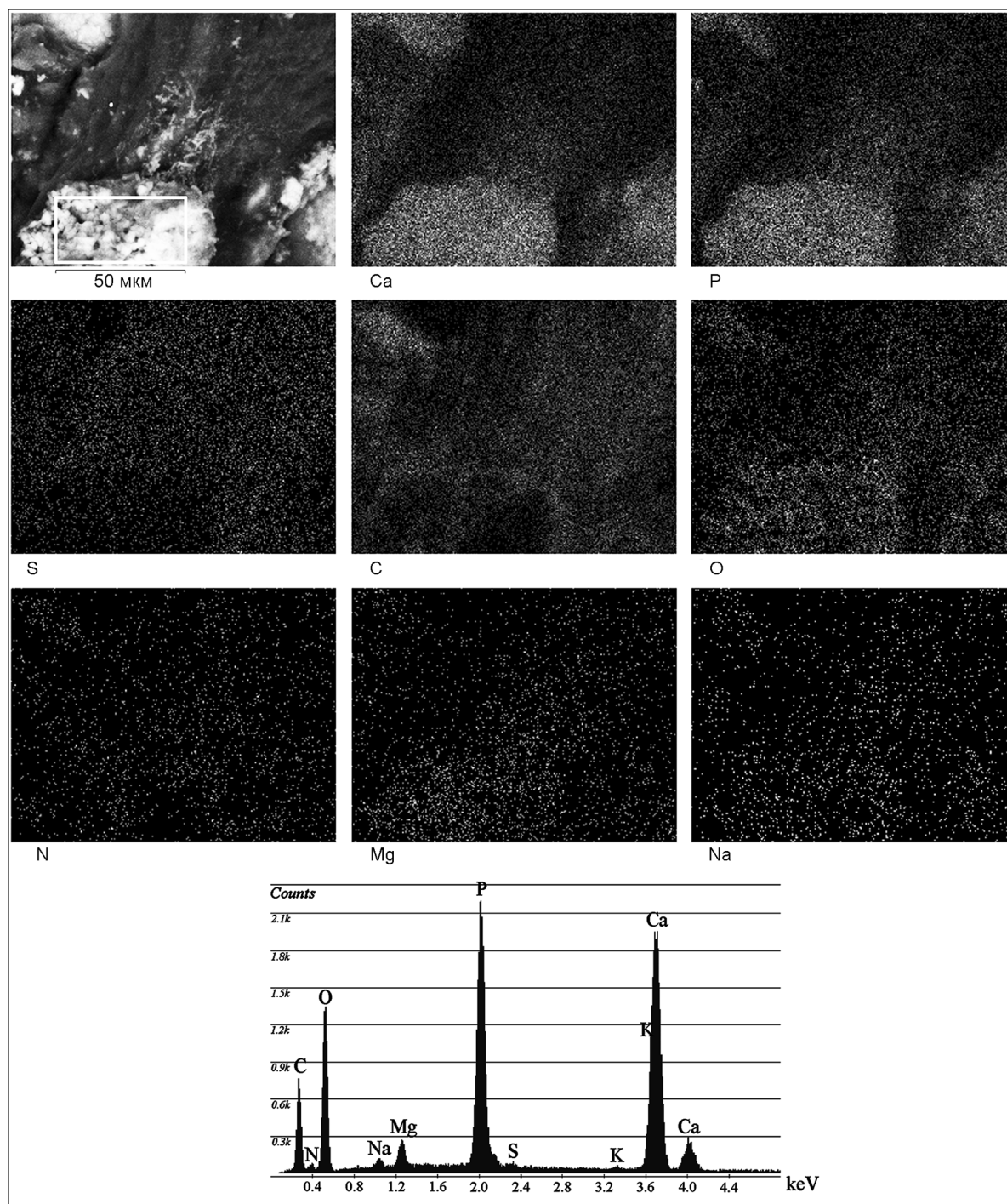


Рис. 5. СЭМ микрофотография и карты элементов поддесневых камней, полученные на Quanta 3D 200i (размеры кадров 100×125 мкм).

Рентгеновский спектр от участка образца, выделенного прямоугольником на СЭМ-изображении.

жения он коррелирует с калием, азотом, натрием, серой и хлором (рис. 9).

Сера идентифицируется там, где много мелких, отдельно включенных в органический налет частиц. В области крупных минеральных агломератов (там, где количество органического налета значительно меньше) серы значительно меньше (рис. 10).

Бактерии и их скопления наблюдают как на корне,

так и на коронке зуба. Скопления бактерий покрывают более 50% всей пораженной области и наблюдаются в местах локализации органического налета (рис. 11).

Обсуждение

Начальные этапы патологической дентальной поддесневой минерализации характеризуются формированием одиночных минеральных сферических частиц

