

Строение покровов. Линька

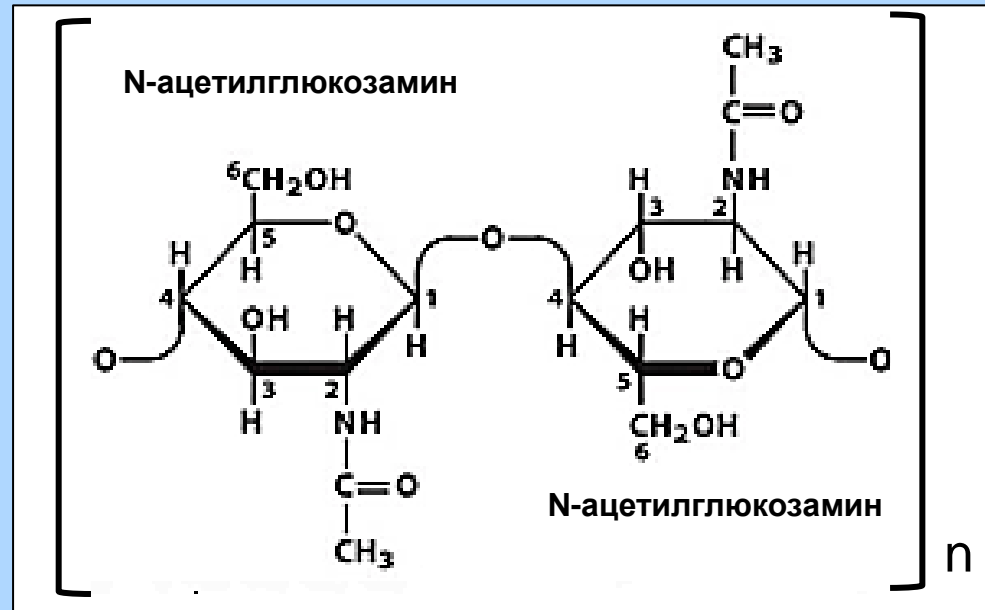


Procambarus alleni

Химический состав кутикулы

- Хитин
- Белки и свободные аминокислоты
- Липиды
- Углеводы
- Минеральные соли
- Вода

