

# Морфология и структурно-функциональная организация прокариот

## *Вопросы для рассмотрения.*

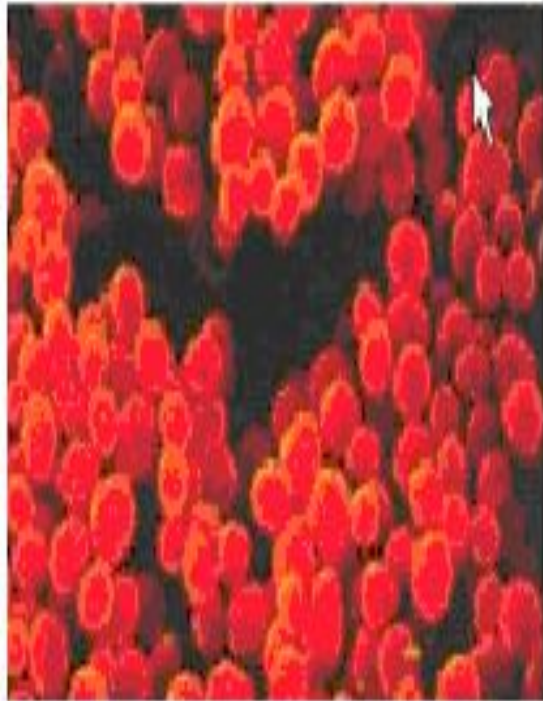
1. Уровни клеточной организации прокариот, их отличие от эукариот.
2. Особенности морфотипов прокариот.
3. Особенности строения клеточной стенки.
4. Цитоплазматическая мембрана и ее производные.
5. Поверхностные структуры бактериальной клетки.
6. Цитоплазма и ее функции.
7. Организация генетического материала.
8. Эндоспоры бактерий. Этапы формирования спор.

# Отличительные признаки эукариот и прокариот

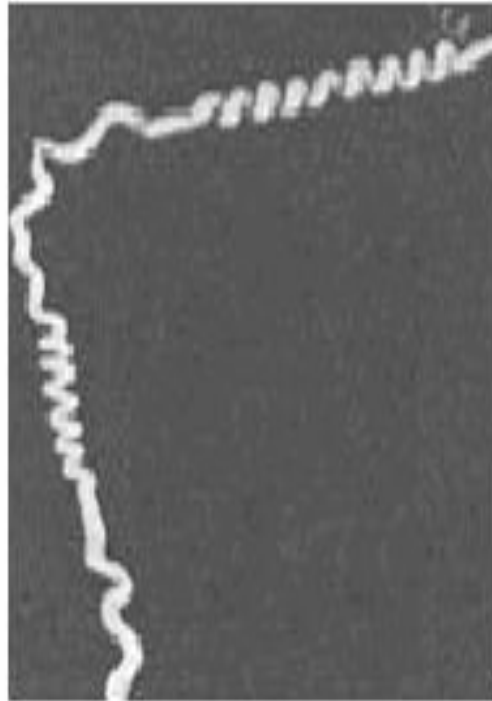
Характеристика	Прокариоты	Эукариоты
<u>Цитологические признаки:</u> Наименьший размер клетки 0,05 мкм Оформленное ядро Автономные органеллы (митохондрии, хлоропласты)	+ - -	- + +
<u>Локализация хромосом:</u> В цитоплазме Прикреплены к ЭПР	+ -	+- +
<u>Жгутики ( если есть)</u> d 0,01-0,02 мкм d около 0,2 мкм	+ -	- +
<u>Молекулярно-биологические особенности</u> Число хромосом Кольцевая хромосома <i>Константы седиментации рибосом:</i> 70S 80S	1-2 + + -	>1 - -+ +



# Морфология бактерий



А



Б



В

*Рис. 3.* Микрофотографии бактерий: А – сферические клетки; Б – извитые клетки; В – палочковидные клетки

В зависимости от плоскости деления и характера взаимного расположения клеток среди кокков выделяют:

- ❑ микрококки и стафилококки (от лат. *staphyle* — гроздь винограда);
- ❑ диплококки и стрептококки (от греч. *sreptos* – цепочка);
- ❑ тетракокки и сарцины (от лат. *sarcina* – связка, тюк).

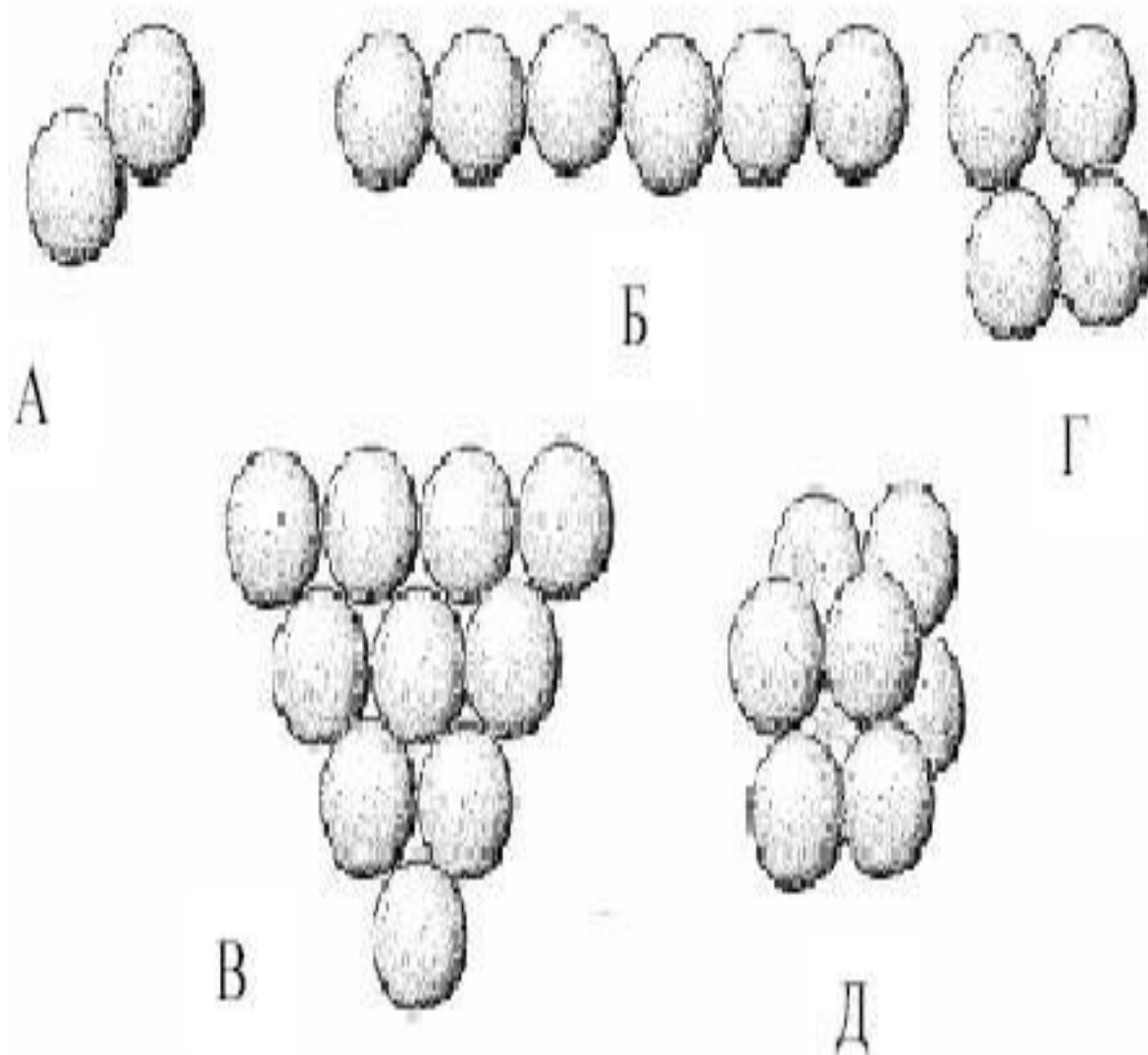
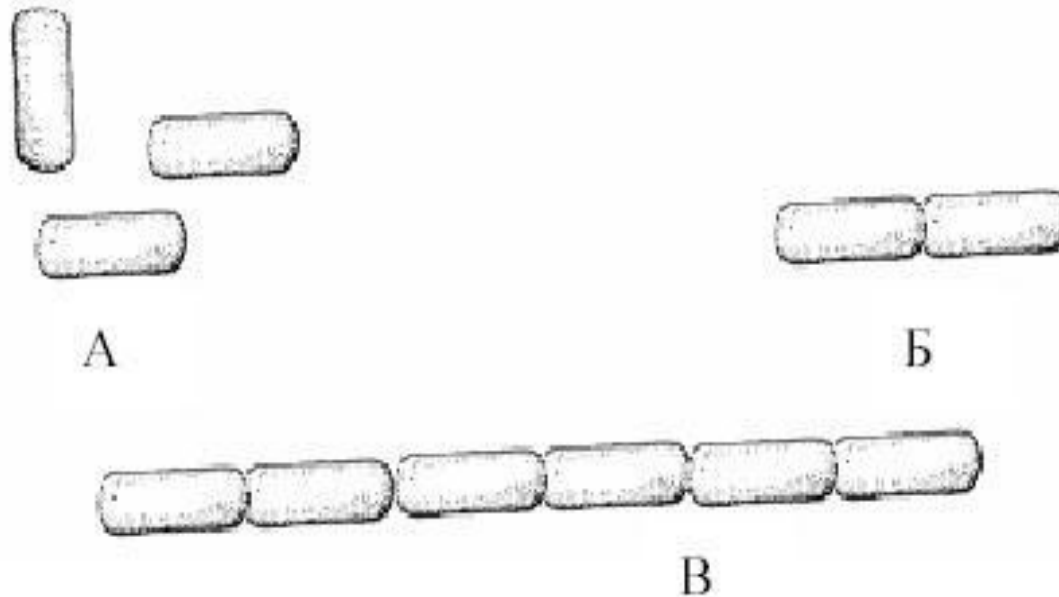


Рис. 4. Типы скоплений кокковидных клеток: А – диплококки; Б – стрептококки; В – стафилококки; Г – тетракокки; Д – сарцины

# Палочковидные бактерии — самая многочисленная и разнообразная группа



*Рис. 5.* Типы расположения палочковидных клеток: А – монобактерии; Б – диплобактерии; В – стрептобактерии



# Палочковидные бактерии различаются:

## по форме:

1. правильная - энтеробактерии, псевдомонады;
2. неправильная - коринебактерии ;

## размеру.

1. мелкие - бруцеллы, бордетеллы ;
2. средние - бактериоиды, кишечная палочка;
3. крупные — бациллы, клостридии.

