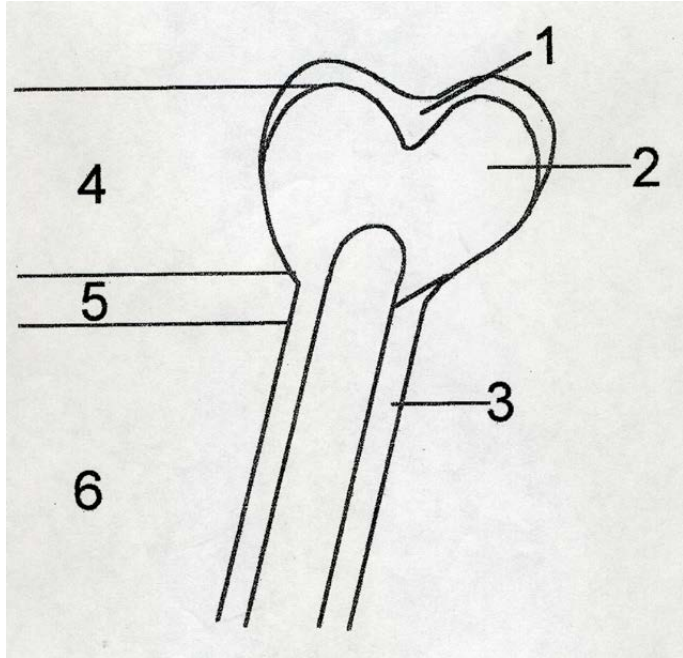


Костная ткань человека



Костная ткань человека представляет собой сложный композиционный материал с организованной на нескольких уровнях микроструктурой, обладающий уникальными механическими свойствами.

1-хрящ, 2-губчатая кость,
3-компактная кость,
4-эпифиз,
5-метафиз, 6-диафиз

Основные компоненты

- Коллаген типа I (~ 20%)
- Минеральная фаза (апатит) (~60%)
- Вода (~9%).
- Неколлагеновые белки (~ 3%)
- Остаток - полисахариды, липиды.

Образование и преобразование твердых тканей в живых организмах является сложным многоступенчатым процессом, важную роль в котором играют специфические клетки, которые контролируют формирование и резорбцию твердых тканей: остеобласты (образование новой ткани), остеокласты (разрушают кость),.

Костная ткань представляет собой постоянно обновляющуюся подвижную систему, в которой постоянно идут два разнонаправленных процесса.

(Handbook of biomineralization, Vol.1-3, 2007).

Состав кости в течение 10 лет полностью обновляется

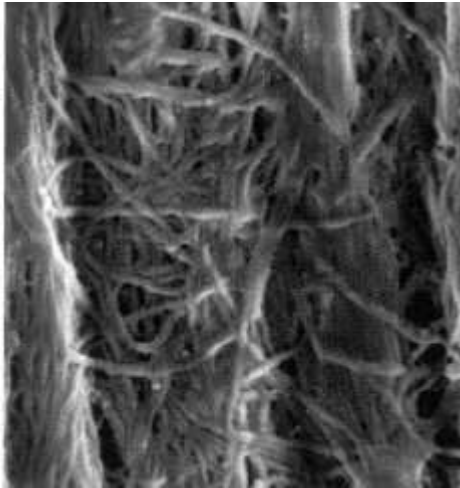
Основной элементный состав кости человека

Ион	Сод (мас.%)	Ион	Сод (мас.%)
Ca²⁺	36.51	K⁺	0.03
PO₄³⁻	15.2	CO₃²⁻	7.4
Na⁺	0.9	F⁻	0.03
Mg²⁺	0.72	Cl⁻	0.13