ХИТИН поли-N-ацетил-D-глюкозо-2-амин



Доля хитина от общего веса всей кутикулы

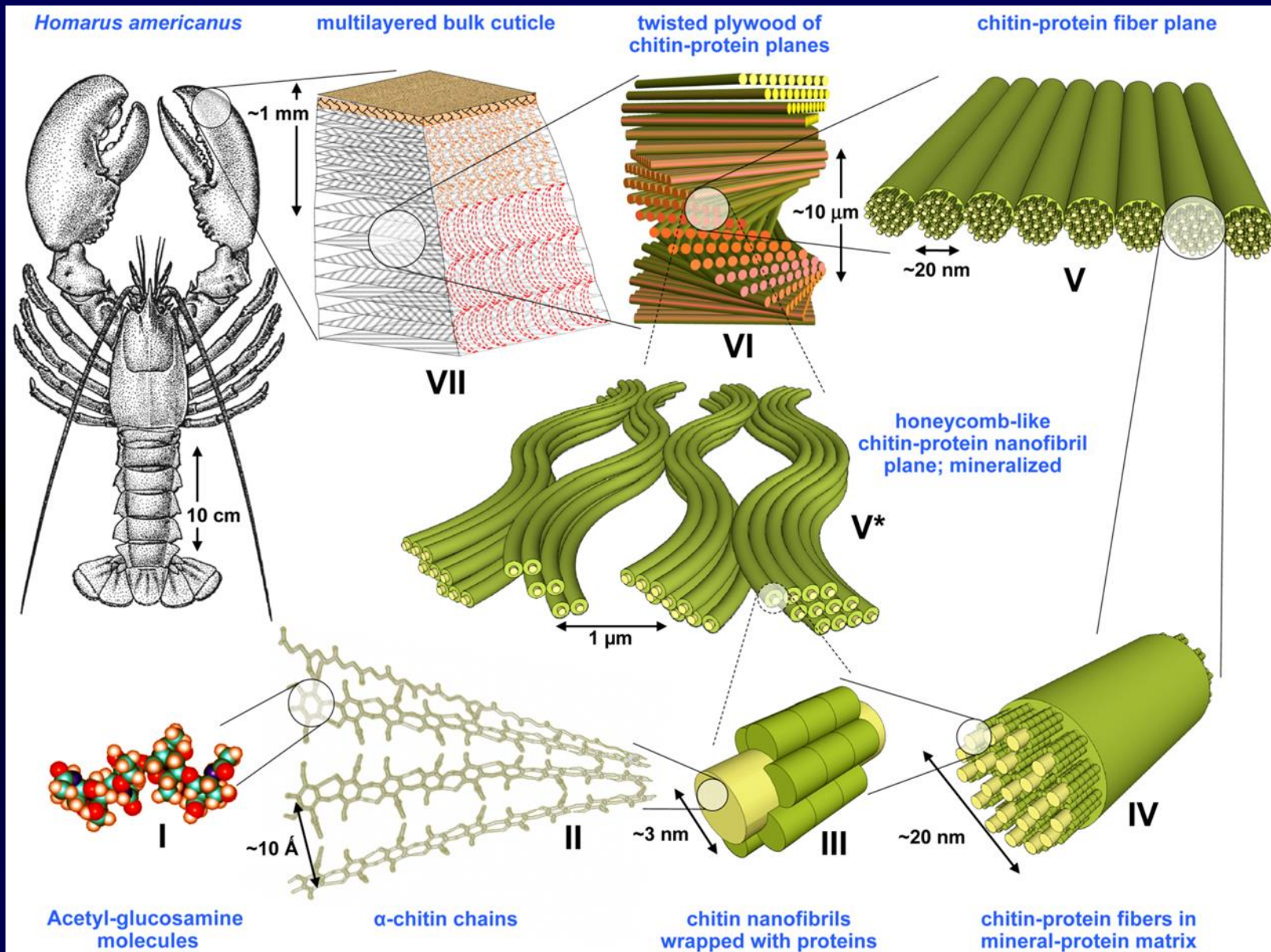
Crustacea
Hexapoda

1 - 90 %

1.4 - 60 %

М.С.Гиляров, 1970

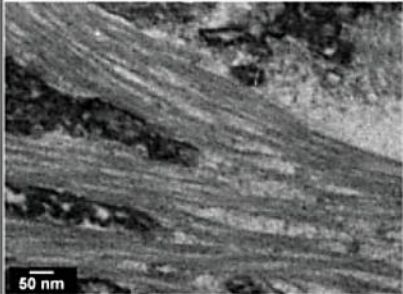
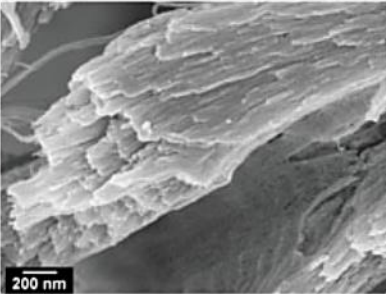
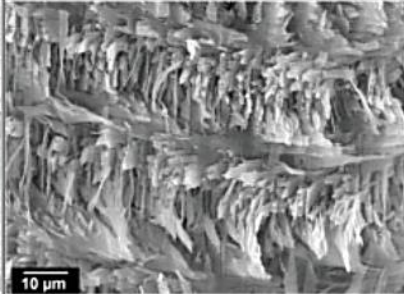
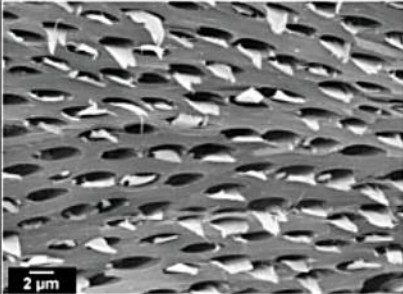
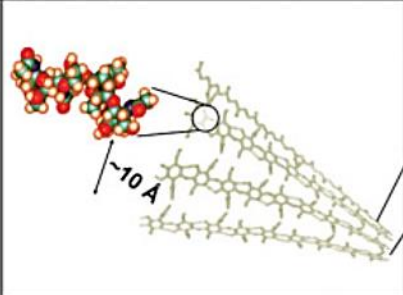
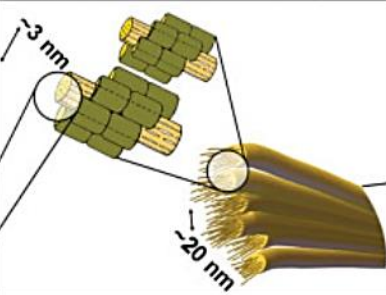
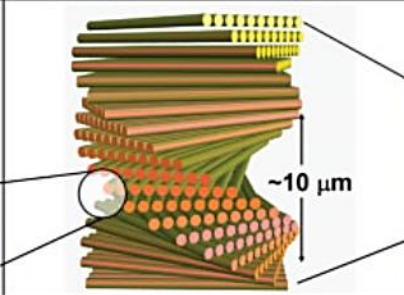
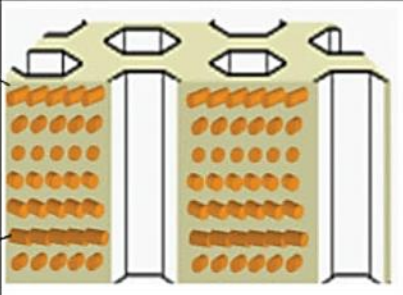
Структурная иерархия кутикулы членистоногих

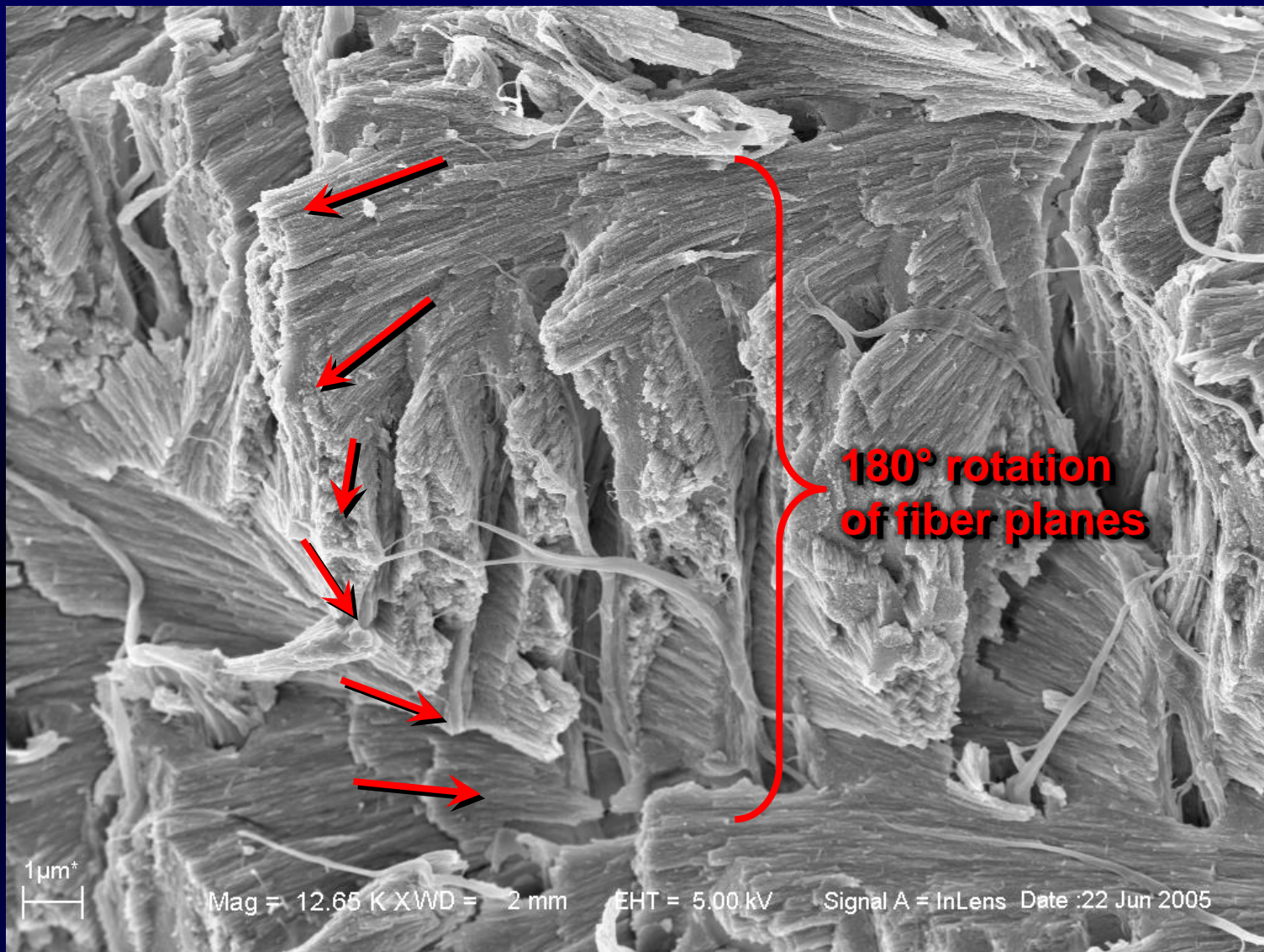
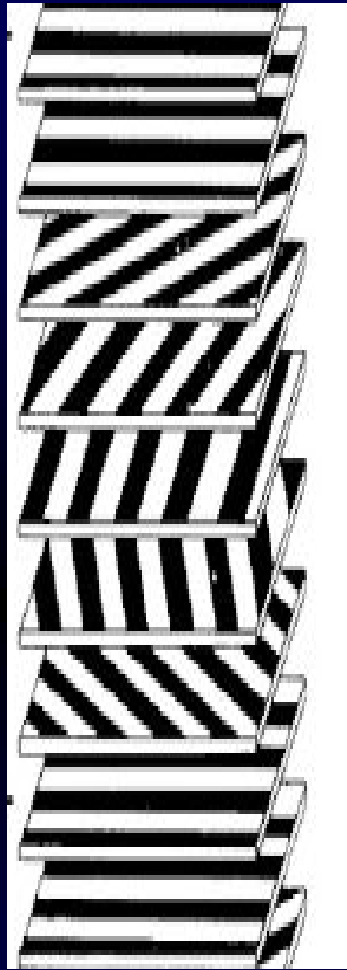


У *Homarus americanus* уровень IV не обнаружен; пластинки сформированы непосредственно хитин-протеиновыми наночибриллами, пронизаны порами и образуют конструкцию, напоминающую соты (V*).

