

## ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

**О.Л. ПИХУР<sup>1</sup>, О.А. ГОЛОВАНОВА<sup>2</sup>,  
Л.В. БЕЛЬСКАЯ<sup>2</sup>, В.В. ТРИФОНОВ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургская  
медицинская академия  
последипломного образования

<sup>2</sup> Омский государственный  
университет

<sup>3</sup> Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет

*e-mail: POL0012@mail.ru*

В статье рассмотрены результаты исследования структуры, химического и вещественного состава твердых тканей зубов, зубных и слюнных камней. Основным минералом неорганической компоненты исследованных твердых тканей зубов, зубных и слюнных камней является кальций-дефицитный карбонат-содержащий гидроксилapatит. Широкий спектр микроэлементов, обнаруженных в исследованных твердых тканях зубов и камней, отражает влияние факторов окружающей среды на организм человека.

Ключевые слова: биоминералы, гидроксилapatит, химический и минеральный состав твердых тканей зубов, зубных и слюнных камней.

Углубленные специализированные исследования позволили установить к настоящему времени достаточно большое число минералов, возникающих в живых организмах, причем их список продолжает расти [13]. Если еще полвека назад было известно только десять минералов в твердых тканях человека и животных, то к настоящему времени, по данным Н.П. Юшкина [10], известно около 300 биоминералов различного происхождения, и их число продолжает расти. Минералы выявляют сейчас в самых различных органах и тканях: прежде всего, в зубах и скелете, а также в легких, желудочно-кишечном тракте, кровеносных сосудах и т.д.

Ухудшение экологической обстановки в крупных промышленных мегаполисах приводит к увеличению числа заболеваний, связанных с патогенным камнеобразованием в организме человека. Этим и обусловлен возросший интерес к изучению таких образований в живых организмах со стороны представителей разных специальностей (минералогов, кристаллографов, геохимиков, биологов, медиков, в том числе стоматологов) с привлечением широкого спектра методов исследования. Несомненно, что практическое значение таких междисциплинарных исследований очень велико. Так, на их основе могут быть сформулированы и обоснованы новые подходы, направленные на повышение эффективности профилактики и лечения заболеваний.

Трудности изучения патогенного минералообразования обусловлены в первую очередь сложным вещественным и элементным составом камней, которые содержат как минеральную (часто очень плохо окристаллизованную), так и органическую компоненты, которые очень трудно разделить.

Основой для развития биоминералогии как науки в России послужили работы В.И. Вернадского [1] и Я.В. Самойлова [6]. Термин «биоминералогия» в отечественной литературе появился в 1976 г. в работе А.А. Кораго [4], в которой сформулированы основные особенности объектов исследования этой науки. В 1988 г. Н.П. Юшкин [9] предложил проблемы «изучения как конструктивных, так и патологических минералов и минералообразующих процессов в организме человека, выявление с точки зрения медицины свойств минералов и минералогическую экологию» объединить в область исследований медицинской минералогии.

Биоминерализация – процесс образования минералов в живых организмах, при котором минерал зарождается и растет из пересыщенного водного раствора при участии органической матрицы, секретлируемой клетками. Известно три типа биоминерализации – карбонатный, фосфатный и кремниевый. Формирование биоминералов началось более миллиарда лет назад, еще в докембрии, претерпевая эволюцию с развитием жизни на Земле [2]. Главная их отличительная особенность заключается в том, что они представляют собой агрегаты, в которых в том или ином количестве



присутствуют минеральная и органическая составляющие, неразрывно связанные между собой и взаимодействующие по определенным законам. Их называют органо-минеральными агрегатами (ОМА) биогенного происхождения.

Соотношения между содержанием минеральной и органической составляющих в ОМА могут варьировать в широких пределах, причем для одних агрегатов эти соотношения склоняются в пользу минеральной составляющей (например, минеральная компонента в эмали зубов составляет 95-97%, в дентине зубов – 65-72%, в костях – 60-70%), в других же агрегатах резко преобладает органическая составляющая (например, некоторые зубные камни, желчные камни). Колебания состава ОМА определяются, прежде всего, ролью, которую агрегат играет в жизни организма.

