

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	4
1.1. Упругие модули и твердость эмали и дентина	4
1.2. Коэффициент Пуассона эмали и дентина	13
1.3. Вязкость разрушения твердых тканей зуба и кристаллов гидроксиапатита	20
1.4. Влияние напитков, питьевой воды и средств гигиены на механические свойства зубной эмали	24
1.5. Влияние молока и молочных продуктов на твердость и шероховатость эмали зубов	37
1.6. Влияние сахара и сладких продуктов на микробную адгезию и твердость зубной эмали	58
1.7. Изучение связи между потреблением сыра и твердостью зубной эмали	70
1.8. Сравнение твердости эмали зубов человека и различных видов животных (растительоядных, плотоядных и морских)	75
1.9. Шероховатость поверхности зубной эмали и конструкционных стоматологических материалов, связь шероховатости с адгезией патогенных микроорганизмов	98
1.10. Параметры гиперупругости силиконового каучука для изготовления протеза ушной раковины больных на базе стоматологических CAD/CAM систем	107
ГЛАВА 2. ЭЛЕКТРОБИОЛОГИЯ ТКАНЕЙ ЗУБА	115
2.1. Сопротивление зубов постоянному току	117
2.2. Удельное электрическое сопротивление	120
2.3. Импеданс твердых тканей зуба, его составляющие и дисперсия	122
ГЛАВА 3. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	130
3.1. Коэффициент теплового расширения	130
3.2. Теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность	136
3.3. Плотность тканей зуба	140
ГЛАВА 4. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	143
4.1. Основные характеристики цвета	143
4.2. Отражение, преломление, рассеяние и поглощение света твердыми тканями зуба	145
4.3. Архитектоника и оптические свойства дентина и эмали зуба на основании литературных данных	153
4.4. Оптические эффекты в эмали	158
ГЛАВА 5. АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	162
ГЛАВА 6. РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	167
6.1. Взаимодействие рентгеновского излучения с тканями зуба	167
6.2. КТ значения эмали и дентина	170
КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ	174

