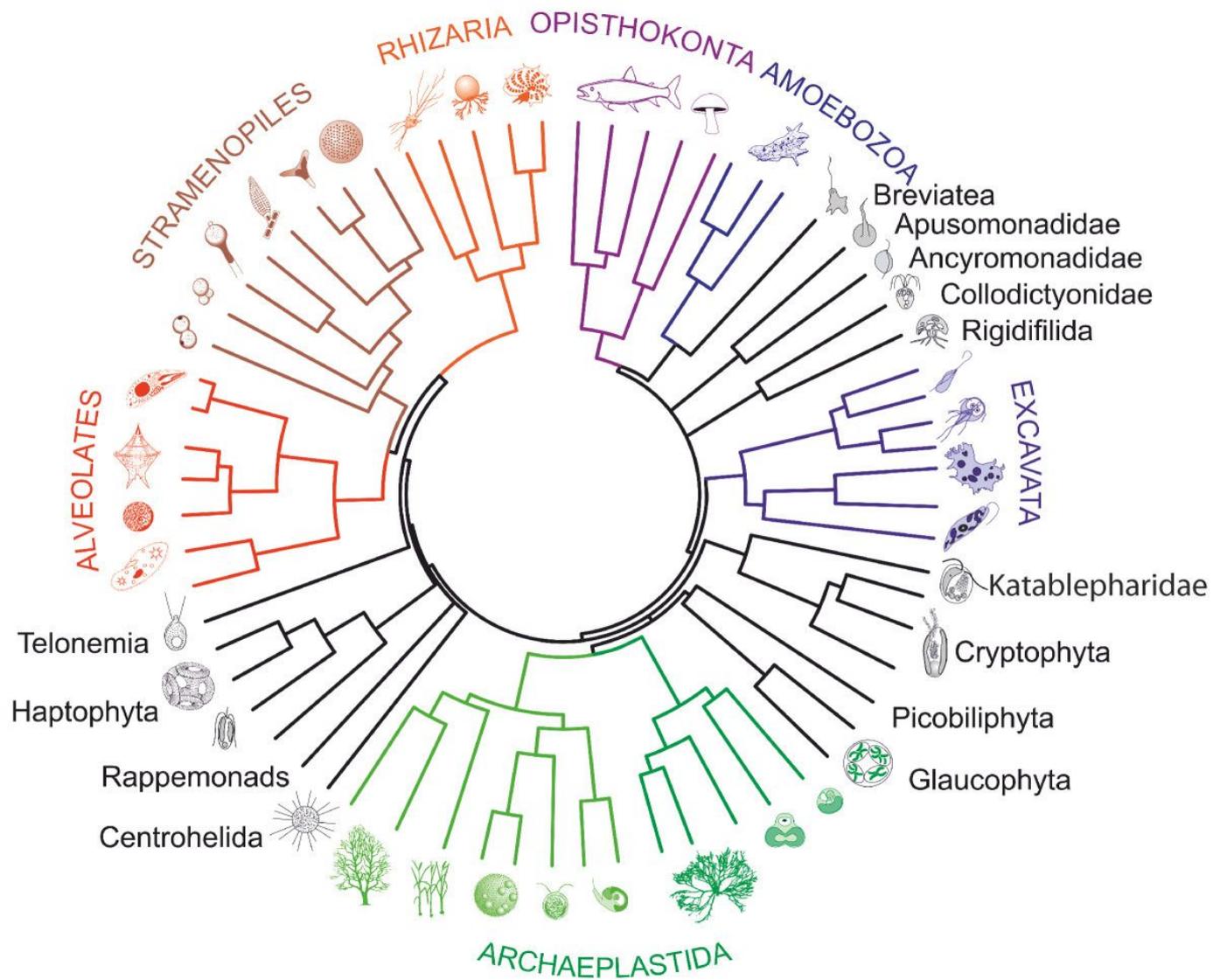


Лекция 1

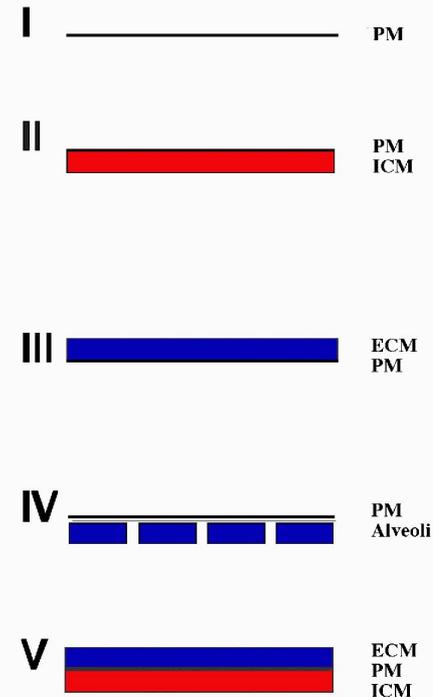
ПОКРОВЫ ВОДОРОСЛЕЙ



Deep phylogeny of eukaryotes showing the position of small eukaryotic lineages that branch outside the seven supergroups (modified after Burki et al. [12]; drawings S Chraiti). Pawlowski BMC Biology 2013, 11:40 <http://www.biomedcentral.com/1741-7007/11/40>

Клеточные покровы водорослей

- 1. Клеточная мембрана
- 2. Клеточная мембрана с дополнительным внутриклеточным материалом
- 3. Клеточная мембрана с дополнительным внеклеточным материалом
- 4. Клеточная мембрана с дополнительным внутриклеточным материалом в везикулах
- 5. Клеточная мембрана с дополнительным внутри- и внеклеточным материалом



1. Клеточная мембрана



- По морфологии выделяют несколько типов псевдоподий. Чаще всего у водорослей встречаются *ризоподии* (например, *Chrysamoeba*, *Rhizochrysis*), представляющие собой нитевидные длинные, тонкие, разветвленные, иногда анастомозирующие цитоплазматические выросты. Внутри ризоподии содержатся микрофиламенты. *Лобоподии* – широкие закругленные выпячивания цитоплазмы. Они встречаются как у водорослей с амебоидным типом дифференциации таллома (например, *Brehmiella*), так и с монадным (например, *Ochromonas*). Реже у водорослей наблюдаются *филоподии* (например, *Erythroopsis*) и *аксоподии* (например, *Pedinella*, *Pseudopedinella*). *Филоподии* – тонкие подвижные образования, напоминающие щупальца, способны быстро втягиваться в клетку. У них внутри проходит ось из микрофиламентов. *Аксоподии* – постоянные щупальцевидные образования, внутри которых находится каркас из микротрубочек.

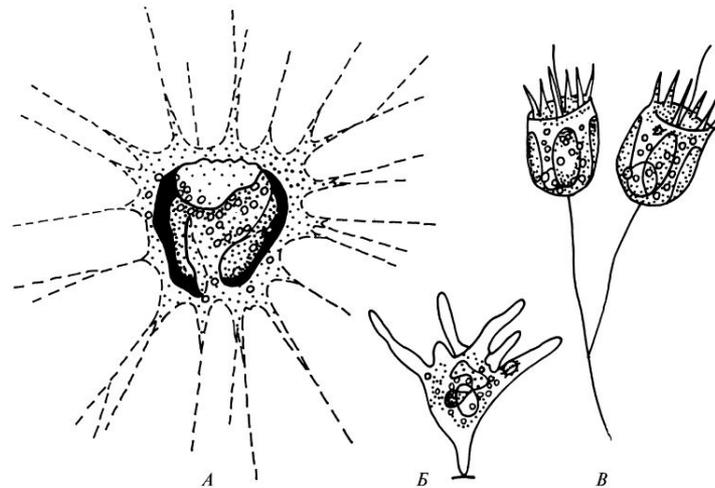


Рис. 9. Псевдоподии водорослей (А. А. Масюк, 1993):

А – *Rhizochrysis nobilis* с ризоподиями; Б – *Brehmiella chrysohydra*: клетка, прикрепившаяся к субстрату с помощью базальной лобоподии; В – *Pedinella hexacostata* с аксоподиями

