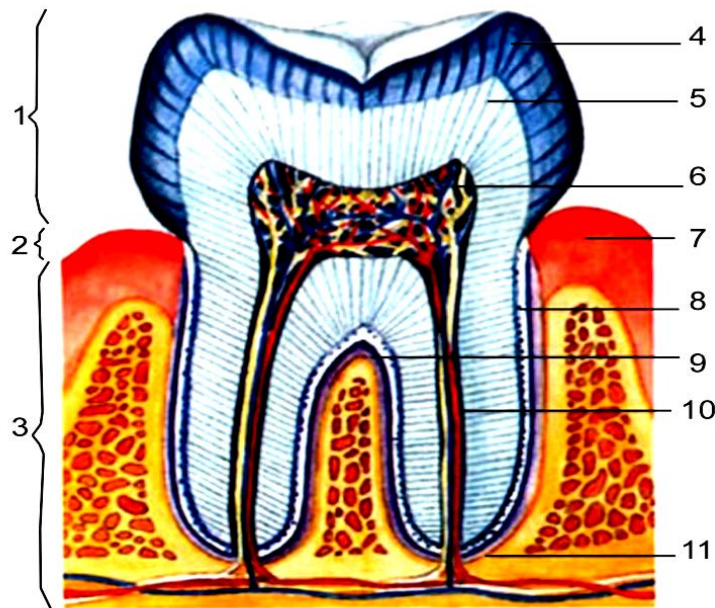


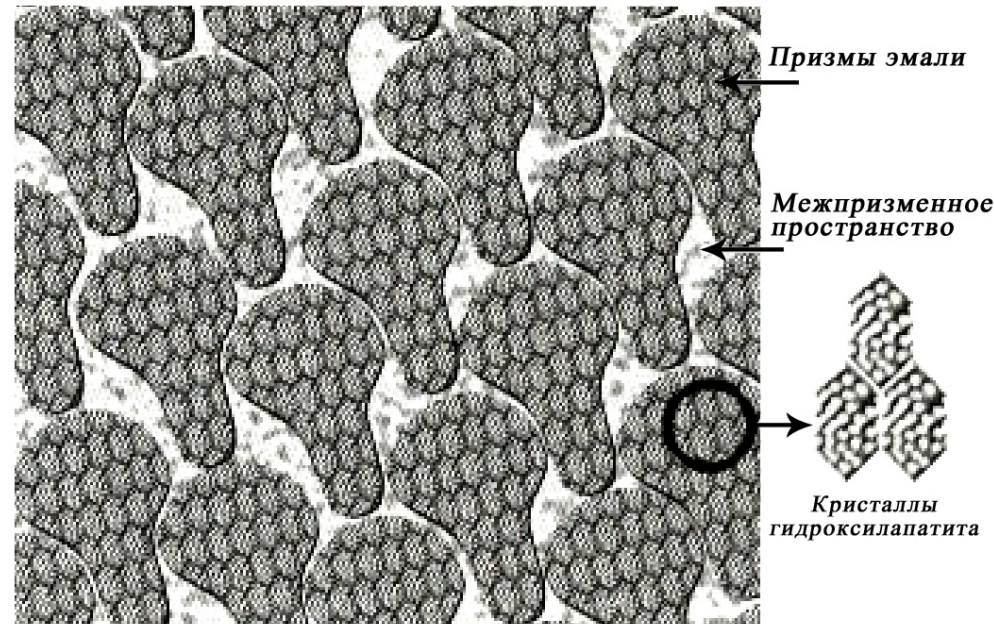
# Твердые ткани зубов живых организмов

## Строение зуба человека

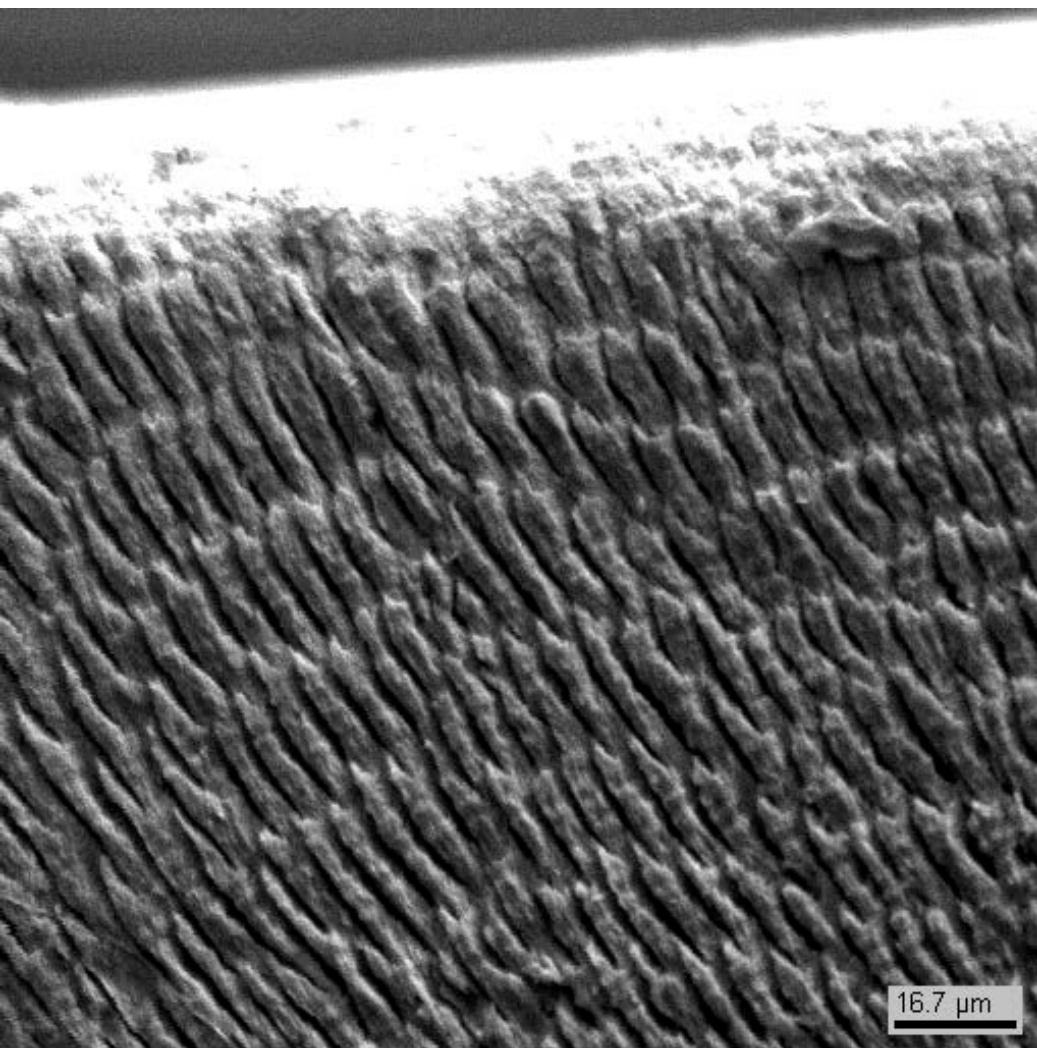


- |                          |                     |
|--------------------------|---------------------|
| 1. Коронка зуба          | 7. Десна            |
| 2. Шейка зуба            | 8. Зубной цемент    |
| 3. Корень зуба           | 9. Надкостница зуба |
| 4. Зубная эмаль          | 10. Нервы и сосуды  |
| 5. Зубная кость (дентин) | 11. Зубная альвеола |
| 6. Зубная пульпа         |                     |