Одной из характерных особенностей ОМА являются широко распространенные при их формировании явления эпитакии. Ориентированный рост фиксируется в самых различных ОМА, при этом выделяют два его типа: 1 – ориентированный рост минеральной фазы контролируется органической матрицей, которая определяет возникновение как определенной фазы, так и ее оптической ориентировки (это наблюдается при формировании костей и зубов); 2 – ориентированный рост минеральной фазы контролируется минеральной же фазой (например, при образовании мочевых камней). Именно широкое распространение эпитакических явлений при формировании ОМА позволяет объяснить в ряде случаев отсутствие необходимых пересыщений, когда ОМА возникает при явном недостатке энергии в системе. Действительно, спонтанная кристаллизация может идти только при значительном пересыщении. Когда же такого пересыщения нет, кристаллизация может осуществляться при низких пересыщениях только в случае наличия подложки, ориентирующей нарастающие кристаллы.

Известно, что в зависимости от условий образования все ОМА подразделяют на три типа: ортобиогенные, метабиогенные и тафобиогенные. Метабиогенные ОМА возникают в результате реакции выбросов организма с окружающей средой. Тафобиогенные ОМА формируются при замещении отмершего органического вещества минеральным. Особый интерес представляют ортобиогенные ОМА, которые характеризуются тем, что они образуются непосредственно в живом организме. Ортобиогенные ОМА, возникающие в животных и человеке и называемые зоолитами, подразделяются на две большие группы: физиогенные и патогенные [4].

К физиогенным ОМА организма человека относят твердые ткани зубов и кости скелета. Патогенные ОМА, в отличие от физиогенных, генетически не predeterminedены и их состав значительно колеблется. К ним относятся камни мочевой системы (уролиты), желчные камни (холелиты), зубные камни (дентолиты), камни слюнных желез (саливолиты), ОМА в сосудах (ангиолиты), ОМА в легких (пульмолиты), ОМА в опухолях (туморолиты), ОМА в опорно-двигательном аппарате (остеолиты), камни поджелудочной железы (панкреолиты), минеральные образования в сердечной мышце (кардиолиты), глазные камни (офтальмолиты) и др.

Список минералов, встречающихся в ОМА живых организмов, весьма значителен. Это карбонаты (кальцит, арагонит и др.), фосфаты (гидроксилapatит, франколит, витлокит, струвит, брусит и др.), самородные элементы (сера, золото), галогены (флюорит, галит), сульфиды (пирит, сфалерит, галенит и др.), сульфаты, оксиды. Говоря об элементном химическом составе минералов в ОМА, можно отметить, что в 50% всех минералов присутствует кальций, в 20% – фосфор. Эти элементы, несомненно, играют особую роль в организме человека.

Основную массу живого организма составляет ограниченное число химических элементов. Кислород, углерод, водород, а также кальций, калий, азот, магний, фосфор, сера, хлор, натрий, железо составляют в норме 99,4 мас.% и являются макроэлементами. Именно этими элементами и образовано большинство минералов в ОМА. В организме человека массой 70 кг содержится 43 кг кислорода, 16 кг углерода, 7 кг водорода, 1,8 кг азота, 1 кг кальция, 780 г фосфора, 140 г калия, 140 г серы, 100г натрия, 95 г хлора, 19 г магния, 18 кремния, 4,2 г железа.

В организме человека присутствует абсолютное большинство элементов периодической системы. К числу микроэлементов с содержанием  $10^{-3}$ - $10^{-5}$  мас.% отно-

сят алюминий, цинк, свинец, медь, фтор, ванадий, хром, бром, никель, олово, мышьяк, кобальт, молибден и др. Из ультрамикроэлементов, содержащихся в количествах менее  $10^{-5}$  мас.%, можно выделить радий, торий, цезий, уран. Содержащиеся в организме макро-, микро-, и ультрамикроэлементы находятся как в твердых, так и в мягких тканях.

Процесс биоминерализации является основным в формировании ОМА. Выделяют два типа биоминерализации: биологически индуцируемую (безматричный тип) и биологически контролируруемую (матричный тип) [5, 12].