## форме концов:

1. обрубленные — бациллы;
2. закругленные — сальмонеллы, псевдомонады;
3. заостренные — фузобактерии;
4. утолщенные — коринебактерии, расположенные поодиночке; диплобактерии и диплобациллы — сцепленные попарно; стрептобактерии и стрептобациллы — сцепленные в цепочку

## По способности образовывать споры:

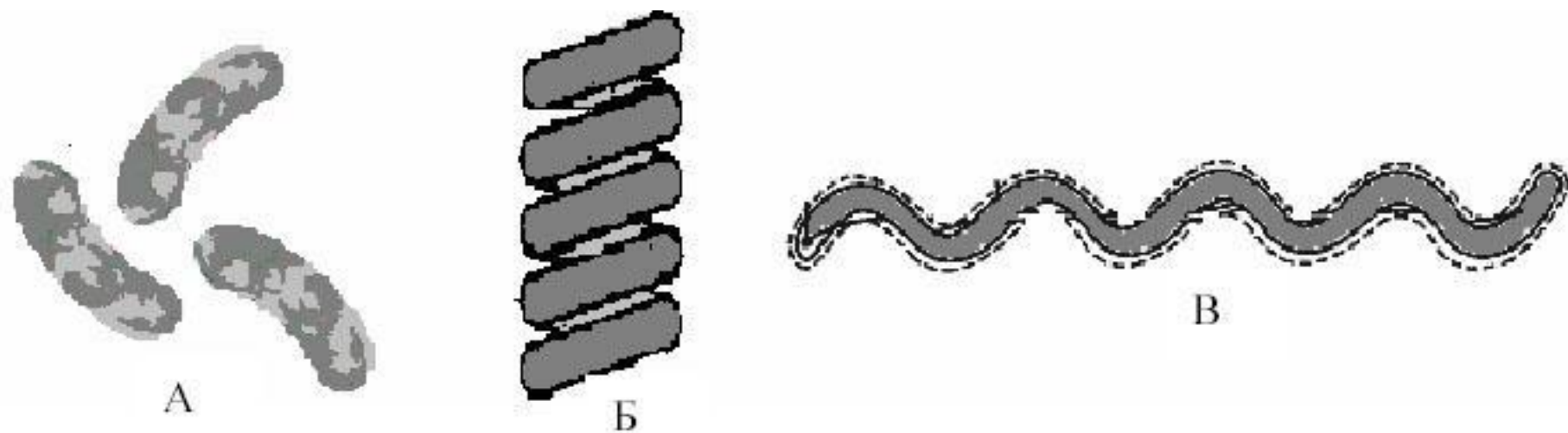
1. бактерии , палочки не образующие спор;
2. Бациллы – аэробные спорообразующие  $D=Ш$ ;
3. Клостридии – анаэробные спорообразующие ( $D > Ш$  – веретено)



# Извитые микроорганизмы ( по степени изогнутости клеток и по числу витков)

⋮

- ❑ вибрионы (от греч. vibrio – извиваясь, изгибаясь) имеют один завиток (в виде запятой);
- ❑ спириллы (от греч. spiera – спираль) имеют 3-5 крупных завитков;
- ❑ спирохеты имеют большое количество мелких завитков.



*Рис. 6.* Типы извитых клеток: А – вибрионы; Б – спираиллы; В – спирохеты



1. Микрококки



2. Диплококки



3. Тетракокки



4. Стрептококки



5. Сарцины



6. Стафилококки



7. Палочковидные бактерии



8. Стрептобактерии



9. Бациллы кластридиального типа



10. Бациллы бациллярного типа



11. Бациллы плектридиального типа



12. Вибрионы



13. Спириллы



14. Спирохеты



15. Микобактерии



16. Нитчатые

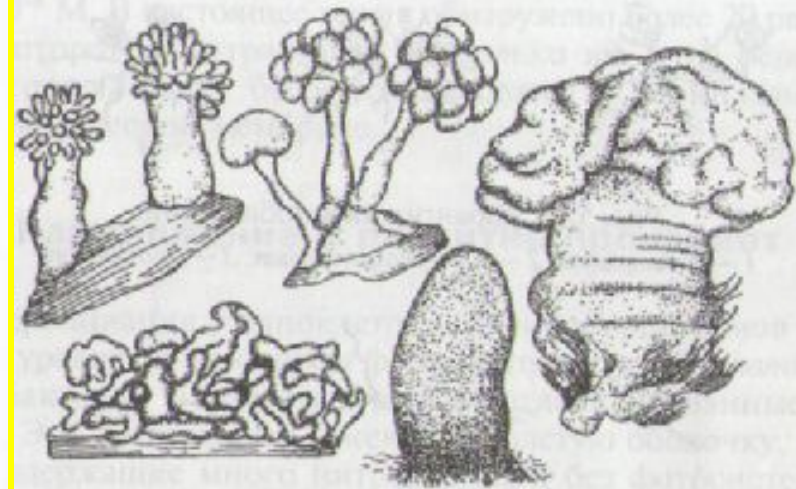
# Др. формы микроорганизмов:

- Стебельковые,
- Почкующиеся бактерии,
- Имеющие выросты, простеки



Рис. 10. Различные формы нитчатых бактерий:

1 — *Beeggiatoa*; 2 — *Thiothrix*; 3 — *Saprospira*; 4 — *Simonsiella*; 5 — *Caryophanon*; 6 — цианобактерии рода *Microcoleus*; 7 — *Leptothrix*; 8 — *Sphaerotilus*; 9 — *Crenothrix*





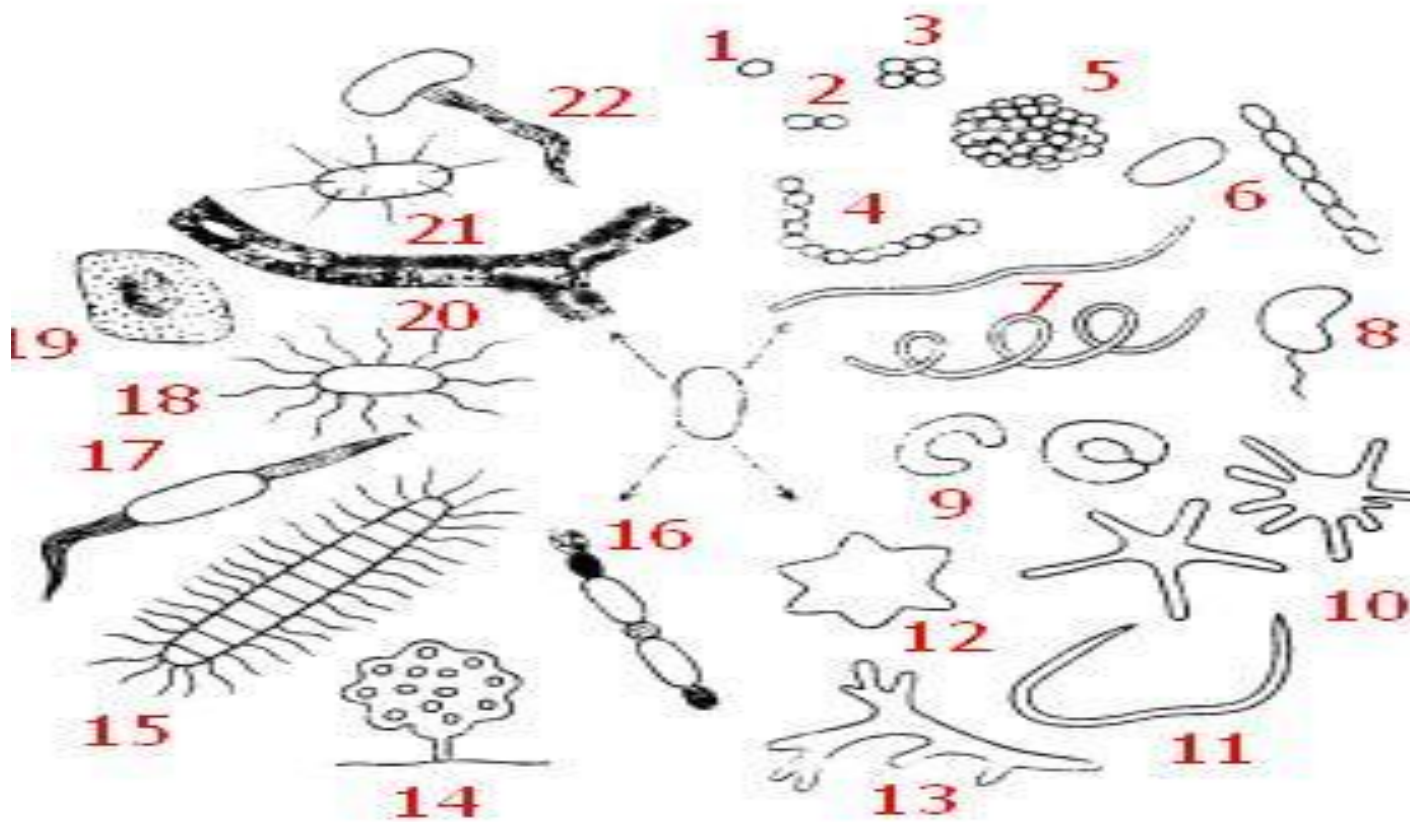
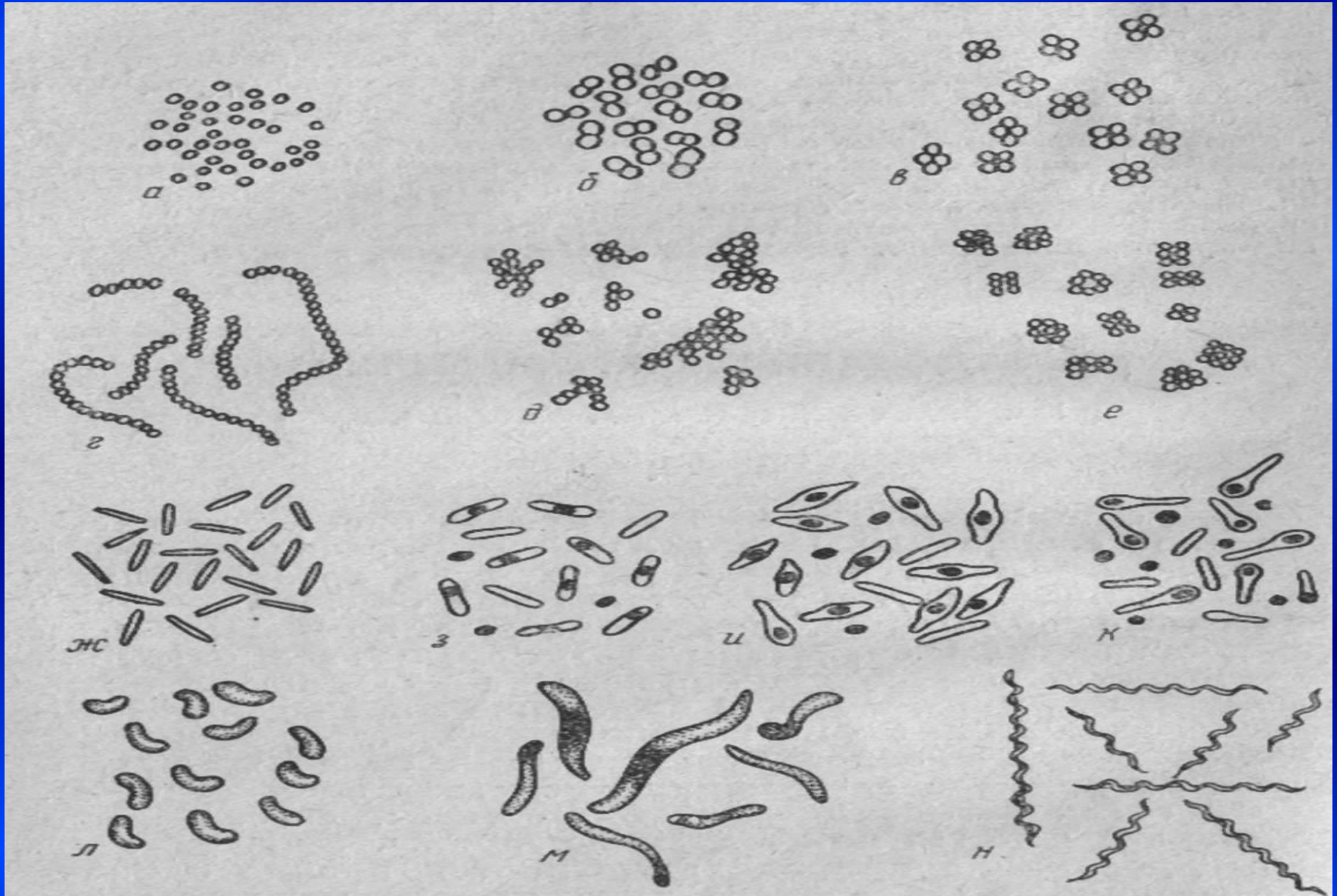