## Структура эмали

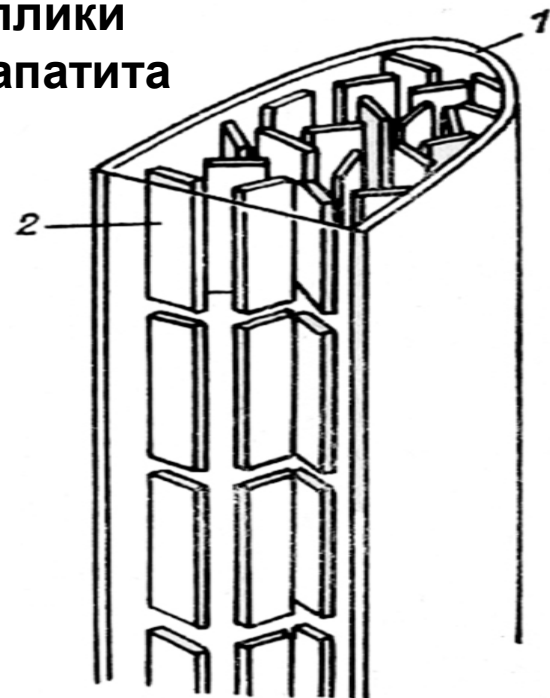


# Эмалевые призмы под электронным микроскопом

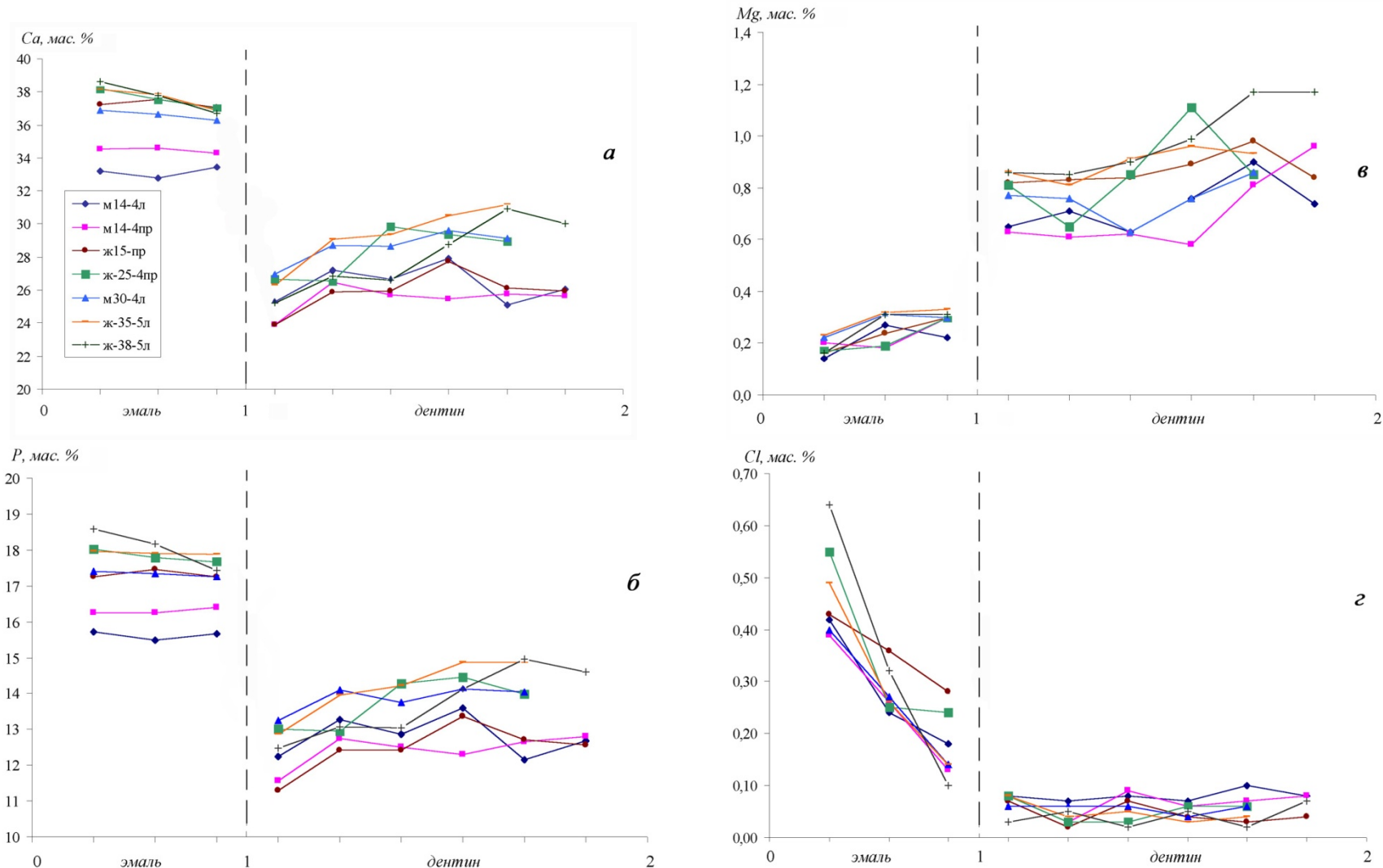


## Схематическое строение эмалевой призмы.

- 1 - неминерализованное межпризменное пространство;  
2 – кристаллики гидроксилапатита



# ВАРИАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ РЯДА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТВЕРДЫХ ТКАНЯХ ЗУБА



Приведены относительные расстояния  
от поверхности зуба (0) через эмалево-дентинную границу (1) к пульпе (2).

# Средний химический состав неорганического компонента твёрдых тканей зуба человека (мас. %)

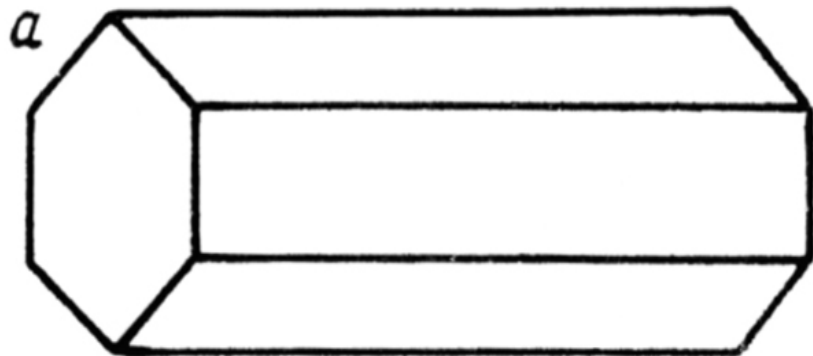
Элемент	Эмаль		Дентин	
	Наши данные	Elliott, 2002	Наши данные	Elliott, 2002
Ca	37.77	37.60	37.57	40.30
P	17.89	18.30	18.23	18.60
CO <sub>2</sub>	2.76	3.00	3.86	4.80
Na	0.82	0.70	0.89	0.10
Mg	0.25	0.20	1.14	1.10
Cl	0.32	0.40	0.07	0.27
F	0.22	0.01	нет данных	0.07
S	0.06	нет данных	0.12	нет данных
K	следы	0.05	следы	0.07
Sr	следы	0.03	следы	0.04
Ca/P	1.63	1.59	1.59	1.67