Матричный тип биоминерализации характерен для возникновения минеральной фазы в ОМА большинства живых организмов. При этом минеральная составляющая жестко связана с органической матрицей, в которой она развивается. В этом процессе выделяют несколько стадий: формирование органического каркаса (органической матрицы), обладающего мембранными свойствами; накопление в клетке раствора, пересыщенного различными строительными элементами; формирование ядер будущей минеральной фазы, ее рост и, наконец, прекращение роста. Матрица определяет появление той или иной минеральной фазы. Полагают, что матрица имеет высокую упорядоченность, причем органические волокна обладают сродством к определенным минералам.

Механизм биоминерализации кальциевыми карбонатами многими авторами представляется следующим образом. Первоначальная протеиновая фракция (органическая основа, матрица) секретируется организмом и полимеризуется в форме плиты. Эта протеиновая плита служит носителем и связующим агентом для кислых пептидов или гликопротеинов, имеющих близкое сродство к ионам  $\text{Ca}^{+2}$ . Присоединение этих ионов к протеиновой основе обуславливает формирование минерализованной матрицы. Все ионы  $\text{Ca}^{+2}$  укладываются в основу по эпитаксиальному закону. Подобным образом создается структура, в которой минерализованными кирпичиками является апатит, формирующийся сначала в виде аморфного фосфата кальция или октакальцийфосфата, а затем превращающийся в кристаллическое вещество. Апатиты являются основным минералом эмали и дентина зубов, костей скелета, а также входят в состав многих патогенных ОМА в организме человека.

Возможны три механизма матричной биоминерализации: 1 – рост кристаллической фазы происходит на определенных кристаллических поверхностях; 2 – при химическом блокировании некоторых направлений рост происходит в определенных, заданных направлениях; 3 – растворение кристаллической фазы на одних участках под действием нагрузки и отложение материала и кристаллизация в местах разгрузки (например, это имеет место в костной ткани).

Рассматривая различные механизмы возникновения ОМА, необходимо отметить возможность преобразования минерального вещества в процессе роста (синергетические преобразования) и в процессе диагенеза (диагенетические преобразования). Синергетические преобразования одних минералов в другие достаточно характерны для ОМА в организме человека. В оксалатных камнях мочевой системы достоверно устанавливается постепенное замещение более раннего уэделлита более поздним уэделлитом. Значительные преобразования претерпевают первичные минералы в желчных камнях. В твердых тканях зубов и кости происходят изоморфные замещения в структуре гидроксилapatита в течение жизни человека и в зависимости от биогеохимических условий проживания.

Основной особенностью процесса биоминерализации является то, что органическая составляющая определяет места появления минеральной фазы, то есть выполняет руководящую роль во взаимоотношениях с минеральной компонентой. Строго построенный органический каркас вызывает и упорядоченное возникновение мельчайших минеральных индивидов, то есть имеет место эпитакия минерального и органического веществ. Форма и величина индивидов минеральной фазы строго predeterminedены. Их изменения могут быть связаны только со значительно изменившимися условиями жизни организма (состав пищи и питьевой воды, стрессовые ситуации, экологически неблагоприятные условия проживания, профессиональные вредности, соматические заболевания, связанные с нарушением обмена веществ, в



частности кальциевого, и т.д.), которые заставляют систему перестраиваться, обуславливая возникновение энергетически более выгодных взаимоотношений между органической и минеральной составляющими.

В настоящей работе обсуждаются результаты проведенного нами исследования структуры, химического и вещественного состава твердых тканей зубов, зубных и слюнных камней.

**Объекты и методы исследования.** В качестве материала исследования использованы зубы пациентов обоего пола в возрасте 35-65 лет (75 образцов), удаленные по медицинским показаниям (III степень подвижности, обострение хронического пародонтита, ортодонтические показания), зубные камни больных хроническим пародонтитом (80 образцов) и слюнные камни из околоушной и подъязычной слюнных желез и их протоков (38 образцов). Для оценки фазового состава образцов и степени их кристалличности использовали методы рентгенографии поликристаллов. Их химический состав определяли методами рентгеноспектрального микрозондового анализа (РМА), атомно-абсорбционной спектроскопии, рентгеновской флуоресценции. Методом рентгеновской порошковой дифрактометрии определяли параметры элементарной ячейки исследованных апатитов. Данные о наличии разных типов воды в исследуемых твердых тканях, а также о присутствии ОН-групп и  $\text{CO}_3$ -ионов в структуре гидроксилapatитов получали методом ИК-спектроскопии.