2. Клеточная мембрана с дополнительным внеклеточным материалом

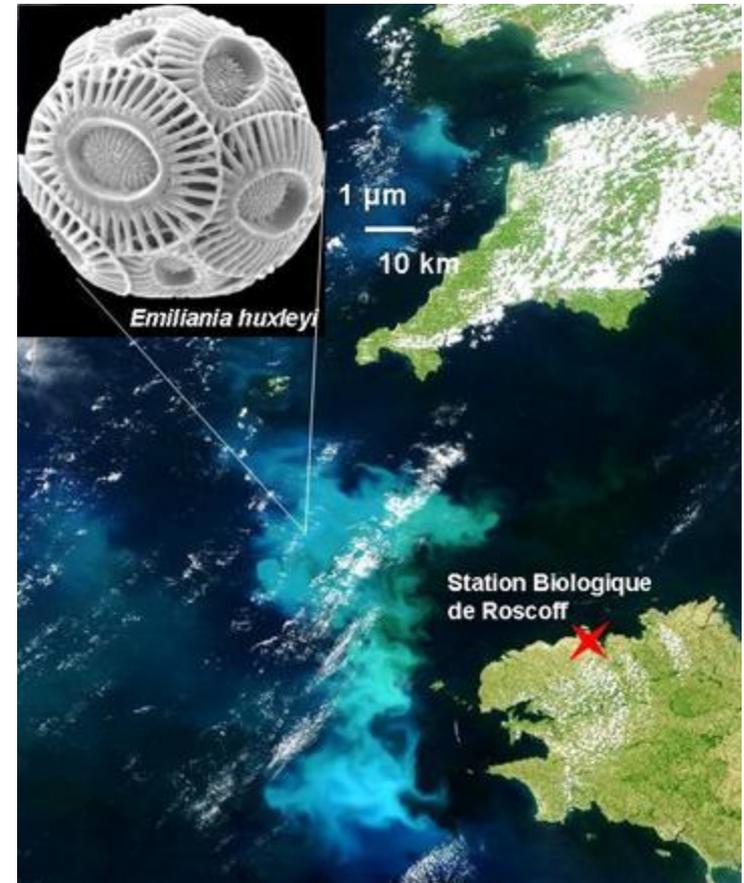
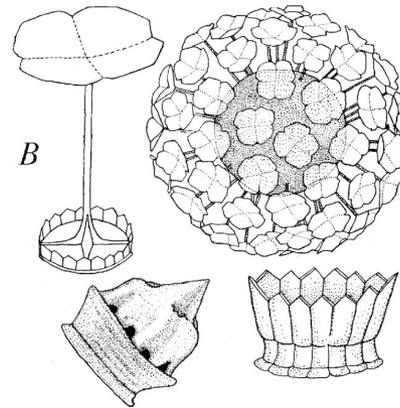
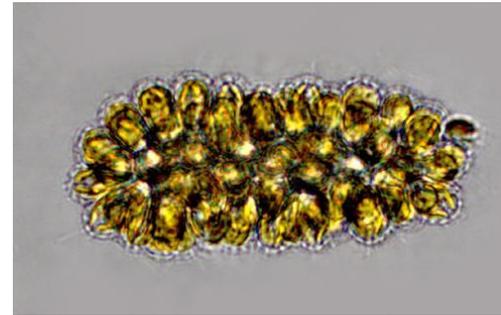
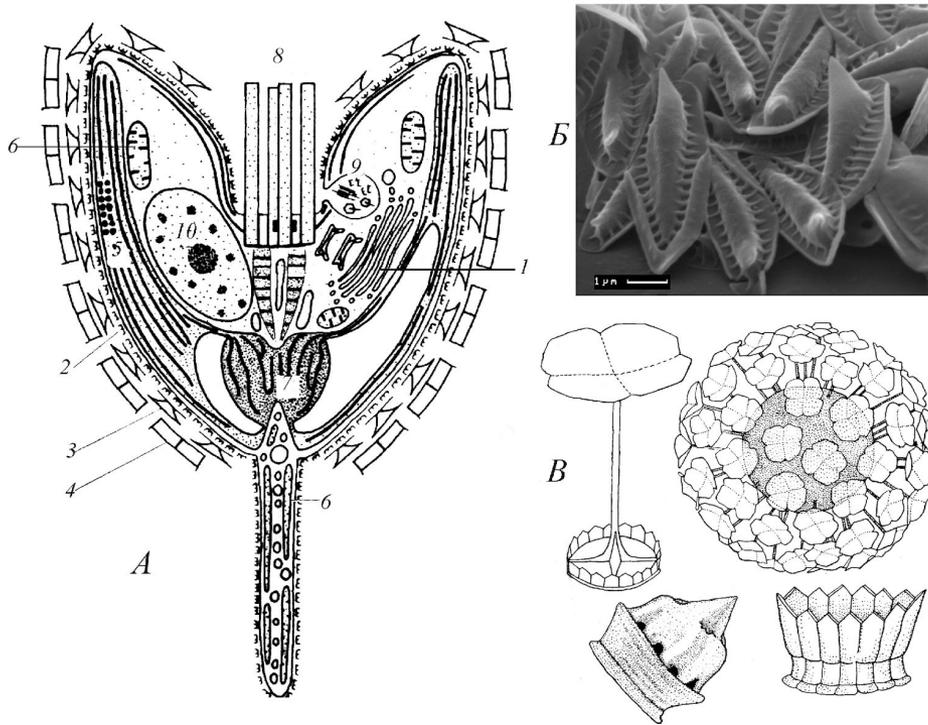
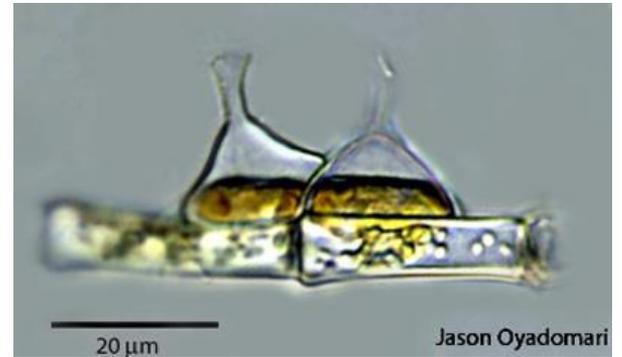
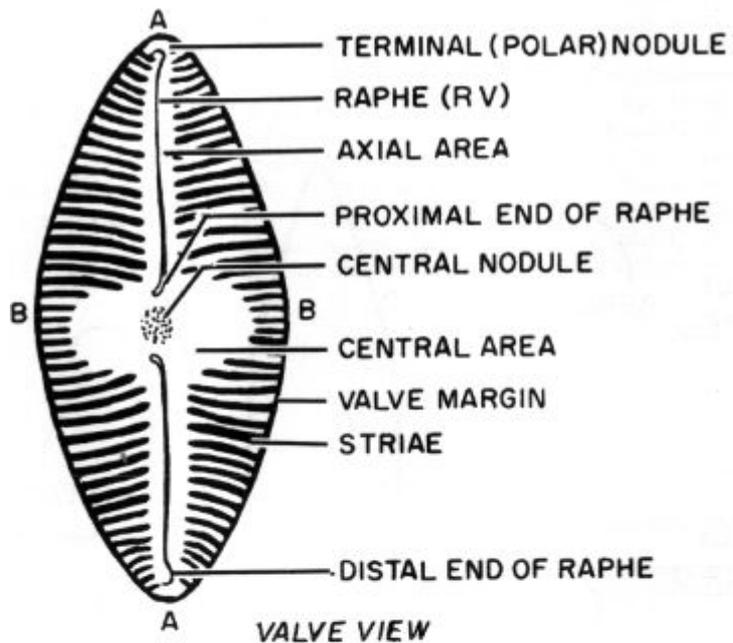
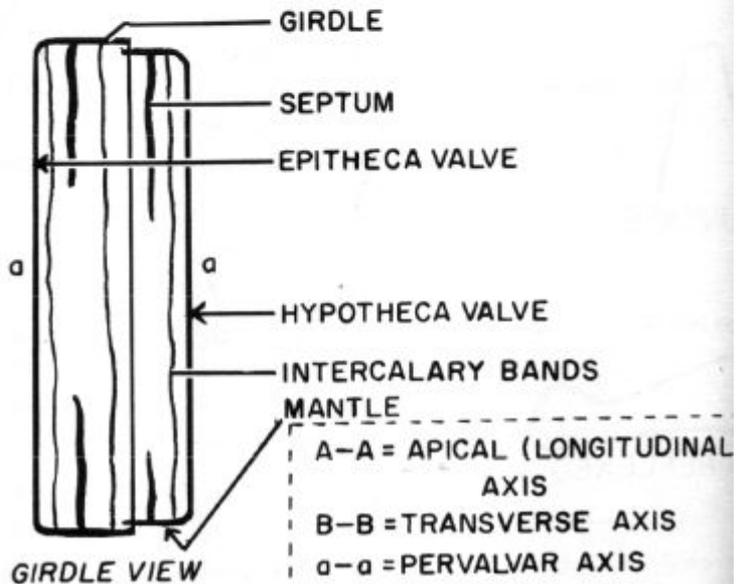


Рис. 10. Чешуйки водорослей. *A* - схема расположения органических чешуек на поверхности клеток *Pyramimonas longicauda* (по: Inouye et al., 1984); *B* - неорганические кемнеземные чешуйки на поверхности клетки *Synura petersenii* (авт.); *B* - неорганические чешуйки из карбоната кальция у примнезиофитов (по: Горбунова, 1988):
1 - аппарат Гольджи, 2 - внутренний слой чешуек, 3 - средний слой чешуек, 4 - наружный слой чешуек, 5 - хлоропласт, 6 - митохондрия, 7 - пиреноид, 8 - жгутики, 9 - резервуар, в котором накапливаются зрелые чешуйки, 10 - ядро.

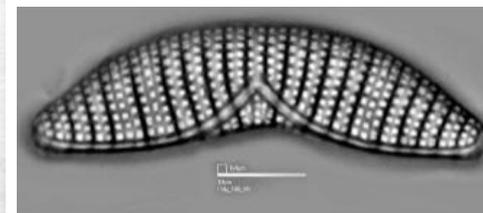
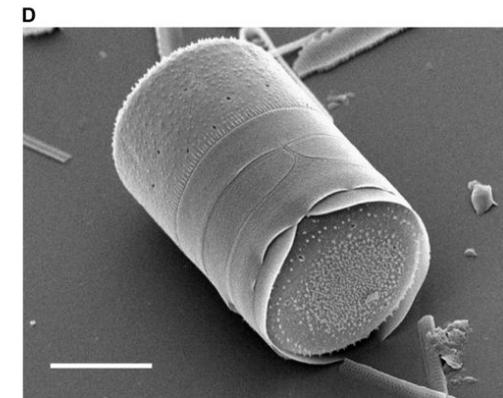
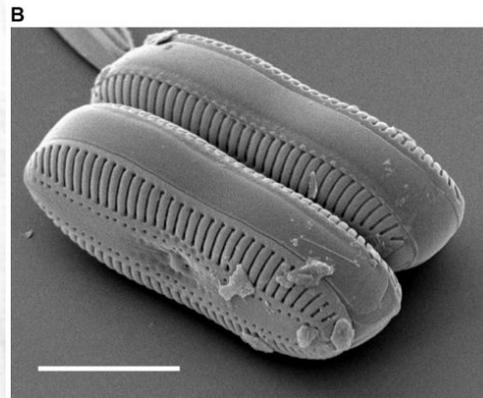
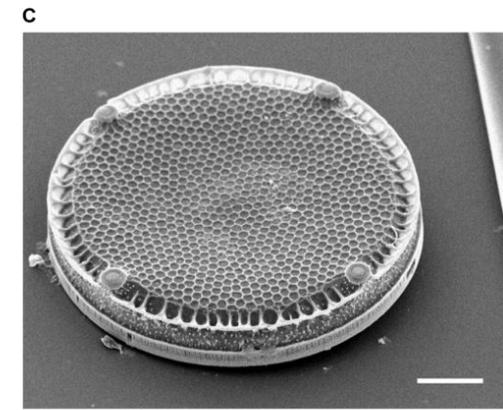
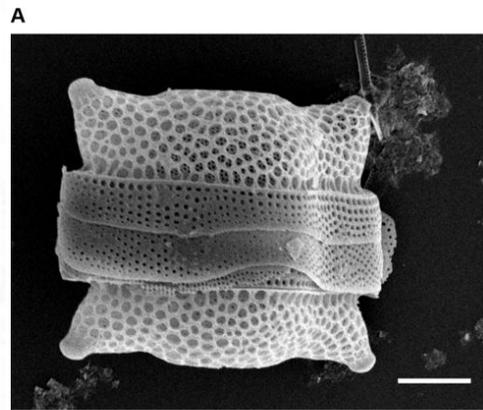