Рис. 3. Разнообразие форм прокариот  
 1 — кокк; 2 — диплококк; 3 — сарцина; 4 — стрептококк; 5 —

колония сферической формы; 6 — палочковидные бактерии; 7— спириллы; 8— вибрион; 9 — бактерии, имеющие форму замкнутого и незамкнутого кольца; 10 — бактерии, образующие выросты (простеки); 11 — бактерии червеобразной формы; 12- бактериальная клетка в виде шестиугольной звезды; 13 — представитель актиномицетов; 14 — плодовое тело миксобактерии; 15 —нитчатая бактерия рода *Caryophanon*; 16- нитчатая цианобактерия, образующая споры (акинеты) и гетероцисты; 8, 15, 17, 18 — бактерии с разными типами жгутикования; 19 — бактерия, образующая капсулу; 20 — нитчатые бактерии группы *Sphaerotilus*, заключенные в чехол, инкрустированный гидратом окиси железа; 21 — бактерия, образующая шипы; 22 — *Gallionella* sp.

# Форма бактерий





# Среди структур бактериальной клетки различают:

## Основные:

- клеточная стенка,
- цитоплазматическая мембрана (ЦПМ),
- цитоплазма с различными включениями и
- нуклеоид

## Временные:

- капсула,
- жгутики,
- фимбрии,
- у некоторых представителей бактерий – эндоспоры

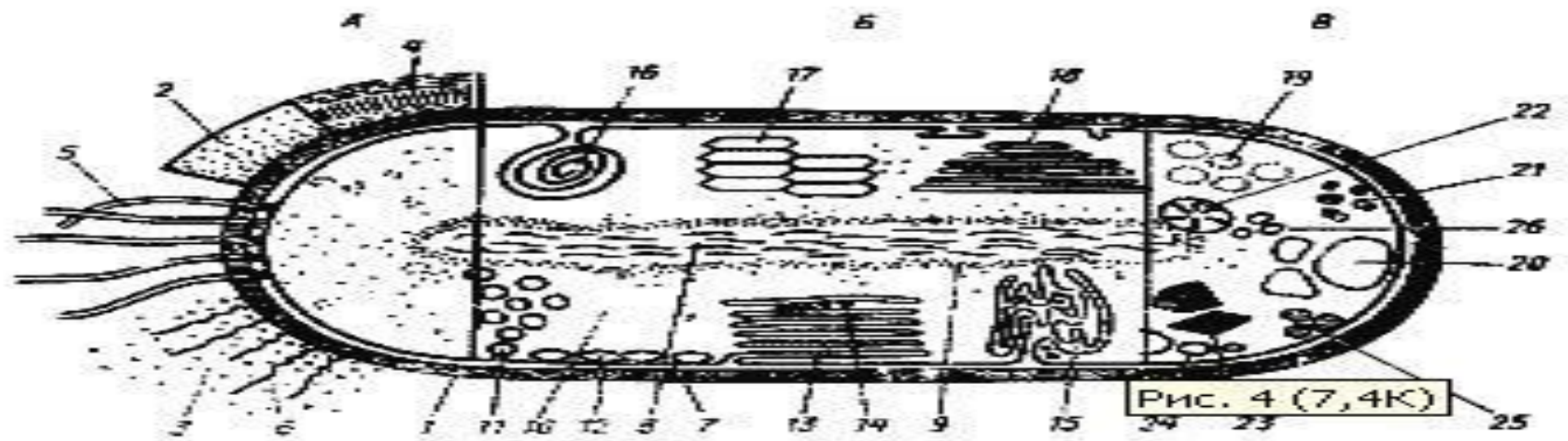


Рис. 4. Комбинированное изображение прокариотной клетки. А — поверхностные клеточные структуры и внеклеточные образования: 1 — клеточная стенка; 2 — капсула; 3 — слизистые выделения; 4 — чехол; 5 — жгутики; 6 — ворсинки; Б — цитоплазматические клеточные структуры: 7 — ЦПМ; 8 — нуклеоид; 9 — рибосомы; 10 — цитоплазма; 11 — хроматофоры; 12 — хлоросомы; 13 — пластинчатые тилакоиды; 14 — фикобилисомы; 15 — трубчатые тилакоиды; 16 — мезосома; 17 — аэросомы (газовые вакуоли); 18 — ламеллярные структуры; В — запасные вещества: 19 — полисахаридные гранулы; 20 — гранулы поли- $\beta$ -оксимасляной кислоты; 21 — гранулы полифосфата; 22 — цианофициновые гранулы; 23 — карбоксисомы (полиэдральные тела); 24 — включения серы; 25 — жировые капли; 26 — углеводородные гранулы (по Schlegel, 1972)

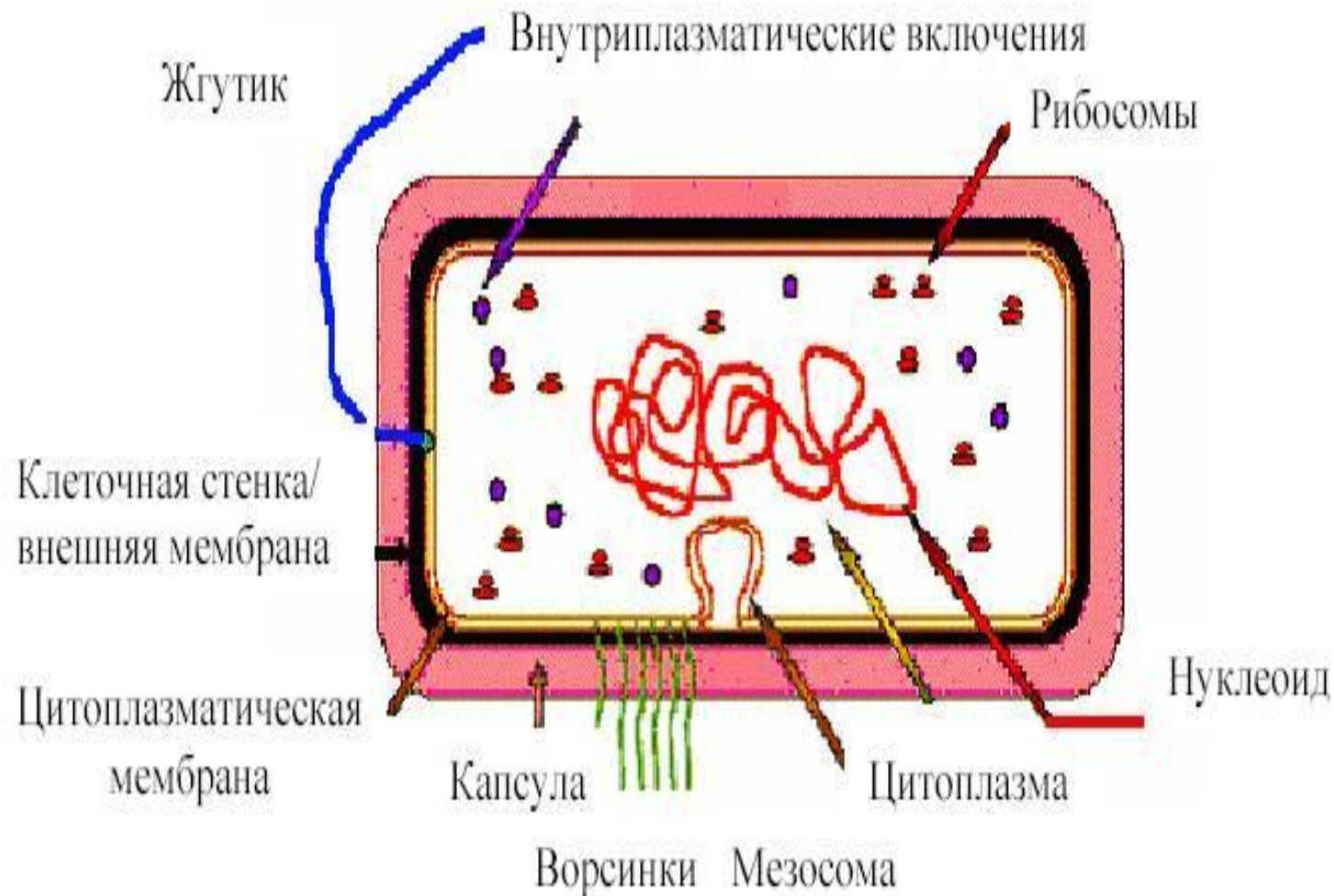


Рис. 7. Модель бактериальной клетки

# Клеточная стенка выполняет следующие функции:

- механическая защита от факторов окружающей среды;
- поддержание формы бактериальной клетки;
- дает возможность клетке существовать в гипотонических условиях;
- осуществляет транспорт веществ и ионов (характерно грамотрицательных бактерий, имеющих наружную мембрану и цитоплазматическую мембрану);
- препятствует проникновению в клетку токсических веществ (характерно для грамотрицательных бактерий);
- на клеточной стенке находятся рецепторы, на которых адсорбируются бактериофаги и бактериоцины;
- в клеточной стенке находятся антигены (липолисахариды у грамотрицательных бактерий и тейхоевые кислоты у грамположительных бактерий);
- на клеточной стенке находятся рецепторы, ответственные за взаимодействие клеток донора и реципиента при конъюгации бактерий.