# Размер (нм) кристаллов апатита твёрдых тканей человека

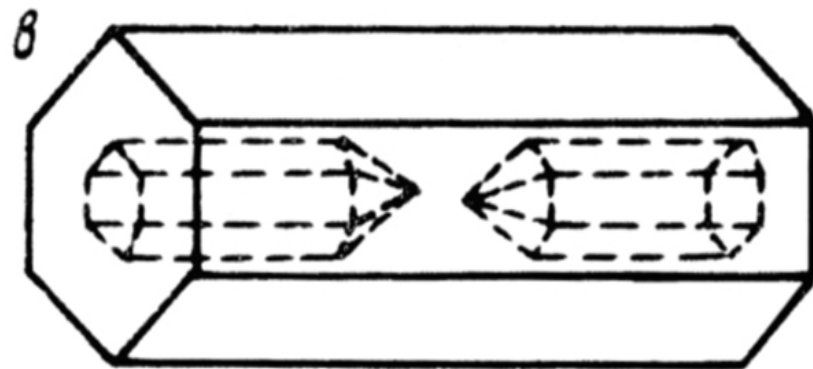
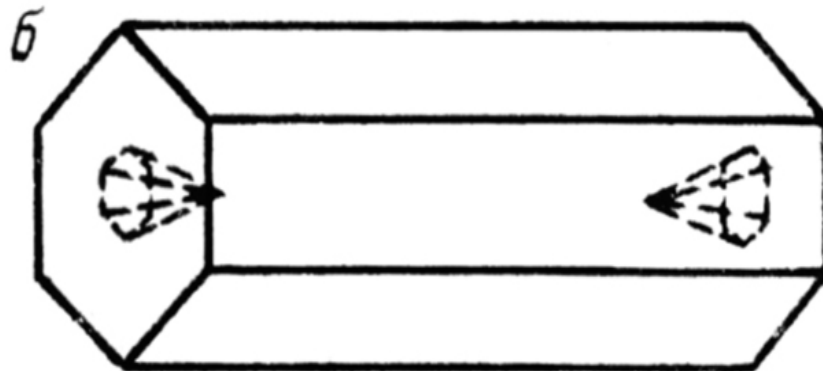
Ткань	Длина	Ширина	Толщина
Зрелая эмаль	50 – 1000	65	25
	92	60	–
	–	68±13	26±2
Эмаль плода	100	–	–
	74	70	7
Дентин	100	35	10
Кость	30 – 100	20– 40	4 – 6

# Стадии растворения кристаллика гидроксилапатита при формировании кариеса эмали

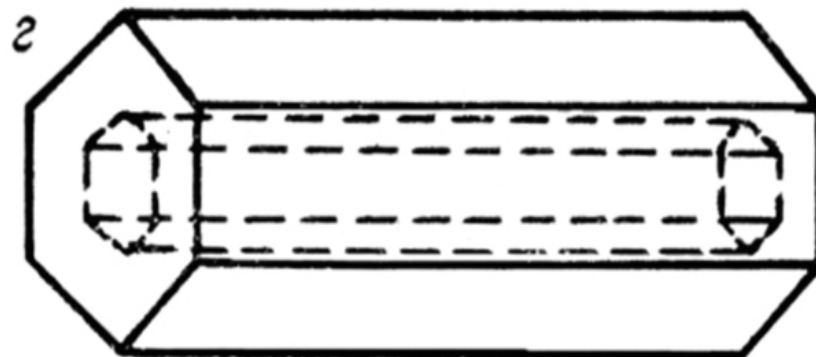
а – ненарушенный кристаллик;



б – начало формирования ямок травления;



в – высокая степень травления;



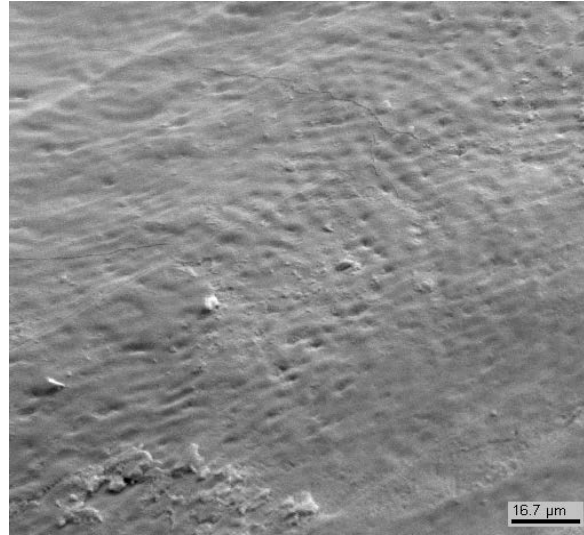
г – возникновение канала.



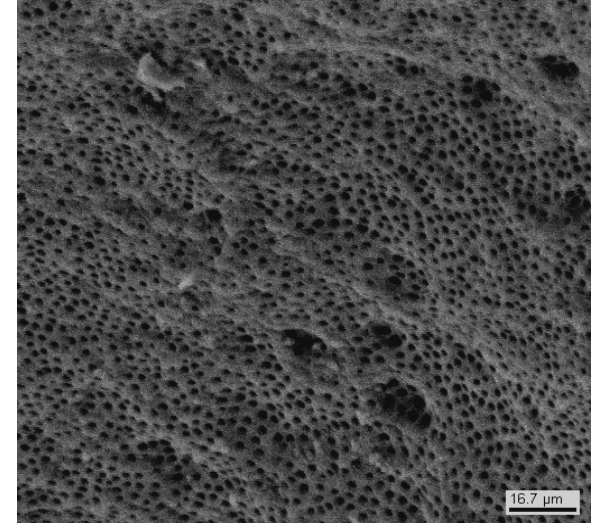
# Возрастные изменения твердых тканей зубов человека

## ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ СНИМКИ

До 30 лет

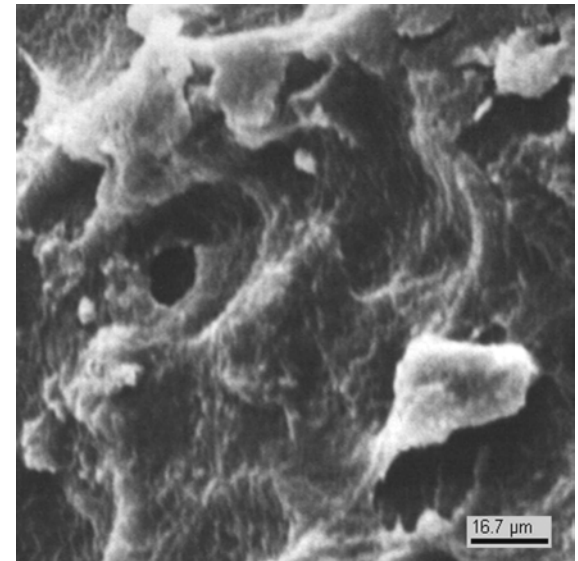
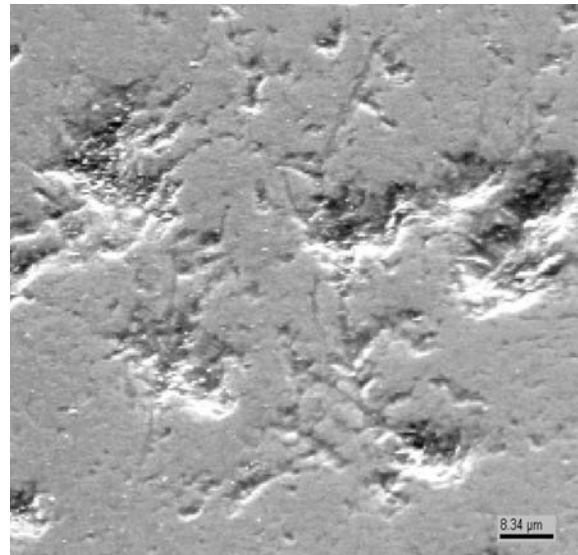