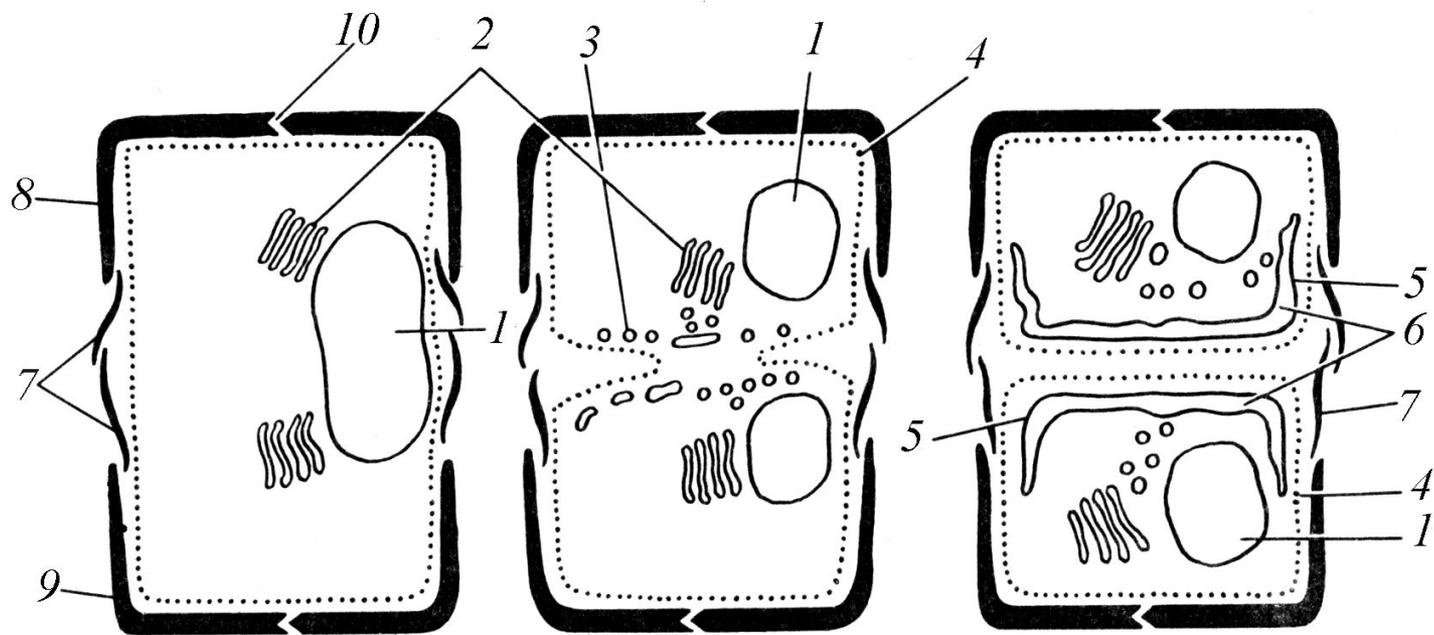


VALVE VIEW



GIRDLE VIEW

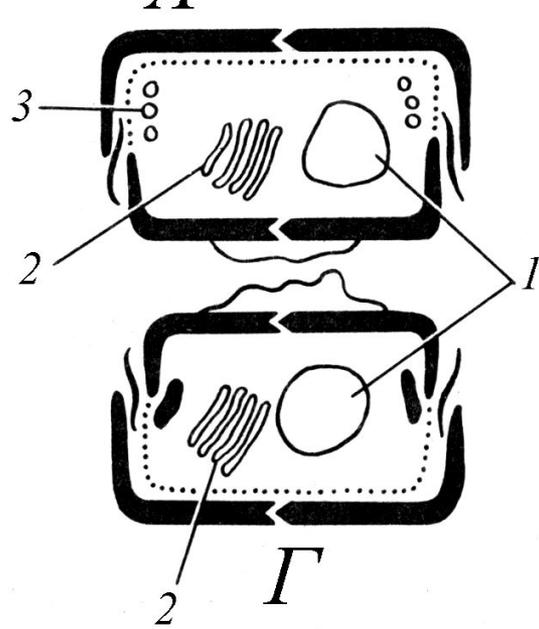




A

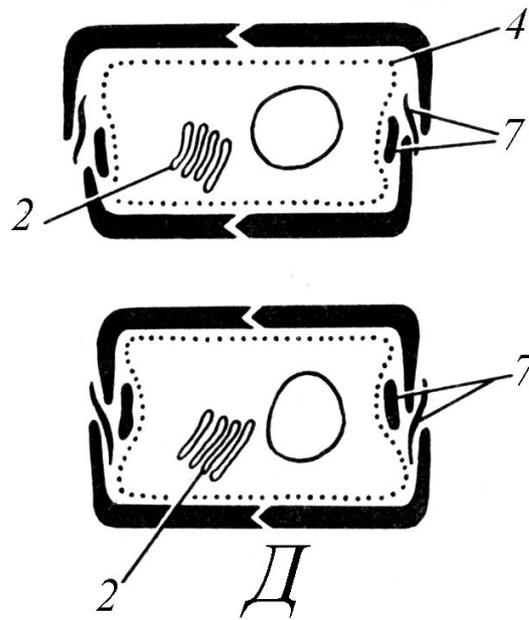
Б

В

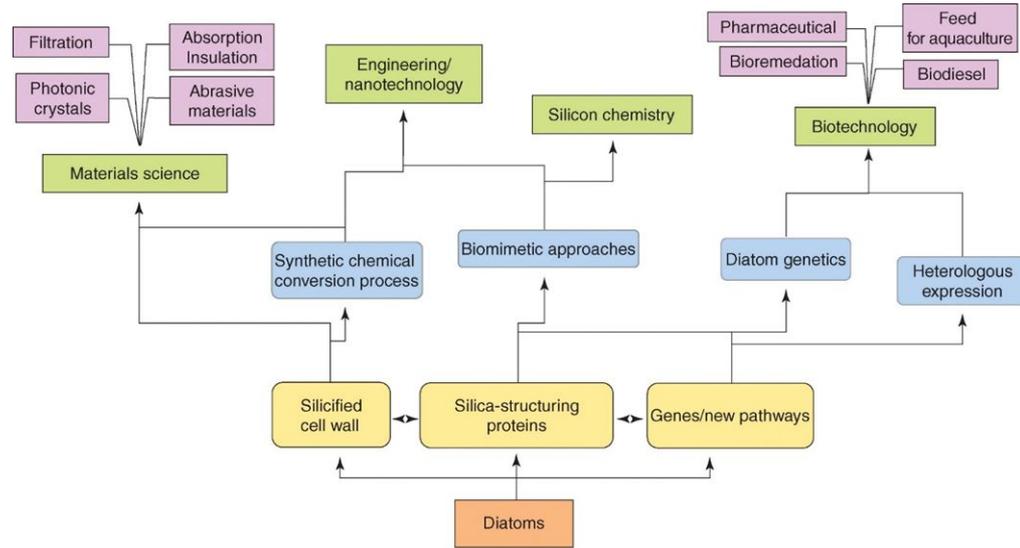


Г

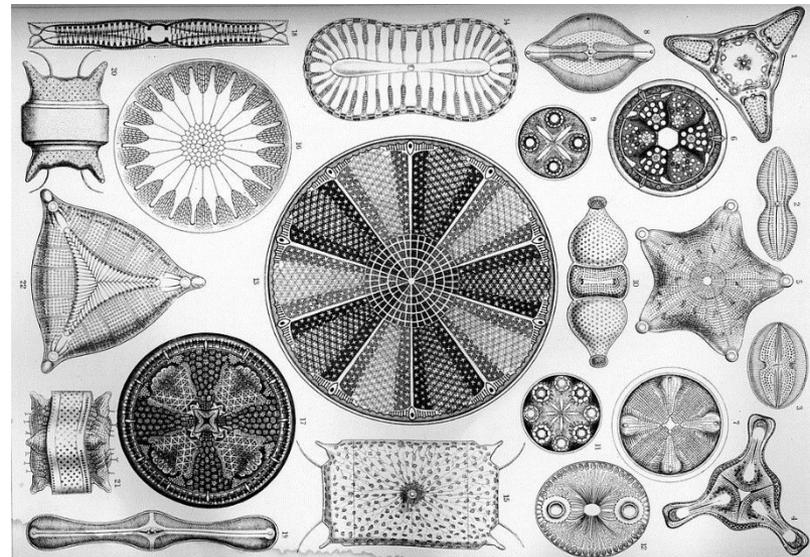
Д



Кремний относится к биологически активным микроэлементам. Установлено, что соединения кремния необходимы для нормального функционирования эпителиальной и соединительной тканей (кожа, слизистые, сухожилия, кровеносные сосуды и т. д.) Считают, что присутствие кремния в стенках кровеносных сосудов препятствует отложению липидов и проникновению их в плазму крови. Кремний способствует биосинтезу коллагена и образованию костной ткани, участвует в процессах активной кальцификации молодых костей. Добавление его к рациону ускоряет минерализацию даже при низком содержании в диете кальция. При переломах концентрация кремния в местах срастания увеличивается, по сравнению со здоровой костью, почти в 50 раз. Полагают, что соединения кремния играют существенную роль в обменных процессах, особенно в метаболизме липидов.



Current Opinion in Biotechnology



КРЕМНИЕВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

НАНОИНЖЕНЕРЫ МИНИ

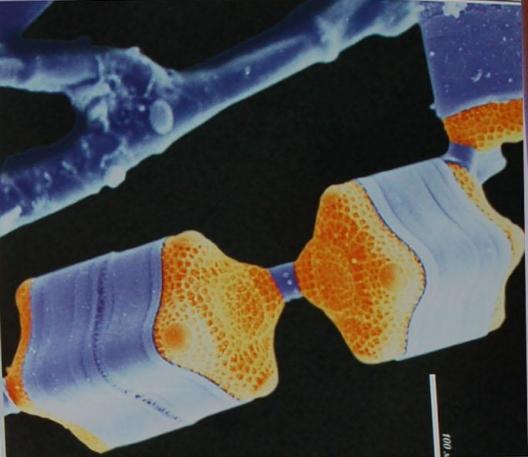


Крупные шипы в центре створок диатомей *Syndelocystis*, соединяющие сестринские клетки, препятствуют их вращению. Фото Р. Кроуфорда

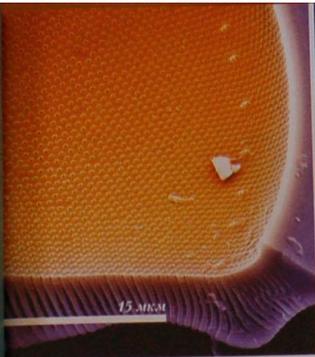
20 мкм



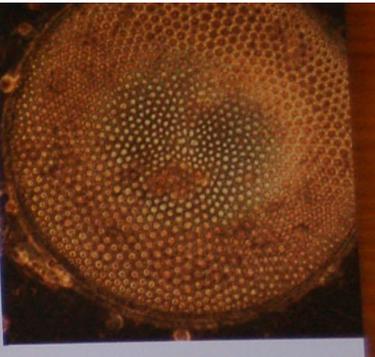
50 мкм



100 мкм

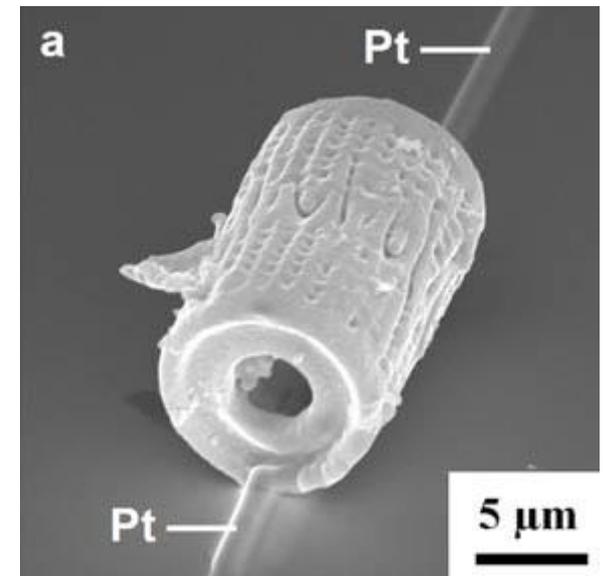
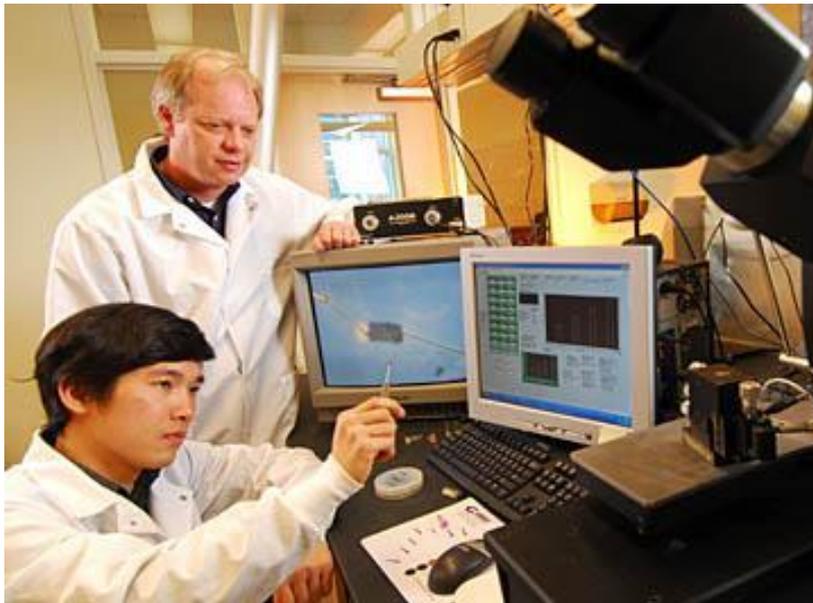