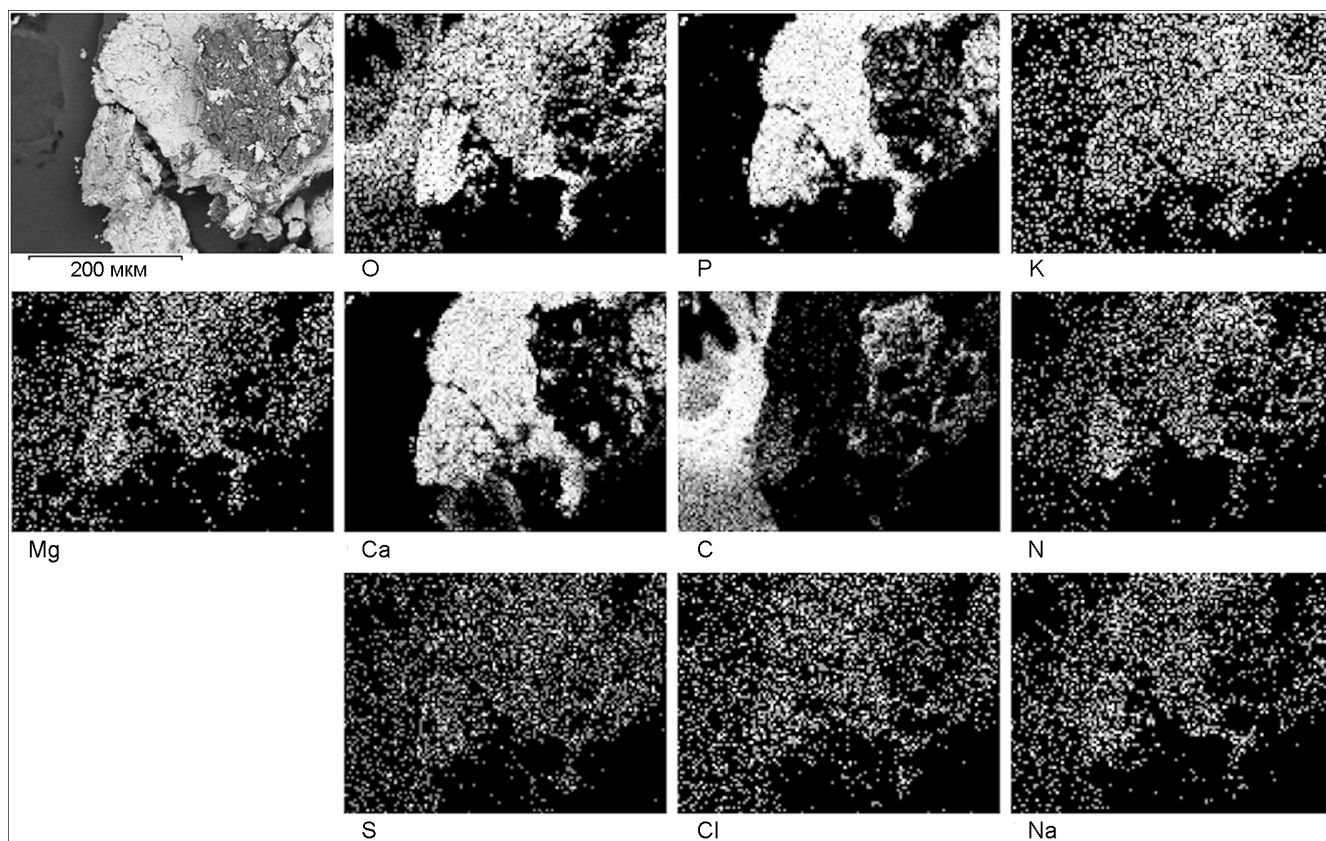


Рис. 8. СЭМ-микрофотография и карты элементов наддесневых камней, полученные на Supra 40 (размеры кадров 20 × 28 мкм).

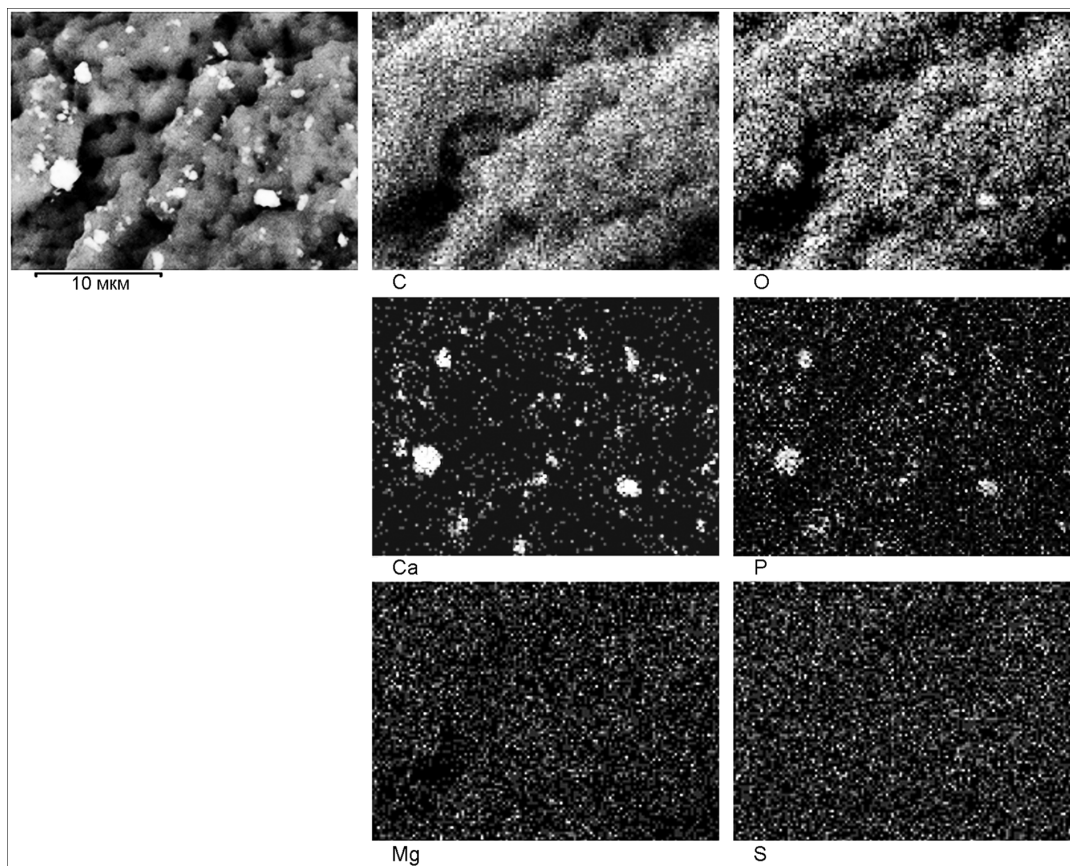


Рис. 9. СЭМ-микрофотография и карты элементов наддесневых камней, полученные на Supra 40 (размеры кадров 310 × 420 мкм).