# Пептидогликан — муреин

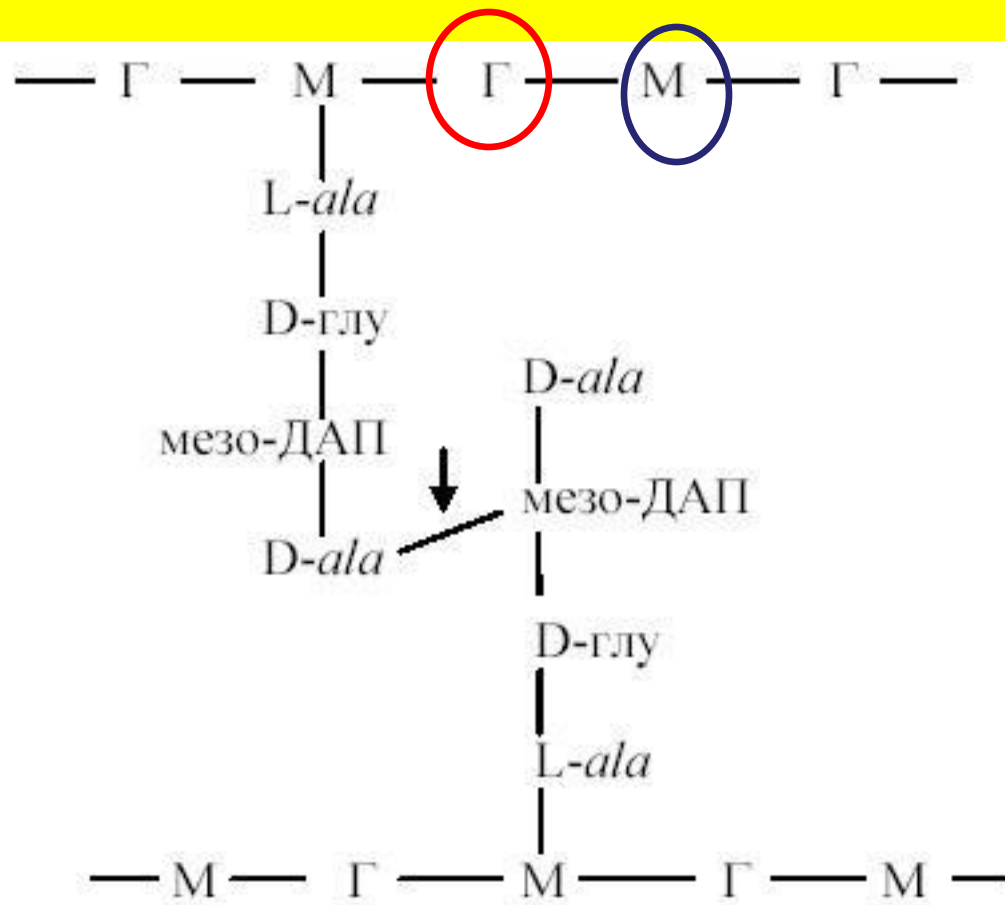


Рис. 9. Пептидные мостики между гетерополимерными цепочками; Г – N-ацетилглюкозамин; М – N-ацетилмурамовая кислота; ала – аланин; глю – глутаминовая кислота; ДАП – диаминопимелиновая кислота. Стрелкой обозначена пептидная связь



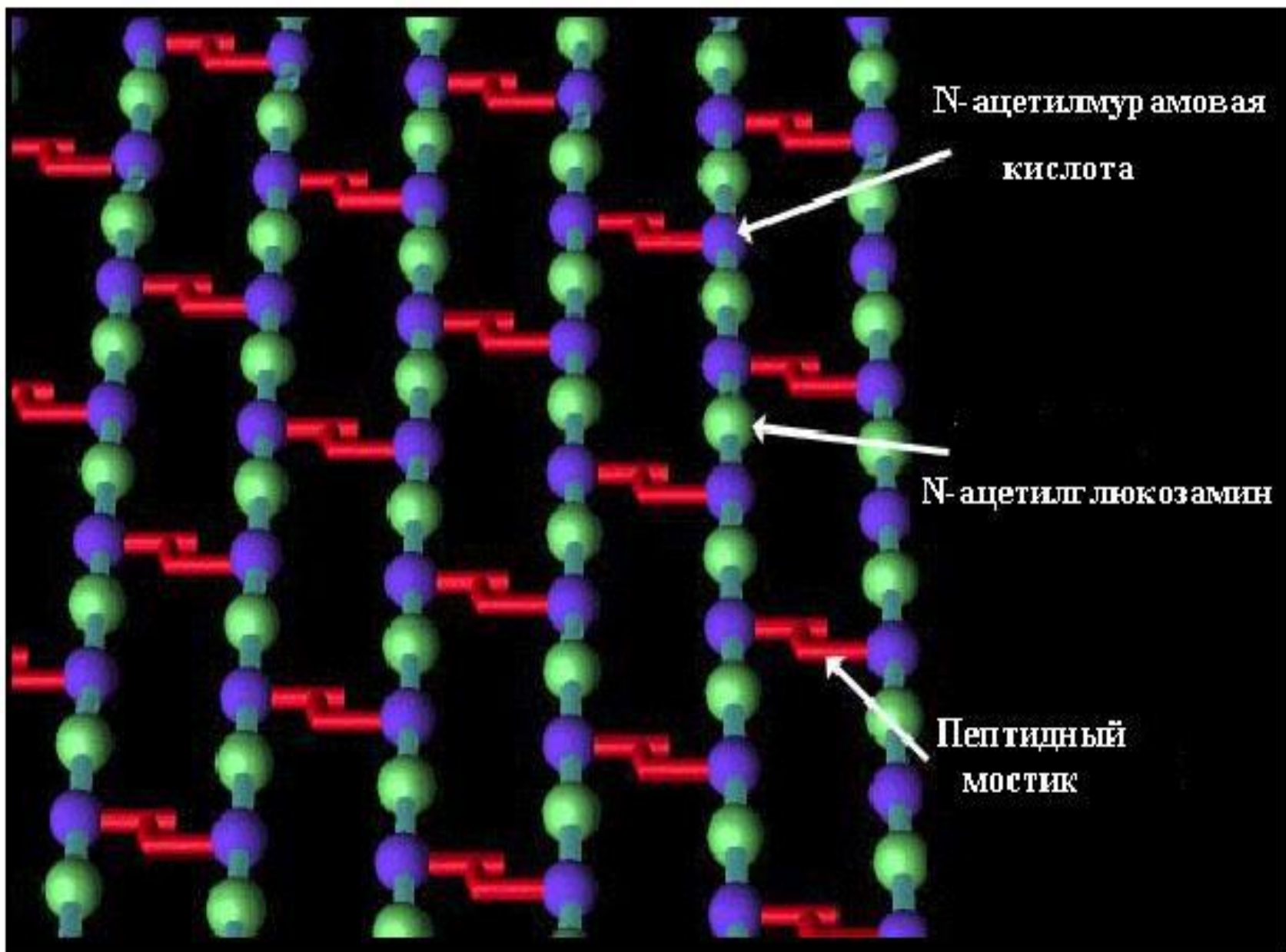
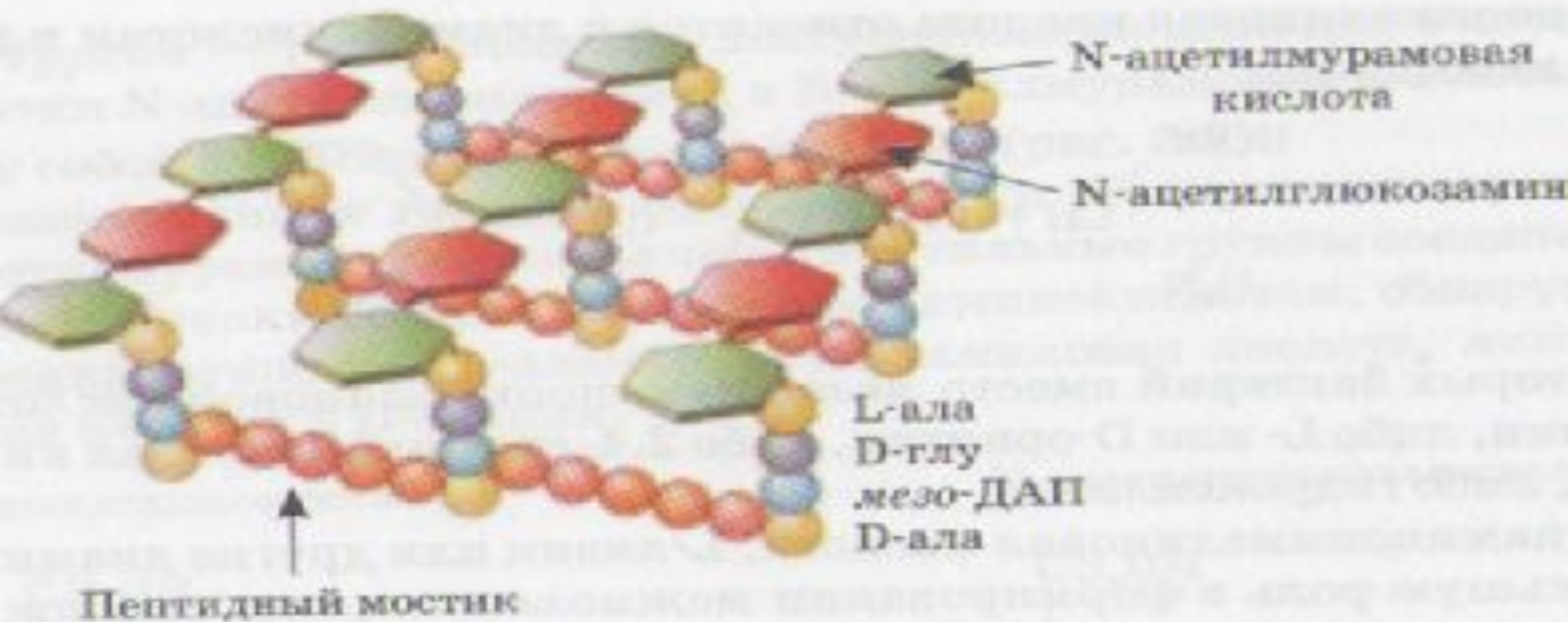


Рис. 10. Схематическое изображение структуры однослойного поперечношитого муреинового мешка



# Схема однослойного поперечношитого муреинового мешка



# Химический состав клеточных стенок грамположительных и грамотрицательных зубактерий

Компоненты клеточной стенки	Грамположитель- ные зубактерии	Грамотрицательные зубактерии	
		Внутренний слой (пептидогликанов ый)	Внешний слой (наружная клеточная мембрана)
Пептидогликан	+	+	-
Тейхоевые кислоты	+	-	-
Полисахариды	+	-	+
Белки	<u>±</u>	-	+
Липиды	<u>±</u>	-	+
Липополисахариды	-	-	+
Липопротеины	-	<u>±</u>	+