15 мкм

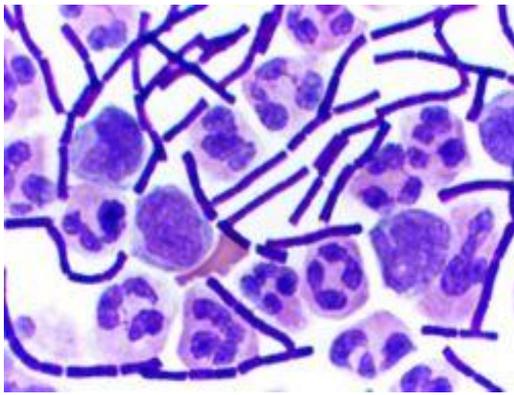


- **Микросхемы из водорослей**

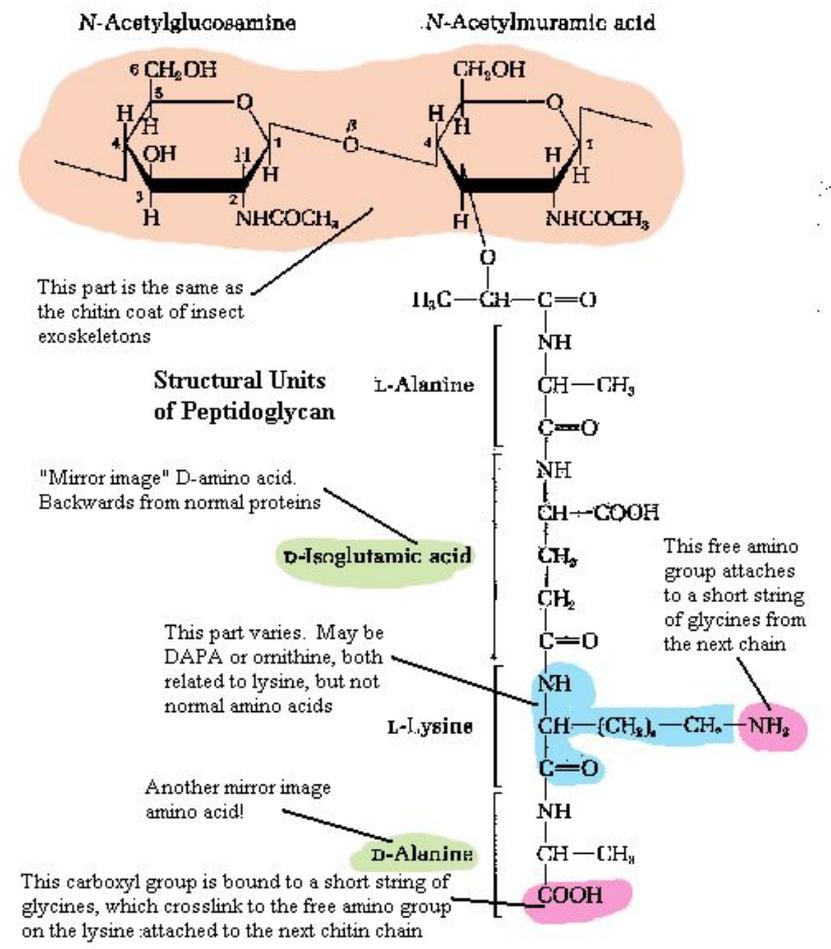
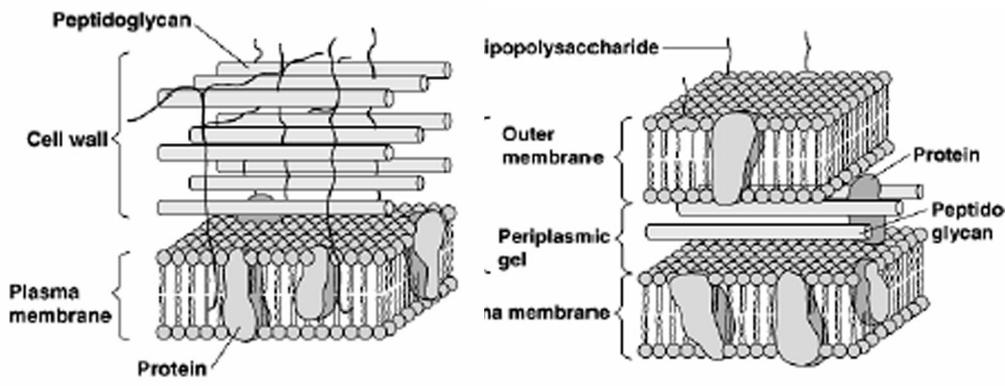
- Kenneth Sandhage из Технологического института штата Джорджия рассчитывает использовать многообразие кремнеземных панцирей диатомей для разработки компонентов электронных схем будущего, куда более сложных и мощных, чем их современные аналоги. Обработка парами металлов при температуре до 900°C позволяет замещать в диатомовых панцирях диоксид кремния электропроводным диоксидом титана или оксидом магния. Вполне возможно, что генетические исследования вскоре позволят выращивать диатомовые компоненты заданной формы и размера, из которых, после необходимой химической обработки, можно будет собирать сложные объемные наноструктуры.



March 8, 2007, issue of the journal *Nature*



Грамположительные бактерии связывают основной краситель (метиленовый синий, генциановый фиолетовый и др.), а после обработки иодом, затем спиртом или ацетоном сохраняют комплекс иод-краситель.



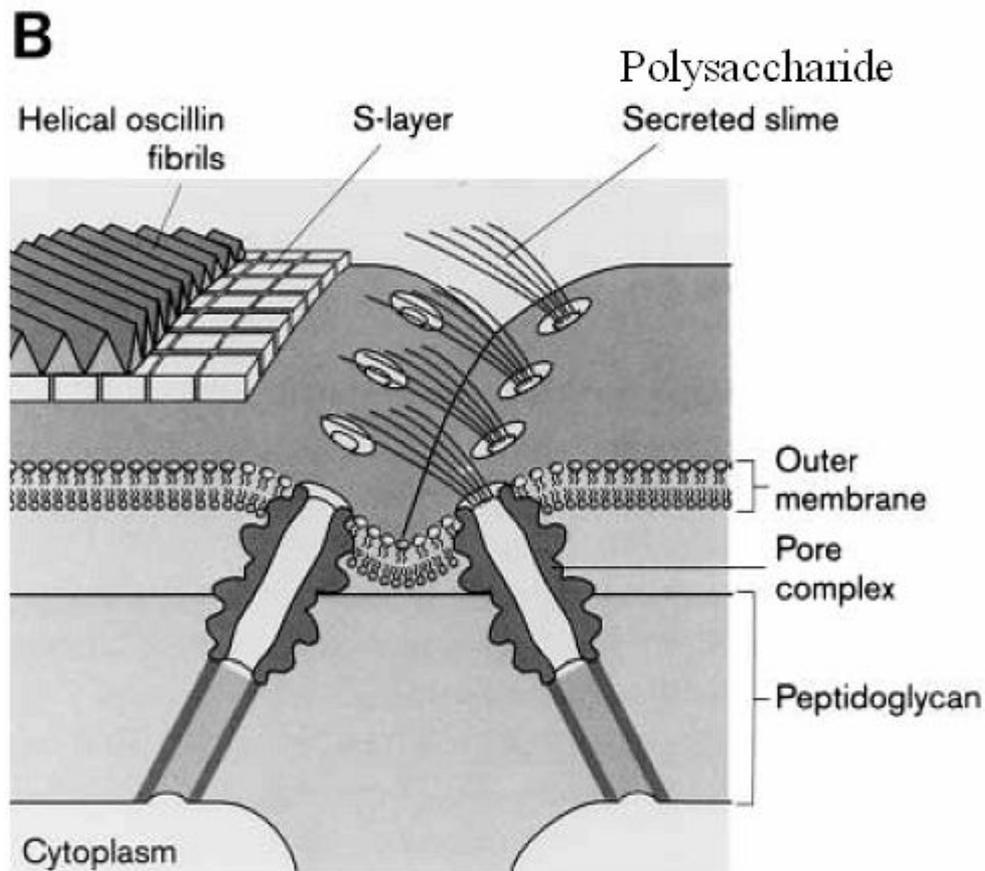
Структурная часть клеточной стенки состоит из муреина. Муреин расположен между двумя мембранами.

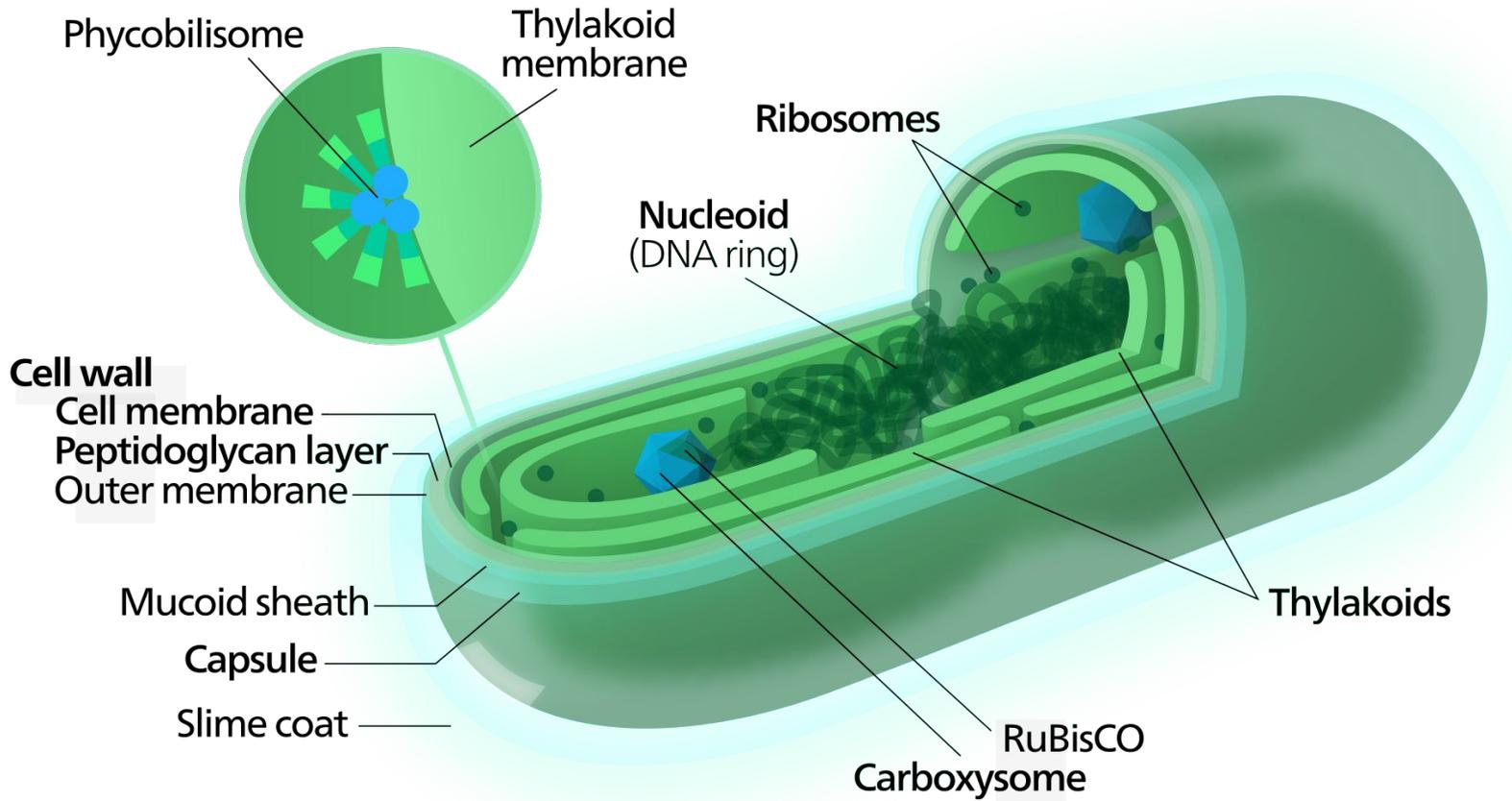
Клетки часто покрыты
слизистым чехлом,
состоящим из
гидратированных
полисахаридов.



Состав чехлов:

слизистый чехол *Gloeothese* состоит из нейтральных сахаров (галактоза, глюкоза, манноза, рамноза, 2-О-метил-D-ксилоза) и уоновых кислот (глюкуроновой и галактуроновой кислот). В нем содержится только 2% белка, следы жирных кислот и фосфатов.





<https://en.wikipedia.org/wiki/Cyanobacteria>

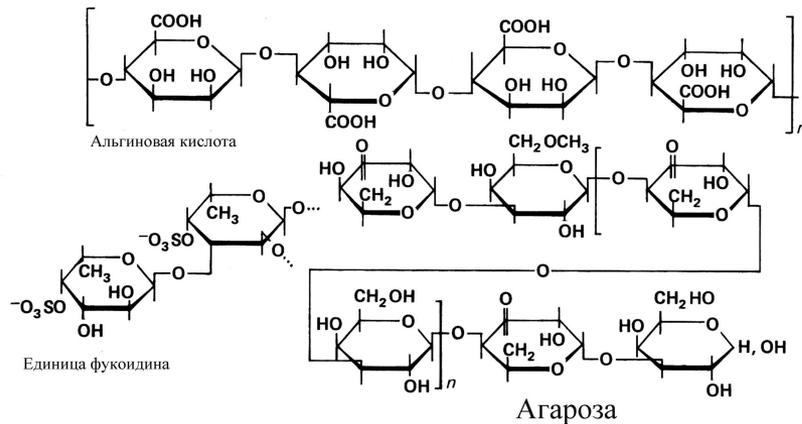


Рис. 17. Структурные единицы альгиновой кислоты, фукоидина, агарозы.