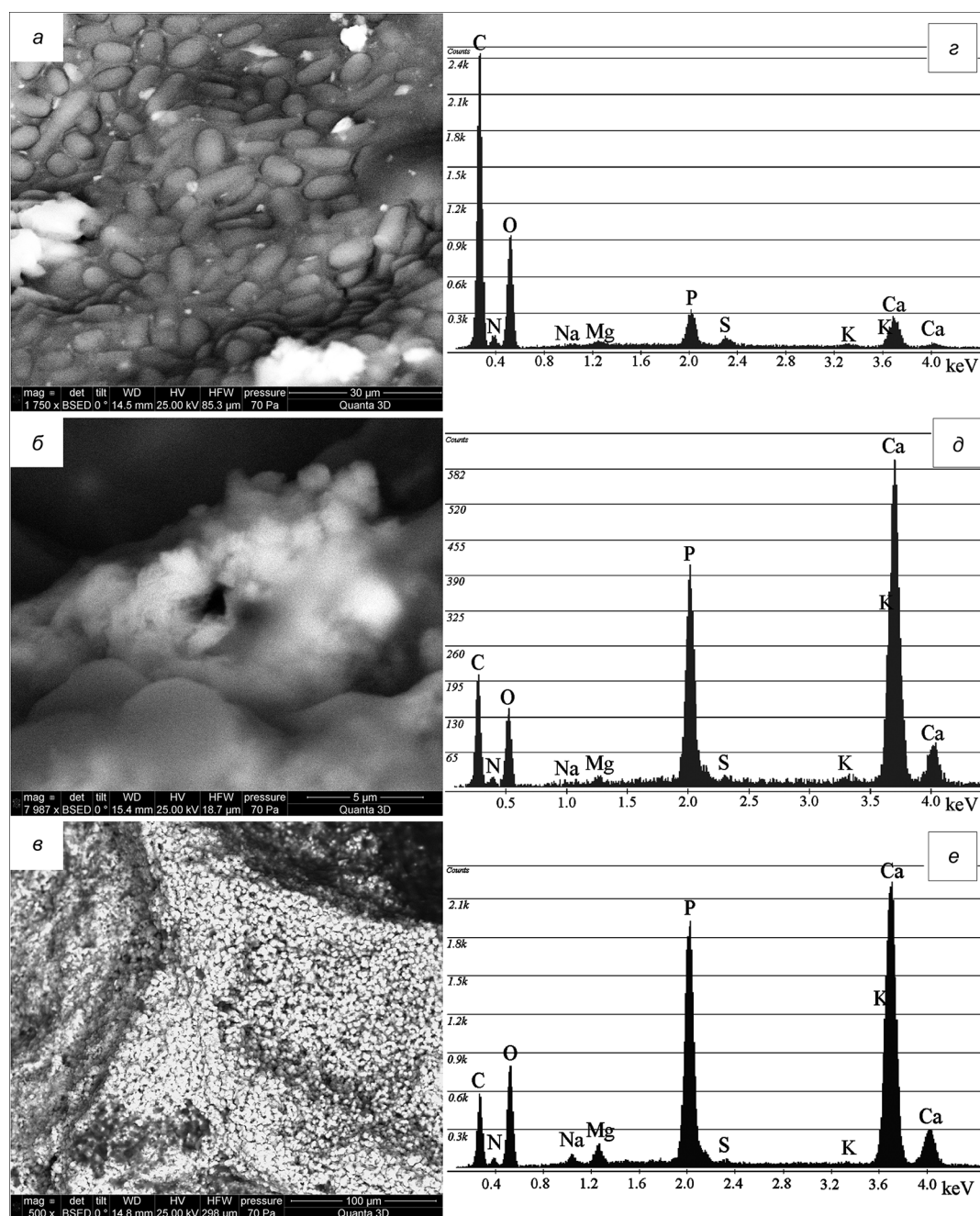


Рис. 10. СЭМ-микротографии различных этапов наддесневой минерализации и их рентгеновские спектры, полученные на Quanta 3D 200i.

a – органический налет со скоплениями бактерий и отдельно включенными минеральными частицами – начальные этапы минерализации (Ув. 1750, BSED); *z* – рентгеновский спектр от участка образца представленного на (*a*); *б* – типичная морфологическая картина промежуточных этапов минерализации (Ув. 8000, BSED); *д* – рентгеновский спектр от участка образца, представленного на (*б*); *в* – типичная морфологическая картина заключительных этапов минерализации (Ув. 500, BSED); *е* – рентгеновский спектр от участка образца, представленного на (*в*).

в органическом налете. Размеры минеральных частиц на этом этапе от 100 нм до 1 мкм. Признаки этого этапа патологической минерализации обнаруживают только с помощью методов электронной микроскопии.

Более поздние стадии патологической поддесневой минерализации на прикорневой части зубов характеризуются выстраиванием сферических минеральных частиц в нити, слипанием их в сгустки, все так же в органическом налете. Размер самих частиц

на этом этапе чуть больше, чем на начальных этапах, от 400 нм до 2 мкм.