Минерализация не показана

Структуры различного пространственного масштаба в кутикуле омара

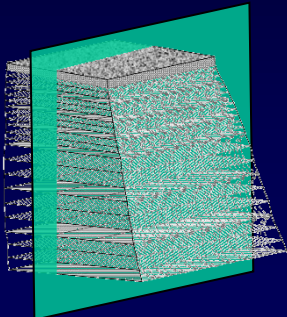
Scale	0.1 nm – 10 nm	10 nm – 100 nm	100 nm – 10 μm	10 μm – 1 mm
Hierarchical structure unit	α -chitin (H-bonded anti-parallel N-acetyl-glucosamine molecular chains)	Mineralized chitin-protein nanofibrils in a planar array	Twisted plywood stack of mineralized chitin-protein planes without pore canals	Twisted plywood stack of mineralized chitin-protein planes with pore canals
Experimental method	Transmission electron microscope	Field emission scanning electron microscope	Field emission scanning electron microscope	Field emission scanning electron microscope
Microstructure				
Schematic				



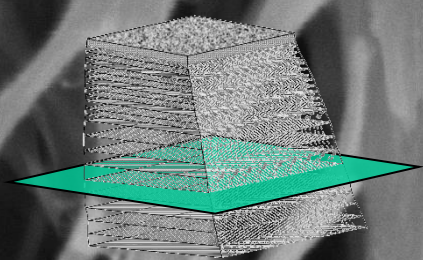
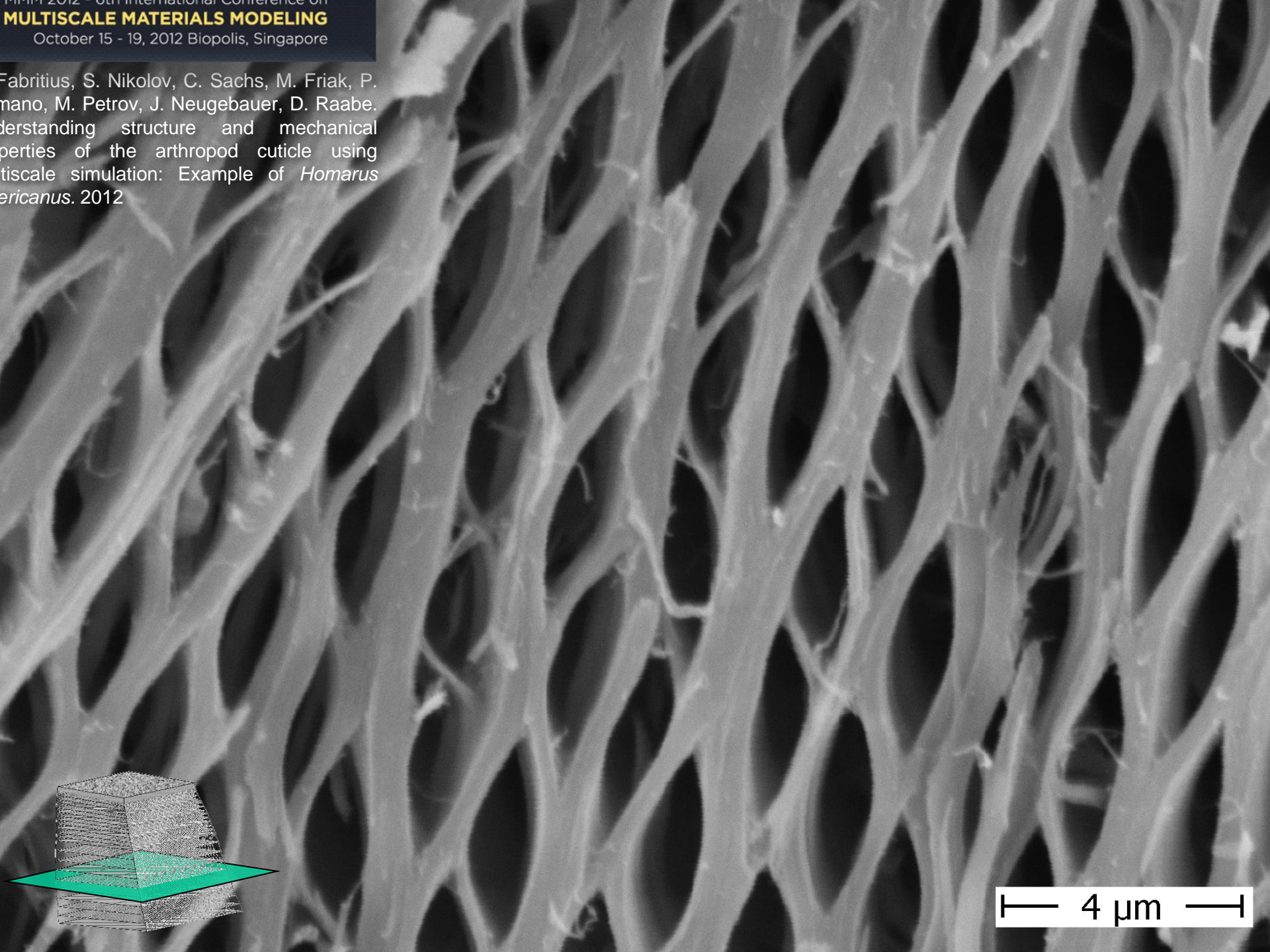
**180° rotation
of fiber planes**

MMM 2012 - 6th International Conference on
MULTISCALE MATERIALS MODELING
October 15 - 19, 2012 Biopolis, Singapore

H. Fabritius, S. Nikolov, C. Sachs, M. Friak, P. Romano, M. Petrov, J. Neugebauer, D. Raabe. Understanding structure and mechanical properties of the arthropod cuticle using multiscale simulation: Example of *Homarus americanus*. 2012

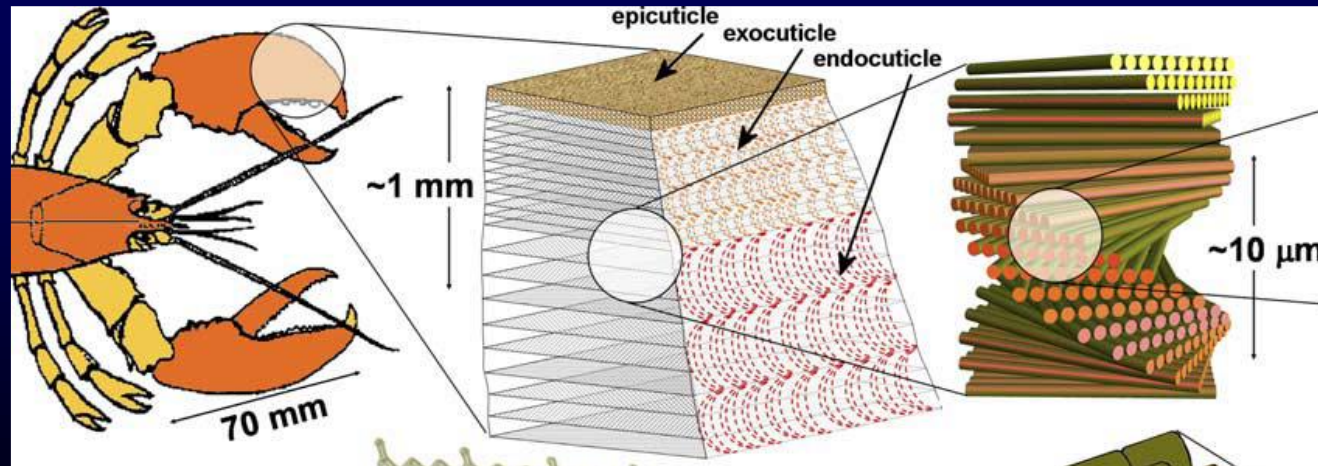


Fabritius, S. Nikolov, C. Sachs, M. Friak, P. Amadio, M. Petrov, J. Neugebauer, D. Raabe. Understanding structure and mechanical properties of the arthropod cuticle using multiscale simulation: Example of *Homarus americanus*. 2012