Углеводы клеточных стенок водорослей

- Целлюлоза
- сульфатированные галактаны: группа агара (агароза и порфиран), группа каррагинана (агароид, фурцелларан и др.), каррагар
- ксиланы, маннаны, глюкоманнаны
- пектины
- альгиновая кислота и ее соли
- фукоиданы

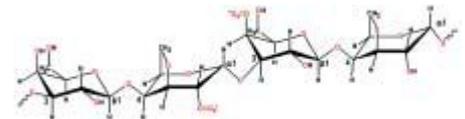




Table 1 Major cell-wall polymers present in different plant and algal taxa

Polysaccharide	Chloroplastida			Rhodophyta	Phaeophyceae
	Embryophyceae	Charophyceae	Chlorophyta		
Crystalline polysaccharides	Cellulose	Cellulose	Cellulose ¹³²	Cellulose ⁹³ (1→4)-β-D-mannan ⁹³ (1→4)-β-D-xylan ^{24, 57} (1→3)-β-D-xylan ^{24, 57}	Cellulose ⁹³
Hemicelluloses	Xyloglucan ¹⁰¹ Mannans ¹⁰⁴ Xylans ¹⁷ MLG ⁹³ (1→3)-β-glucan	Xyloglucan ³⁰ Mannans ³⁰ Xylans ³⁰ (1→3)-β-glucan	Xyloglucan ^{62, 63} Mannans ⁹³ Glucuronan ⁶³ (1→3)-β-glucan	Glucomannan ⁶⁴ Sulfated MLG ⁶⁴ (1→3),(1→4)-β-D-xylan ^{24, 57, 93}	Sulfated xylofucoglucan ^{57, 93} Sulfated xylofucoglucuronan ^{57, 93} (1→3)-β-glucan
Matrix carboxylic polysaccharides	Pectins	Pectins	Ulvans ⁶²	—	Alginates ⁵⁷
Matrix sulfated polysaccharides	—	—	Ulvans	Agars ^{57, 93} Carrageenans ⁹³ Porphyran	Homofucans ^{57, 93}

Wall polymers are defined as follows: cellulose, (1→4)-β-D-glucan; MLG, (1→3),(1→4)-β-D-glucan; ulvans, sulfated xylorhamnoglucuronans. Agars, carrageenans, and porphyran are sulfated α-(1→3), β-(1→4)-galactans differentiated by the fact that agars and porphyran contain D- and L-galactose, whereas carrageenans contain only D-galactose, and alginates are polymers of α-L-guluronic acid and β-D-mannuronic acid. We recommend the following reviews, which cover this topic in greater depth (24, 57, 93, 103).

Taxon	Covering type	Biochemical composition	Reference
<i>Prasinophyceae</i>	"Scales," coatings	2-Keto sugars (e.g., DHA), mannans, glycoproteins	Becker et al. (1991 , 1994), Moestrup and Walne (1979)
<i>Chlorodendrophyceae</i>	Wall of fused scales	2-Keto sugars (e.g., DHA), proteins	Becker et al. (1991)
<i>Trebouxiophyceae</i>	Cell walls	Cellulose, algaenan, β -galactofuranan	Rodrigues and da Silva Bon (2011), Cordeiro et al. (2006)
<i>Chlorophyceae</i>	Crystalline glycoprotein walls; fibrillar cell walls	Hyp-rich glycoproteins, cellulose pectins, AGP, extensin	Voigt et al. (2001 , 2007), Kirk (1998), Estevez et al. (2008)
<i>Ulvoophyceae</i>	Cell walls	Cellulose, β -mannans, β -xylans, sulfated (sometimes pyruvylated) polysaccharides or sulfated rhamnogalacturonans, AGP, extensin	Ciancia et al. (2012), Estevez et al. (2009), Percival (1979), Lahaye and Robic (2007)
<i>Charophyceae-early divergent clades</i>	Scales, cell walls	2-Keto sugars, cellulose, homogalacturonans, 1,3 β -glucans, AGP	Sørensen et al. (2011), Domozych et al. (1991)
<i>Charophyceae-late divergent clades</i>	Cell walls	Cellulose, homogalacturonans, RG-I xyloglucans, mannans, xylans, mixed linkage glucans, 1,3 β -glucans, AGP, extensin, lignin	Sørensen et al. (2011 , 2012), Popper and Tuohy (2010)

Table 2

Summary of the composition of extracellular coverings in green algae.

For further detailed information, key references are provided. AGP, arabinogalactan proteins; Hyp, hydroxyproline.

Синтез целлюлозы

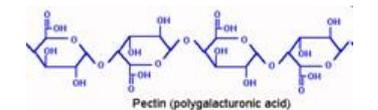
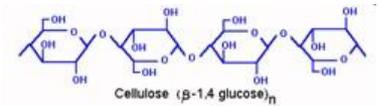
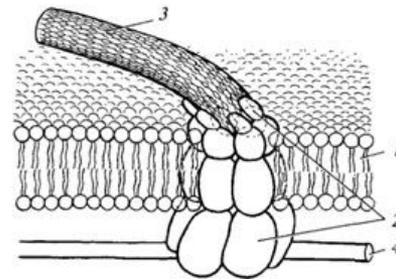
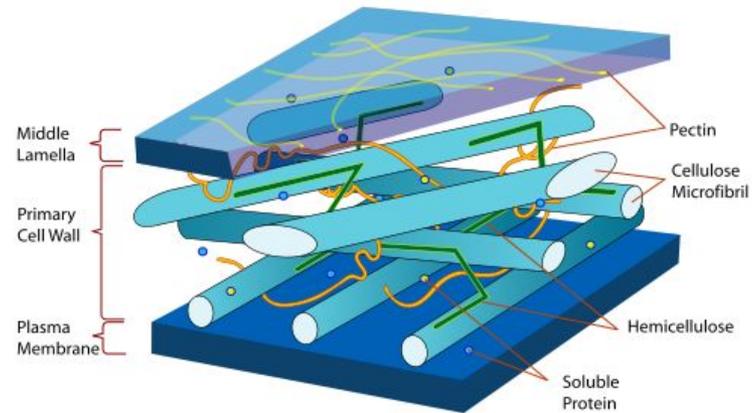
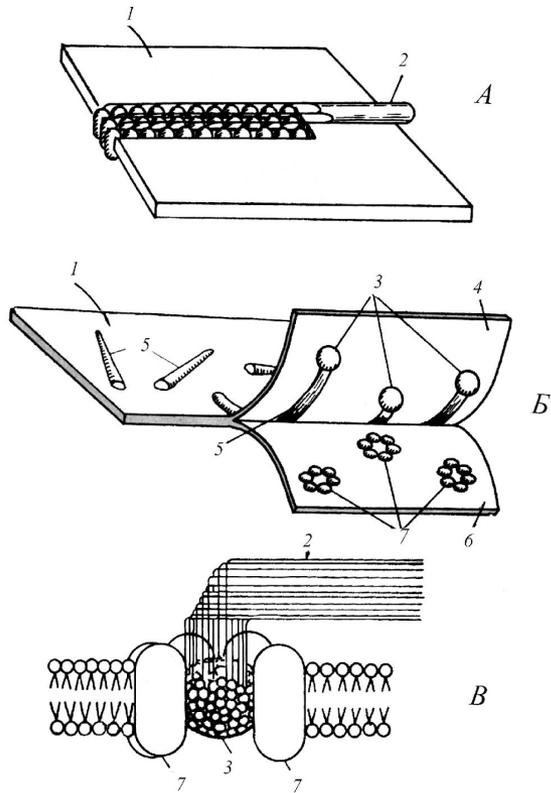


Рис. 18. Схема линейного терминального комплекса (А) и терминального комплекса в виде розеток (Б), схема соединения глобула - розетка (В) (по: Вассер и др., 1989): 1 - паружная поверхность плазмалеммы, 2 - микрофибрилла, 3 - глобула, 4 - экзоплазматическая поверхность скола, 5 - отпечаток микрофибриллы, 6 - протоплазматическая поверхность, 7 - розетка.

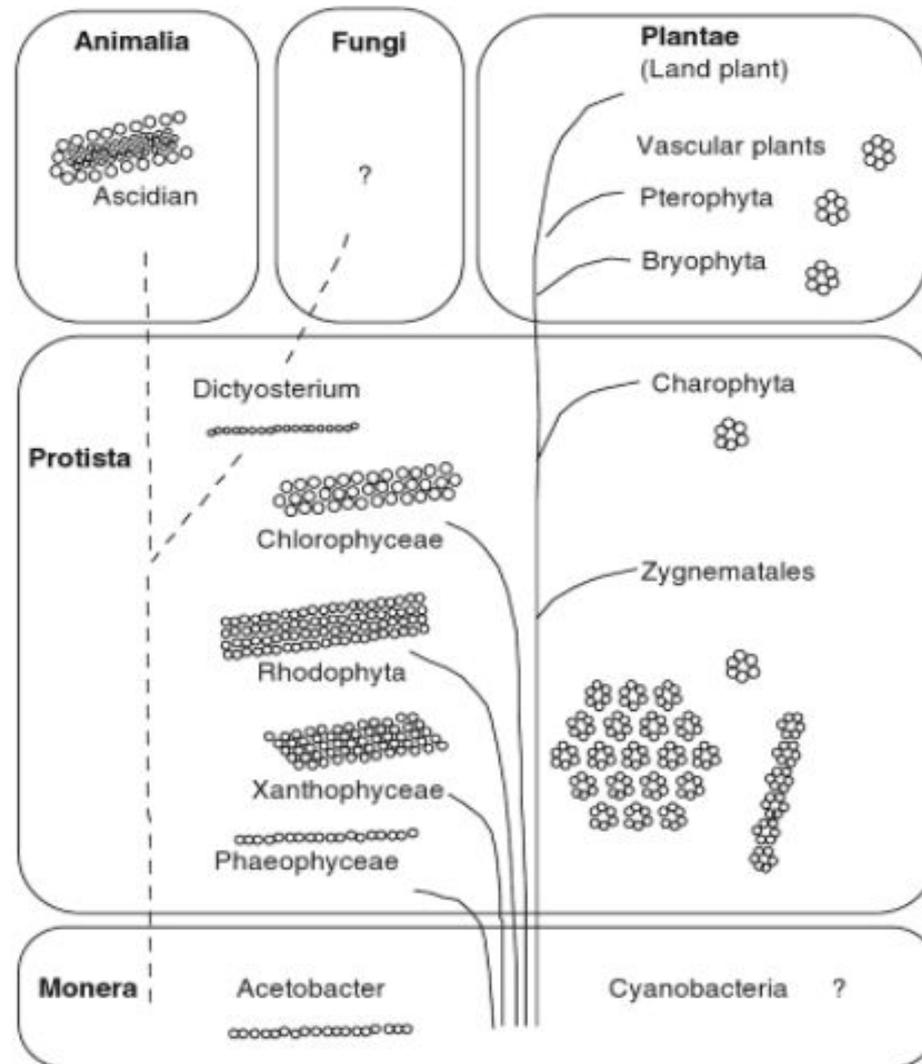
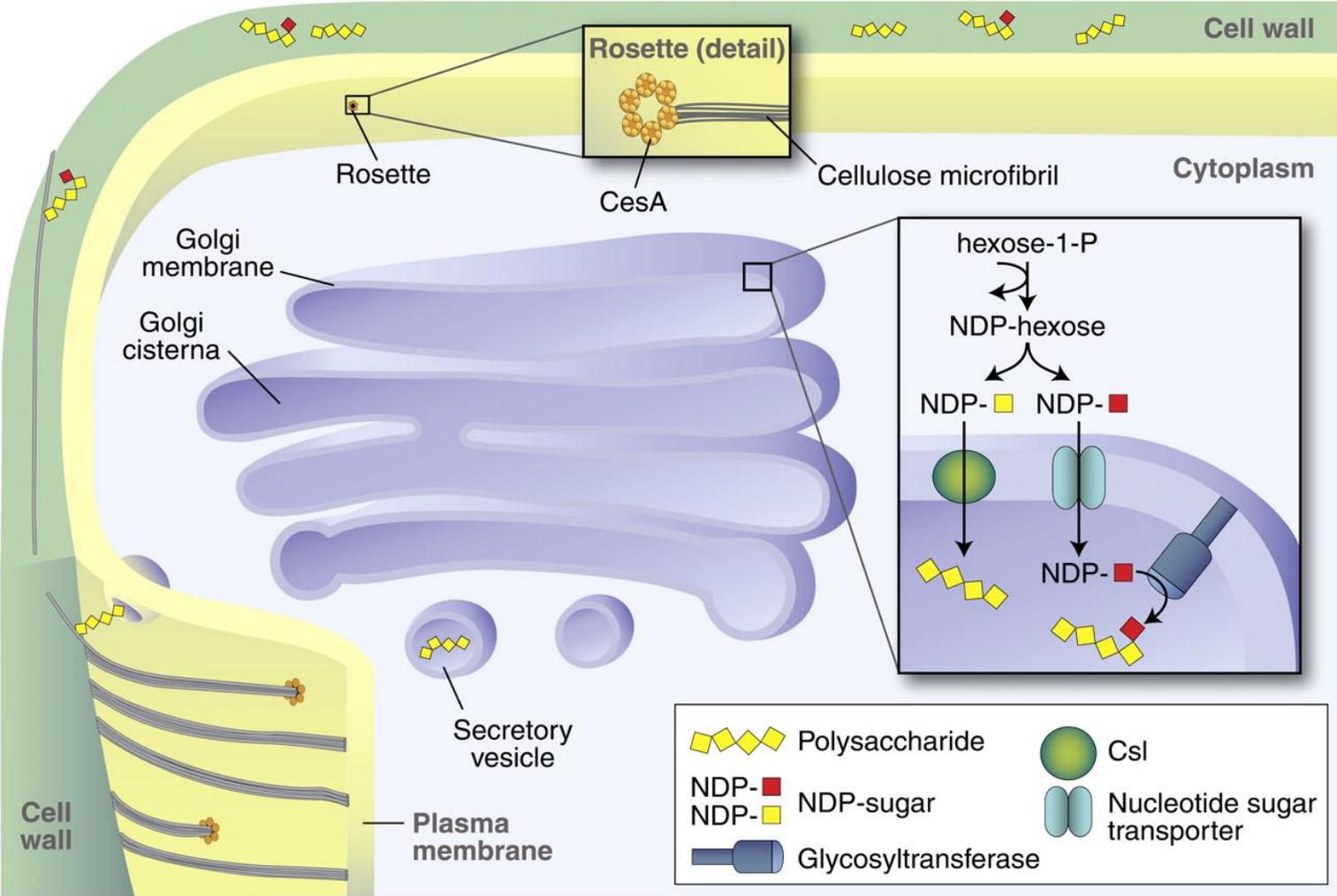