Эмаль

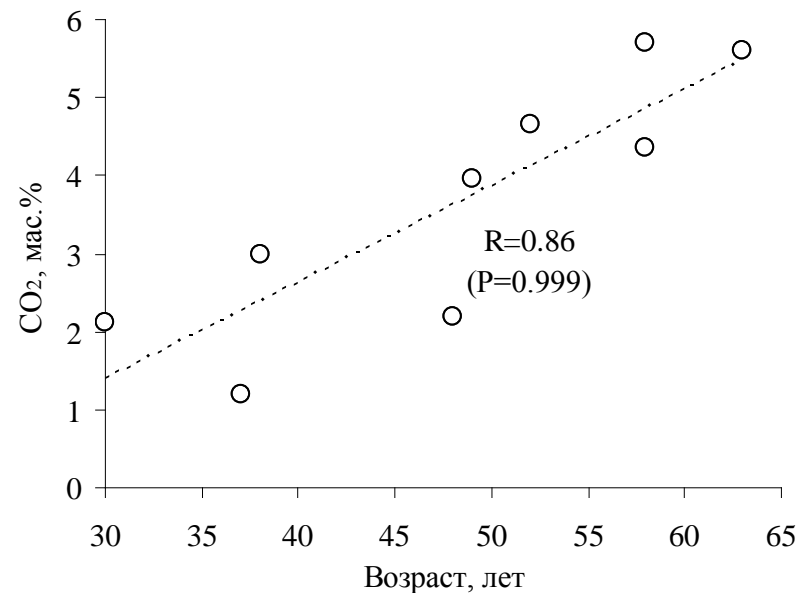
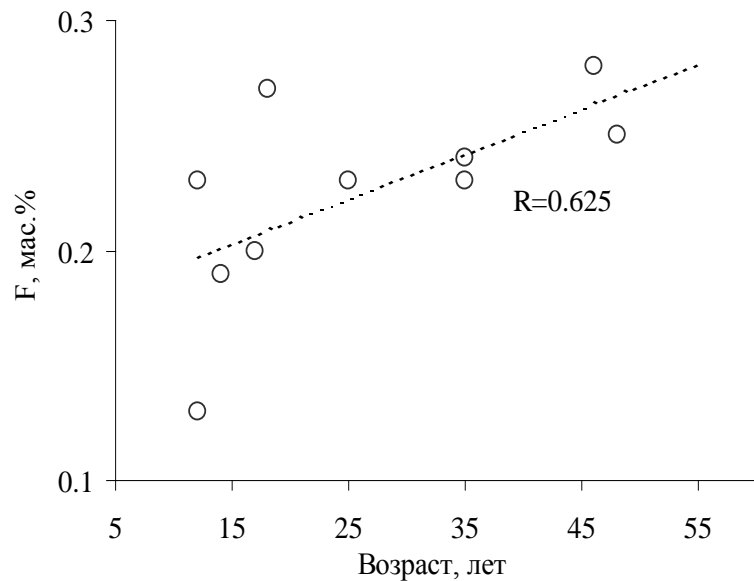
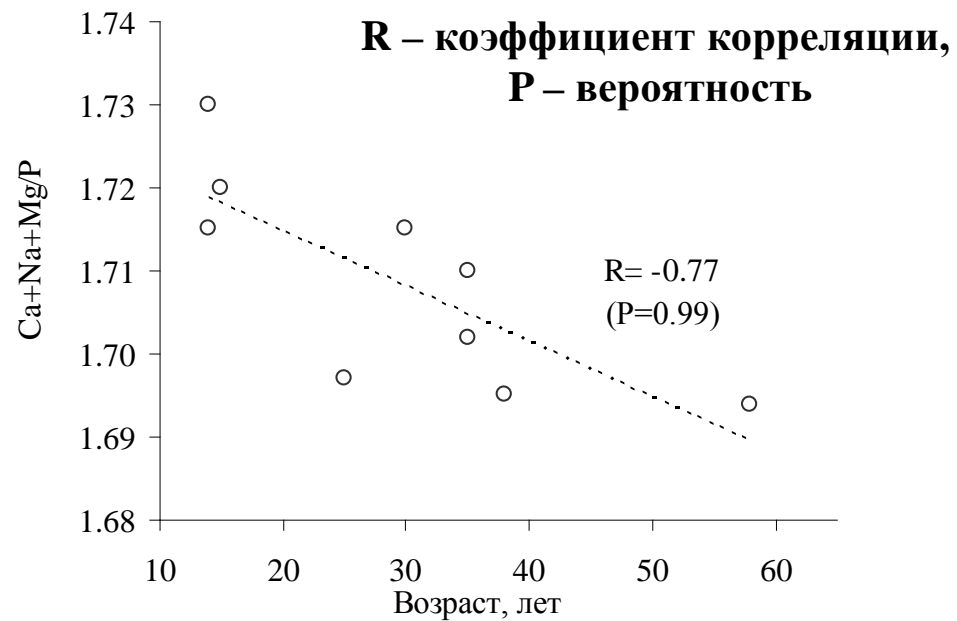
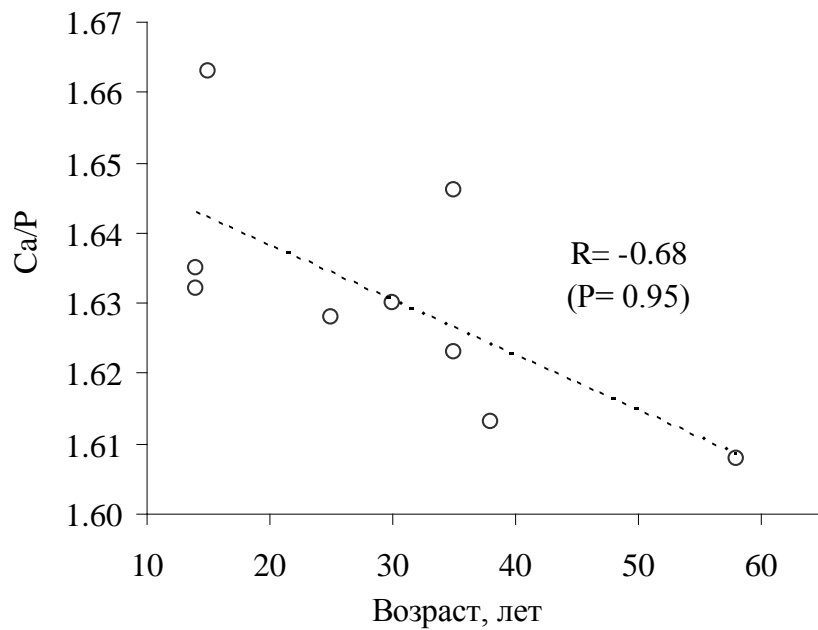