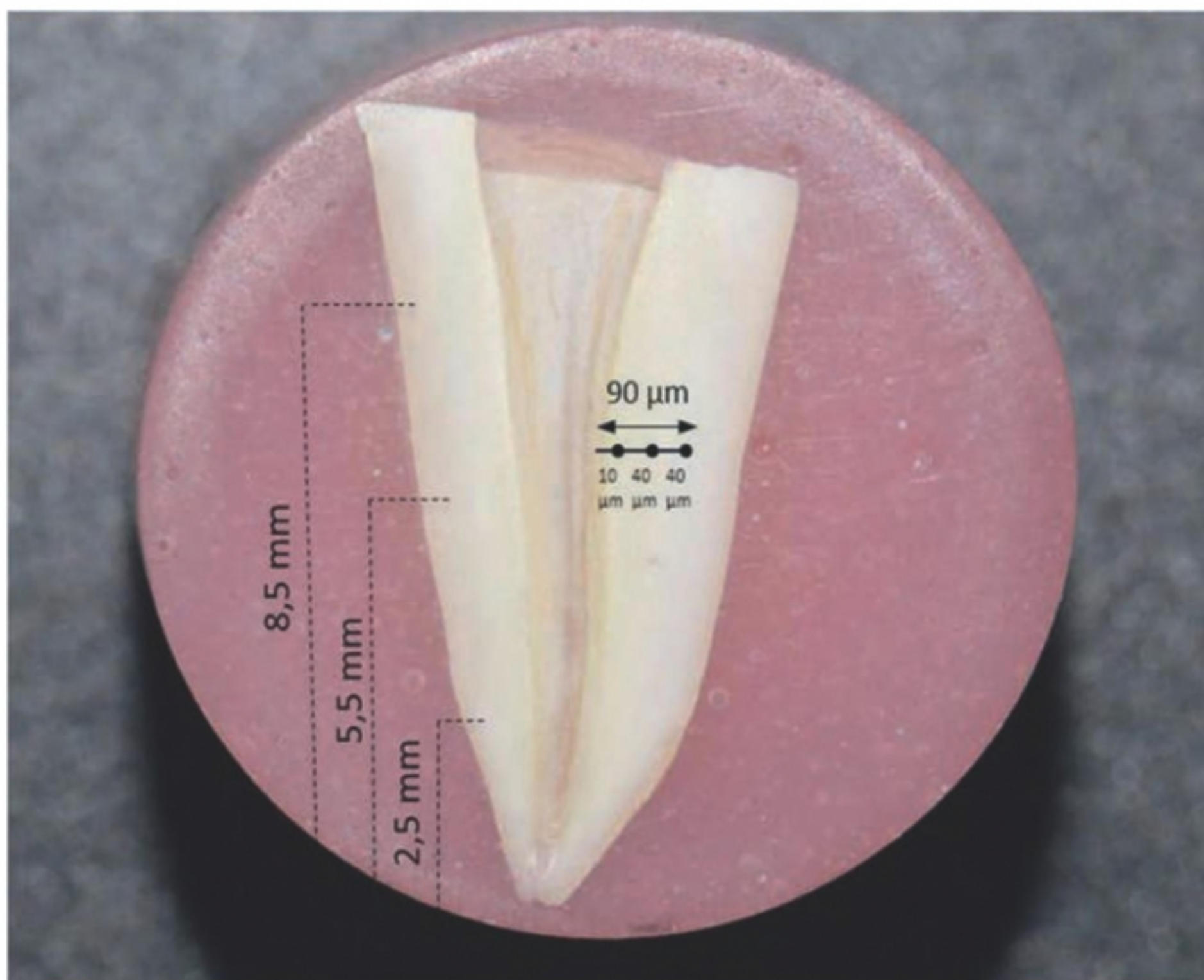


Рис. 1.7. Точки наноиндентирования в трех областях от просвета корневого канала до цемента (Durmuş B. et al., 2019) [6].

Лебеденко И.Ю., Арутюнов С.Д., и Муслов С.А. с соавт., 2009 [1, 2] методом наноиндентирования измерили твердость и модуль упругости Юнга эмали интактных: $H = 6,08 \pm 0,73$ ГПа, $E = 97,63 \pm 5,80$ ГПа ($M \pm \sigma$) и кариозных (поражение начальной и средней глубины) зубов: в очаге поражения $H = 1,22 \pm 0,12$ ГПа, $E = 39,12 \pm 7,57$ ГПа ($M \pm \sigma$). При кариесе нанотвердость и модуль упругости Юнга эмали были достоверно ниже ($p < 0,001$). С помощью сканирующей системы «НаноСкан-3D» получены плоские и трехмерные изображения рельефа эмали в группах, отражающие весьма сложную архитектуру зубной эмали и её изменение при патологии. Установлен параметр шероховатости эмали, равный в среднем $R_a = 40$ нм для интактной эмали и $R_a = 140$ нм для кариозного очага.

Feagin F. et al., 1969 [19] исследовали деминерализацию и реминерализацию эмали в зависимости от изменения микротвердости поверхности. В пределах исследуемого диапазона твердости 120 единиц от исходного минеральные потери или прирост отражались параллельными линейными изменениями микротвердости. Изменения одной единицы твердости соответствовали примерно $0,04 \text{ мкмоль Ca}^{2+}/\text{см}^2$ исследуемой поверхности. Соотношение CaP составляло 1,65 как для процесса деминерализации, так и для процесса реминерализации; этот результат указывает на стехиометрическое растворение и повторное осаждение гидроксиапатита в эмали. Было показано, что размягчение и повторное отверждение происходят на внешней поверхности эмали толщиной примерно 5 мкм. Кислотостойкость восстановленной эмали была такой же, как и у оригинала.

К слову сказать, механические свойства твердых тканей зуба в норме и при патологии, начиная с 1895 года (Black G.V., 1895) [14] и по сегодняшний день, весьма тщательно исследованы и достаточно полно освещены в литературе (Лебедеко с соавт., 2009 [5, 6]; Мулов С.А., Арутюнов С.Д., 2020 [7]). На рис. 1.16 они представлены на популярной в материаловедении диаграмме типа «Ashby plot» (Ashby M.F., 2007) [13].