Figure 14-1. Different morphological forms of cellulose-synthesizing terminal complexes in five different biological kingdoms. (Figure 1 from: Itoh, T. 2002. Immunogold labeling of terminal cellulose-synthesizing complexes-demonstration coupled by freeze fracture and immunogold labeling techniques. Regulation of Plant Growth and Development (in Japanese) 37:44–50. Reproduced with kind permission of The Japanese Society for Chemical Regulation of Plants.)

Schematic representation of the key events in cell wall biosynthesis.



Kenneth Keegstra Plant Physiol. 2010;154:483-486

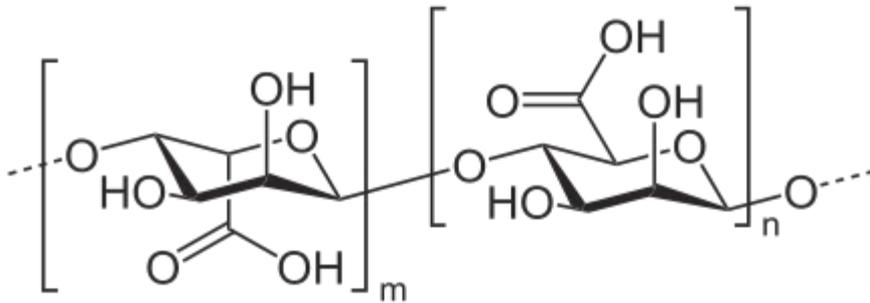


Применение наноцеллюлозы



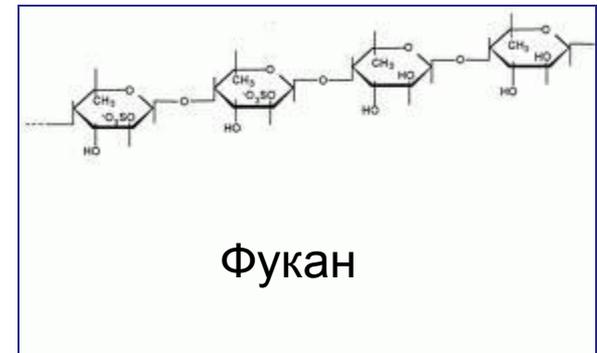
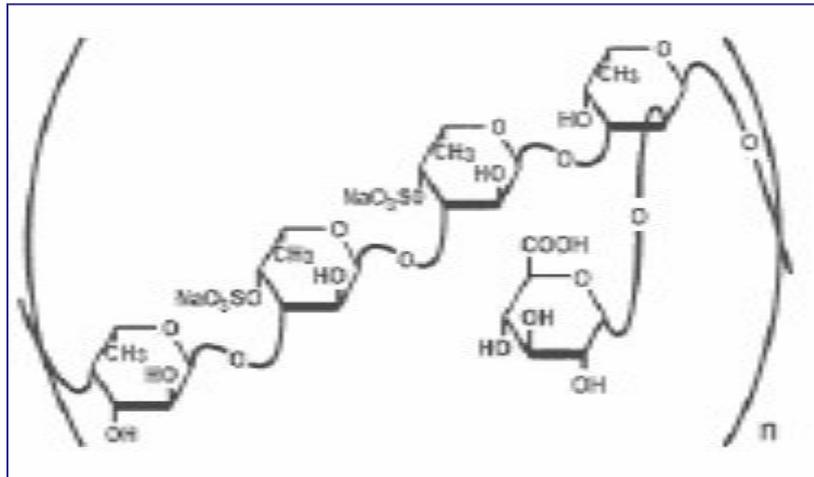
Класс FUCOPHYCEAE (=PHAEOPHYCEAE)

Клеточный покров представлен клеточной стенкой. Скелетный компонент: целлюлоза и альгинаты кальция; матрикс: растворимые альгинаты и фукоиданы



Альгиновые кислоты содержатся в бурых водорослях (Phaeophyta; 20-40% от сухой биомассы) и синтезируются некоторыми бактериями, напр. *Azotobacter vinelandii*.

Фукоидан



Фукан

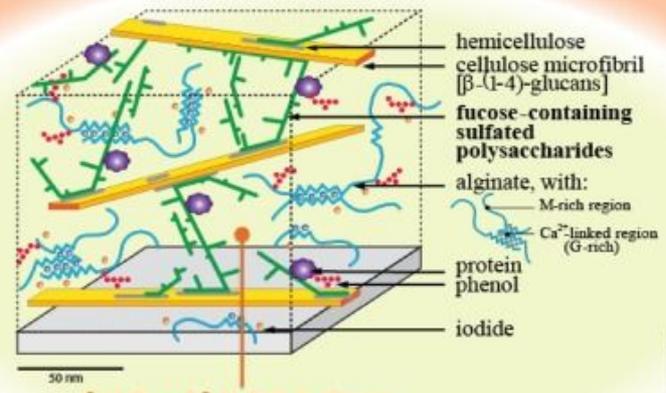
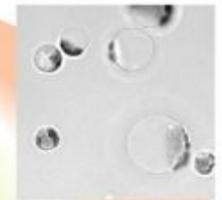
DEVELOPMENT
cell elongation, cell differentiation



CELL POLARITY



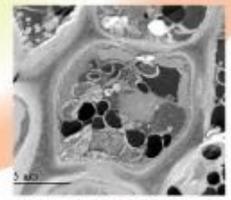
TISSUE INTEGRITY



β -(1-3) and β -(1-3)(1-4)-glucans,
AGP-like components



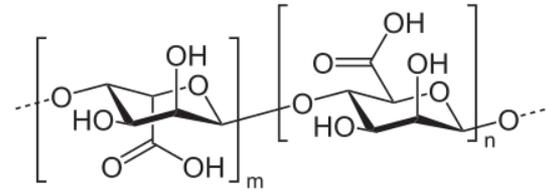
DEFENSE RESPONSES



CELL ADHESION
CELL-CELL COMMUNICATION



OSMOTIC ADJUSTMENT



Состав клеточной стенки бурых водорослей

Альгиновая кислота — при набухании 1 часть альгиновой кислоты адсорбирует 300 массовых частей воды, что обуславливает её применение как загустителя. Растворяется в горячей воде и растворах щелочей, при подкислении растворы образуют гели.

Альгиновая кислота представляет собой полимерную цепь, состоящую из двух мономеров — остатков полиуроновых кислот (D-маннуроной и L-гулууроной) в разных пропорциях, варьирующихся в зависимости от конкретного вида водорослей.

Альгиновая кислота и альгинаты широко применяются в медицине (в качестве антацида) и как пищевые добавки (загустители). Альгиновая кислота выводит из организма тяжёлые металлы (свинец, ртуть и др.) и радионуклиды.

На основе альгинатов производят рассасывающиеся на ране лечебные повязки.

Многие целебные свойства морской капусты объясняются именно альгиновой кислотой.



В последнее время в медицине возрос интерес к лечебным повязкам на основе альгината, предназначенным для лечения ожогов, ран различного происхождения, трофических язв, лучевых поражений кожи, пролежней. Они герметично закрывают рану, не приликая при этом к коже. В обширном ассортименте перевязочных средств особое место занимают рассасывающиеся на ране лечебные повязки на основе альгинатов. Опыт клинического применения альгинатных покрытий на раны и ожоги показал, что они обладают хорошими дренирующими свойствами, ускоряют очищение ран, снижают их инфицированность, заметно снижают отек окружающих тканей, обладают выраженным кровоостанавливающим действием, способствуют благоприятному течению раневого процесса. Не менее эффективными являются мази, кремы и гели на основе альгинатов.

Альгинатные покрытия оказались эффективными в стоматологической практике при лечении пародонтоза и других заболеваний полости рта.

Клиническое применение подтвердило полную их нетоксичность и отсутствие побочных эффектов, что позволило широко использовать в педиатрической практике при лечении целого ряда заболеваний.

Seaweed hydrocolloid sales volume 1999-2014.

Seaweed gum	1999 sales (MT)	2009 sales (MT)	2014 est (MT)
Agar	7,500	9,600	10,600
Carrageenan	42,000	50,000	60,00
Alginate	23,000	26,500	30,000
Total	72,500	86,100	100,600

Growth in seaweed hydrocolloid market from 1999-2014.

Seaweed gum	1999 sales (\$ million)	2009 sales (\$ million)	2014 sales (\$ million)
Agar	128	173	191
Carrageenan	291	527	626
Alginate	225	318	339
Total	644	1,018	1,156

Source: Bixler, H.J. & Porse, H. (2010). A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology* and Bixler (pers. comm.)