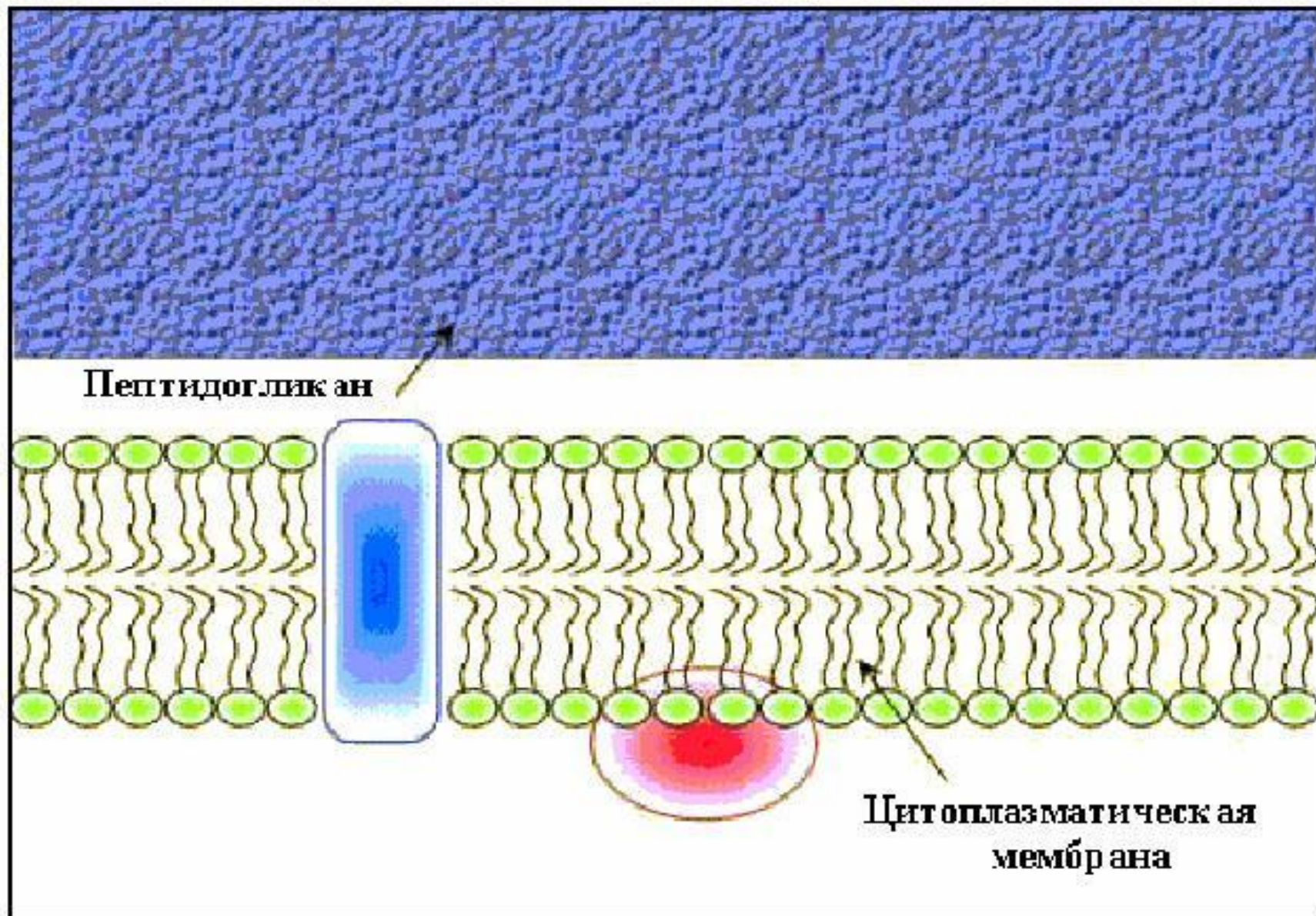


Рис. 11. Схематическое строение клеточной стенки грамположительных бактерий

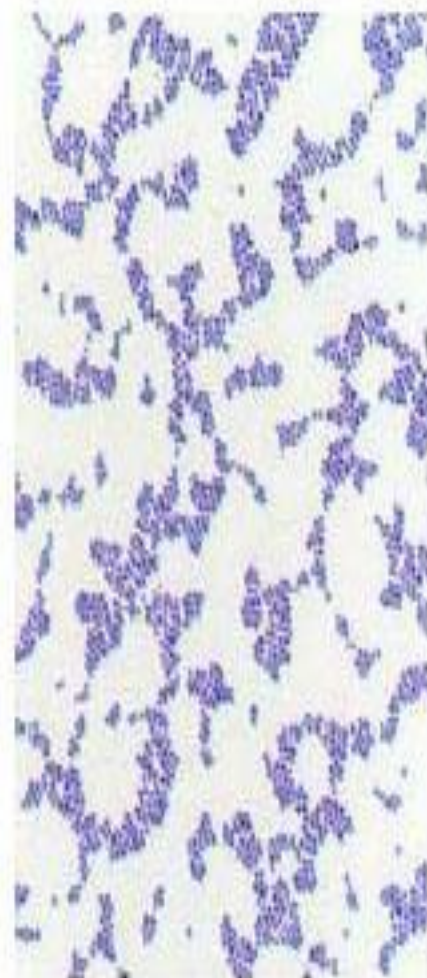




А

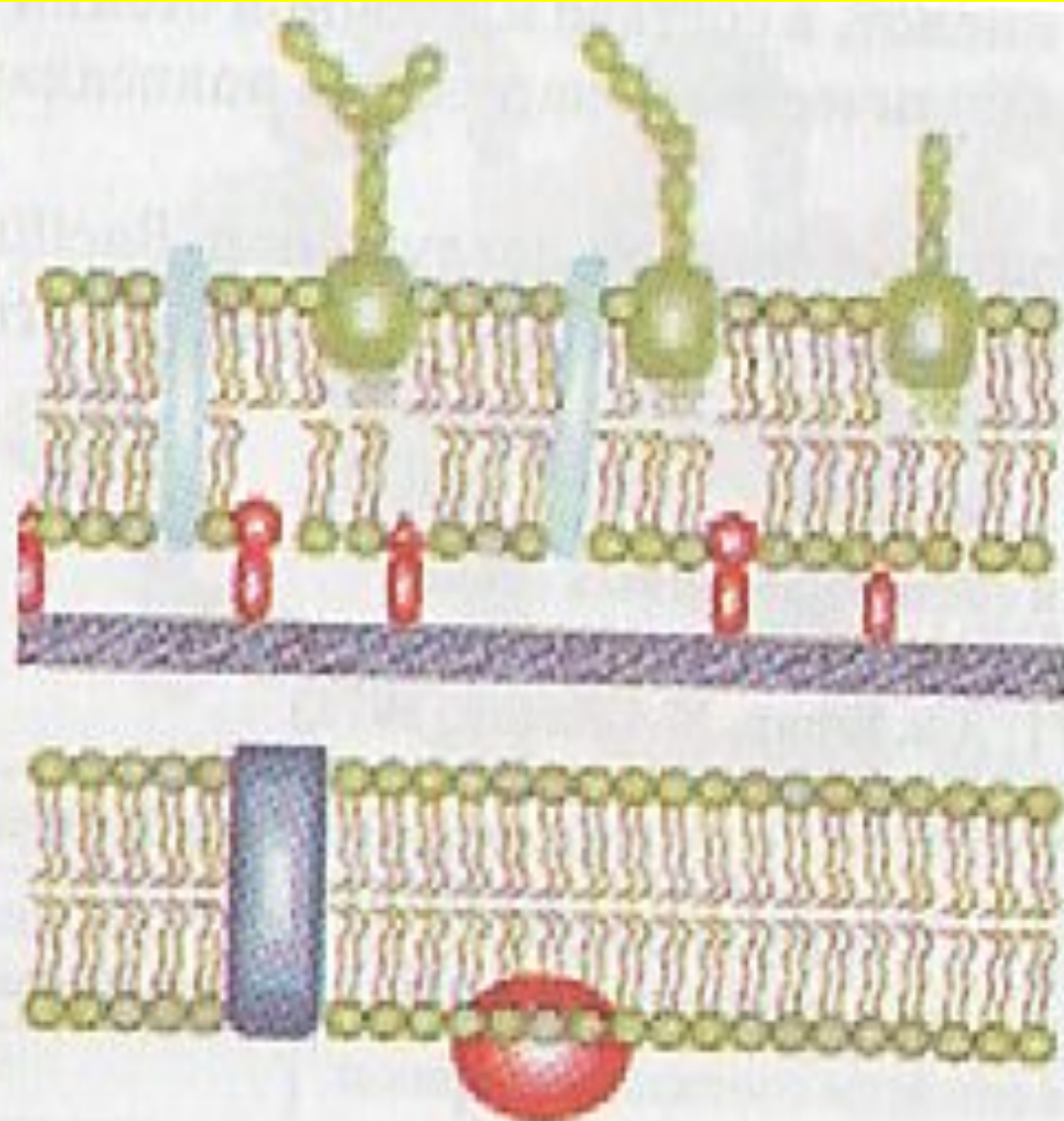


Б



В

Рис. 12. Грамположительные бактерии: А – *Clostridium perfringens*; Б – *Clostridium tetani*; В – *Staphylococcus aureus*