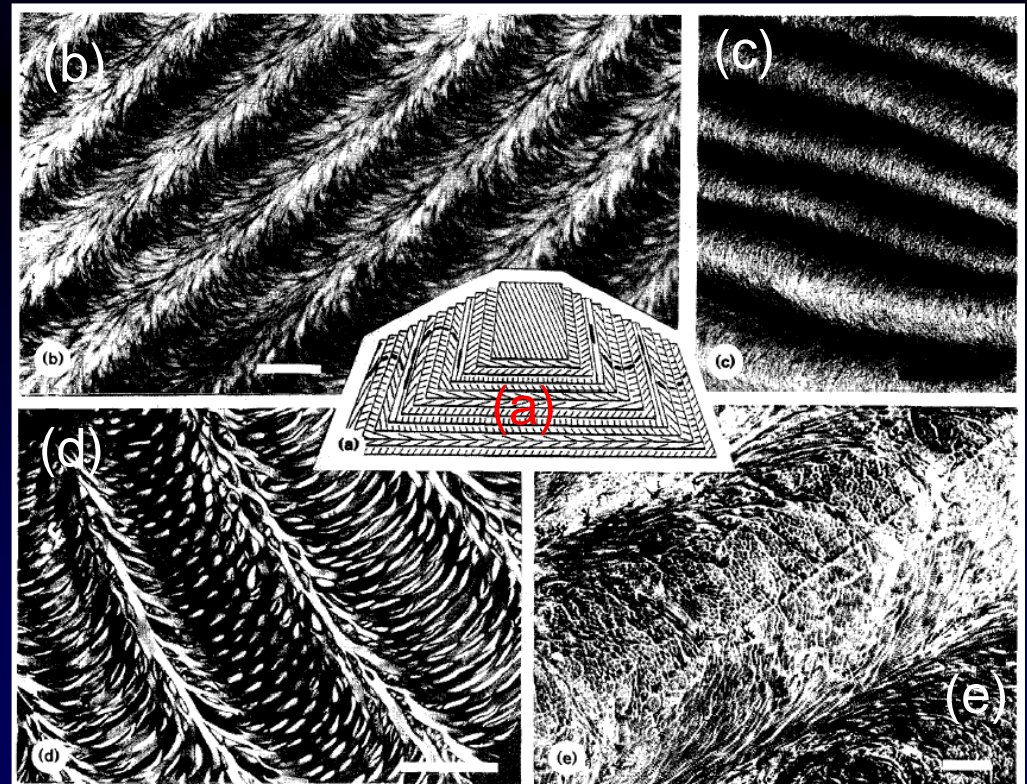
4 μm

Структура кутикулы: принцип фанеры. Пирамидальная модель

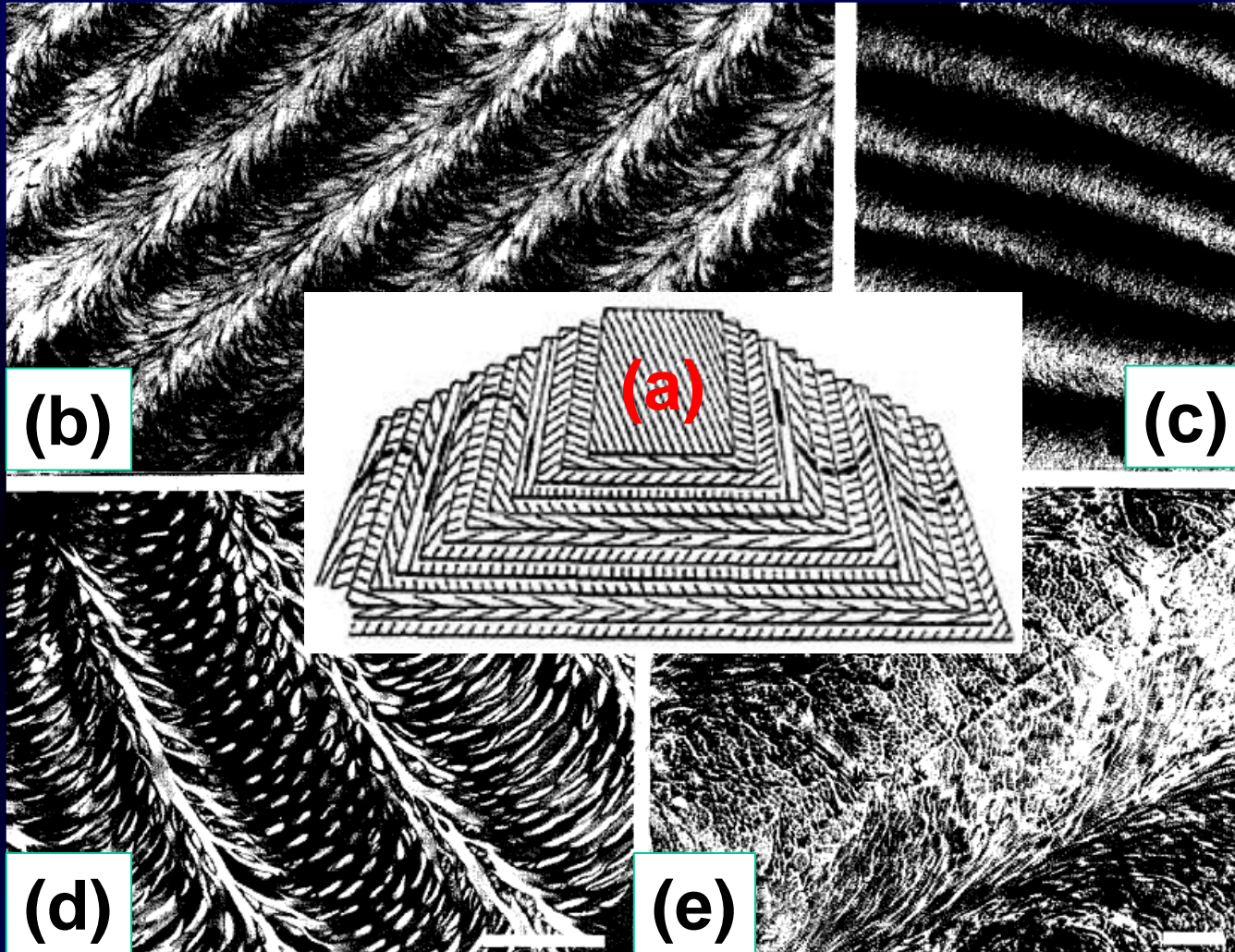


- (a) Пирамидальная модель
- (b) Хитин-протеиновые структуры в декальцинированной кутикуле краба
- (c) Клеточная стенка растения
- (d) Коллагеновая сеть в кожной чешуе рыбы
- (e) Остеон декальцинированной компактной костной ткани человека – исчерченные коллагеновые фибриллы

Направление ориентации хитин-протеиновых нитей в соседних пластинах смещается на некоторый угол. В результате формируется спиральная конструкция, напоминающая лист фанеры. Если через стопку таких пластинок сделать косой срез, то на нем выявляются характерные аркоподобные структуры