Стадии развитых дентальных отложений на корневой части зуба характеризуются массивными минеральными агломератами размером до нескольких сотен микрометров. Эти агломераты находятся на поверхности органического налета и состоят из минеральных частиц размером от 1 мкм, форма разнообразная – сферическая, эллипсоидальная, иногда с за-

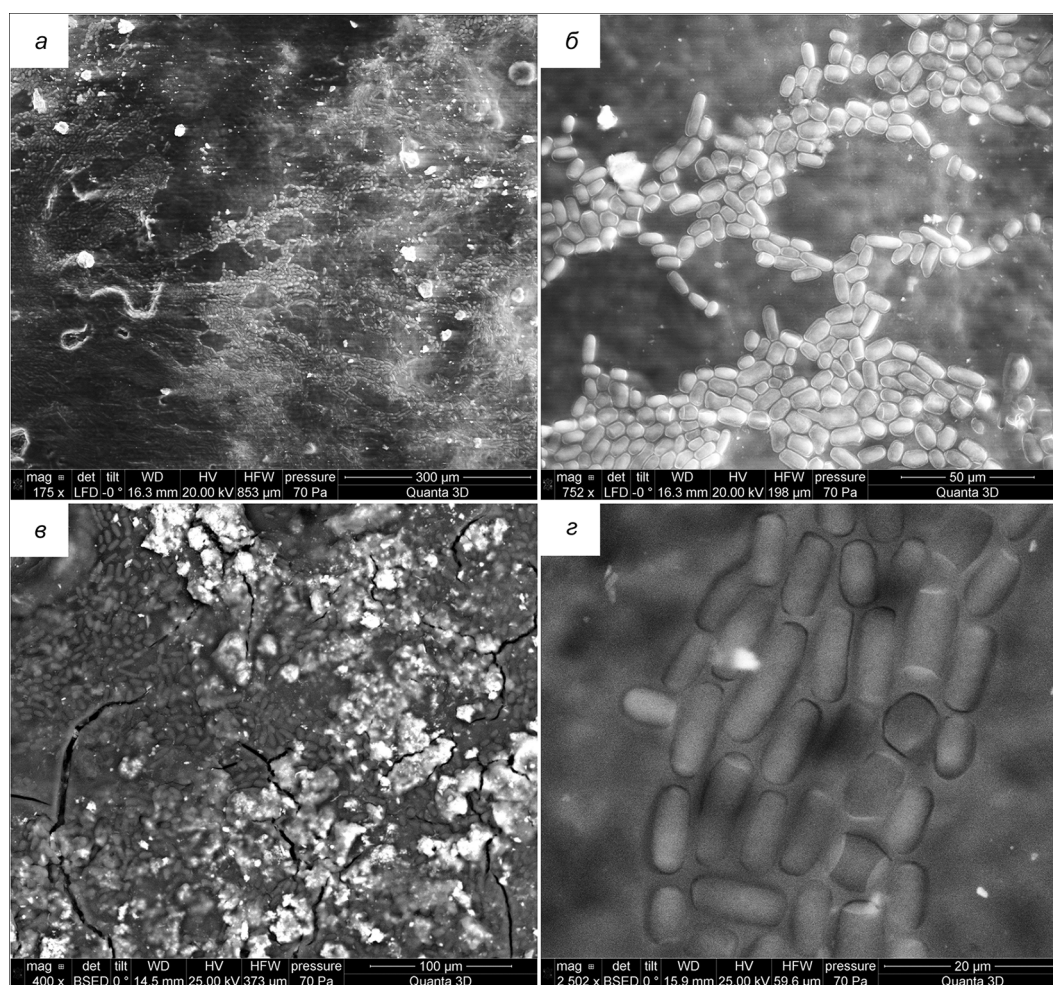


Рис. 11. СЭМ-микрофотографии скоплений бактерий на пораженной патологической минерализацией области, полученные на Quanta 3D 200i.

a-b – скопления бактерий на корне (*a* – Ув. 175, LFD; *b* – Ув. 750, LFD); *v-z* – скопления бактерий на коронке (*v* – Ув. 400, BSED; *z* – Ув. 2500, BSED).

метной кристаллографической огранкой. Некоторые участки массивных агломератов наблюдаются как промежуточная стадия формирования массивных отложений из мелких частиц.

Что касается наддесневой минерализации, ее начальные этапы схожи с поддесневой минерализацией. Однако не зафиксирована тенденция к выстраиванию минеральных частиц в нити. Наддесневая минерализация чаще характеризуется более заметной кристаллографической огранкой частиц и их агломератов.

Как на корне, так и на коронке зубов в органическом налете обнаружены скопления бактерий. Области скопления бактерий занимают более 50% всей пораженной минеральными соединениями поверхности зуба.

В составе области обширной поддесневой минерализации идентифицируют кальций, фосфор, углерод, кислород и магний. В то время как в области отдельных минеральных частиц в органическом субстрате идентифицируют еще и серу. Азот присутствует в образце и той, и другой областей, распределен равномерно, отдельных центров локализации не выявлено.

В наддесневых отложениях локализованы кальций,

фосфор углерод и кислород. Магний идентифицируется в следовом количестве и не повторяет локализацию фосфора и кальция в отличие от поддесневых. Однако он хорошо коррелирует с калием, азотом, натрием, серой и хлором. Сера идентифицируется там, где много мелких отдельных, включенных в органический налет минеральных частиц. В области крупных наддесневых агломератов серы значительно меньше.