**Результаты и их обсуждение.** Среднее содержание кальция в эмали изученных зубов составляет 36,26, фосфора – 17,17, натрия – 0,79, магния – 0,24, хлора – 0,31, фтора – 0,21, серы – 0,11 мас.%. Величина коэффициента Ca/P, являющегося критерием кариесрезистентности твердых тканей зубов, варьирует от 1,61 до 1,63. В дентине среднее содержание кальция – 27,43, фосфора – 13,31, магния – 0,83, натрия – 0,65, хлора – 0,05, фтора – 0,01, серы – 0,12 мас.%. Среднее значение Ca/P-коэффициента в дентине составляет 1,59.

Методом атомно-абсорбционной спектроскопии в твердых тканях зубов обнаружено порядка 45 химических элементов, содержание которых варьирует от  $10^{-5}$  до  $10^{-3}$  мас.%. В эмали изученных зубов отмечены микропримеси следующих химических элементов: Zn, Sr, K, Fe, Ti, Cu, Ni, Al, W, Co, Cr, Mn, Pb, Zr, Ba, Sn, Mo, Ga, Be, Rb, Nb, Ag, Cd, Y, In, Sb, I, Cs, редкоземельных элементов от La до Ho. Содержание цинка варьирует от 18 до 30  $10^{-3}$  мас.%, стронция от 4,6 до 8,3  $10^{-3}$  мас.%, калия от 2,7 до 3,1  $10^{-3}$  мас.%, железа от 8,4 до 9,1  $10^{-3}$  мас.%, титана от 1,3 до 3,2  $10^{-3}$  мас.%, меди от 0,8 до 1,9  $10^{-3}$  мас.%, никеля от 0,1 до 1,3  $10^{-3}$  мас.%, вольфрама от 0,9 до 6,1  $10^{-3}$  мас.%, кобальта от 0,1 до 5,3  $10^{-3}$  мас.%, хрома от 0,2 до 1,5  $10^{-3}$  мас.%, марганца от 2 до 3  $10^{-4}$  мас.%, свинца от 2 до 5  $10^{-4}$  мас.%, бария от 3 до 5  $10^{-4}$  мас.%, олова от 0,6 до 3,3  $10^{-4}$  мас.%, молибдена от 0,2 до 1,7  $10^{-4}$  мас.%, бериллия от 0,3 до 0,4  $10^{-5}$  мас.%. В ряде образцов эмали обнаружено значимое содержание редкоземельных элементов от La до Ho (суммарное содержание  $\sim 34 \cdot 10^{-5}$  мас.%). Кроме того, отмечены случаи значительного накопления в эмали зубов целого спектра химических элементов (Fe, Cu, Ni, W, Co, Cr, Mn, Ba, Mo), неблагоприятно влияющих на здоровье, что может быть связано с профессиональной деятельностью пациента.

В проанализированных образцах зубных камней методом рентгеновской флуоресценции обнаружено около 30 микроэлементов (Ti, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Zr, Ag, Sn, I, Ba и некоторые другие), содержание которых варьирует от  $10^{-4}$  до  $10^{-2}$  мас.%. Количественное содержание химических элементов в камнях значительно отличается. Так, элементы с содержанием  $10^{-3} \div 10^{-2}$  мас.% в составе зубных камней образуют расположены в следующем порядке: Zn > Sr > Fe > Ti > Cr > V > Ba > Br > Mn > Ni > Cu. Следует отметить, что в более минерализованных зубных камнях обнаружено более высокое содержание бария и стронция.