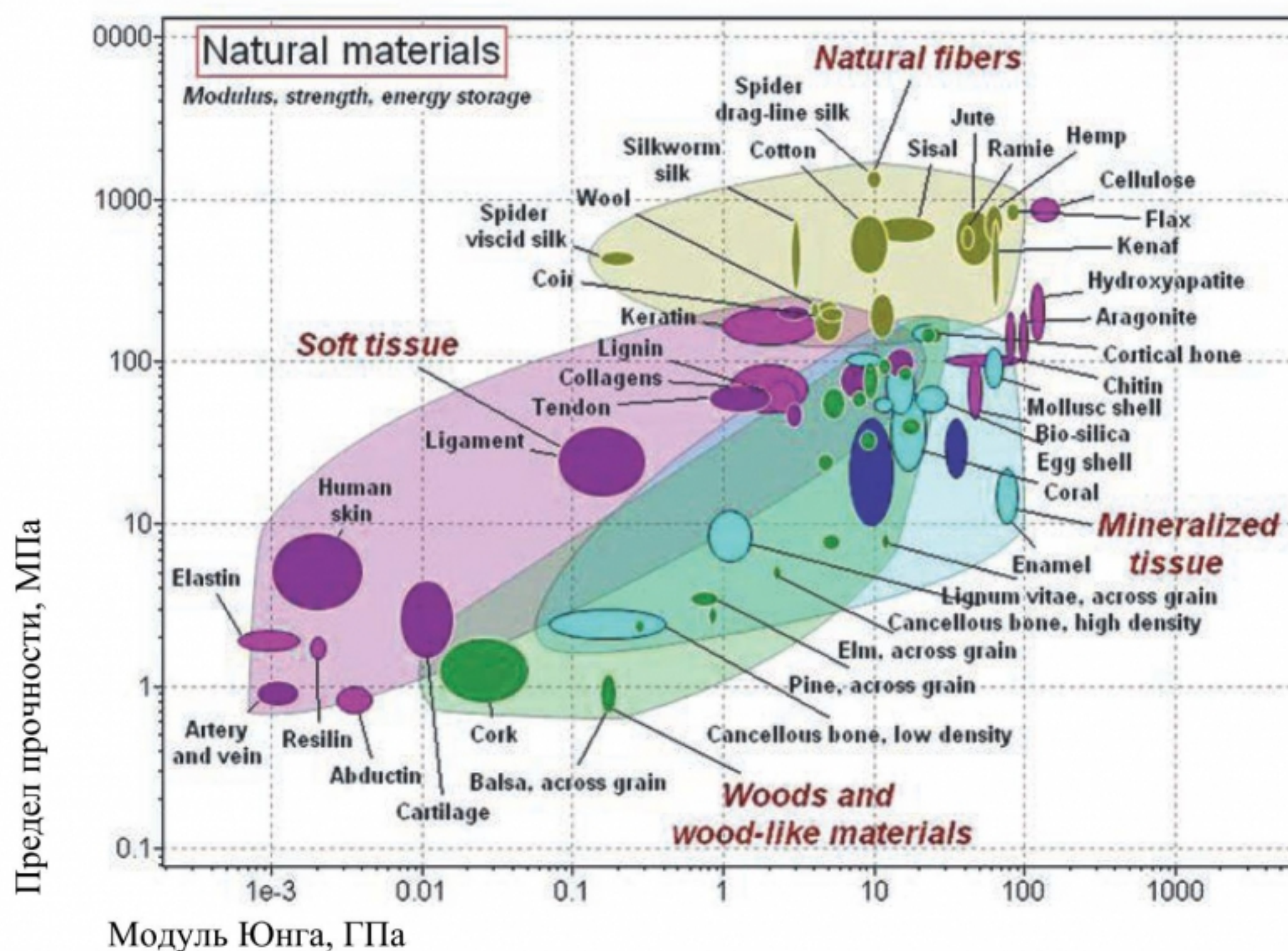


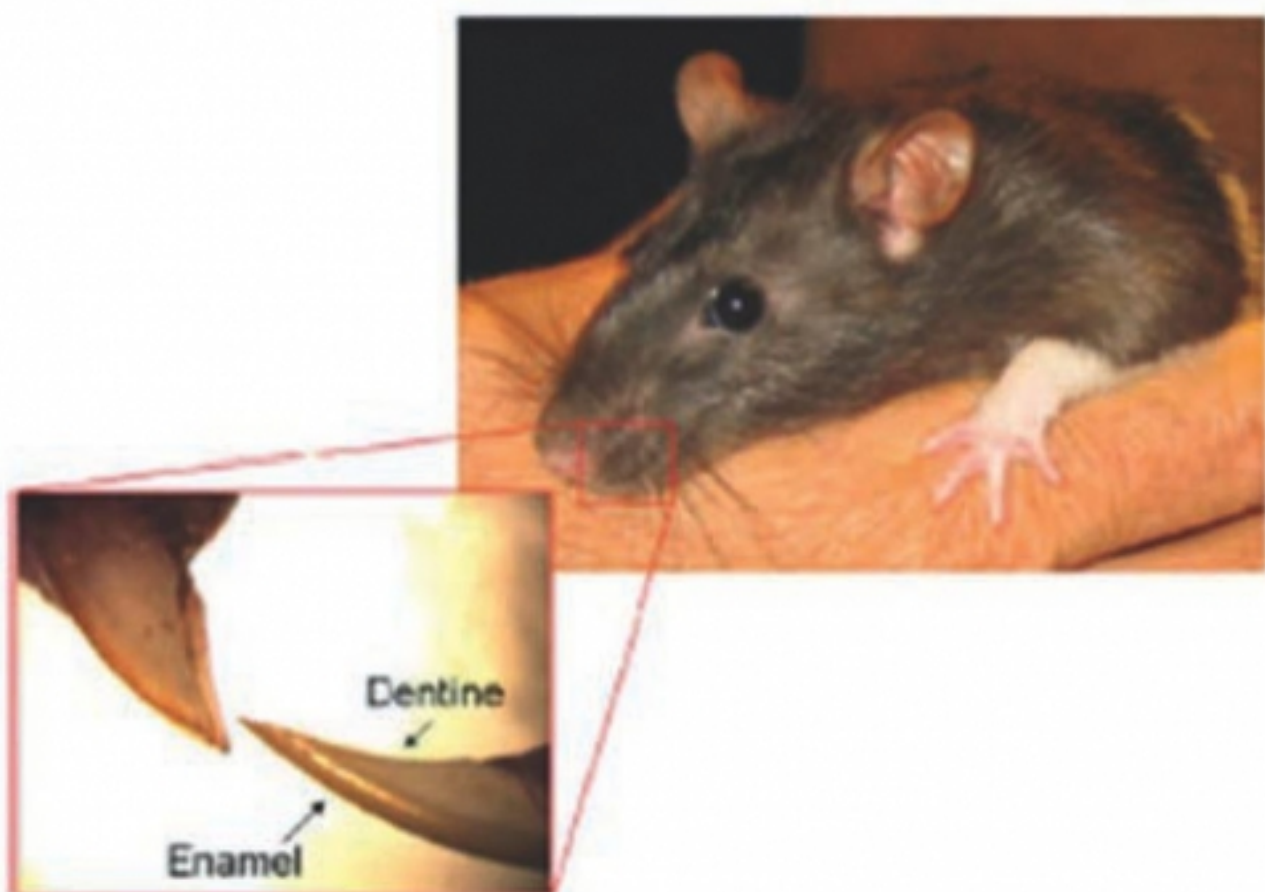
Рис. 1.16. Диаграмма «предел прочности-модуль упругости» природных материалов, в том числе биокompозитов, эмали, кристаллов гидроксиапатита и др. (Ashby M.F., 2007) [13].