Кальцийсодержащие наночастицы схожей морфологии и особенностями локализации в органическом матриксе, которые еще недавно некоторые исследователи рассматривали в качестве так называемых нанобактерий [13], наблюдают и в почечных конкрементах [14–15], и в образцах патологических отложений сердечно-сосудистой системы (рис. 12 на вклейке) [16–17]. Однако механизм образования такого рода объектов в живом организме до сих пор не определен, что доказывает перспективность исследований в этой области.

Заключение

При исследовании зубных камней различного типа и стадий роста выявлены основные различия на-

чальных, промежуточных и заключительных этапов патологической дентальной минерализации. Также выявлены основные морфологические различия наддесневой и поддесневой минерализации, их элементного состава. Процесс патологической дентальной минерализации инициируется в органическом налете как корня, так и коронки зуба. При этом в налете образуются округлые минеральные частицы размером от 100 нм. Важным результатом наших исследований [14–17] стало обнаружение наличия минеральных наночастиц схожей морфологии в органическом субстрате на начальных этапах образования почечных конкрементов и ранних стадиях патологической сосудистой минерализации. Полученные данные могут быть полезны при описании механизма формирования биоминеральных отложений в организме человека.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Пухову Д.Э. за ценные советы и замечания. Работа выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием «Диагностика микро- и наноструктур».

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилова О.А., Пискалнитс И.Я., Федотова Е.И., Хохлова А.С., Ратникова Ю.В. Встречаемость признаков поражения тканей пародонта и характер гигиены полости рта у детей и подростков Тверского региона. *Верхневолжский медицинский журнал*. 2012; 10 (1): 86–90.
2. Черкасов С.М. Анализ распространенности заболевания зубочелюстной системы, формирующих спрос на стоматологические услуги. *Фундаментальные исследования*. 2014; (2): 186–9.
3. Фирсова И.В., Мakedонова Ю.А. Буторова Т.С., Локоленкова Ю.А. Клинический анализ эффективности методов удаления зубных отложений при проведении профессиональной гигиены полости рта. *Фундаментальные исследования*. 2014; (5): 62–5.
4. Островский О.В., Храмков В.А., Попова Т.А. *Биохимия полости рта: Учебное пособие*. Волгоград: ВолГМУ; 2010.
5. Cisar J.O., Xu De-Qi, Thompson J., Swaim W., Hu L., Kopecko D.J. An alternative interpretation of nanobacteria-induced biomineralization. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2000; 97 (21): 11 511–5.
6. Голованова О.А. Патогенное минералообразование в организме человека. *Известия Томского политехнического университета*. 2009; 315 (3): 51–6.
7. Mendez-Vilas A., Diaz J. et al. *Modern Research and Educational Topics in Microscopy*. Badajoz: Formatex; 2007; 599–605.
8. Мамаева Е.В., Мухутдинова Ю.Р. Нанобактерии – взгляд на проблему. В кн.: *Сборник научных статей VI-й Российской научно-практической конференции «Профилактика и лечение стоматологических заболеваний. Медицинские изделия и материалы»*. Казань; 2013; 53–60.
9. Рыбальченко В.К., Коганов М.М. *Структура и функции мембран*. Киев: Выща школа; 1988.
10. Скрипников П.Н., Мухина Н.С. *Отбеливание зубов*. Полтава: УМСА; 2002.
11. Зубаиров Д.М. Почему свертывается кровь? *Соросовский образовательный журнал*. 1997; (3): 46–52.
12. Тарасенко Л.М., Непорада К.С. *Биохимия органов полости рта*. Полтава: УМСА; 2008.
13. Златоустова О.Ю., Рудый А.С. Комплексные исследования биоминеральных отложений живого организма. В кн.: *Сборник тезисов Международной конференции молодых ученых «Экспериментальная и теоретическая биофизика»*. Пушчино; 2013; 13–4.
14. Златоустова О.Ю. Исследование морфологических особенностей продуктов патологической минерализации. В кн.: *Материалы Международной молодежной научно-практической конференции «Путь в науку»*. Ярославль: ЯрГУ; 2014: 31.