По нашему мнению, большая часть микроэлементов может входить в кристаллическую структуру апатита изоморфно: Sr, Ba – в позиции Ca; Ti, V, Cr – в тетраэдрическую позицию P. Кроме того, так как большинство определенных в этой группе элементов (Zn, Cu, Ni, Fe и др.) являются хорошими комплексообразователями, они могут образовывать устойчивые комплексные соединения с органической компонентой.

Исследование слюнных камней методом атомно-абсорбционной спектроскопии позволило определить содержание макроэлементов: Ca, P, Mg, Na, K, Cl, S в каждом из проанализированных образцов. Можно отметить высокое содержание кальция и фосфора, составляющих основу минеральной части слюнных камней. Ряд средних массовых содержаний элементов в слюнных камнях  $Ca > P > Na > Mg > K$  сопоставим с рядом средних массовых содержаний указанных элементов в слюне  $K > P > Na > Ca > Mg$  здорового взрослого среднестатистического человека.

По содержанию элементы, определенные в составе зубных и слюнных камней, можно разделить на три группы:

- 1) с содержанием  $10^{-3} \div 10^{-2}$  мас.% – Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Sr, Ba;
- 2) с содержанием  $10^{-4} \div 10^{-3}$  мас.% – Ga, Rb, Zr, Mo, Ag, Sn, I, La, Ce;
- 3) с содержанием  $< 10^{-4}$  мас.% – As, Se, Y, Nb, Cd, In, Sb, Te, Cs.

Несмотря на то, что качественный набор элементов в каждой выделенной группе для зубных и слюнных камней одинаков, последовательность расположения элементов отличается. Так, элементы первой группы образуют следующие концентрационные ряды:

- 1) зубные камни:  $Zn > Sr > Fe > Ti > Cr > V > Ba > Br > Mn > Ni > Cu$ ;
- 2) слюнные камни:  $Ti > V > Cr > Fe > I > Br > Sr > Zn > Cu > Ni$ .

Методом рентгенофазового анализа установлено, что минеральная компонента твердых тканей зубов представлена основным ортофосфатом кальция (гидроксиллапатитом)  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ . Минеральная составляющая большинства зубных камней также представлена гидроксиллапатитом. Только в трех образцах вместе с этим минералом в подчиненном количестве (5-10%) присутствует дигидрат гидрофосфат кальция (брушит)  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ . Основным минеральным компонентом всех образцов слюнных камней является гидроксиллапатит. В одном образце в качестве примеси обнаружен брушит, в другом – витлокит  $(Ca, Mg)_3(PO_4)_2$  (5-10% от содержания гидроксиллапатита). На рентгенограммах двух образцов наблюдается существенное повышение фона в малоугловой области, что свидетельствует о присутствии рентгеноаморфной фазы.

По результатам рентгенографических исследований выявлено, что апатиты эмали окристаллизованы значительно лучше, чем апатиты дентина, что проявляется на рентгенограммах по снижению интенсивности и увеличению полуширины дифракционных отражений. Апатиты зубных камней также различаются по степени кристалличности. При этом гидроксиллапатит зубных камней окристаллизован лучше и дает более четкие рефлексы по сравнению со слюнными камнями, что, видимо, связано с большим содержанием органических веществ в последнем. На рентгенограммах большинства образцов (примерно 90%) наблюдается четкое разделение рефлексов 211, 122 и 300. Апатиты остальных образцов окристаллизованы хуже, и эти рефлексы дают один широкий пик. Таким образом, степень окристаллизованности апатитов, образующихся в организме человека, зависит от содержания органической компоненты в твердых тканях. В эмали она составляет 4-5%, в дентине – 25-30%, а в зубных и слюнных камнях значительно варьирует.

Результаты рентгеновской порошковой дифрактометрии показали, что значения параметров элементарной ячейки всех исследованных нами апатитов эмали зубов существенно отличаются от соответствующих величин стехиометрического гидроксиллапатита ( $a=9,418$ ,  $c=6,884 \text{ \AA}$  – ICPDF, card 09-432) и типичны для кальций-дефицитных гидроксиллапатитов, что согласуется с ранее полученными данными для апатитов твердых тканей зубов [7]. Параметры элементарной ячейки апатитов зубных и слюнных камней также характерны для нестехиометрических кальций-дефицитных гидроксиллапатитов, в том числе, карбонатсодержащих [11]. Из сравнения со стехиометрическим гидроксиллапатитом следует, что величина параметра «а» апатита слюнного камня на 0,33% больше, чем у стехиометрического гидроксиллапатита, а величина параметра «с» практически не отличается. Параметр «а» исследуемого апатита близок к верхнему пределу вариаций этого параметра у апатитов эмали.