Механические свойства костной ткани

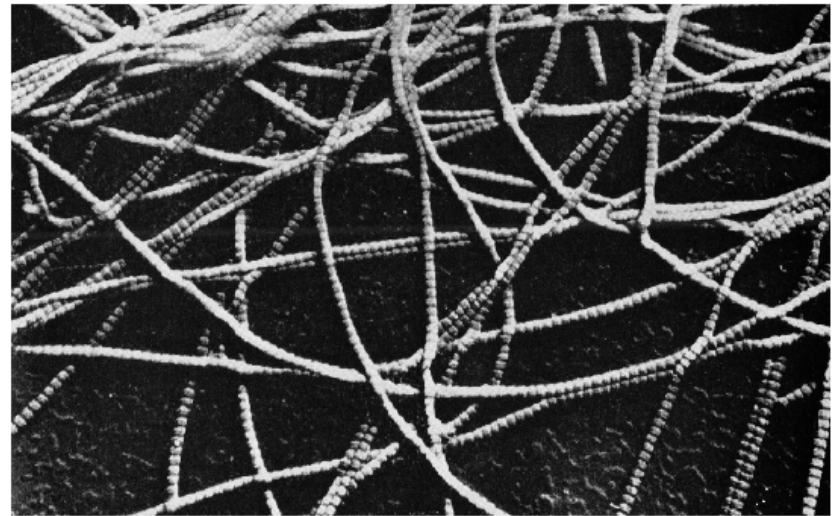
Свойство	Кортикальная ткань	Трабекулярная ткань
Прочность при сжати, МПа	100-230	2-12
Прочность при изгибе и растяжении, МПа	50-150	10-20
Деформация до разрушения, %	1-3	5-7
Трещиностойкость, МПа*м ^{1/2}	2-12	-
Модуль Юнга, ГПа	7-30	0.05 – 0.5