Table 6 Geographic distribution of alginate production

Region	1999 alginate volume (t)	1999 PGA volume (t)	2009 alginate volume (t)	2009 PGA volume (t)
Europe	12,000	0	10,000	0
Americas	4,000	1,000	1000	100
Asia- Pacific	9,000	1,000	15,500	1,900
Sub-total	25,000	2,000	26,500	2,000
Total	28,000	2,300	35,000	
capacity %	89%		76%	
Utilization				

Россия к концу 20 века производила 32 т

альгинатов

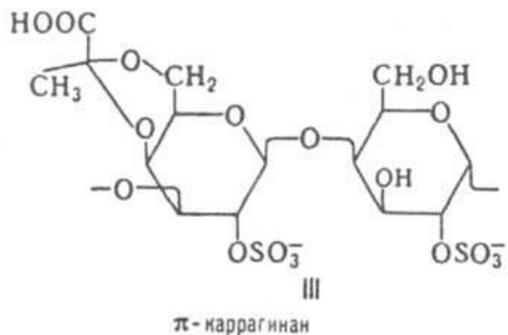
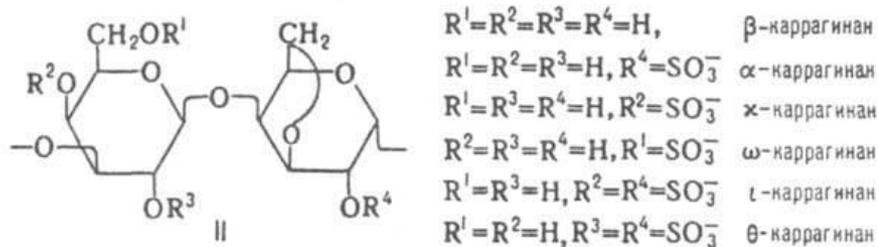
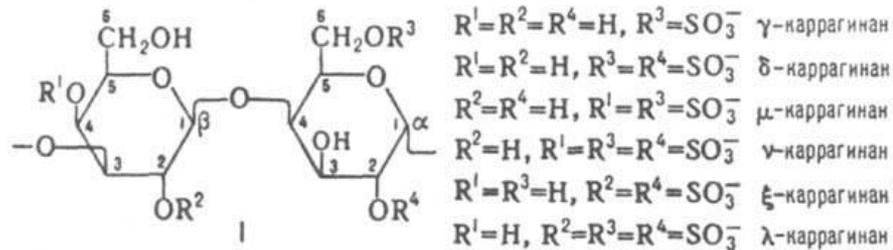
J Appl Phycol

DOI 10.1007/s12011-011-9752-3

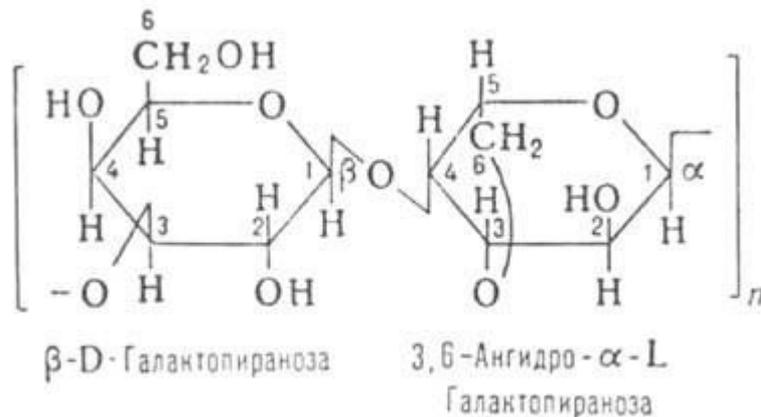
Состав клеточной стенки красных водорослей

- Целлюлоза
- Сульфатированные галактаны (до 70% сухого веса клеточной стенки)
 1. группа агара (содержат остатки D и L– галактозы)
 2. группа каррагинана (несколько типов, обозначаемых буквами греческого алфавита) (содержат остатки D – галактозы)
 3. каррагар
 4. порфиран
- Ксиланы, маннаны, ксиломаннан
- Альгиновая кислота
- Карбонаты кальция, магния, стронция
- Кутикула, состоящая в основном из белка





Полисахариды, содержащие остатки только D-галактозы, называют **каррагинанами**, а те, в которых есть и L-галактоза, — **агаранами**. Если один из остатков галактозы замещен в полисахаридах на остаток 3,6-ангидрогалактозы, то названия заменяются на «**каррагиноза**» и «**агароза**» соответственно. К агарозам относятся агар-агар и агароид.



Агар

- Агар — самый сильный желирующий агент. Способность агара образовывать студни уменьшается при его нагревании в присутствии кислот. Водный раствор агара образует студни при охлаждении до 45 °С. Температура плавления водного студня — 80–90 °С. Агар используют в кондитерской промышленности при производстве мармелада, желе, при получении мясных и рыбных студней, при изготовлении мороженого, где он предотвращает образование кристалликов льда, а также при осветлении соков. Студни, приготовленные на основе агар-агара в отличие от всех других студнеобразователей характеризуются стекловидным изломом.

Применение агара в пищевой промышленности не лимитировано, а его количество, добавляемое в пищевые продукты, обусловлено рецептурами и стандартами на эти продукты.

Помимо хороших стабилизирующих и гелеобразующих свойств, фикоколлоиды красных водорослей обладают полезными для организма функциональными свойствами. Известно, что каррагинаны обладают противовирусной, противоязвенной активностью, сорбционными свойствами и способствуют выведению из организма тяжелых металлов.

- В 1984 г. Экспертный комитет по пищевым добавкам и Рабочая группа Комиссии по пищевому кодексу ВОЗ подтвердили, что каррагинан безопасен для применения в пище и является полезным компонентом для применения в качестве пищевой добавки. Каррагинаны – это природные загустители, желеобразующие компоненты и стабилизаторы консистенций, они не расщепляются в желудочно-кишечном тракте человека и выполняют функции пищевых волокон; нашли применение в молочной промышленности, а также широко применяются в мясной и кондитерской промышленности в качестве уплотнителей и эмульгаторов - стабилизаторов.

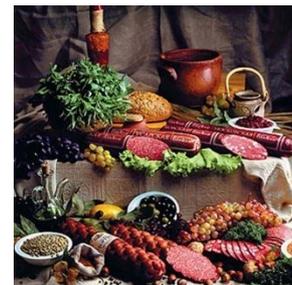
Каррагинаны в пищевой промышленности

- Каррагинаны Каппа и Йота используют при приготовлении шоколадного молока, молочных пудингов и сливочных десертов, в составе смесей для стабилизирующих добавок – при производстве взбитых продуктов, сливочных муссов, молочных коктейлей, желе из сыворотки. **Каррагинаны** применяются для производства желе и десертов на водной основе, сгущенного молока, желейных заливок и глазурей, начинок для карамели, конфет, жевательной резинки, жевательного мармелада, жевательных конфет, мороженого. Присутствие каррагинанов в продуктах питания показывает маркировка «Е407», встречающаяся на упаковке.



В мясо-молочной промышленности

- Каррагинаны применяют при производстве:
 - вареных колбас;
 - сосисок, сарделек;
 - цельномышечных продуктов из говядины и свинины;
 - ветчин;
 - мясных консервов;
 - паштетов;
 - мяса в желе.
- Преимущества каррагинана:
 - придает продукту монолитную упругую консистенцию;
 - увеличивает выход готовой продукции;
 - уменьшает термопотери;
 - делает продукцию стойкой в процессе варки;
 - сохраняет ароматы в процессе приготовления, благодаря его способности обволакивать ароматические добавки.
 - не теряет своих свойств в процессе стерилизации при $t=135-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1,5 часов.



Производство каррагинанов как важного сырья для медицинской, пищевой и некоторых других отраслей промышленности развито в основном в США, Франции, Канаде, Англии, Швеции, Норвегии, Ирландии, Португалии, Филиппинах и некоторых других странах. Мировое производство (по данным 2007 г.) составляет 30 000 т в год. А России в течение ряда лет предпринимаются попытки наладить выпуск каррагинанов из хондруса шиповатого, но его производство фактически отсутствует.

Мировое производство агара в 2007 г. Составило 25 000 тонн в год. В России на Дальнем Востоке и Белом море налажена переработка анфельции и получение из нее агар-агара. Для этих же целей в Южном Приморье используется грацилярия, введенная в марикультуру.

Seaweed hydrocolloid sales volume 1999-2014.

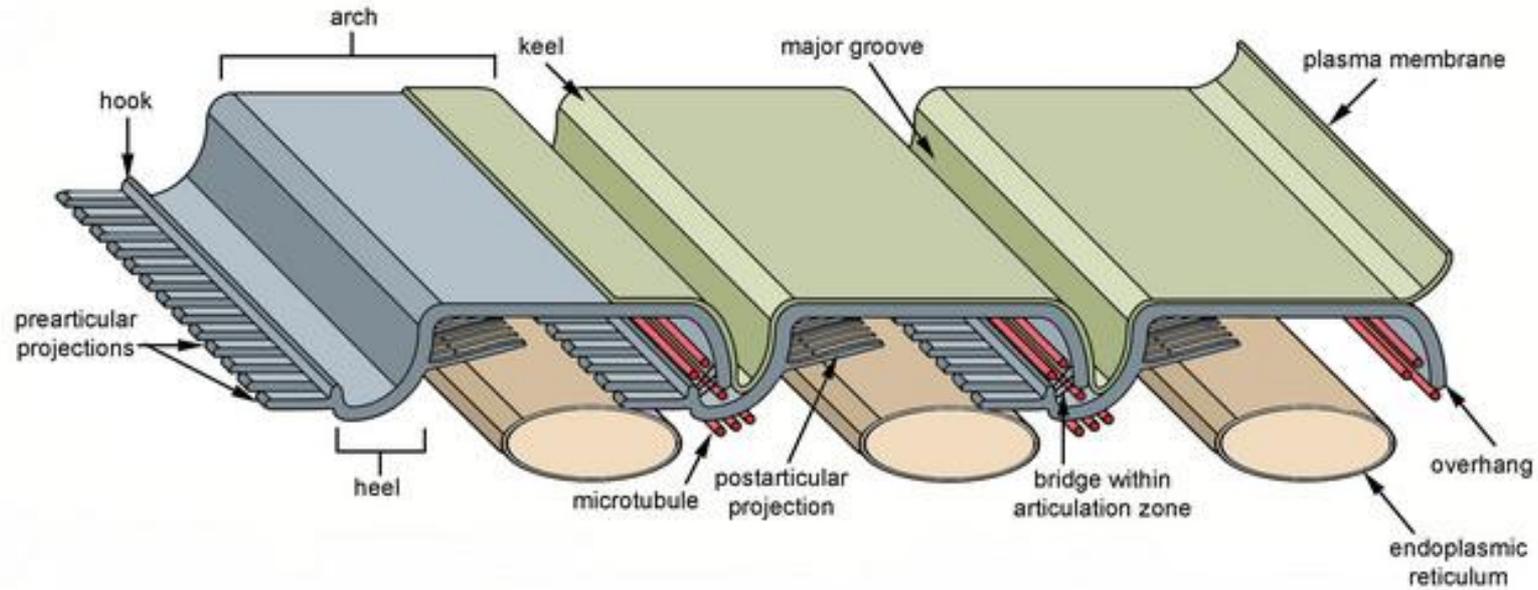
Seaweed gum	1999 sales (MT)	2009 sales (MT)	2014 est (MT)
Agar	7,500	9,600	10,600
Carrageenan	42,000	50,000	60,00
Alginate	23,000	26,500	30,000
Total	72,500	86,100	100,600