Наружная  
мембрана

Периплазматическое  
пространство

Муреин

Периплазматическое  
пространство

Цитоплазматическая  
мембрана



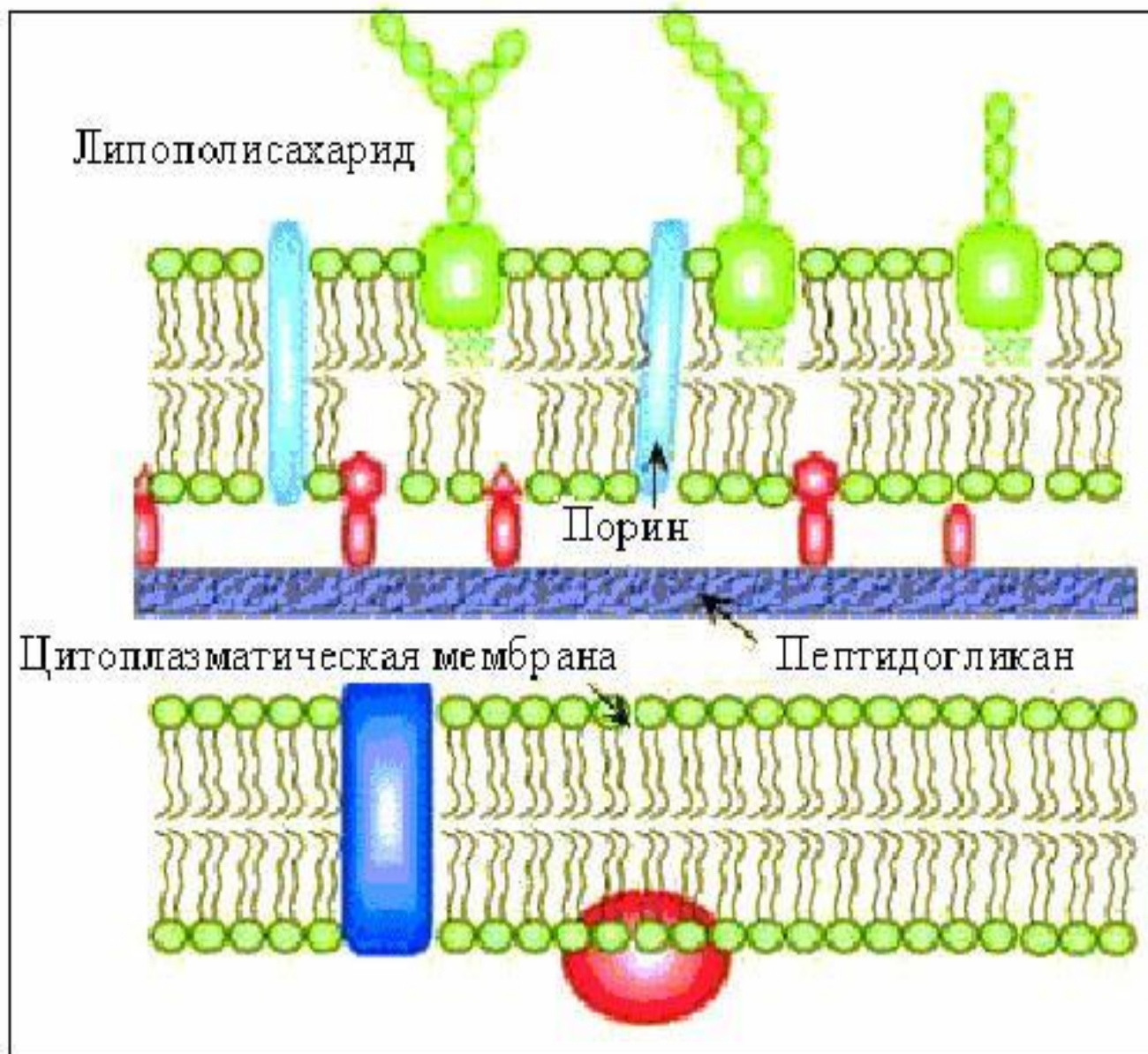


Рис.13. Схематическое строение клеточной стенки грамотрицательных бактерий



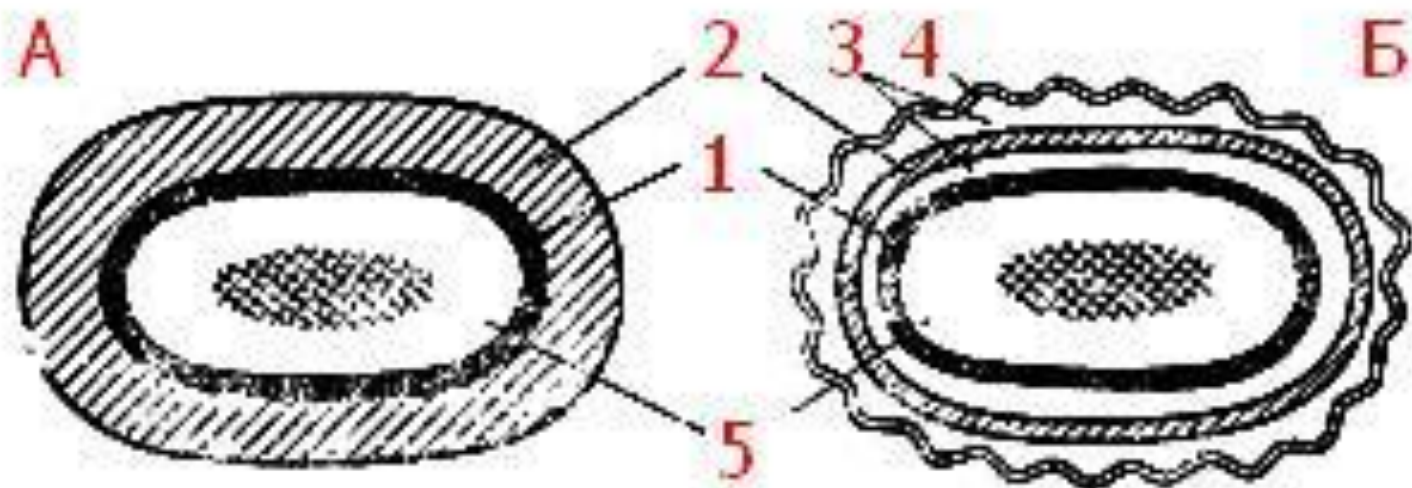
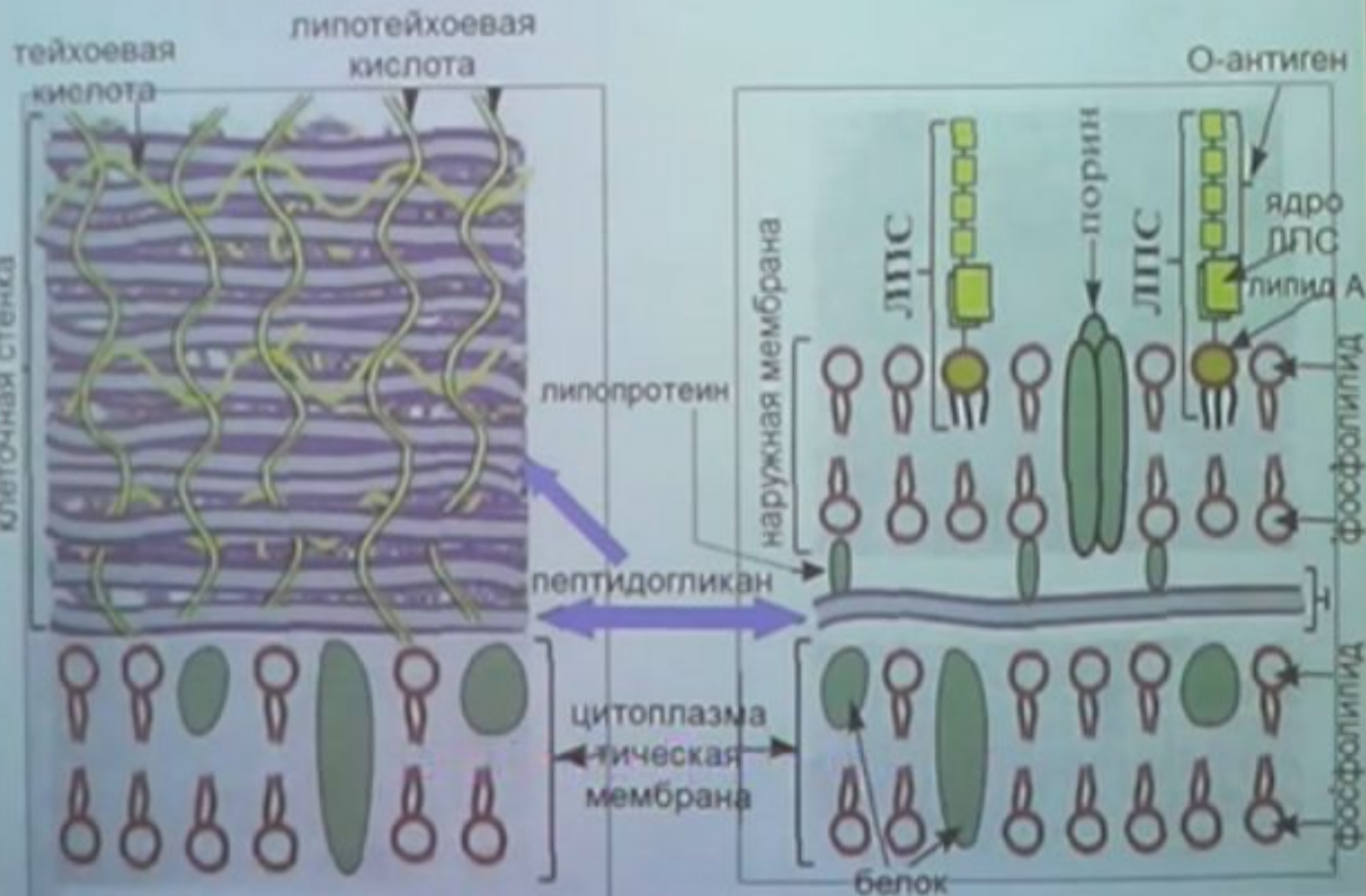


Рис. 5. Клеточная стенка грамположительных (А) и грамотрицательных (Б) эубактерий: 1 — цитоплазматическая мембрана; 2 — пептидогликан; 3 — периплазматическое пространство; 4 — наружная мембрана; 5 — цитоплазма, в центре которой расположена ДНК

# Схема строения оболочек бактерий

Грам +

Грам -



# Антибиотики

Прото-  
пласты

Сферо-  
пласты

L-  
формы

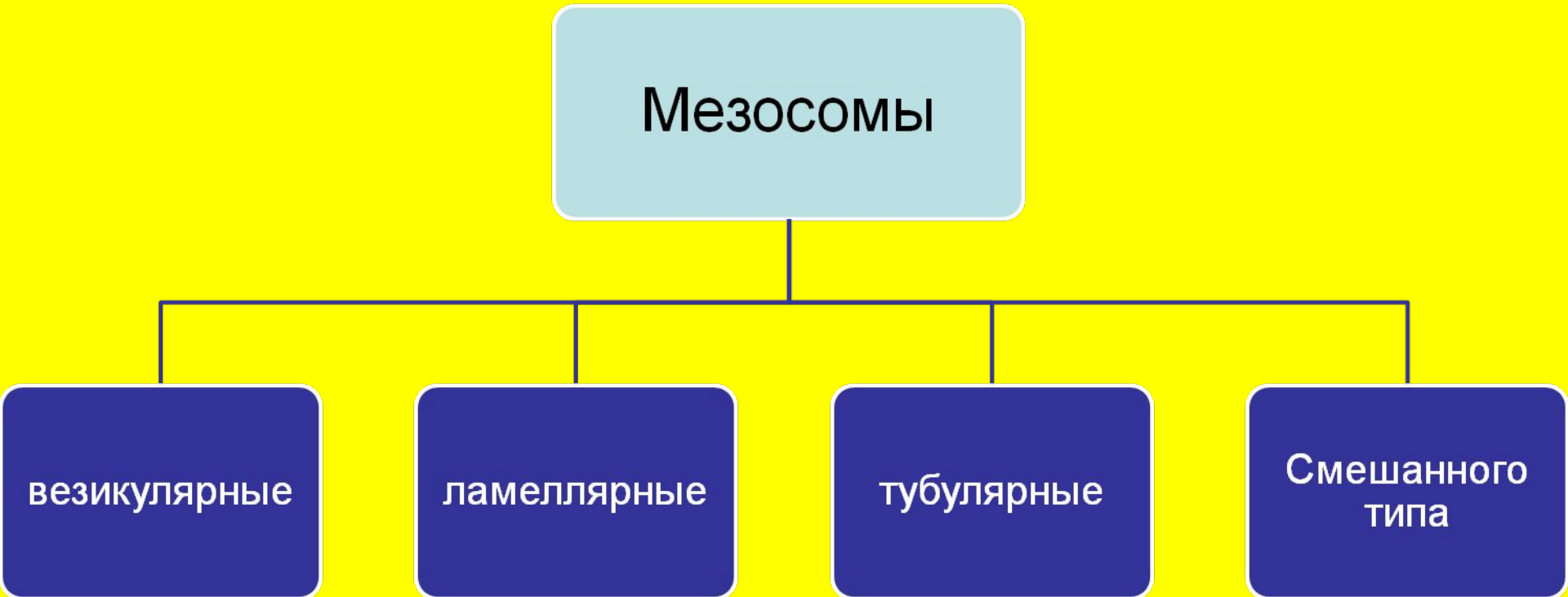
стабильные

нестабильные

# Функции ЦПМ

- ❑ поддержание гомеостаза клетки за счет ее полупроницаемости.
- ❑ в ЦПМ находятся элементы ЭТЦ и ферменты окислительного фосфорилирования;
- ❑ ЦПМ связана с синтезом клеточной стенки и капсулы за счет наличия в ней специфических переносчиков;
- ❑ в ЦПМ закреплены жгутики, энергетическое обеспечение их также связано с ЦПМ.
- ❑ Способна образовывать локальные впячивания — мезосомы.

# Типы мезосом



У грам (+) – сложноустроенные,  
а у грам (-) – относительно  
простоорганизованные

# Функции мезосом:

- служат для усиления функциональной активности ЦПМ (ферменты, участвующие в энергетическом метаболизме бактерий);
- играют роль в репликации ДНК и последующем расхождении ее копий по дочерним клеткам;
- мезосомы участвуют в процессе инициации и формирования поперечной перегородки при клеточном делении.