Волокна коллагена состоят из различных в электронном микроскопе фибрилл

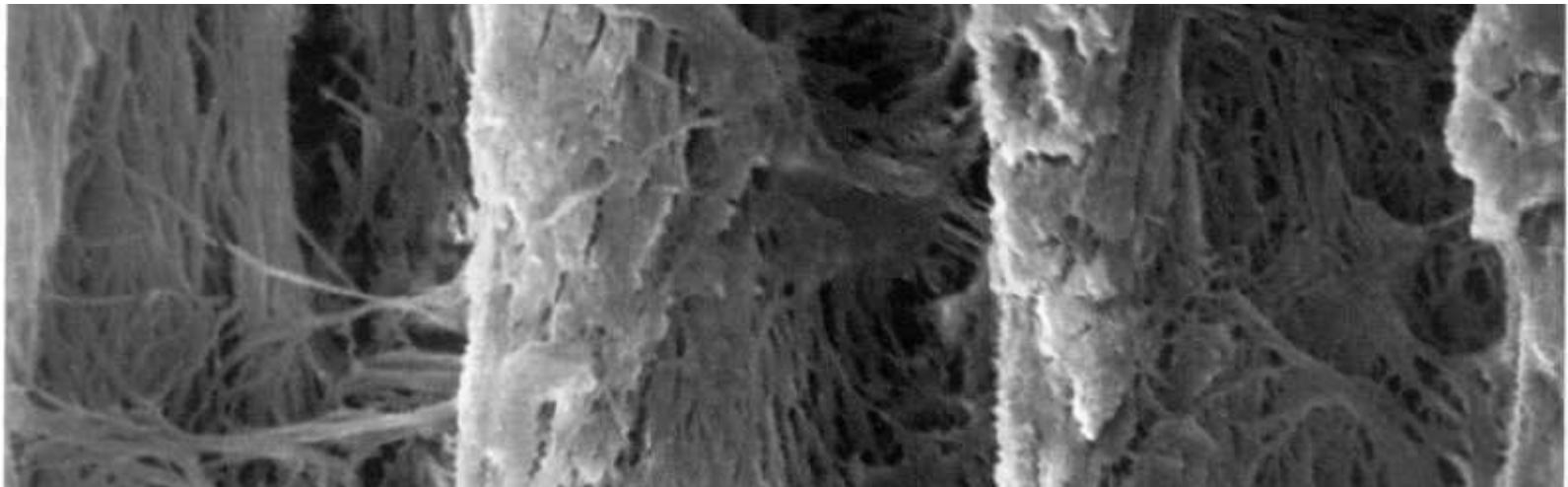


SEM, x6000

TEM

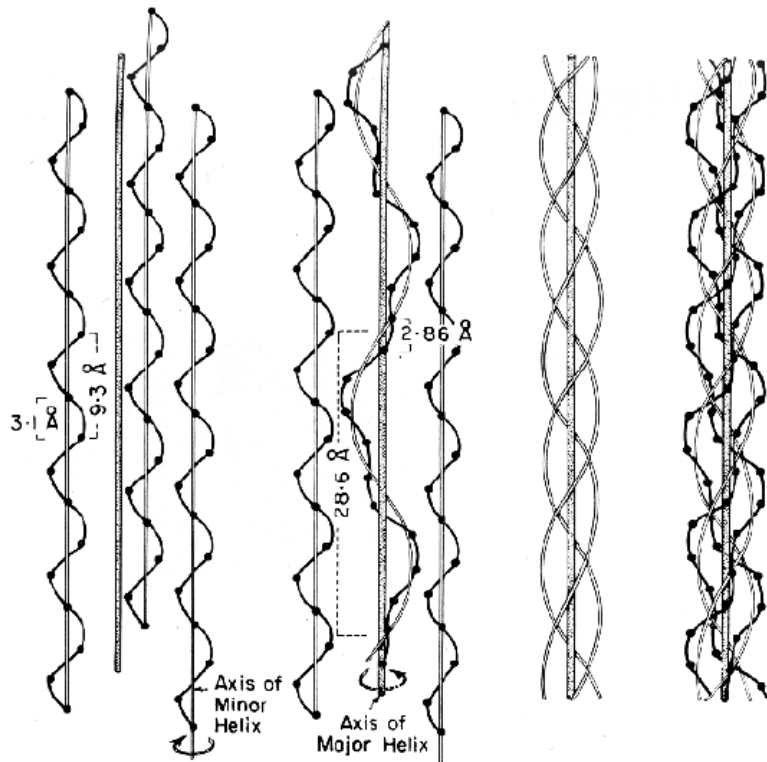


SEM, x5000



Коллагеновые фибриллы

Схема организации фибрилл
В костной ткани



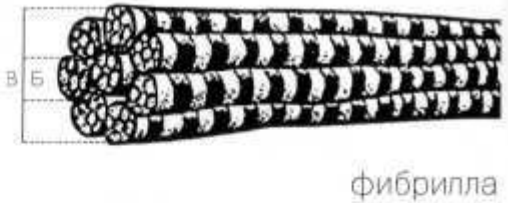
молекулярный



надмолекулярный

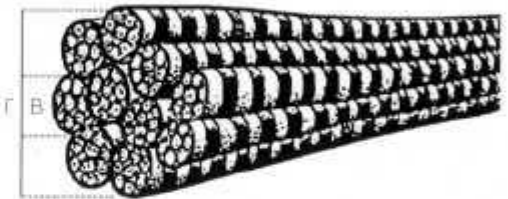


фибриллярный



Диаметр фибриллы до 200 нм

волоконный



Диаметр волокон 500 – 20 000 нм

тканевый



Заслуживает внимания смещение по длине на $\frac{1}{4}$ (благодаря чему возможен рост цепи)

- Фибриллы построены из вытянутых в длину макромолекул тропоколлагена (состоящих из трех полипептидных цепей) длиной около 300 нм.
- Молекулы тропоколлагена располагается рядами, последовательно смещенными на 67-68 нм относительно друг друга. Между концами макромолекул имеется промежутки длиной около 30 нм и диаметром около 1.5
- Вдоль коллагеновых фибрилл чередуются зоны различной степени минерализации (с периодом 60-70 нм).