REFERENCES

1. Gavrilova O.A., Piskalnitits I.Ya., Fedotova E.I., Khokhlova A.S., Ratnikova Yu.V. The incidence of symptoms of periodontal tissue damage and the nature of oral health in children and adolescents of the Tver region. *Verkhnevolzhskiy meditsinskiy zhurnal*. 2012; 10 (1): 86–90. (in Russian)
2. Cherkasov S.M. Analysis of the prevalence of dental system diseases, forming the demand for dental services. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014; (2): 186–9. (in Russian)
3. Firsova I.V., Makedonova Yu.A. Butorova T.S., Lokolenkova Yu.A. Clinical analysis of the effectiveness of methods for removing dental plaque during a professional oral hygiene. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014; (5): 62–5. (in Russian)
4. Ostrovskiy O.V., Khramov V.A., Popova T.A. *Biochemistry of oral cavity: A Tutorial. [Biokhimiya polosti rta: Uchebnoe posobie]*. Volgograd: Volgograd State Medical University; 2010. (in Russian)
5. Cisar J.O., Xu De-Qi, Thompson J., Swaim W., Hu L., Kopecko D.J. An alternative interpretation of nanobacteria-induced biomineralization. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2000; 97 (21): 11 511–5.
6. Golovanova O.A. Pathogenic mineralization in the human body. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2009; 315 (3): 51–6. (in Russian)
7. Mendez-Vilas A., Diaz J. et al. *Modern Research and Educational Topics in Microscopy*. Badajoz: Formatex; 2007; 599–605.
8. Mamaeva E.V., Mukhutdinova Yu.R. Nanobacteria – look at the problem. In: *Collection of Scientific Articles VI of the Russian Scientific And Practical Conference “Prevention and Treatment of Dental Diseases. Medical Products and Materials”*. [Sbornik nauchnykh statey VI-y Rossiyskoy nauchno prakticheskoy konferentsii “Profilaktika i lechenie stomatologicheskikh zabolevaniy. Meditsinskie izdeliya i materialy”]. Kazan'; 2013; 53–60. (in Russian)
9. Rybal'chenko V.K., Koganov M.M. *The Structure and Function of Membranes. [Struktura i funktsii membrane]*. Kiev: Vyshcha shkola; 1988. (in Russian)
10. Skripnikov P.N., Mikhina N.S. *Tooth Whitening. [Otbelivanie zubov]*. Poltava: UMSA; 2002. (in Russian)
11. Zubairov D.M. Why blood is minimized? *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*. 1997; (3): 46–52. (in Russian)
12. Tarasenko L.M., Neporada K.S. *The Biochemistry of the Oral Cavity*. Poltava: UMSA; 2008. (in Russian)
13. Miller V.M., Rodgers G., Charlesworth J.A., Kirklands B., Severson S.R., Rasmussen T.E. et al. Evidence of nanobacterial-like structures in calcified human arteries and cardiac valves. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2004; 287 (3): 1115–24.
14. Zlatoustova O.Yu., Rudy A.S. The complex study of biomineral deposits by organisms. In: *Abstracts of the International Conference of Young Scientists “Experimental and Theoretical Biophysics”*. [Sbornik tezisov Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchennykh “Eksperimental'naya i teoreticheskaya biofizika”]. Pushchino; 2013; 13–4. (in Russian)
15. Zlatoustova O.Yu. The study of morphological features by pathological mineralization products. In: *Materials of the International youth Scientific-practical Conference “The Way to Science”*. [Materialy Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Put' v nauku”]. Yaroslavl'; 2014: 31. (in Russian)
16. Zlatoustova O.Yu., Vasilev S.V., Rudy A.S. Properties of calcium-containing microparticles formed in the process of biomineralization of the human aortic wall. In: *Book of Abstracts of the 3rd International School and Conference on Optoelectronics, Photonics, Engineering and Nanostructures “Saint-Petersburg OPEN 2016”*. St. Petersburg; 2016: 186–7.
17. Zlatoustova O.Yu., Vasilev S.V., Rudy A.S. Properties of calcium-containing microparticles formed in the process of biomineralization of the human aortic wall. In: *Book of abstracts of the 1st International Conference on Helium Ion Microscopy and Emerging Focused Ion Beam Technologies “HEFIB 2016”*. Luxembourg; 2016.

Поступила 09.08.16

Принята в печать 16.08.16

Рис. 1. СЭМ-микрофотографии поддесневых камней, полученные на Quanta 3D 2001.

a – типичная морфологическая картина (Ув. 3250, BSED); *б* – морфологическая картина начальных этапов минерализации (Ув. 10 000, BSED).

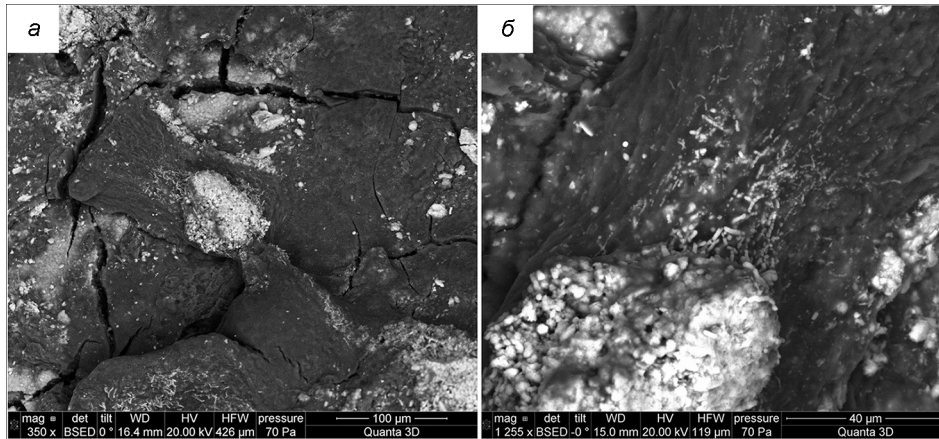
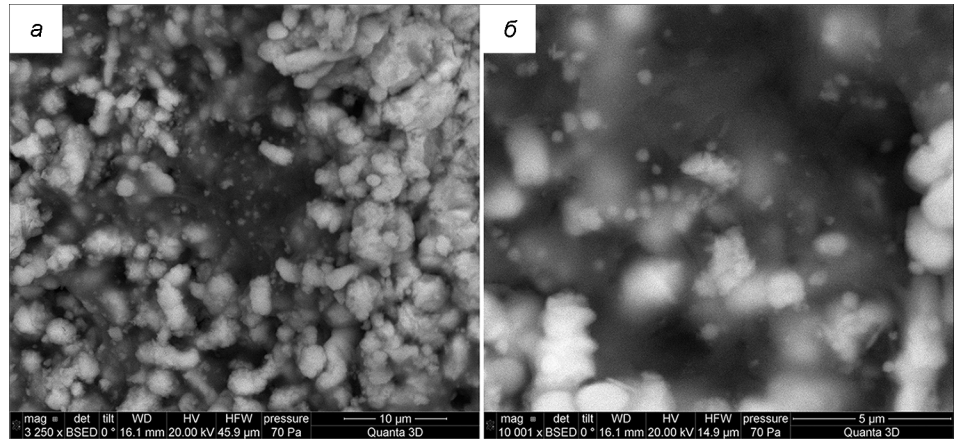


Рис. 4. СЭМ-микрофотографии поддесневых камней, полученные на Quanta 3D 2001.

a – типичная морфологическая картина (Ув. 350, BSED); *б* – морфологическая картина сразу нескольких этапов минерализации (Ув. 1255, BSED).