Дентин

После 50 лет

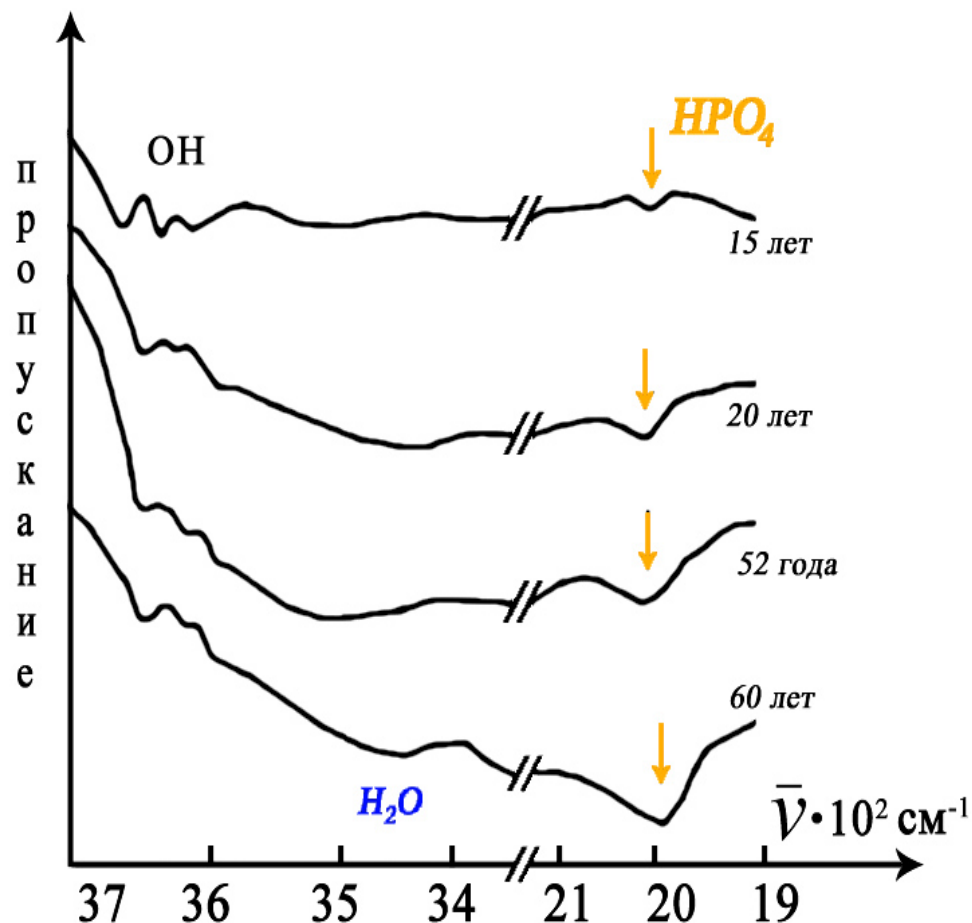


# Возрастные вариации химического состава апатита эмали



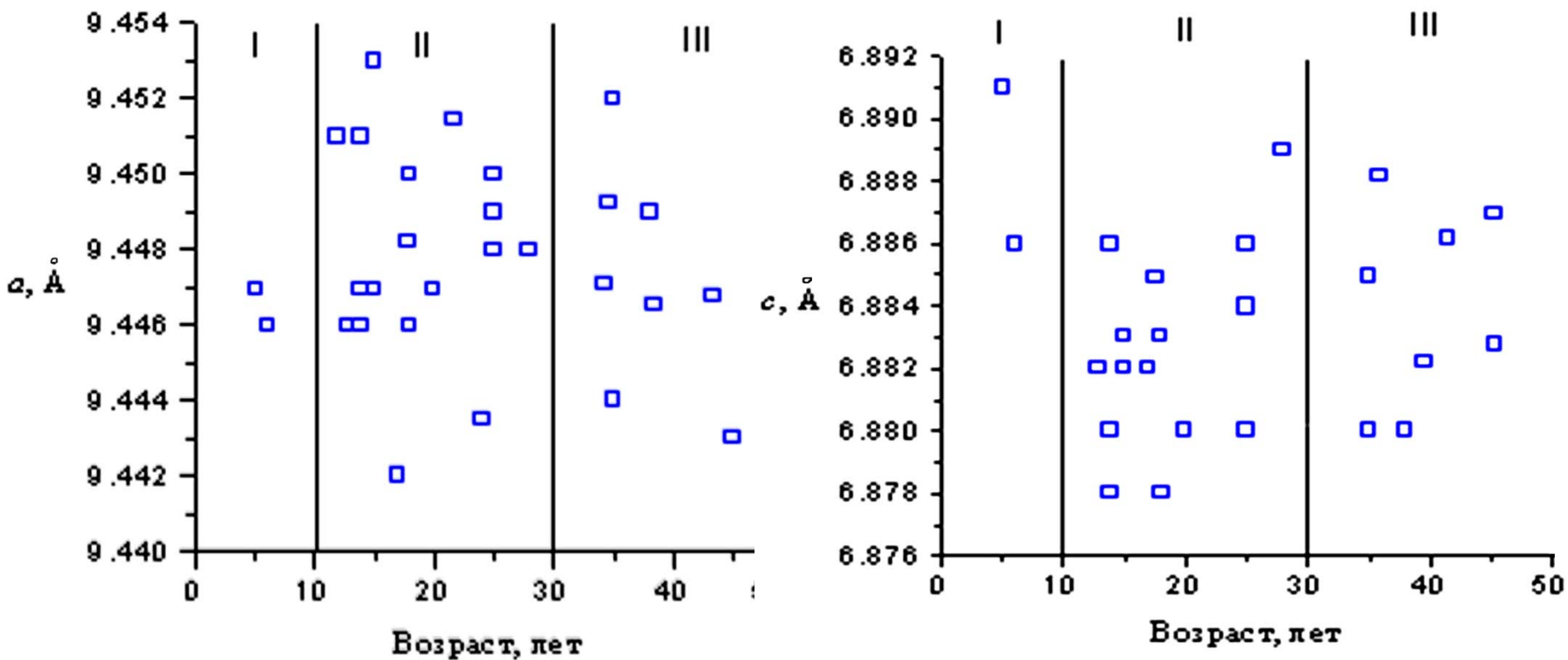


# Увеличение содержания воды и гидрофосфат-ионов в апатитах эмали по мере старения организма



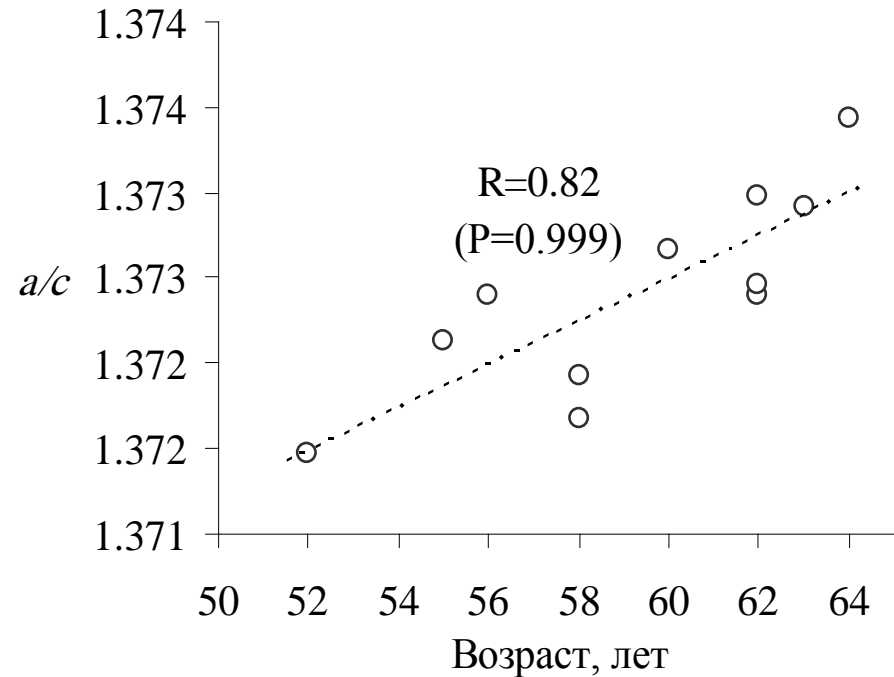
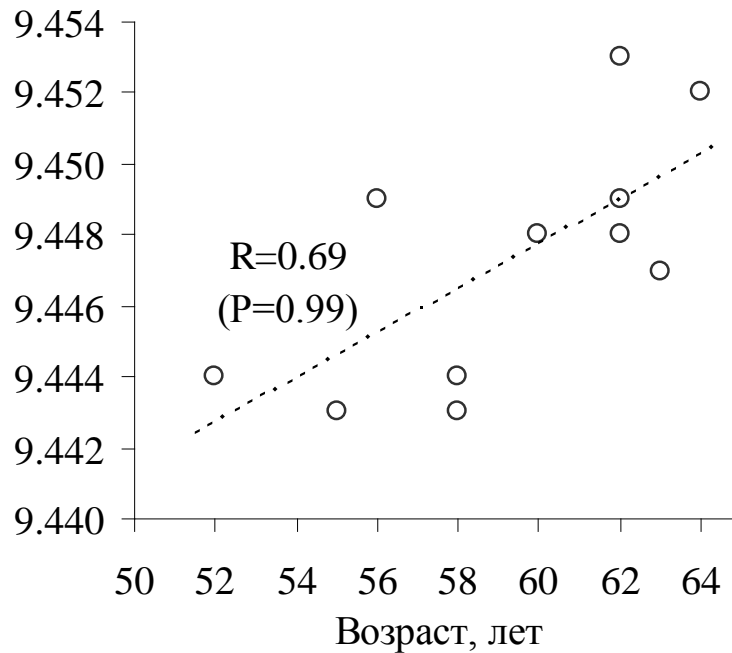
Фрагменты ИК-спектров

# Вариации параметров апатита эмали в процессе жизни человека до 50-ти лет



Значения параметров  $a$  и  $c$  апатитов эмали пациентов до 50 лет значительно колеблются вне зависимости от возраста, что связано с процессами де- и реминерализации.