Ранее на основании современных литературных данных мы исследовали влияние напитков и питьевой воды на механические свойства твердых тканей зуба в норме и при патологии (Мулов С.А. с соавт., 2020) [9, 10]. Было установлено, что газированные и фруктовые напитки снижают механические свойства эмали, шероховатость эмали при этом, наоборот, возрастает. Потребление газированных напитков является одним из этиологических факторов, вызывающих эрозию зубов. Усилия по защите зубов от эрозивных веществ должны включать в себя

Зубы используются по-разному различными видами животных, что отражается в различных их форме, микроструктуре и свойствах. Кинжалообразные зубы одинаковой формы, такие как зубы ядовитых змей, крокодилов и акул, используются для прокалывания и удержания добычи. Длинные резцы грызунов, таких как мыши, используются для грызения растительных материалов. Эти специальные зубы демонстрируют поразительную красную окраску зубной эмали из-за высокого содержания железа и поддерживаются острыми контролируемым истиранием. Гиены питаются костями и используют свои увеличенные коренные зубы, чтобы перемалывать твердый материал костей (рис. 1.21, в).



а)



б)



в)

Рис. 1.21. Королевская кобра (King Cobra, *Ophiophagus Hannah*) — а, серая крыса (*Rattus norvegicus*) и ее клык — б, зубы гиены (*Crocuta crocuta*) — в.