Рис. 6. СЭМ-микрофотографии наддесневых камней, полученные на Quanta 3D 2001.

a – типичная морфологическая картина (Ув. 120, BSED); *б* – морфологическая картина промежуточных этапов минерализации (Ув. 7500, BSED).

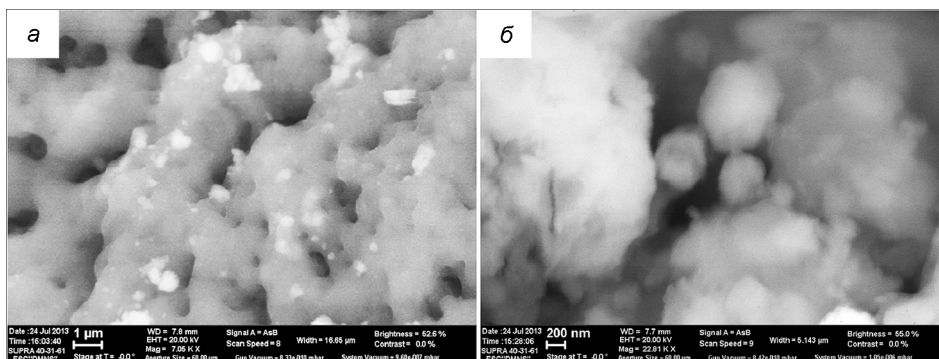
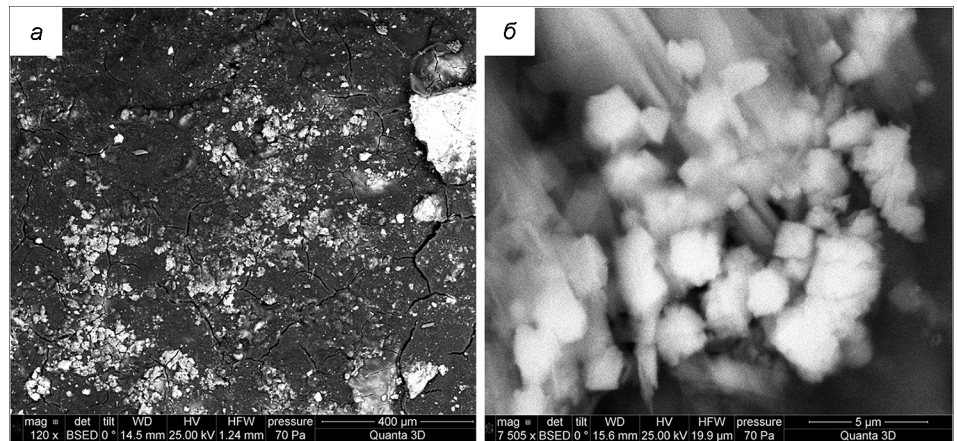


Рис. 7. СЭМ-микрофотографии типичной морфологической картины начальных этапов наддесневой минерализации, полученные на Supra 40.

a – Ув. 7000, AsB; *б* – Ув. 22 800, AsB.

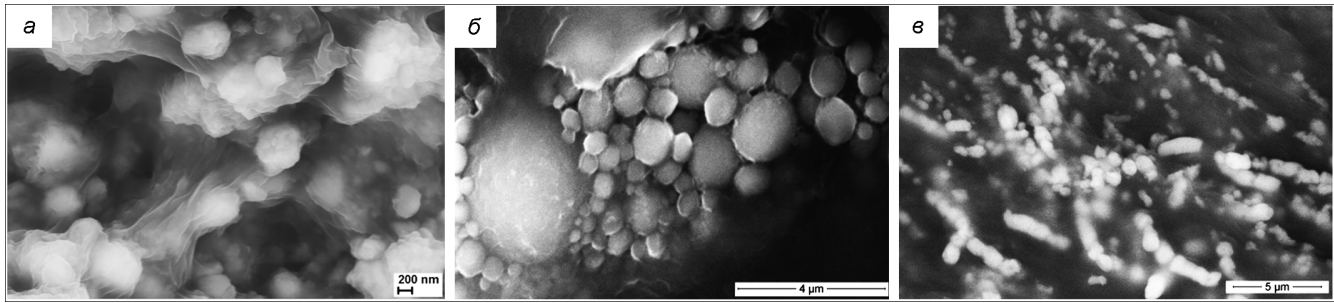
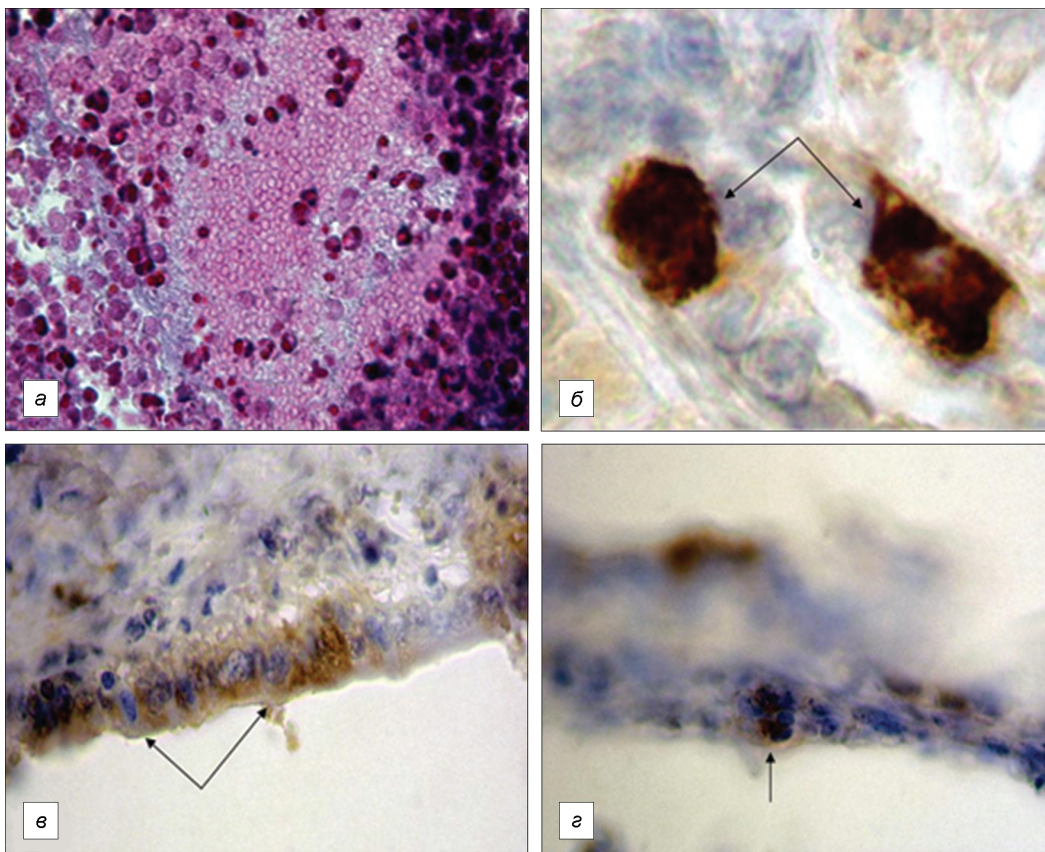