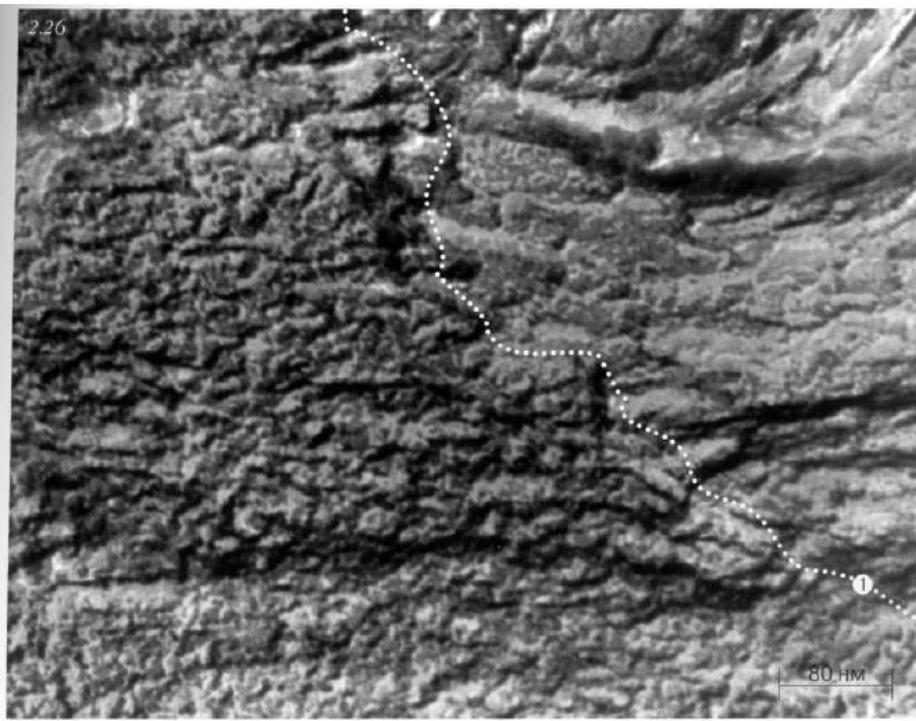
# После 50-ти лет



Значения параметров  $a$  и  $a/c$  апатитов эмали **увеличиваются**

Процессы реминерализации затухают, изменения состава биоапатитов происходит, в основном, в результате возрастной деминерализации, приводящей к увеличению молекул воды в каналах структуры и доли вакансий в позициях кальция.

# Минеральная фаза костной ткани

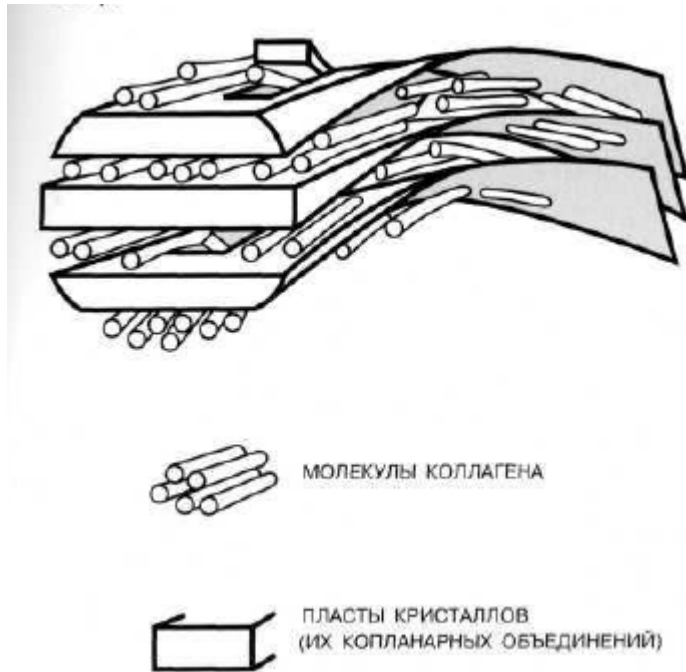


Граница между покрывающим  
слоем кристаллов и  
подлежащими структурами.  
SEM, x86000

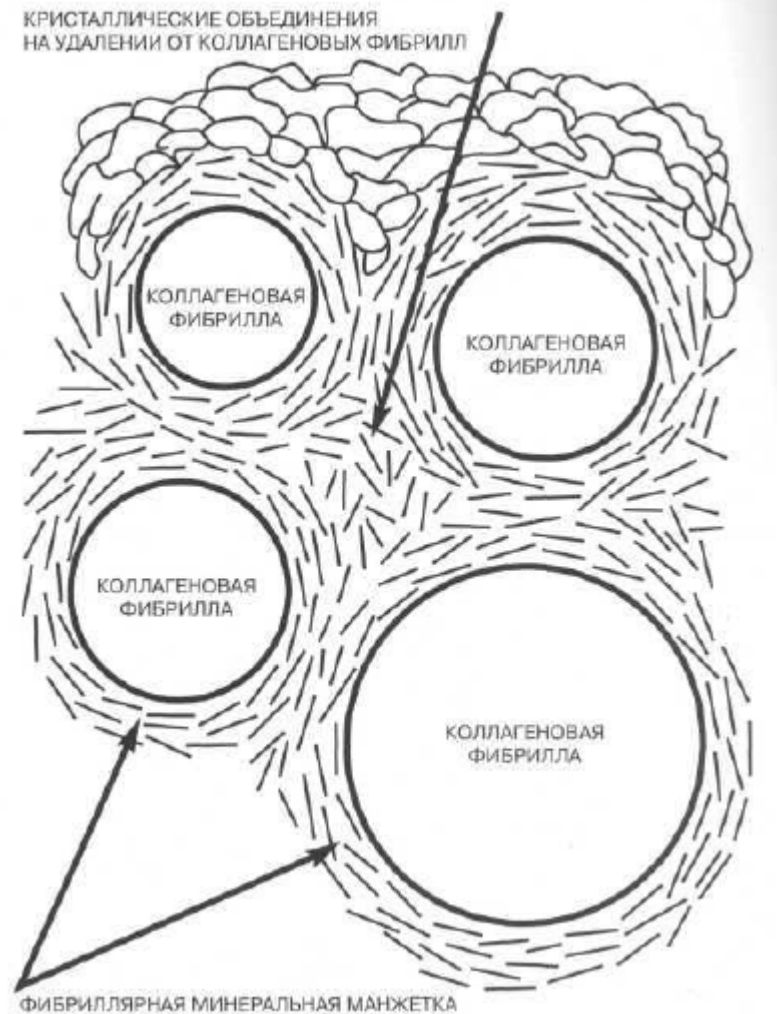
- Минеральная фаза составляет около 50% веса сухого остатка кости
- Основной минерал – карбонат-содержащий гидроксилапатит
- Различные по степени минерализации участки в пределах одной кости

# Лаколизация кристаллов апатита

Размеры костных пластинок :  
27 – 170x4 – 45x4 – 6 нм



Внутрифибрилярное  
расположение



Межфибрилярное расположение

# Изменения состава кости (%) с возрастом

Возраст человека, лет	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Ca/P	Сумма	Органическое вещество
Кортикальный слой							
13	23,8	43,8	0,1—0,2	0,15	0,88	67,4	32,6
14	22,7	36,0	0,2	0,2	1,03	59,1	40,9
39	37,7	35,0	0,15	0,15	1,75	73,6	26,4
46	28,1	27,5	0,1	0,1	1,55	55,8	44,2
70	32,9	46,3	0,1	0,1	1,16	79,4	20,6
79	34,6	49,6	0,2	0,1	1,14	84,5	15,5
86	31,5	52,4	0,1	0,1	0,98	84,1	15,9
Губчатый слой							
13	21,5	39,1			1,57	60,6	39,4
14	25,5	35,9			1,17	61,4	38,6
39	29,6	24,2			1,94	53,8	46,2
46	25,8	30,0			1,37	55,8	44,2
70	32,5	42,3			1,26	74,8	25,2
79	35,6	42,5			1,35	78,1	21,9
86	29,0	50,6			0,94	79,6	20,4