Ориентация фибрилл

- Ткань может иметь как параллельные фибриллы в качестве основы, так и разупорядоченные.
- Присутствие поперечных волокон меньшего размера обеспечивает прочность структуры (их концы вплетаются в структуру волокон)

Более половины минеральной фазы костной ткани находится в промежутках между макромолекулами тропоколлагена, значительная часть нанокристаллов апатита локализована на поверхности фибрилл

(Landis, 1995; Landis et al., 1996; Glimcher, 2006).

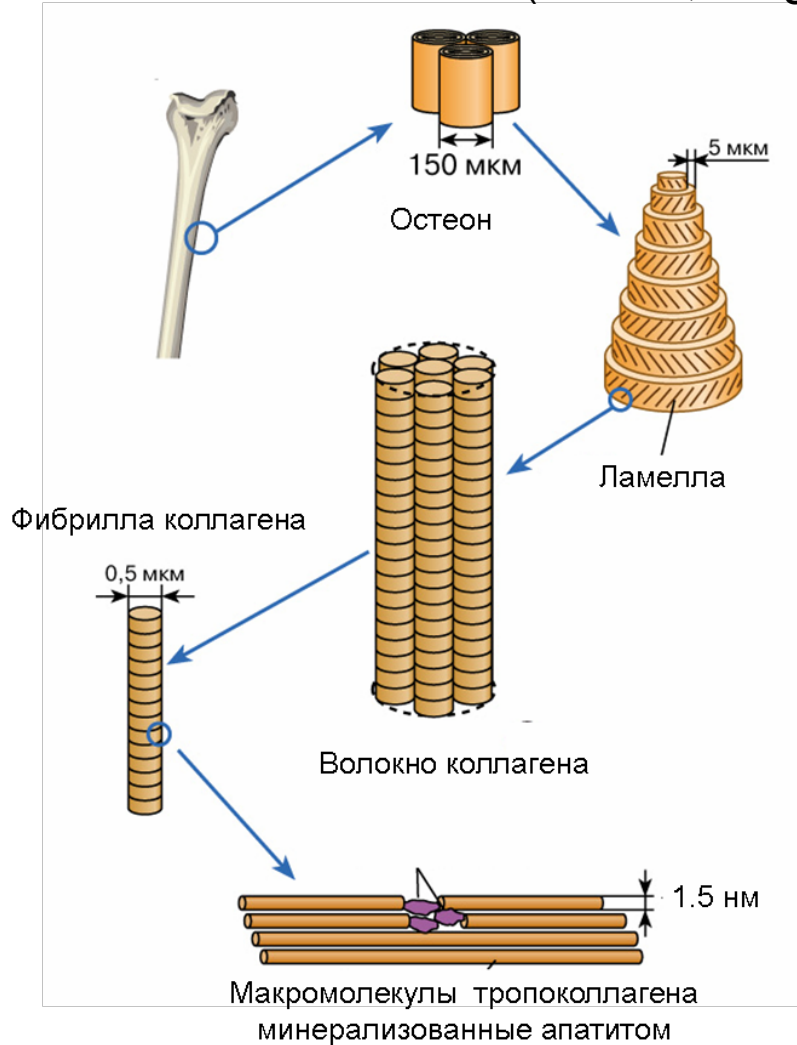
Иерархическая структура организации кости человека

(Weiner, Wagner, 1998, Путляев, 2004)