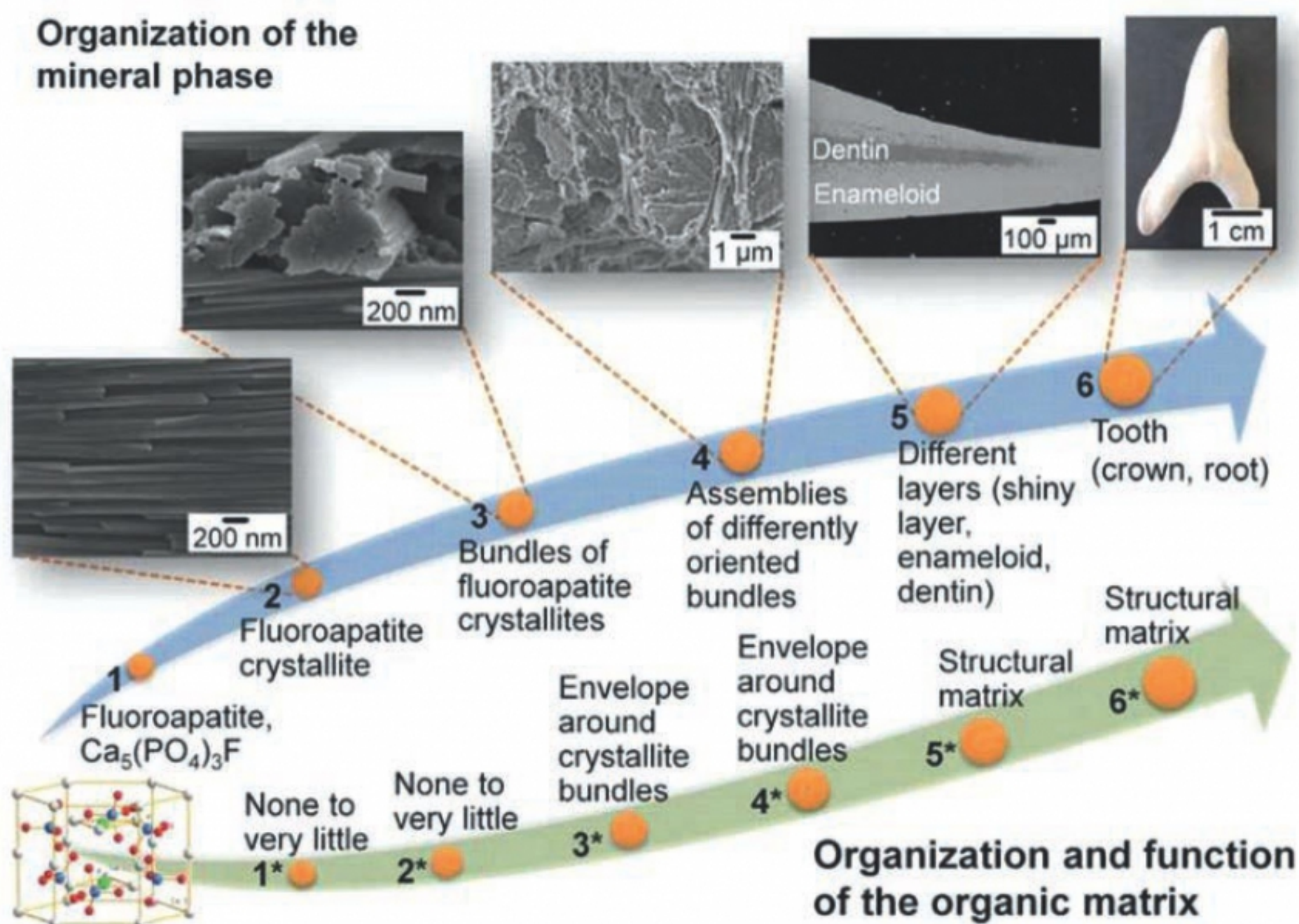


Рис. 1.31. Организация минеральной фазы и органической матрицы зубов акул (Joachim Enax et al., 2014) [42]. На вставках — электронно-микроскопические (SEM) фотографии и соответствующий им масштаб.

Твердость наноиндентированием и приведенный модуль упругости моляров пресноводного рака (*Cherax quadricarinatus*) были тщательно исследованы Shmuel Bentov et al., 2012 [43]. Этот зуб выпадает и регенерируется во время каждого цикла линьки вместе с остальным экзоскелетом. Также был изучен необычный химический состав поверхности и массива моляров методом рамановской спектроскопии.

Установлено, что многоуровневая организация структура зубов рака помимо основного вещества содержит четко определенные эмалеобразные функциональные слои вещества хитин + аморфный минерал и износостойкие кристаллы флюороапатита (FAP) с твердостью $0,30 \pm 0,07$, $1,0 \pm 0,31$ и $4,56 \pm 0,80$ ГПа ($M \pm SD$), соответственно.

При этом модуль Юнга материалов составил $4,8 \pm 1,5$, $25,5 \pm 5,3$ и $80,8 \pm 9,7$ ГПа ($M \pm SD$), соответственно. Как видно уровень твердости эмалеобразного апатита зубов членистоногих примерно соответствует твердости зубной эмали млекопитающих 3–6 ГПа, хотя генетически последние достаточно далеки.

Аналогичные данные были получены для альтернативных R_a параметров шероховатости поверхности: R_q ($r = 0,56$, $m_r = 0,83$) и R_z ($r = 0,59$, $m_r = 0,80$).