Рис. 12. СЭМ-микрофотографии кальцийсодержащих наночастиц от различных образцов патологической минерализации в организме человека.

a – образец почечных конкрементов (Supra 40, SE2, Ув. 18 500); *б* – образец минерализованной аорты (Quanta 3D 200i, LFD, Ув. 12 500); *в* – образец зубного камня (Quanta 3D 200i, BSED, Ув. 6000).



Микропрепараты – гистологические срезы биоптатов пульпы и слое одонтобластов экспериментальных животных контрольной (*a*) и основной групп (*б-г*) на 7-е (*a*), 30-е сутки (*б*) и через 2 мес (*в, г*) после начала опыта.

a – обширные кровоизлияния в пульпе и слое одонтобластов; *б* – многоядерные гигантские клетки (отмечены стрелками), имеющие более темное окрашивание вокруг ядра по всей цитоплазме; *в* – сформированный дентинный мостик, по структуре схожий с дентином, отделяющий корневую пульпу от пульповой камеры, S-kit-позитивные клетки в субодонтобластическом слое пульпы (отмечены стрелками); *г* – прекультивированная эктомезенхимальная клетка в стадии дифференцировки (отмечена стрелкой). Окраска гематоксилином и эозином. Ок. 15, об. 20 (*a*). Гистохимическая реакция на S-kit (CD117) маркер (рецептор фактора стволовых клеток). Ок. 15, об. 100 (*б-г*).

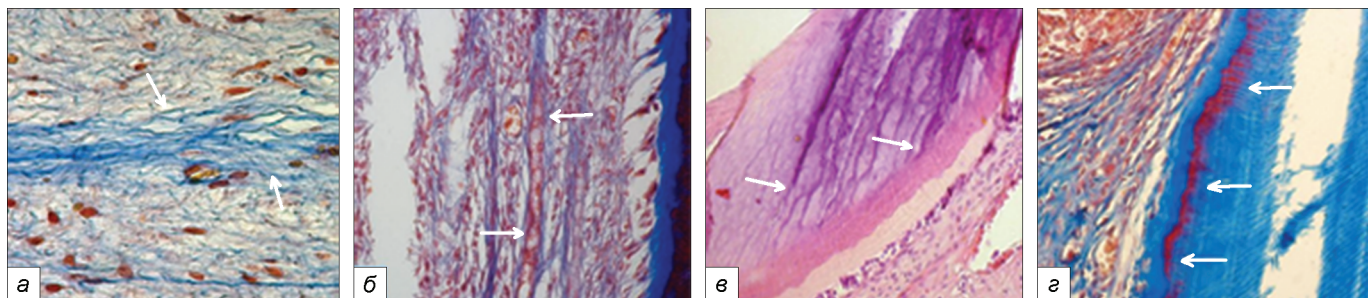


Рис. 1. Микропрепараты на 3-и (*a*), 5-е (*б*), 7-е (*в*) и 14-е (*г*) сутки эксперимента.

1-я основная группа (параформальдегид): *a* – извилистость и неровность контуров капилляров и посткапилляров микроциркуляторного русла пульпы (отмечено стрелками). Окраска по Массону. Об. 100, ок. 10; *б* – увеличение диаметра капилляров за счет контрактильных свойств эндотелия (отмечено стрелками). Окраска по Массону. Об. 100, ок. 10; *в* – уменьшение количества капиллярных петель, проникающих в глубину слоя одонтобластов (отмечено стрелками). Окраска гематоксилином и эозином. Ок. 100, об. 10; *г* – некроз одонтобластов в субодонтобластическом слое пульпы (отмечено стрелками). Окраска по Массону. Об. 100, ок. 10.