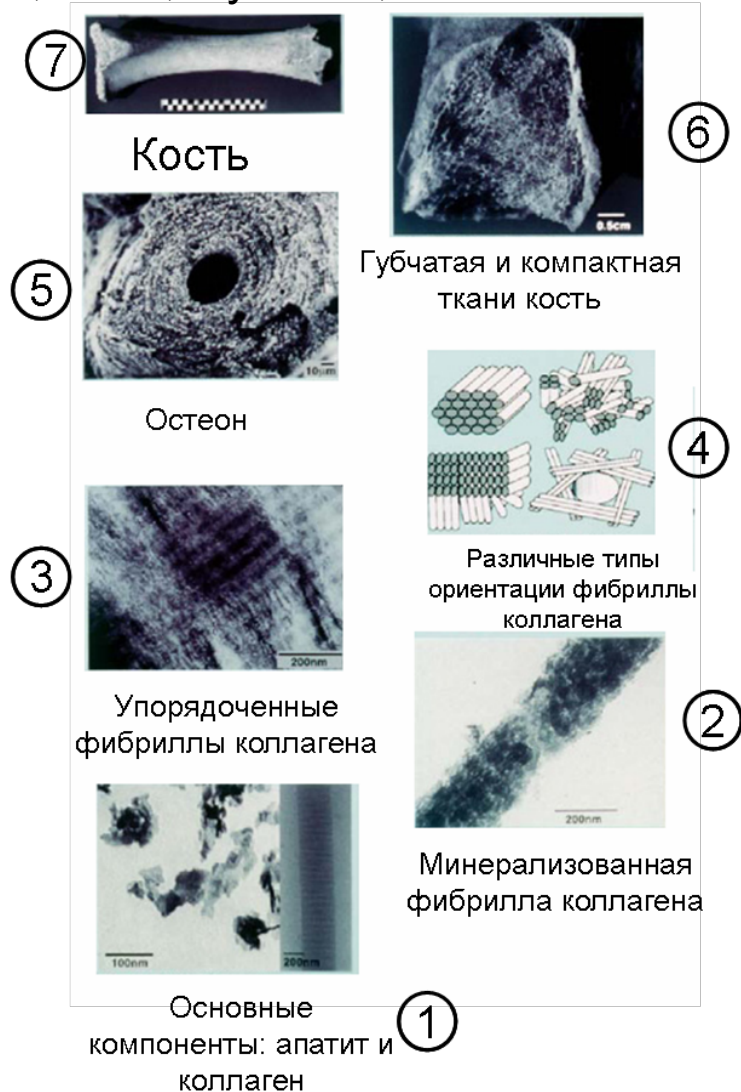
- Ламелла- основной элемент конструкции костной ткани, образуемый благодаря соединению фибрилл в пластинки или цилиндрические оболочки. В каждой ламелле коллагеновые волокна параллельны друг другу.
- Остеон - высшая структурная единица костной ткани, представляющая собой конструкцию из 5-20 концентрически расположенных ламелл с разными направлениями и углами
- Коллагеновые фибриллы могут иметь различную ориентацию в остеонах и ламелярных пластинках, хотя преимущественно вытянуты вдоль длинной оси кости. Таким же образом преимущественно ориентированы с осью **с** и нанокристаллы апатита, что подтверждается данным рентгенографических и электронномикроскопических исследований минерализованных фибрилл коллагена.

Иерархическая структура организации кости человека

а (Weiner, Wagner, 1998, Путляев, 2004)