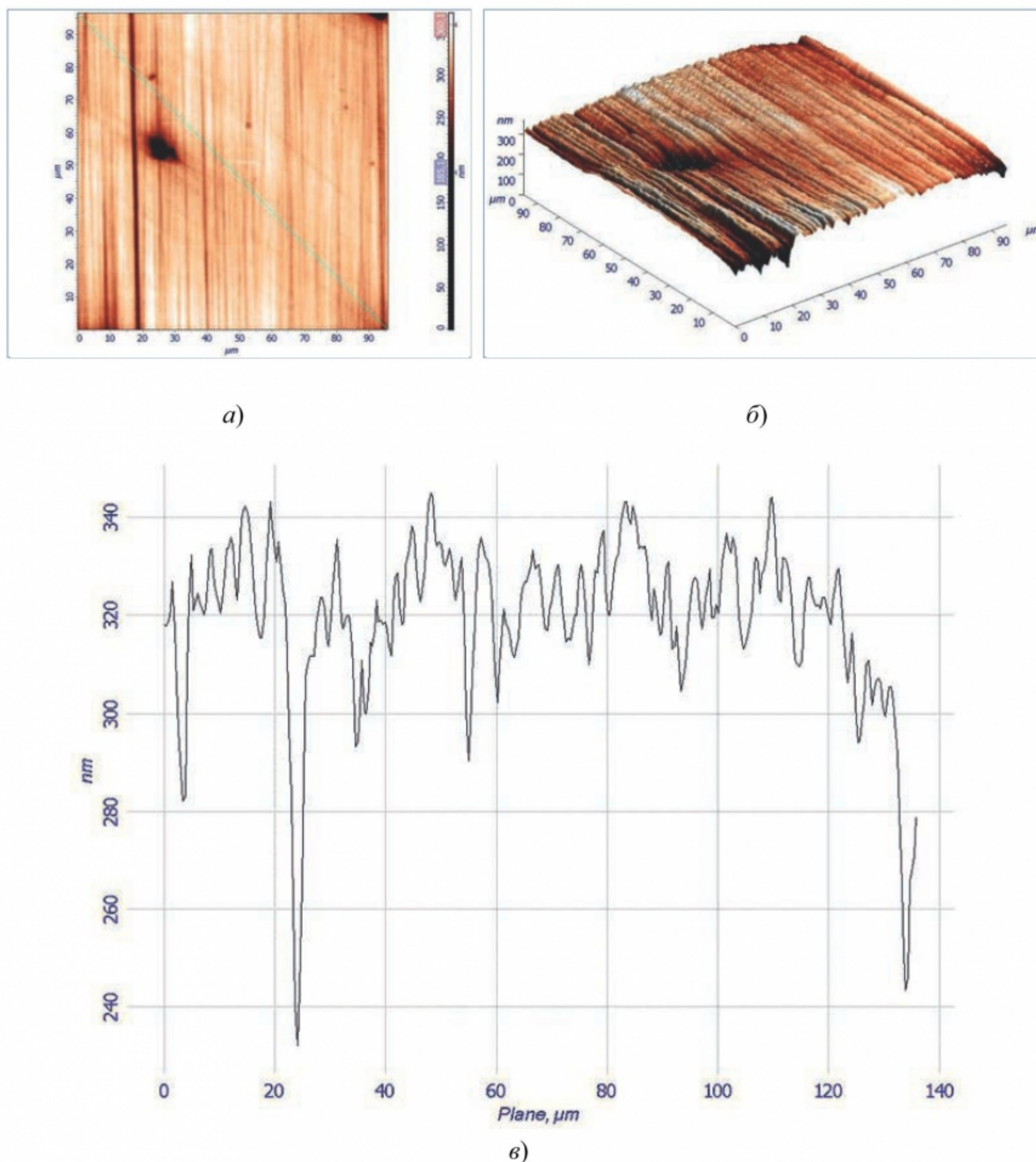


Рис. 1.33. Двух- (а) и трехмерные (б) изображения и одномерный субмикрорельеф поверхности образца (в) оксида циркония после полирования (Никурадзе А.Н., 2015) [4].

Наибольшая теснота связи показателей адгезии и шероховатости выявлена у грибов *Candida albicans*: $r = 0,997$, $m_r = 0,07$ ($p < 0,05$). Специфичность грибов рода *Candida*, таким образом, состояла в том, что шероховатость материала оказалась связанной с адгезией этих грибов к поверхности чуть ли не функциональной зависимостью ($r \approx 1$).

Таблица 4.1. Коэффициент пропускания влажной зубной эмали человека на различных длинах волн электромагнитного излучения в видимом диапазоне (SD) (Brodbelt et al., 1981) [9]

Длина волны (нм)	Коэффициент пропускания, мм ⁻¹
425	0,327 (0,030)
525	0,481 (0,039)
625	0,578 (0,046)
700	0,629 (0,050)