# **Возрастные изменения костной ткани**

**1. Степень минерализации  
увеличивается:**

- появляются новые кристаллы апатита, замещающие органическую матрицу;**
- разрастаются имеющиеся;**
- размер кристаллов увеличивается.**

**2. Содержание воды уменьшается.**

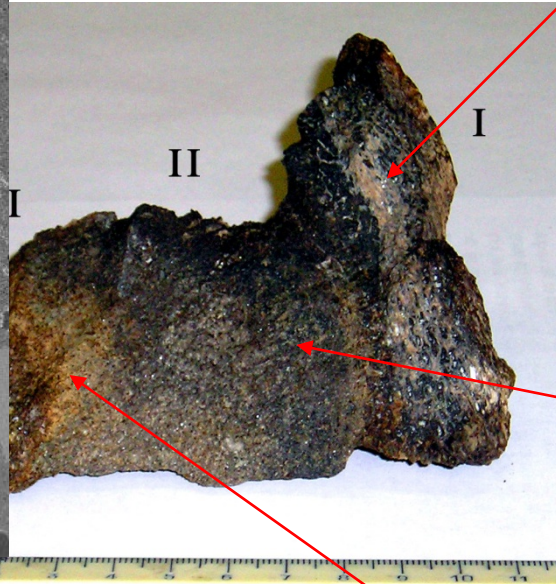
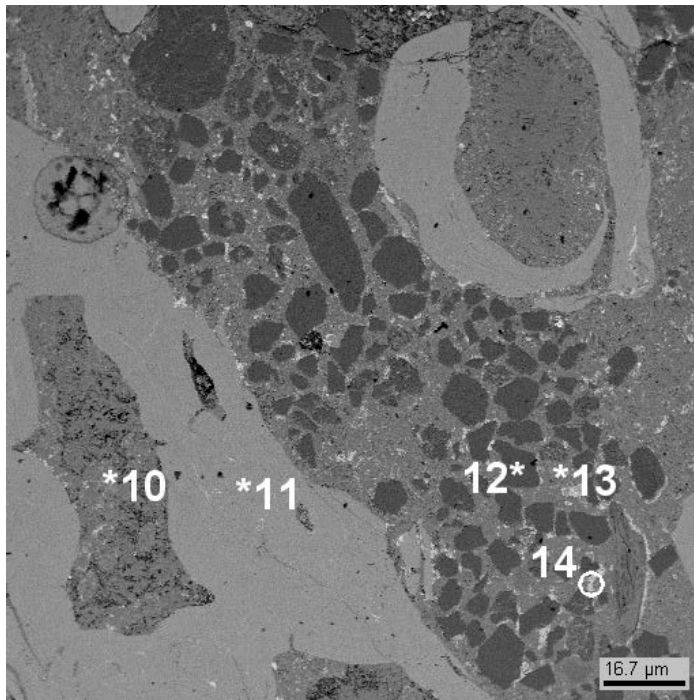
**3. Содержание органики уменьшается**



# Начало фоссилизации скелетных остатков млекопитающих из континентальных отложений

Процессы	Геологический возраст (тыс. лет)		
	Эмаль	Дентин зубов	Дентин бивней
Растворение апатита	400	14-20	20-40
Карбонатизация	4.5	4.5	20-40
Флюоритизация	600-800	400	20-40
Ожелезнение	600-800	600-800	20-40
Окварцевание	4.5	14-20	20-40

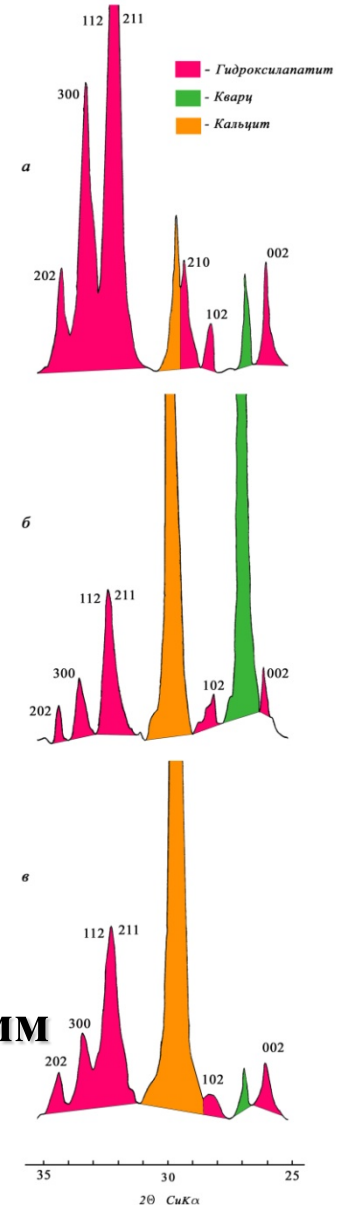
# Влияние морской среды на фоссилизацию черепной кости китообразного (палеоген, 20-30 млн. лет)



Электронная микрофотография      Исследованный образец

- 10 - манганокальцит
- 11 - биоапатит
- 12 - кварц
- 13 - железистый кальцит
- 14 - родохрозит

Фрагменты рентгенограмм

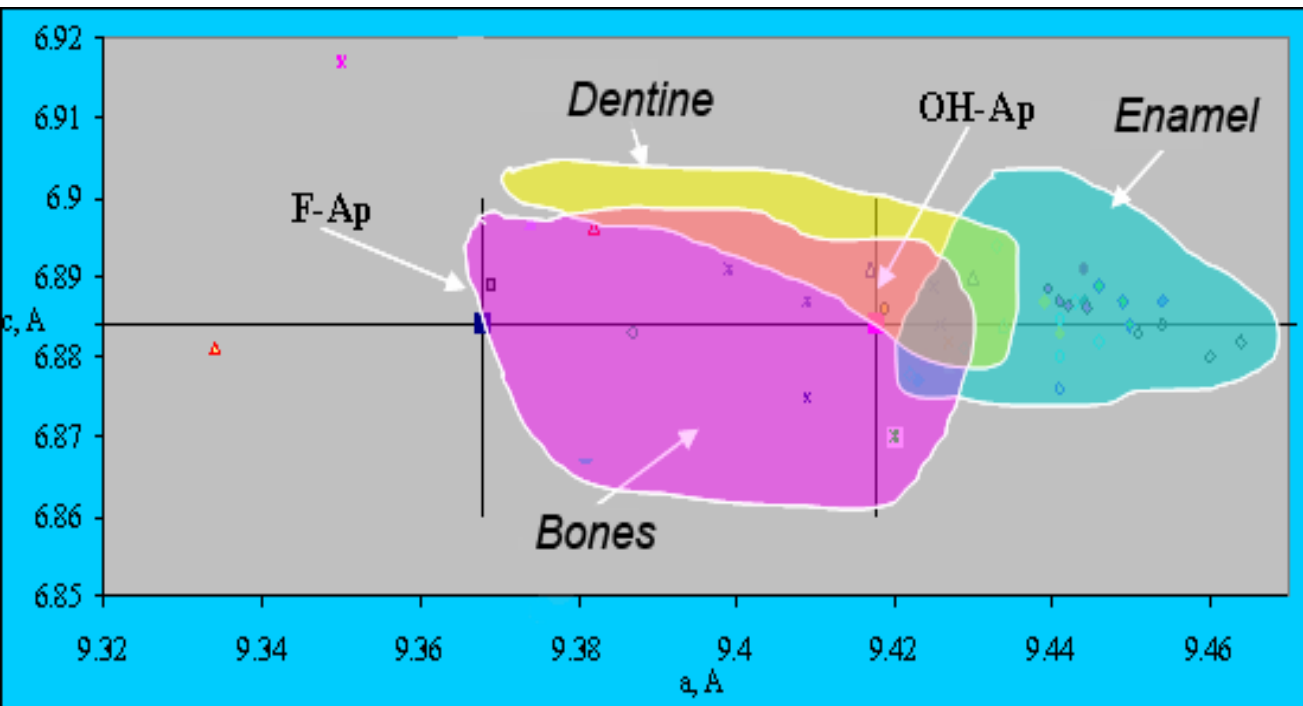


# Вторичные минералы фоссилий

Название	Формула
Кварц	$\text{SiO}_2$
Кальцит, арагонит, ватерит	$\text{CaCO}_3$
Манганокальцит	$(\text{Ca}, \text{Mn}) \text{CO}_3$
Родохрозит	$\text{MnCO}_3$
Гематит и др. оксиды Fe	$\text{Fe}_2\text{O}_3$