Данные ИК-спектроскопии подтверждают фосфатный состав неорганической компоненты твердых тканей зубов, зубных и слюнных камней (рис. 1). На спектрах всех образцов присутствуют полосы поглощения, соответствующие колебаниям

P–O-связей (1090, 1030, 960 и 630, 600 и 560  $\text{см}^{-1}$ ). Отсутствие полосы 640  $\text{см}^{-1}$  (связь P–OH) свидетельствует о дефиците OH-групп в структуре гидроксилapatитов. На всех ИК-спектрах наблюдаются также полосы C–O-связи: 1460, 1420  $\text{см}^{-1}$ , что указывает на замещение карбонат-ионом в кристаллической структуре апатита  $[\text{PO}_4]$ -тетраэдров (замещение В-типа) (рис. 2). В ИК-спектрах дентина и зубных камней присутствует также полоса поглощения C–O связи 1550  $\text{см}^{-1}$ , что говорит о замещении  $\text{CO}_3$ -ионом OH-групп в каналах структуры апатита (замещение А-типа). Следовательно, исследуемые апатиты различаются по характеру распределения карбонат-ионов в кристаллической структуре. Если в апатите эмали карбонат-ионы замещают только  $[\text{PO}_4]$ -тетраэдры, то в апатитах дентина и зубных камней часть этих анионов локализуется в каналах структуры. Еще одно различие исследуемых образцов выявляется по присутствию на ИК-спектрах дентина и зубных камней интенсивной полосы молекулярной воды 1650  $\text{см}^{-1}$ , которая на спектрах эмали отсутствует.