Цитоплазма

цитозоль

Структурные  
элементы

Растворимые  
компоненты РНК

Ферментативные  
белки

Субстраты  
реакций

Продукты  
реакций

рибосомы

Внутрицитоплазматическ  
ие включения

нуклеоид

# Цитоплазматические включения

## Окруженные мембраной

- Аэросомы водных бактерий;
- Хлоросомы зеленых бактерий;
- Фикобилисомы цианобактерий;
- карбоксисомы (содержит 1,5РБФК);
- Магнитосомы

## Лишенные мембраны (продукты кл. метаболизма)

- Полифосфаты (волютиновые зерна);
- Полисахариды (крахмал, гранулоза, **гликоген**);
- Жиры ( $\beta$ -гидроксимасляная кислота, триглицериды, воска (микобактерии));
- Сера (в виде шариков);
- Цианофитиновые гранулы (полипептид из АРГ +АСП).

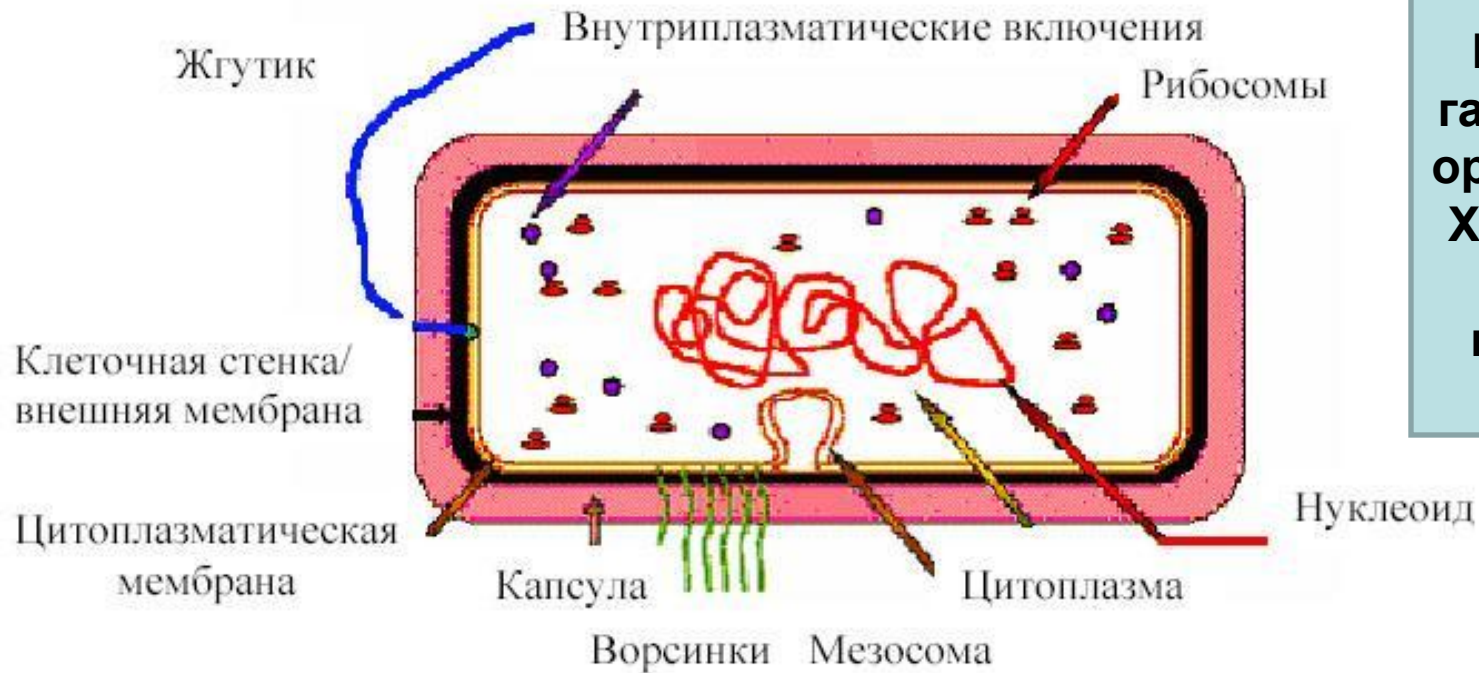
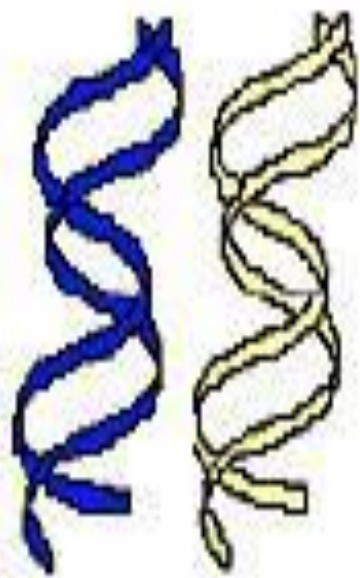


Рис. 7. Модель бактериальной клетки

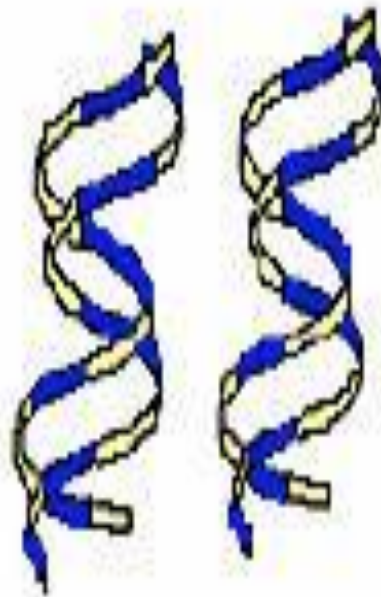
**Бактерии  
гаплоидные  
орг-мы, но...  
Хромосома  
≠  
нуклеоид**

**Белки-упаковщики:  
НУ, INF, H1, HLP1 и H**

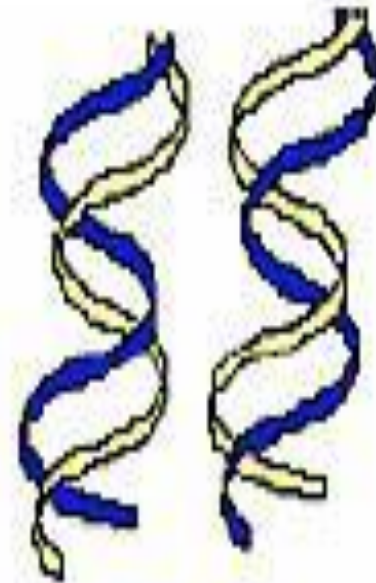
# Механизмы репликации ДНК



консервативный

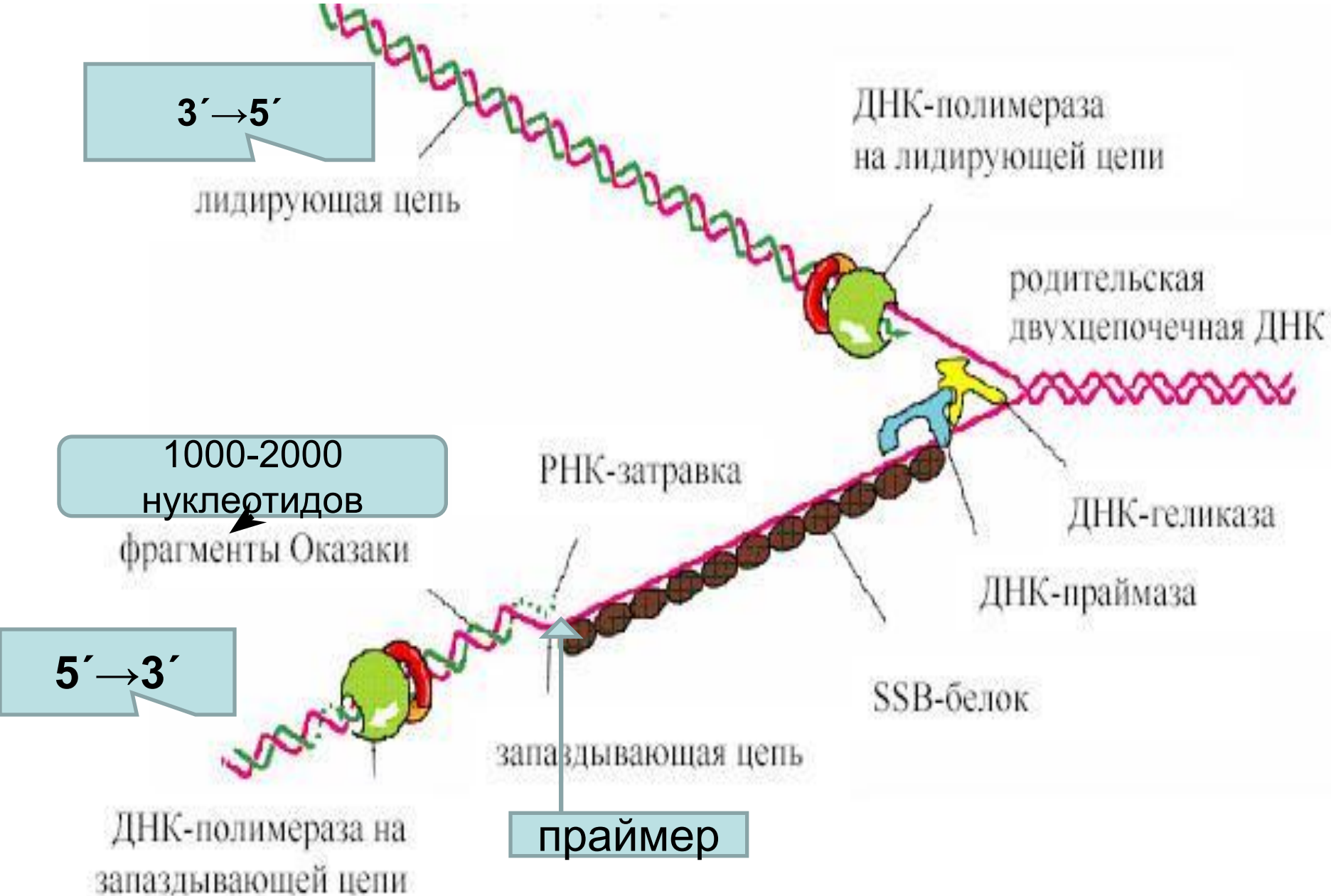


дисперсивный



полуконсервативный





3' → 5'

лидирующая цепь

ДНК-полимераза  
на лидирующей цепи

родительская  
двухцепочечная ДНК

1000-2000  
нуклеотидов

фрагменты Оказаки

РНК-затравка

ДНК-геликаза

ДНК-праймаза

5' → 3'

SSB-белок

запаздывающая цепь

праймер

ДНК-полимераза на  
запаздывающей цепи

Рис. 25. Репликации ДНК у бактерий *E.coli* в соответствии с полуконсервативным механизмом

# В репликации ДНК по полуконсервативному типу участвуют след. основные ферменты:

- 1) ДНК-геликазы, перемещающиеся по цепи ДНК в направлении  $5' \rightarrow 3'$ , и перемещающиеся в направлении  $3' \rightarrow 5'$ ;
- 2) SSB-белки (*single strand binding* – белки, связывающиеся с одонитевой ДНК), которые связываются с одонитевой ДНК и препятствуют ее ренатурации;
- 3) ДНК-гиразы, или топоизомеразы белки, которые снимают напряжение при раскручивании кольцевых молекул ДНК и способствуют ее расплетанию.