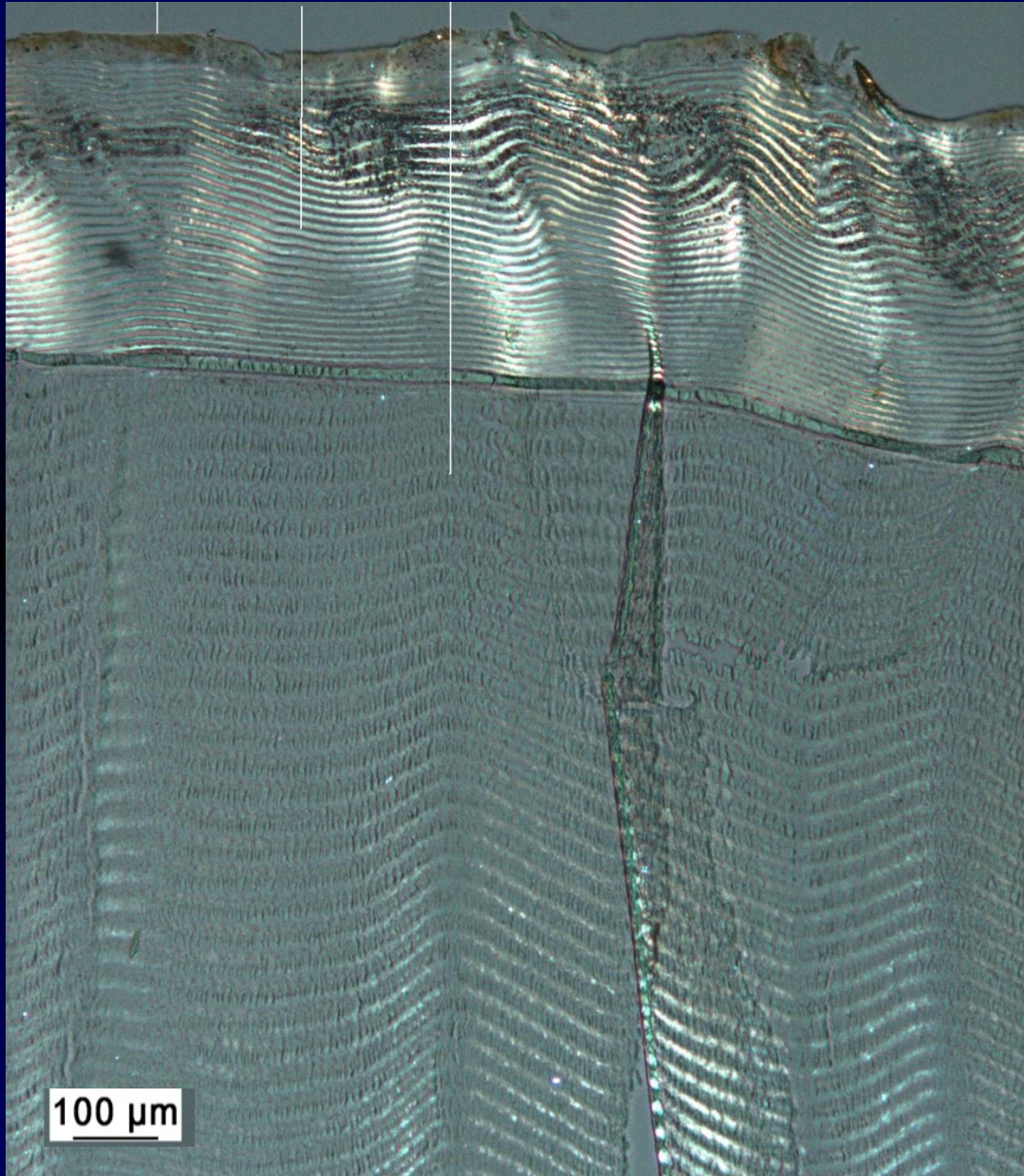
Пирамидальная модель Болиганда (Vouligand, 1972)



- (a) Пирамидальная модель
- (b) Хитин-протеиновые структуры в декальцинированной кутикуле краба
- (c) Клеточная стенка растения
- (d) Коллагеновая сеть в кожной чешуе рыбы
- (e) Остеон декальцинированной компактной костной ткани человека – исчерченные коллагеновые фибриллы

Направление ориентации хитин-протеиновых нитей в соседних пластинах смещается на некоторый угол. В результате формируется спиральная конструкция, напоминающая лист фанеры. Если через стопку таких пластинок сделать косой срез, то на нем выявляются характерные аркоподобные структуры

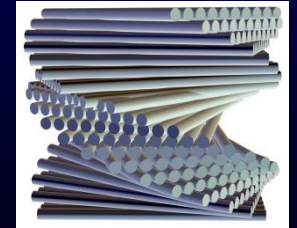
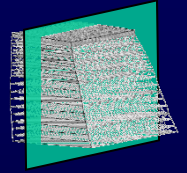
Кутикула клешни *Homarus americanus*



эпикутикула

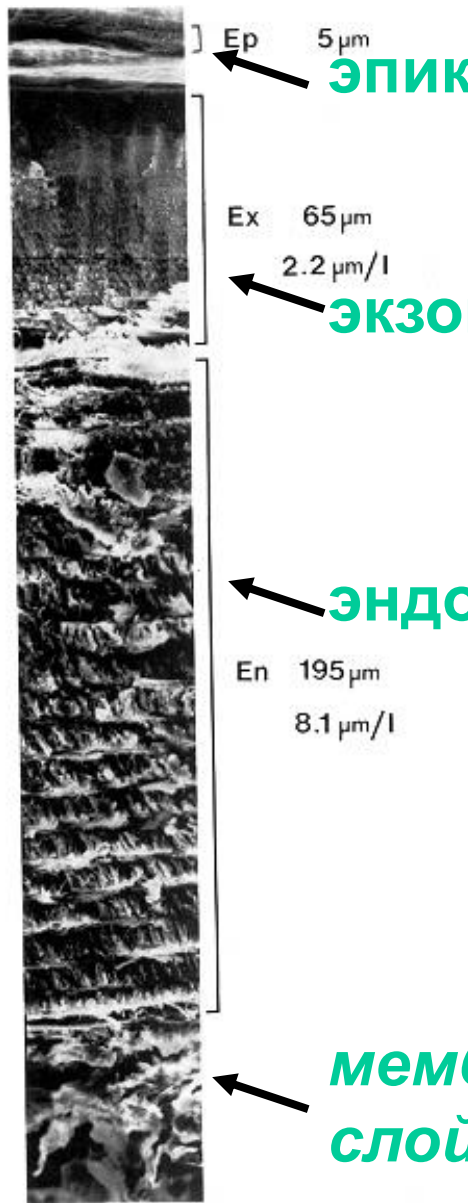
экзокутикула

эндокутикула



100 μm

Структура кутикулы *Carcinus maenas* (Decapoda)



Эпикуткула

Экзокутикула

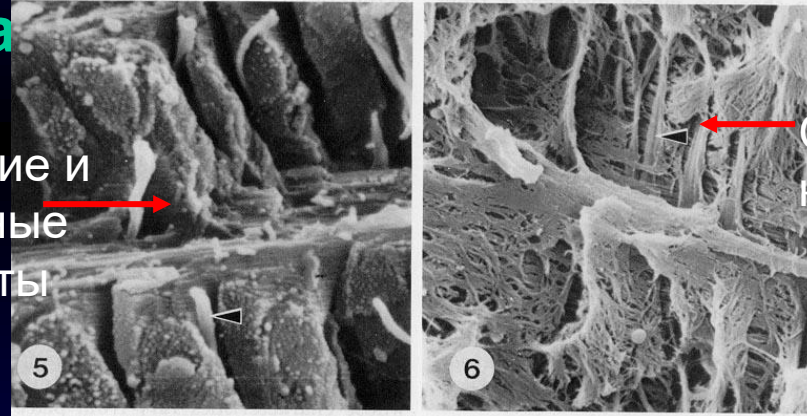
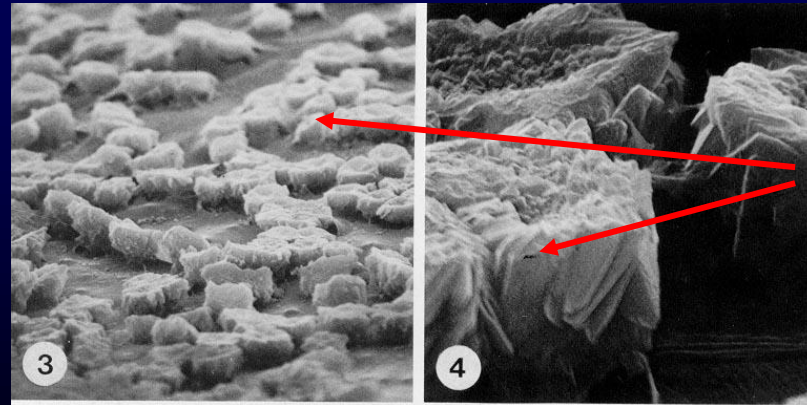
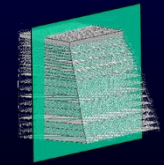
Эндокутикула

мембранный
слой (?)