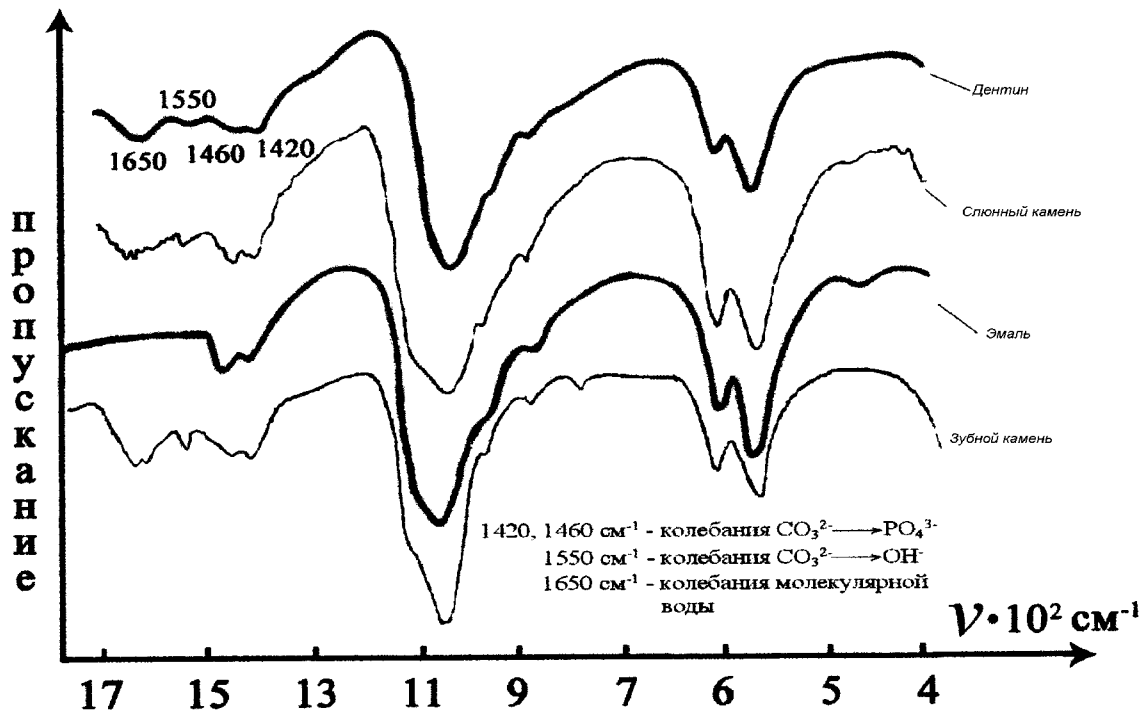


Рис. 1. Сравнение ИК-спектров эмали, дентина зубов, зубного и слюнного камней

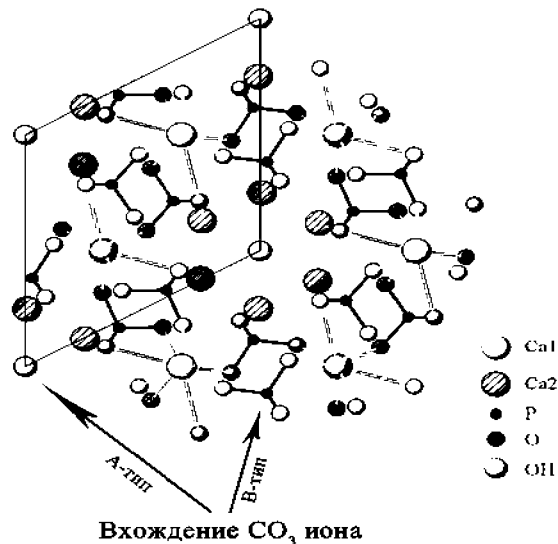


Рис. 2. Кристаллическая структура гидроксилapatита

Приведенные выше средние значения Са/Р-коэффициентов исследованных апатитов меньше величины 1,67, характерной для стехиометрического апатита. Этот факт, а также установленный дефицит ОН-групп в каналах свидетельствуют о наличии вакансий в позиции кальция в кристаллической структуре апатита.

На основании экспериментальных данных по изучению состава зубных и слюнных камней можно выделить следующие закономерности. Минеральная составляющая зубных и слюнных камней представлена плохо окристаллизованным кальций-дефицитным карбонат-гидроксилапатитом, что согласуется с литературными данными [3, 15 и др.]. Фазовый состав зубных и слюнных камней примерно одинаков и близок составу твердых тканей зубов человека. Улучшение окристаллизованности гидроксилапатита в ряду «эмаль зуба > дентин > зубные камни > слюнные камни» можно объяснить увеличением в этом ряду содержания органических веществ. Установлено, что микроэлементный состав зубных и слюнных камней имеет определенные региональные особенности. Содержание ряда токсичных окислов металлов (ванадий, свинец, медь, никель и др.) в изученных камнях позволяет предположить, что при неблагоприятной экологической ситуации они в избытке поступают в организм человека.

Таким образом, основным минералом неорганической компоненты твердых тканей зубов, зубных и слюнных камней является кальций-дефицитный карбонат-содержащий гидроксилапатит. В структуре апатита эмали зубов  $\text{CO}_3$ -ионы замещают  $\text{PO}_4$ -тетраэдры, а в структуре апатита дентина, зубного и слюнного камня часть из них и ОН-группы в каналах. С увеличением возраста пациентов в структуре апатитов эмали параллельно с увеличением доли вакансий в позициях кальция растет число молекул воды, двухвалентных анионов  $[\text{CO}_3]^{2-}$  и  $[\text{HPO}_4]^{2-}$ , а также анионов фтора [8]. Можно предположить, что примеси микроэлементов могут изоморфно входить в кристаллическую структуру апатита, для которой характерны многочисленные изо-валентные и гетеро-валентные замещения [14]. Широчайший спектр микроэлементов, обнаруженных в исследованных твердых тканях зубов и камней, отражает влияние факторов окружающей среды на организм человека.