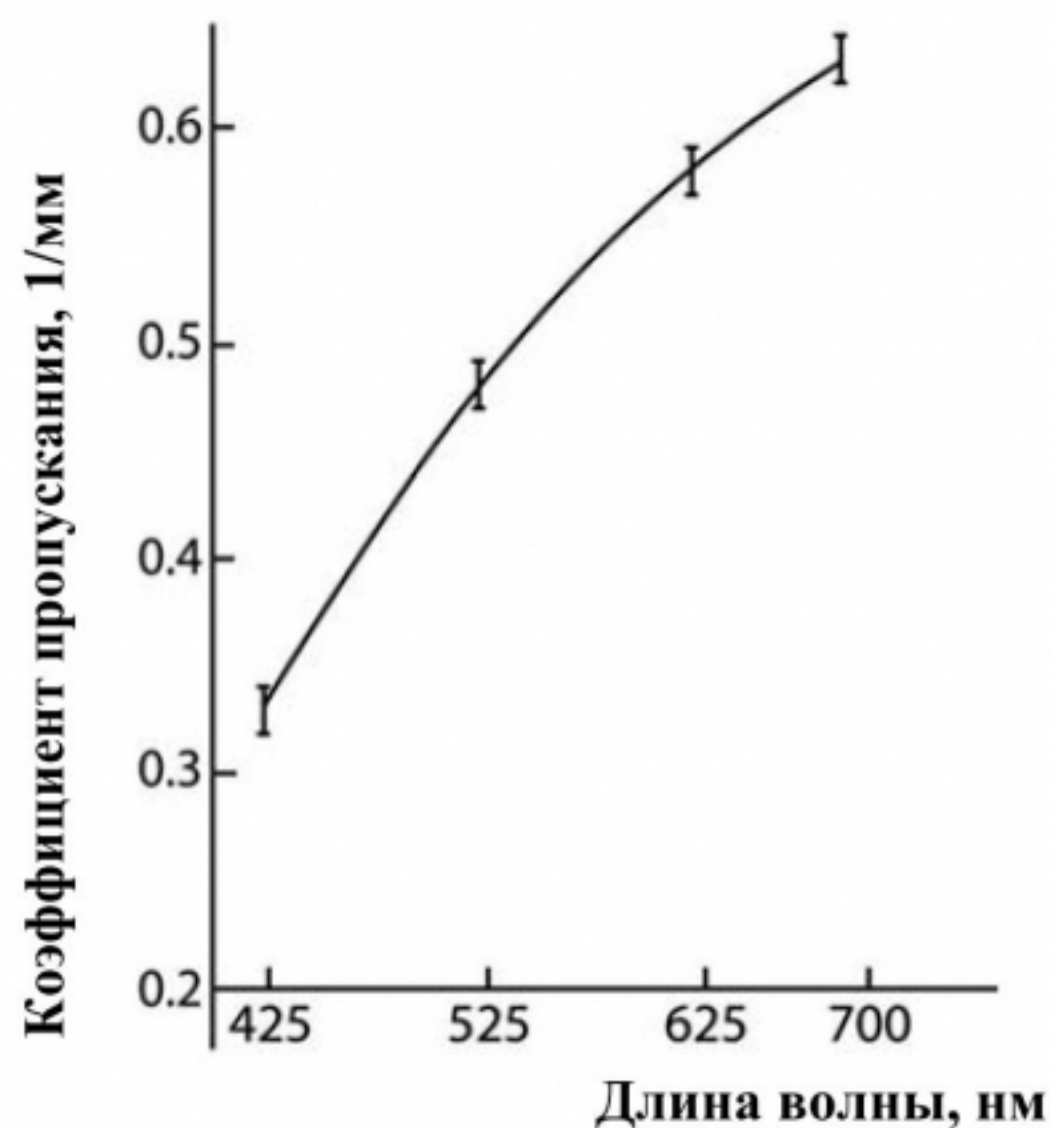


Рис. 4.4. Зависимость коэффициента пропускания зубной эмали от длины волны света (Brodbelt et al., 1981) [9].

Таблица 4.2. Коэффициент пропускания (мм⁻¹) зубной эмали различной степени дегидратации (Brodbelt et al., 1981) [9]

Состояние эмали	Длина волны (нм)			
	425	525	625	700
Влажная	0,329 (0,033)	0,482 (0,047)	0,580 (0,053)	0,633 (0,057)
Увлажненная (48 час.)	0,320 (0,030)	0,477 (0,049)	0,570 (0,056)	0,623 (0,059)
10 с. обдута	0,252 (0,053)	0,398 (0,063)	0,473 (0,070)	0,511 (0,072)
15 мин. усыхания	0,182 (0,035)	0,321 (0,045)	0,391 (0,047)	0,426 (0,046)
30 мин. усыхания	0,179 (0,032)	0,316 (0,043)	0,385 (0,043)	0,419 (0,041)
45 мин. усыхания	0,174 (0,034)	0,313 (0,044)	0,381 (0,046)	0,414 (0,046)