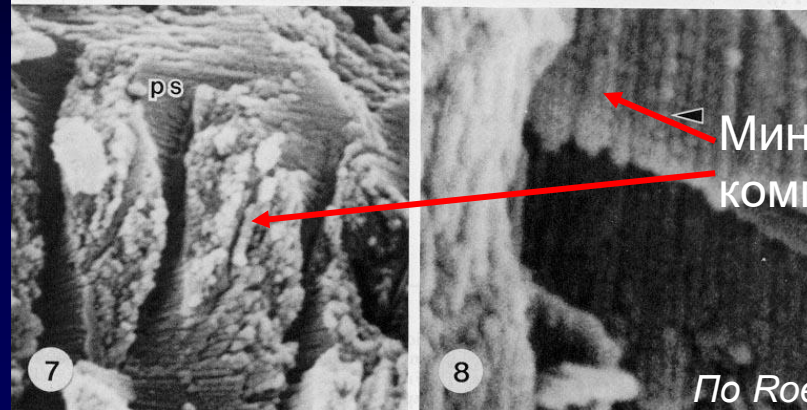
Органические и
минеральные
компоненты



Поверхность



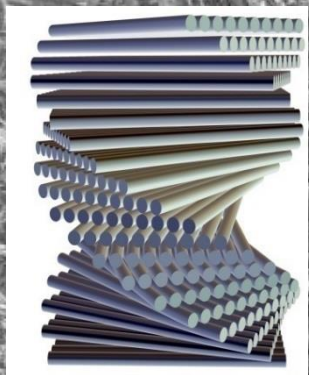
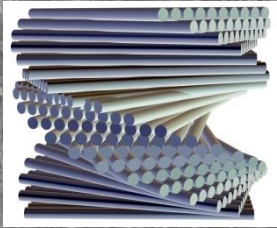
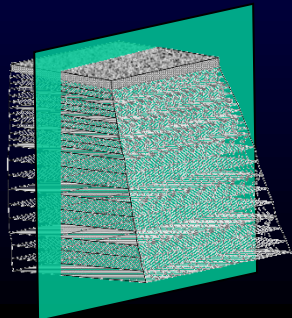
Органические
компоненты



Минеральные
компоненты

FIG. 1. Montage of the mineralized cuticular layers of *Carcinus maenas* carapace (from Roer 1979). En = endocuticle, Ex = exocuticle, Ep = epicuticle. Numbers represent the total thickness of the individual layers and the thickness of endo- and exocuticular lamellae (l).

Экзокутикула и
эндокутикула различаются
плотностью упаковки слоев
«фанеры»



Epicuticle

Exocuticle

Endocuticle

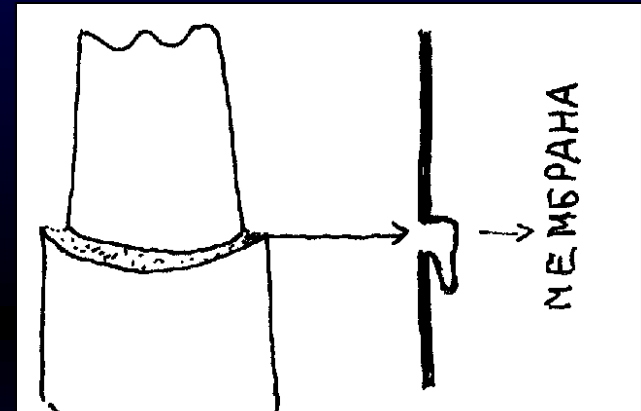
200 μm

MMM 2012 - 6th International Conference on
MULTISCALE MATERIALS MODELING
October 15 - 19, 2012 Biopolis, Singapore

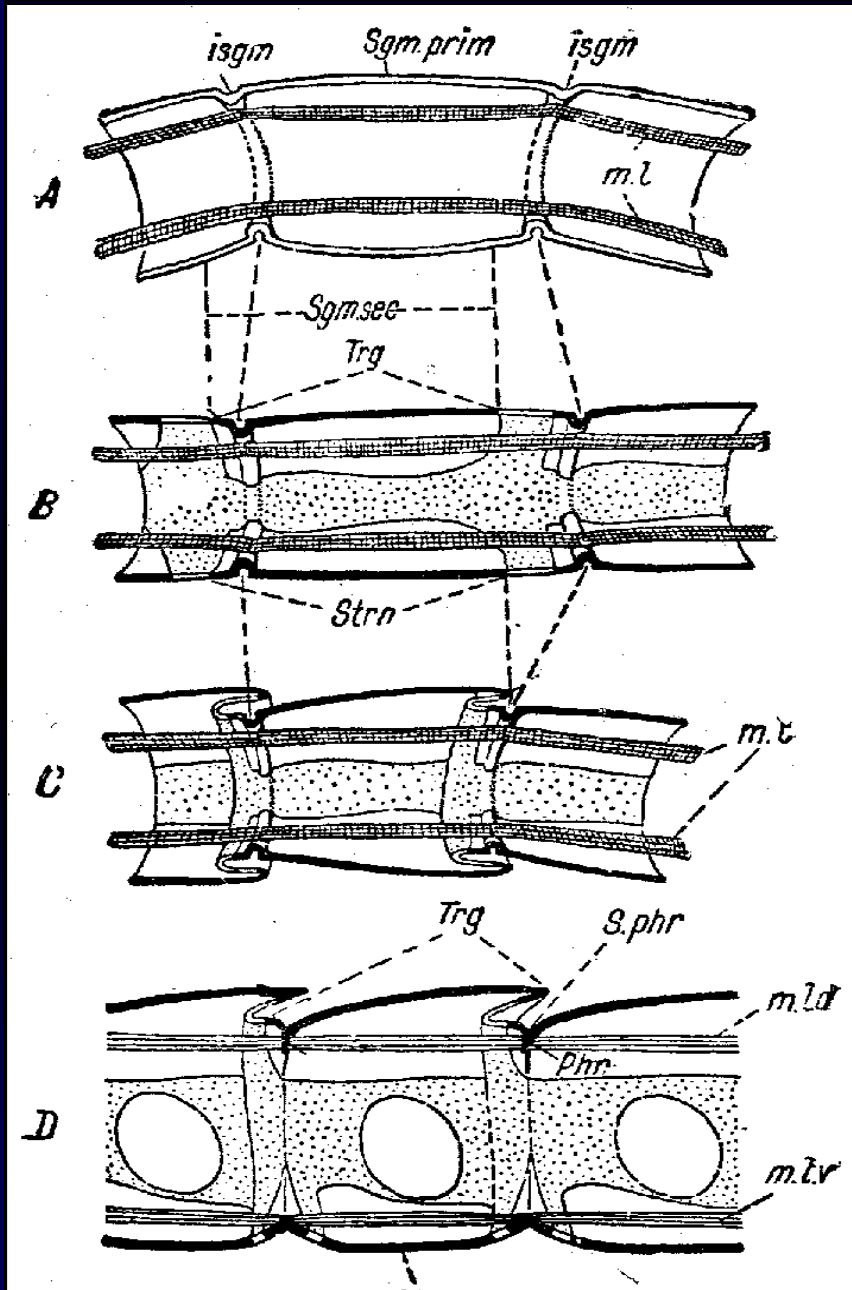
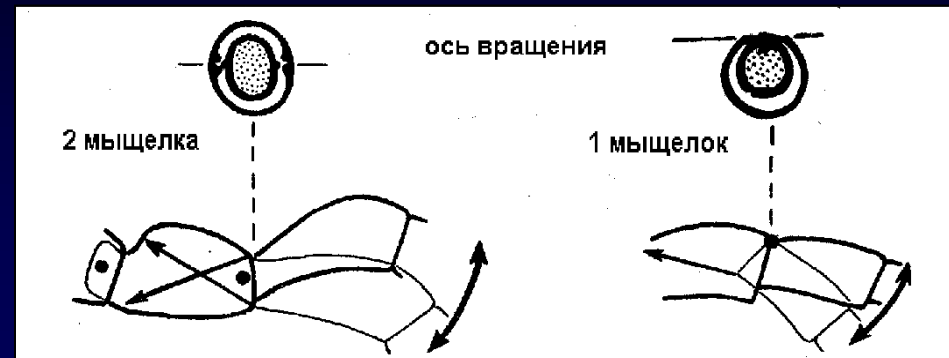
H. Fabritius, S. Nikolov, C. Sachs, M. Friak, P. Romano, M. Petrov, J. Neugebauer, D. Raabe. Understanding structure and mechanical properties of the arthropod cuticle using multiscale simulation: Example of *Homarus americanus*. 2012