Схема

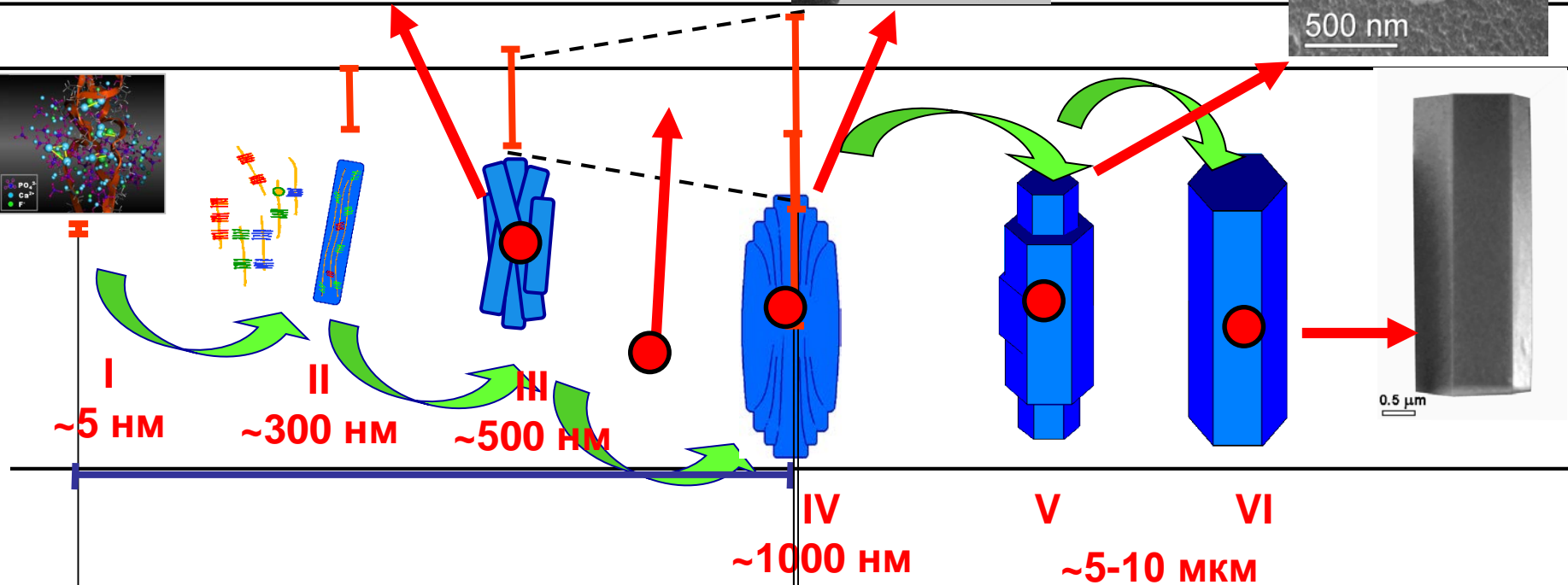
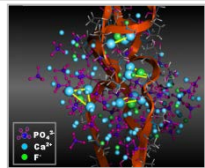
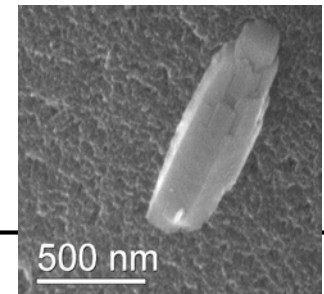
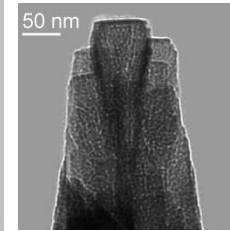
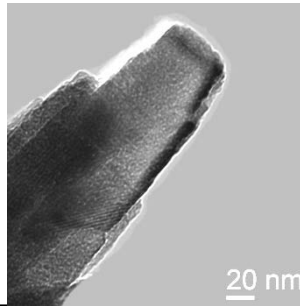
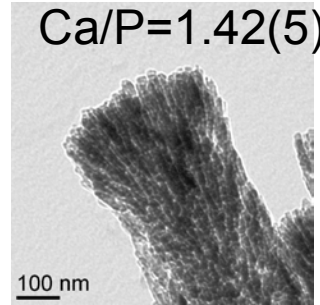
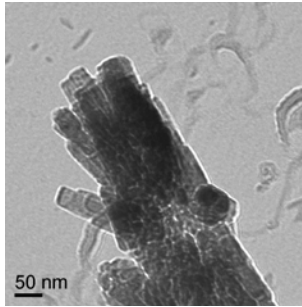


Изображения структурных элементов

Начальная стадия формирования костной ткани (апатит (CaF)- желатиновых композитов)

Ca/P=1.65(5)