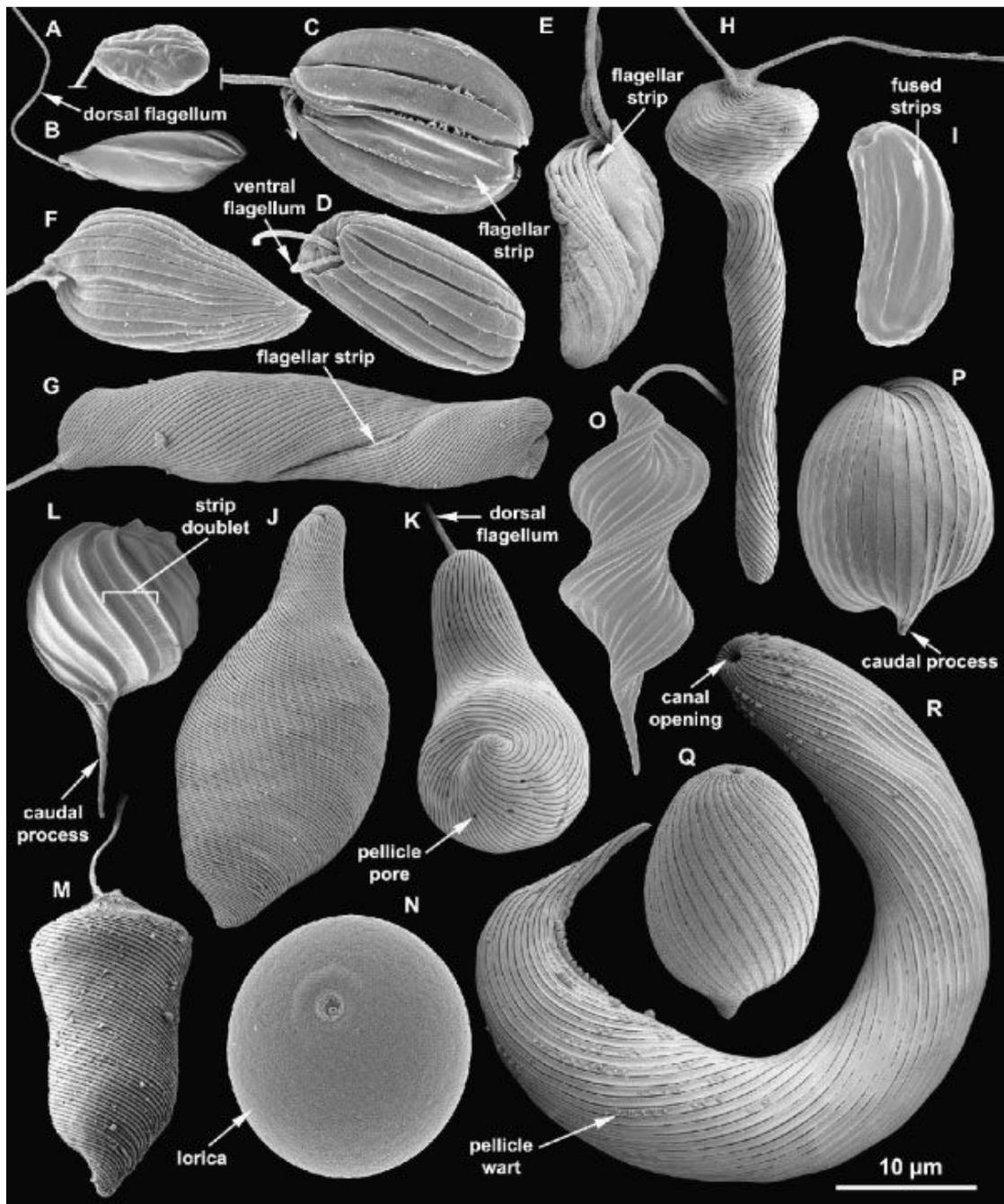
Growth in seaweed hydrocolloid market from 1999-2014.

Seaweed gum	1999 sales (\$ million)	2009 sales (\$ million)	2014 sales (\$ million)
Agar	128	173	191
Carrageenan	291	527	626
Alginate	225	318	339
Total	644	1,018	1,156

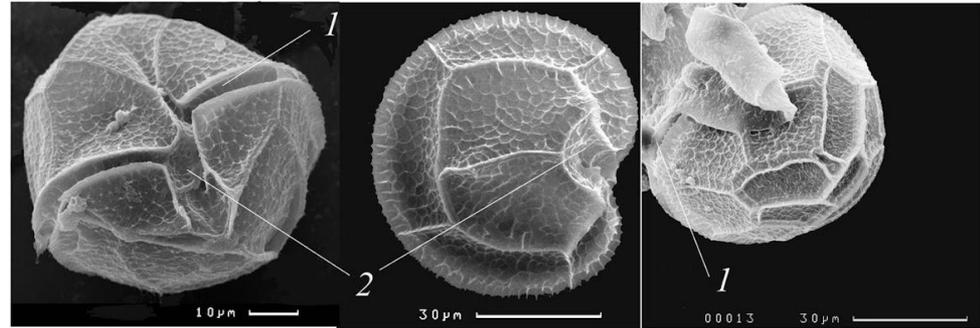
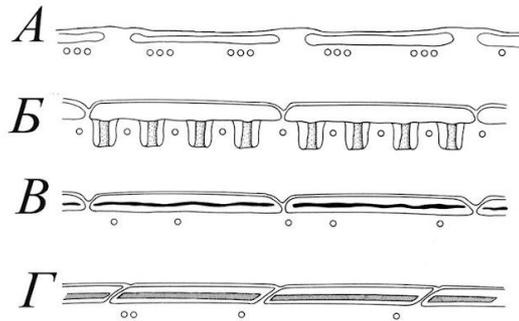
Source: Bixler, H.J. & Porse, H. (2010). A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology* and Bixler (pers. comm.)

3. Клеточная мембрана с дополнительным внутриклеточным материалом





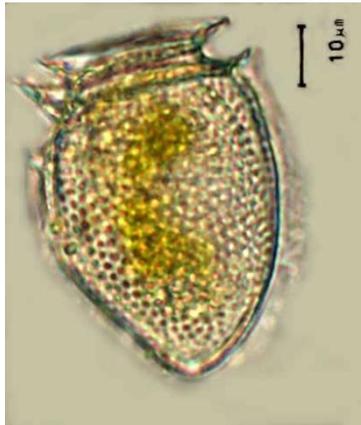
4. Клеточная мембрана с дополнительным внутриклеточным материалом в везикулах

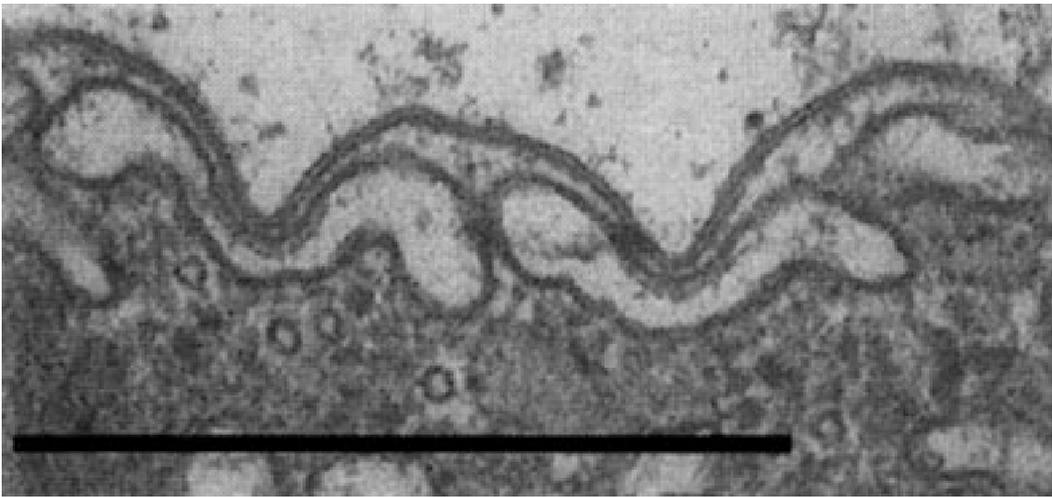


Д

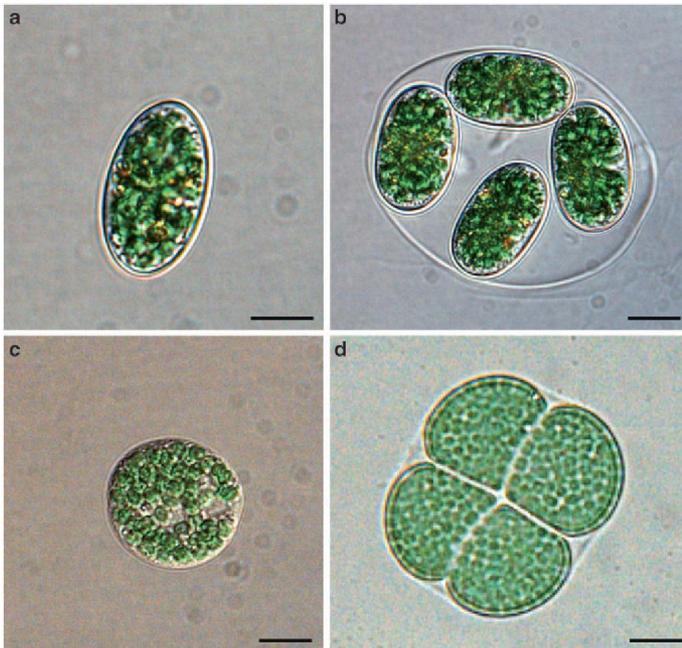
Е

Ж





Pellicle of *Glaucocystis nostochinearum*, strain IABH 2344 (Kies strain). Flat vesicles (lacunae) associated with microtubules form a layer beneath the plasma membrane. Transmission electron micrograph. Scale line = 0.5 μm (Taken from Kies and Kremer (1990))



Glaucocystis nostochinearum SAG 45.88; C-D: *Cyanoptycha gloeocystis* SAG 4.97. A vegetative cell and autospores are shown for each species. Scale bar = 10 μm D.C. Price et al. Springer International Publishing AG 2016 J.M. Archibald et al. (eds.), Handbook of the Protists, DOI 10.1007/978-3-319-32669-6_42-1

5. Клеточная мембрана с дополнительным внутри- и внеклеточным материалом

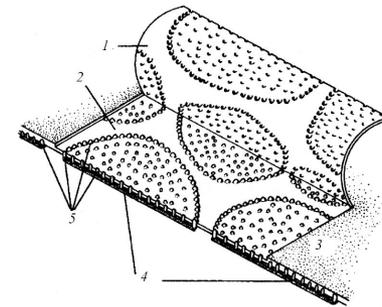
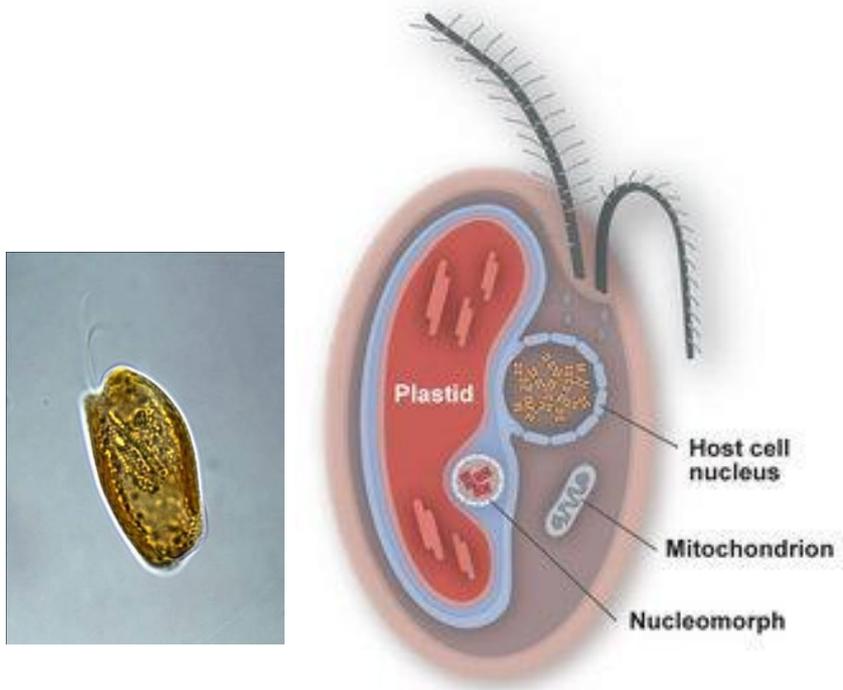


Рис. 14. Схема строения перипласта криптофитовых (по: Kurgens, Lee, 1987):
1 - наружная поверхность плазмалеммы, 2 - внутренняя поверхность плазмалеммы, 3 - плазмалемма, 4 - перипластная пластинка, 5 - внутримембранные частицы.