Межсегментные сочленения и сочленения конечностей

Жгутики антенн



Другие конечности

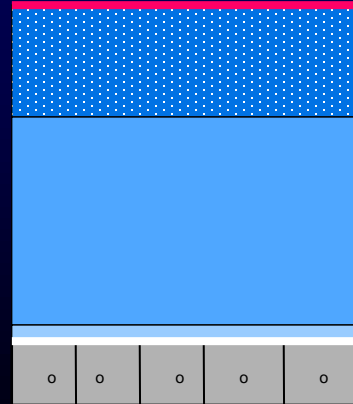
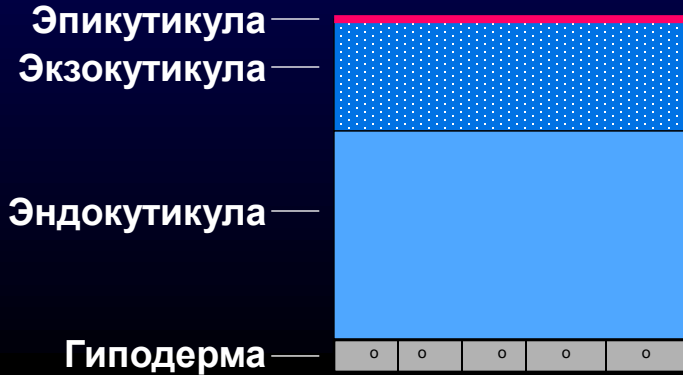


Периоды линочного цикла ракообразных

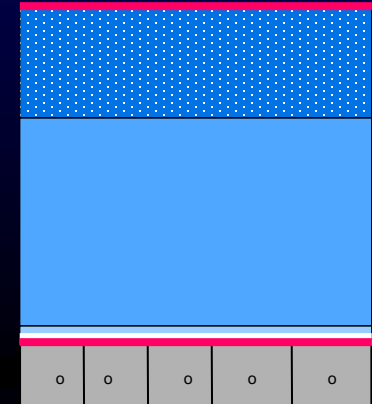
D - предлиночный

D₀ – аполизис (отслоение кутикулы)

C - межлиночный



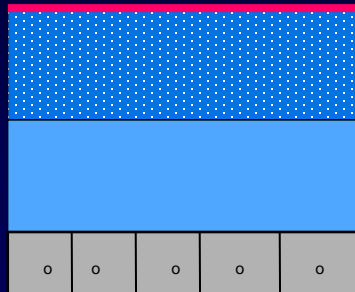
D₁ - ф-е новой эпикуткулы



A-B - постлиночный

A₁ - начало склеротинизации экзокуткулы

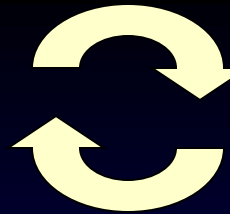
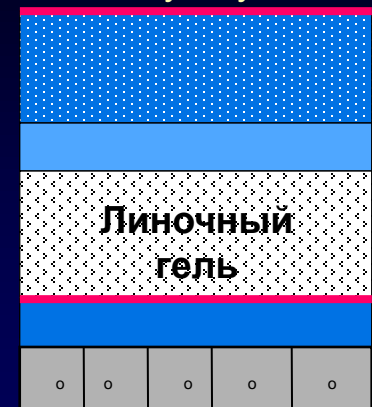
B - ф-е новой эндокутикулы



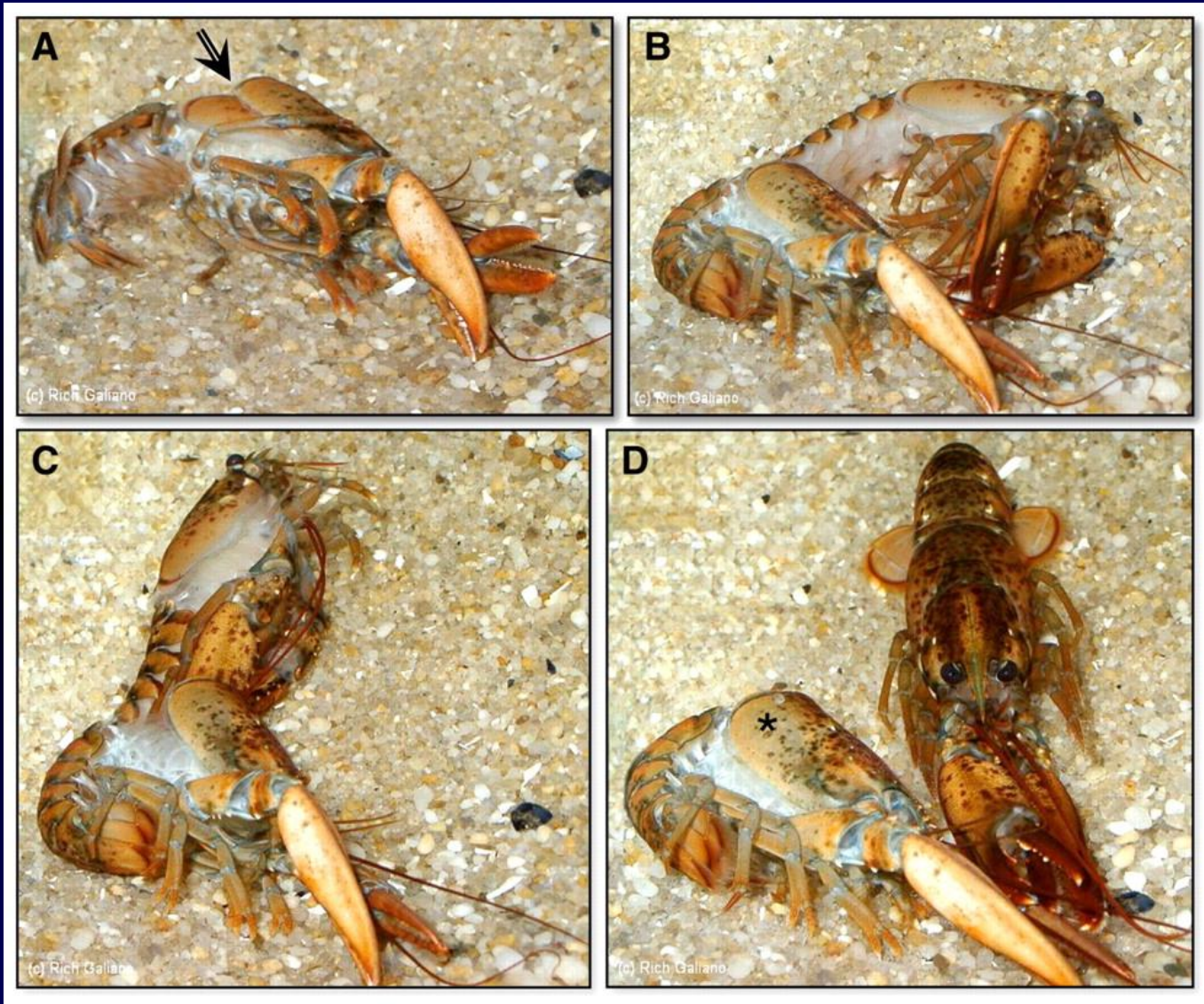
E - линочный (экдизис)