### Литература

1. Барсков, И.С. Биоминерализация и эволюция. Коэволюция минерального и биологического миров / И.С. Барсков // Происхождение и эволюция биосферы : материалы Международного рабочего совещания «». – Новосибирск. – 2005. – С. 71–72.
2. Вернадский, В.И. Биосфера / В.И. Вернадский. – М.: Мысль, 1967. – 280 с.
3. Голованова, О.А. Влияние органических веществ на процесс образования зубных и слюнных отложений / О.А. Голованова, Л.В. Бельская : материалы II Российского совещания по органической минералогии. – Петрозаводск, 2005. – С.117-119.
4. Кораго, А.А. Введение в биоминералогии / А.А. Кораго. – СПб., 1992. – 280 с.
5. Лапо, А.В. Живое вещество и минералообразование / А.В. Лапо // Записки Всесоюз. минералогического общества. – 1985. – Ч. 114. – Вып. 1. – С.26-29.
6. Самойлов, Я.В. Эволюция минерального состава скелетов организмов / Я.В. Самойлов // Тр. Ин-та прикл. минералогии и петрографии. – 1923. – Вып. 4. – С.1–16.
7. Франк-Каменецкая, О.В. Нестехиометрический апатит твердых тканей зубов человека. Возрастные изменения / О.В. Франк-Каменецкая, В.В. Голубцов, О.Л. Пихур и др. // Записки всероссийского минералогического общества. – 2004. – № 5. – С.120-130.
8. Цимбалистов, А.В. Результаты исследования морфологического строения, химического состава и параметров кристаллической решетки апатитов твердых тканей зубов / А.В. Цимбалистов, О.Л. Пихур, О.В. Франк-Каменецкая и др. // Институт стоматологии. – 2004. – №2 (23) – С.60-63.
9. Юшкин, Н.П. В.И. Вернадский и развитие прикладной минералогии / Ю.П. Юшкин // Минералогический журнал. – 1988. – Т. 10. – № 2. – С.69–77.
10. Юшкин, Н.П. Сингенез, взаимодействие и коэволюция минерального и живого миров / Н.П. Юшкин // Минералогия и жизнь. – Сыктывкар. – 1993. – С.5–7.
11. Elliott J. C. Structure and chemistry of the apatite's and other calcium orthophosphates. Amsterdam: Elsevier. – 1994. – 390 p.



12. Lowenstam H.A. Minerals formed by organisms. – Science, 1981, Vol. 211, №4487. – P.1126-1131.
13. Lowenstam H.A., Weiner S. On the biomineralization. N.Y., Oxford Univ. Press, 1989. – 324 p.
14. Pan Y., Fleet M. Compositions of the apatite-group minerals: Substitution mechanisms // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. – Washington, 2002. – Vol. 48. – P.234-241.
15. Pikhur O.L., Rosseeva E.V., Plotkina Yu.V., Kasbohm J., Golovanova O.A., Frank-Kamenetskaya O.V., Zorina M.L. Features of the morphology and composition of salivary calculi of patients from Saint-Petersburg region // Medical Geology Newsletter. – №12, June. – 2008. – P.24-29.

## ORGANIC-MINERAL UNITS ON THE HUMAN ORGANISM

**O.L. PIKHUR<sup>1</sup>,**  
**O.A. GOLOVANOVA<sup>2</sup>,**  
**L.V. BELSKAYA<sup>2</sup>,**  
**B.V. TRIPHONOV<sup>3</sup>**

<sup>1)</sup> *Saint-Petersburg Medical  
Academy of Postgraduate Studies*

<sup>2)</sup> *Omsk State University*

<sup>3)</sup> *Belgorod National State University*

*e-mail: POL0012@mail.ru*

In the review dates of analyzes of structure, chemical and mineral composition of hard tooth tissues, dental and saliva stones were examined. The main mineral component of the investigated hard tooth tissues, dental and saliva stones is calcium-deficient carbon bearing hydroxyapatite. The broad spectrum of microelements detected in investigated dental hard tissues and stones was reflected influence of environment factors on the human organism.

Key words: biominerals, hydroxyapatite, chemical and mineral composition of hard tooth tissues, dental and saliva stones.