# Изменения биоапатитов при фоссилизации

Вариации параметров элементарной ячейки апатитов фоссилий млекопитающих



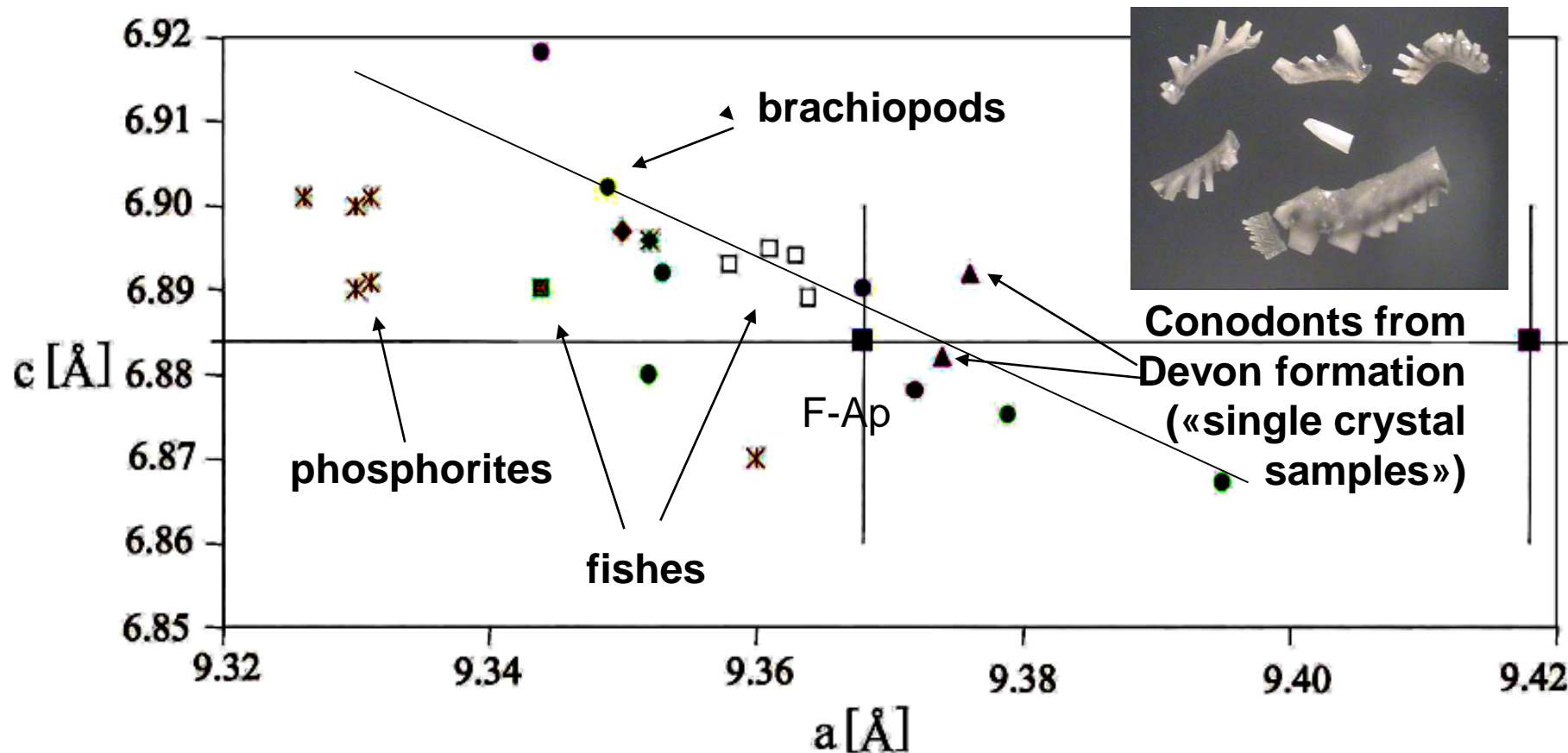
**Интенсивность замещений зависит от структуры твердой ткани (в Ар-эмали < Ар-дентина и Ар-костей) .**

**Увеличение F<sup>-</sup> и уменьшение H<sub>2</sub>O приводит к уменьшению a-параметра**



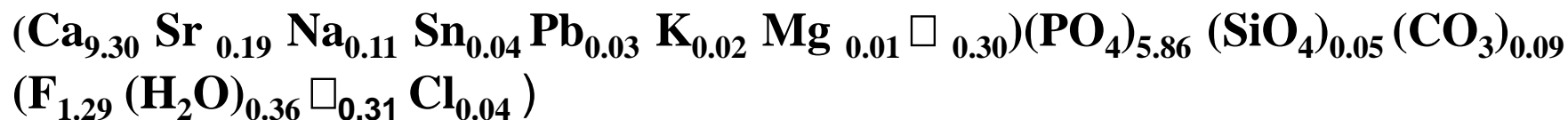
**Использование a – параметра для определения геологического возраста ограничено из-за влияния на деструкционный структуры твердой ткани и условий захоронения.**

**Параметры кристаллической решетки апатитов фосфоритов и болнн древних фоссилий: брахиопод, конодонтов, рыб и рептилий (ордовик, девон, юра, мел; Геологический возраст более 60 млн. лет) .**



**Основная роль в структуре принадлежит  $\text{CO}_3^{2-}$  иону, что приводит к обратной корреляции между  $a$  (уменьшается) и  $c$  (увеличивается) параметрами**

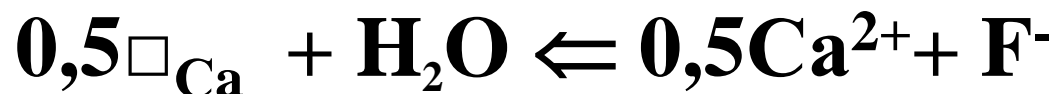
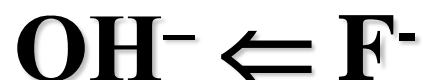
# Кристаллическая структура апатита альбидной ткани



Апатит конодонтальной ткани	F-apatite (Sudarsanan et. al., 1972)
$a = 9.374(2) \text{ c} = 6.882(2) \text{ \AA}$	$a = 9.367(1) \text{ c} = 6.884(1)$
$\text{P-O av.} = 1.537, \text{ \AA}$	$\text{P-O av.} = 1.536, \text{ \AA}$
$\text{F}^- : z = 0.25, P = 0.84(1), \text{a.u.}$ $\text{H}_2\text{O} : z = 0.293, P = 0.09(1) \Delta z = 0.3 \text{ \AA}$	$z = 0.25, P = 0.94(1), \text{a.u.}$ —

Результаты уточнения кристаллической структуры апатита (четырёхкружный дифрактометр, 3573 дифракционных отражений с  $|I| > 2\sigma|I|$ ,  $R = 0.013$ ,  $R_w = 0.020$ ) показали, что он очень близок к стехиометрическому апатиту-(CaF).

# Изоморфные замещения в структуре апатита при фоссилизации скелетных остатков из континентальных отложений



**Количество  $\text{F}^-$  увеличивается,  
вакансий в позиции кальция и воды  
в каналах уменьшается.**