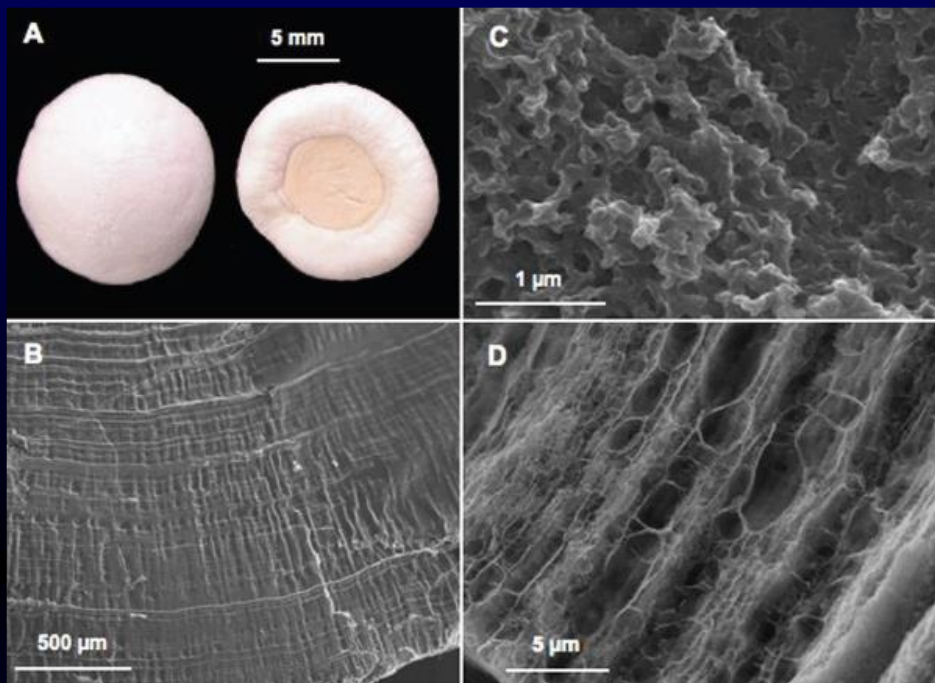
D₂ - D₄ - активизация линочных ферментов, растворение старой кутикулы, ф-е матрикса новой экзокуткулы



Экдизис *Homarus americanus*

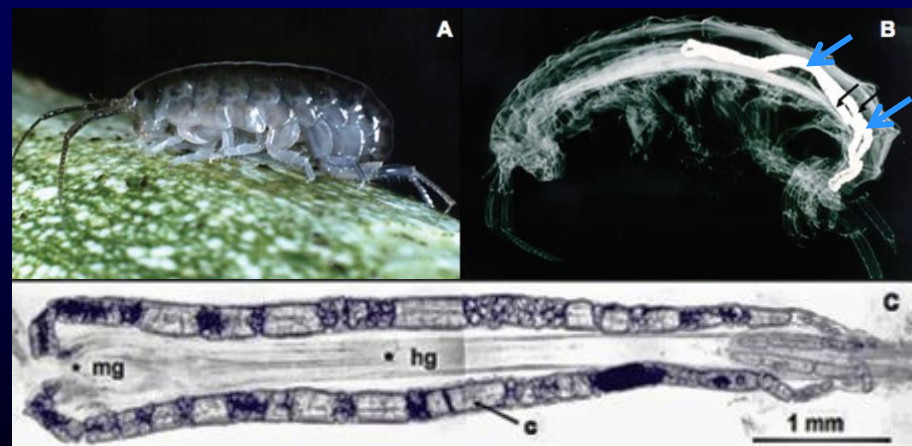


Запасы кальция у некоторых ракообразных



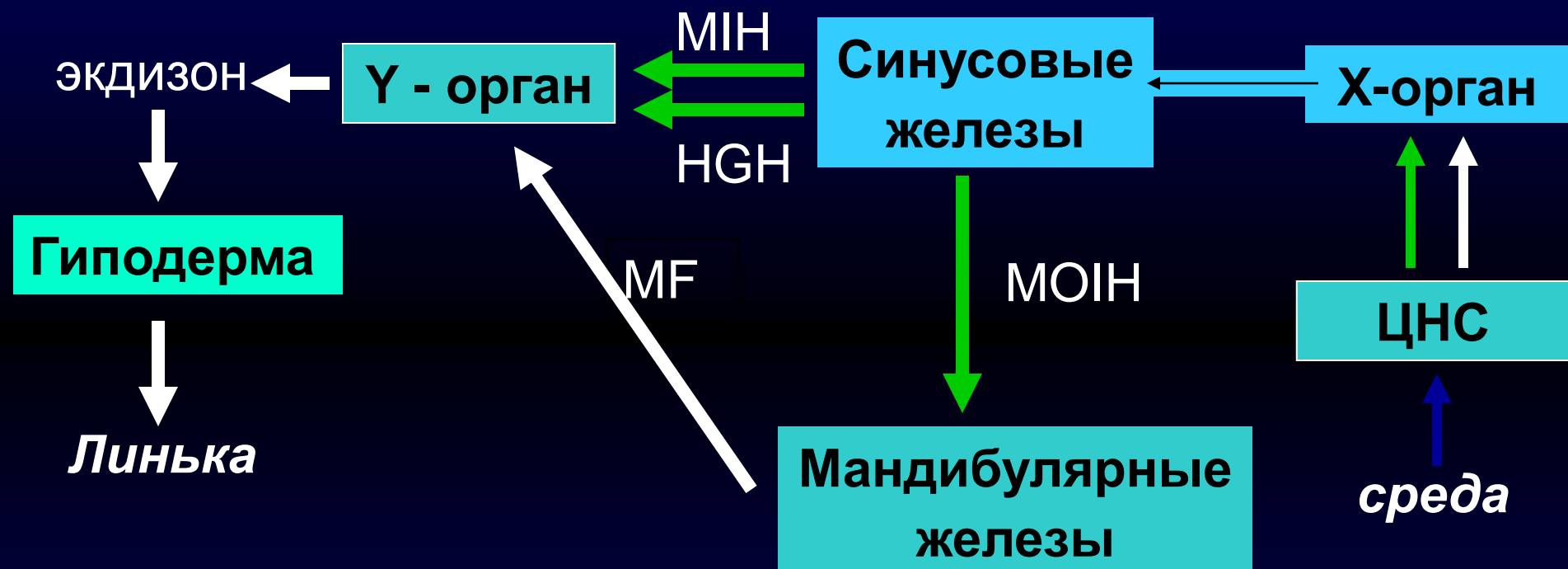
Запас кальция в гастролитах *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae, Decapoda)

- A. Гастролиты из желудка.
- B. Внутренняя структура, выявляемая после декальцификации.
- C. Внутренняя структура на разломе гастролита. Видны минерализованные наносферы.
- D. Органический матрикс декальцинированного гастролита.



- Запас кальция в дивертикулах кишечника у *Orchestia cavimana* (Talitridae, Amphipoda)
- A. Взрослый бокоплав
 - B. Результат радиографического исследования взрослой перелинявшей особи. Видны два дивертикула (стрелки).
 - C. Конкреции кальция в дивертикулах кишечника (posterior сеса); с: конкреции, hg: задняя кишка, mg: средняя кишка.

Генерализованная схема регуляции линочного цикла ракообразных



MIH - Moult Inhibiting Hormone

HGH - Hyperglycaemic Hormone

MF - Methyl farnesoate

MOIH - Inhibiting Hormone (?)

 ингибирование

 стимуляция

По Hartnoll, 2001