ПЭМ и СЭМ
изображения
частиц на
различных
стадиях
морфогенезиса

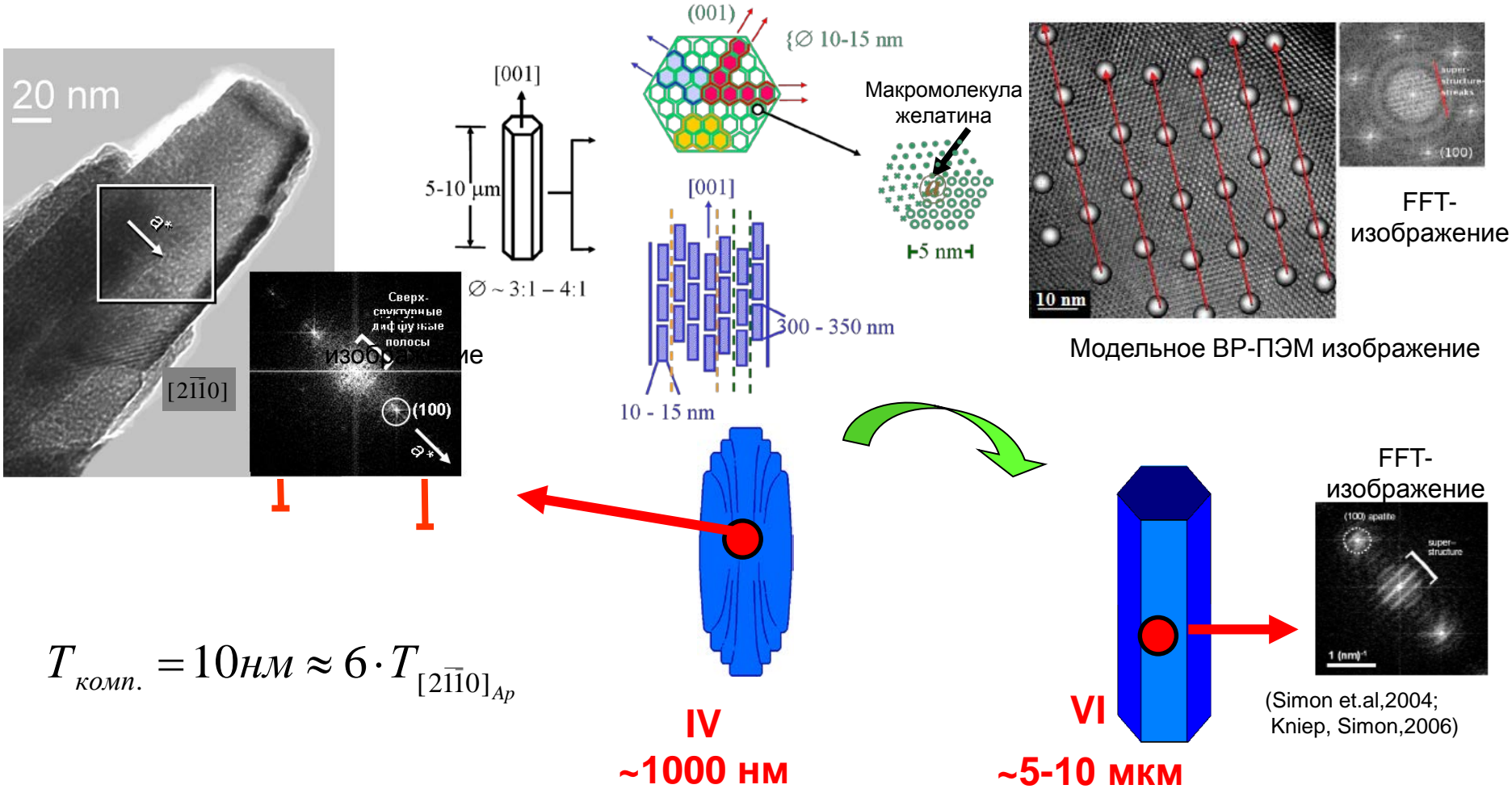


Начинается с образования мозаичной структуры из нанопластинок апатита вдоль макромолекул желатина и проходит стадию образования упорядоченных гексагонально-призматических композитных частиц (мезокристаллов),

Образование мезокристаллов сопровождается формированием сверхструктуры нанокомпозита

Упорядоченное расположение молекул коллагена – модель образования сверхструктуры

(Simon et.al,2004; Kniep, Simon,2006)



Образование мезокристаллов сопровождается формированием внутреннего электрического поля нанокompозита