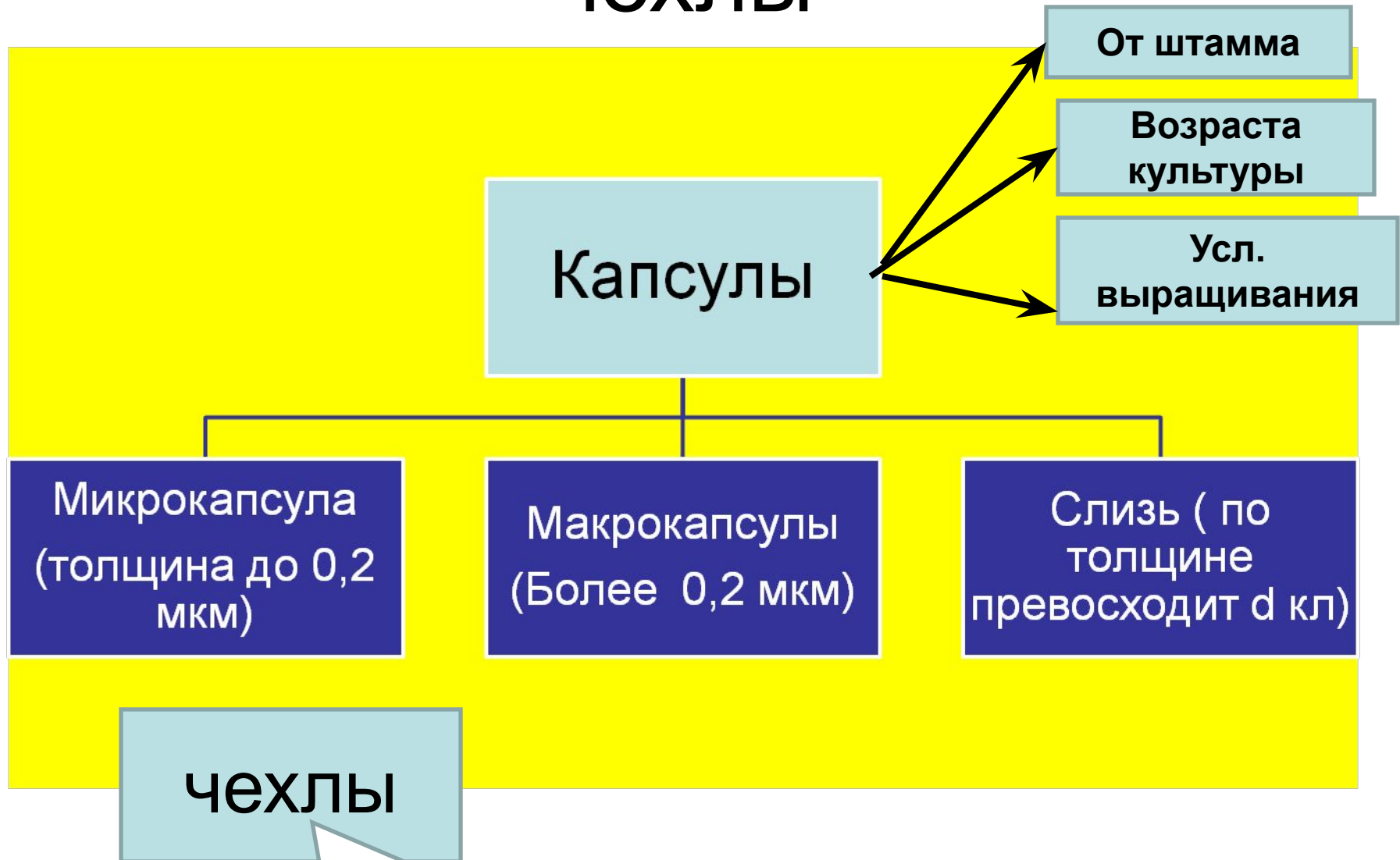
# Внехромосомные генетические элементы (плазмиды):

- контролирующие половой процесс у бактерий (F-фактор),
- множественную устойчивость к лекарственным препаратам (R-фактор),
- синтез бактериоцинов – веществ белковой природы, способных вызвать гибель близкородственных видов бактерий (Col-фактор)

Дополнительные  
свойства -  
способствуют  
выживанию!

Реплицируются  
автономно от  
хромосомной  
ДНК!!!

# Капсулы, слизистые слои и чехлы

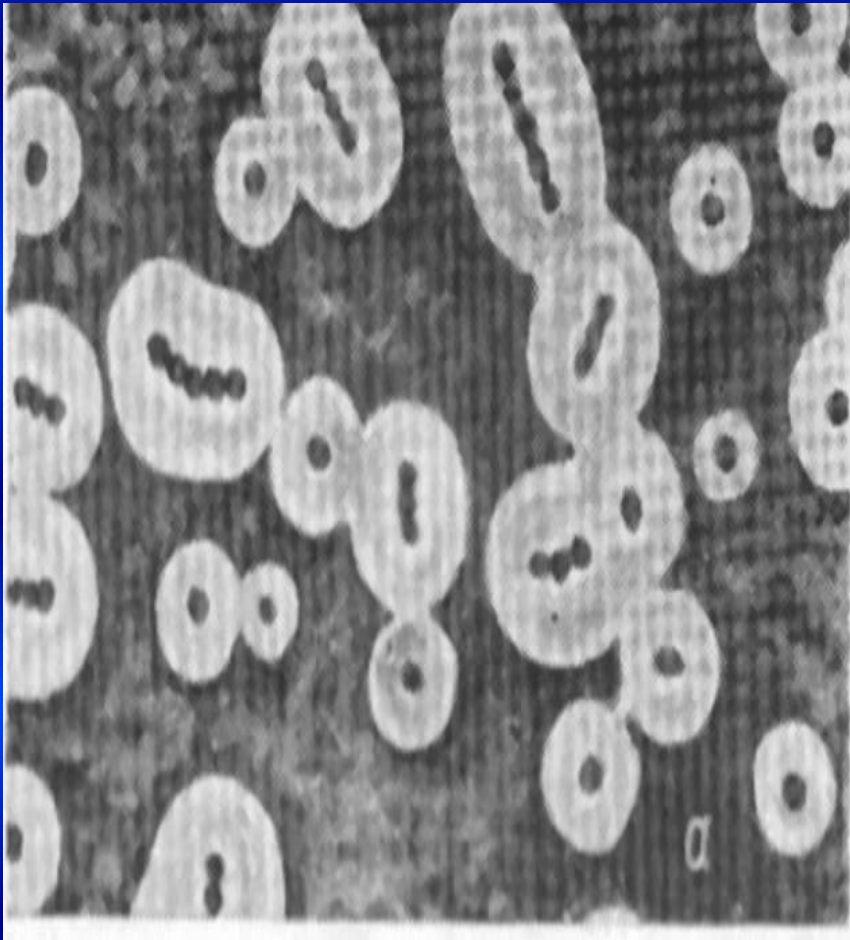




# Функции капсул, слизистых элементов и чехлов:

- Слизь защищает клетку от механических повреждений, высыхания,
- создает дополнительный осмотический барьер,
- служит препятствием для проникновения фагов,
- может служить источником запасных питательных веществ;
- с помощью слизи осуществляется связь между соседними клетками в колонии, а также прикреплением клеток к различным поверхностям.
- Способность определенных бактерий синтезировать эти своеобразные внеклеточные полимеры находит практическое применение: их используют в качестве заменителя плазмы крови, а также для получения синтетических пленок.

# Бактериальные капсулы: а –кокков; б- бацилл



а



б

# Типы жгутикования



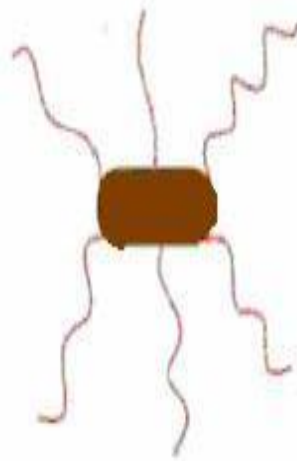
Монотрих



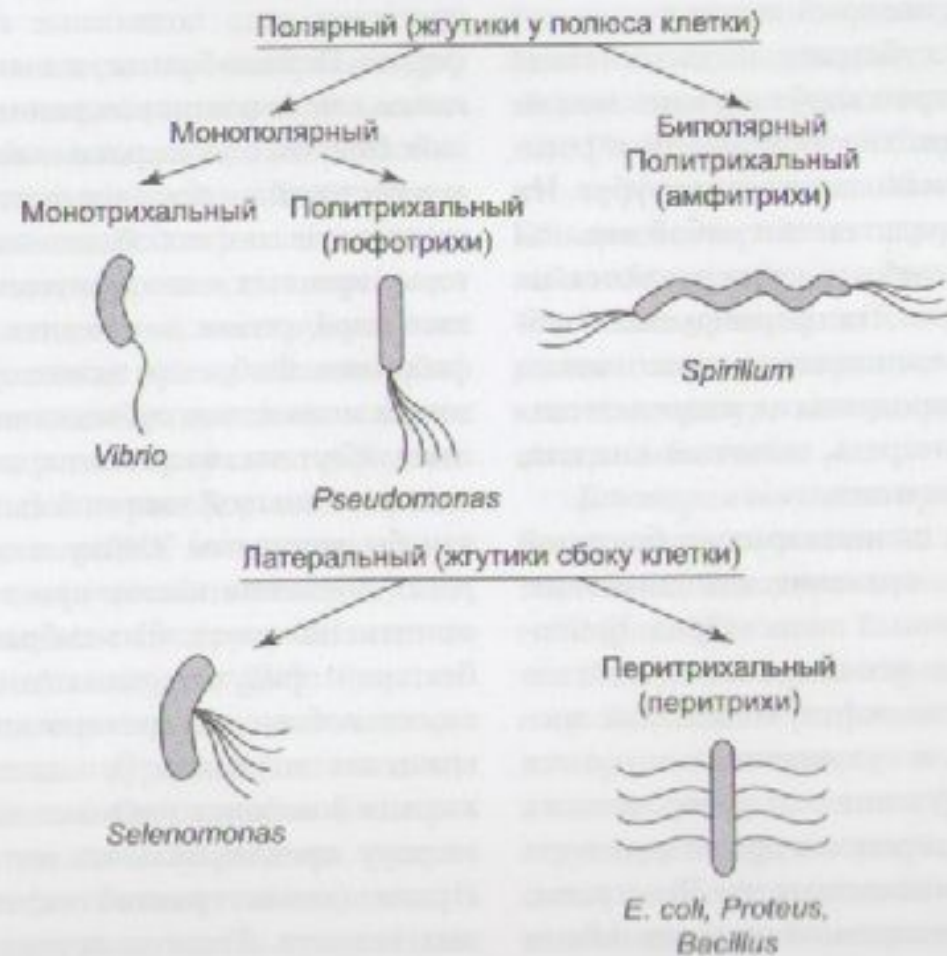
Лофотрих



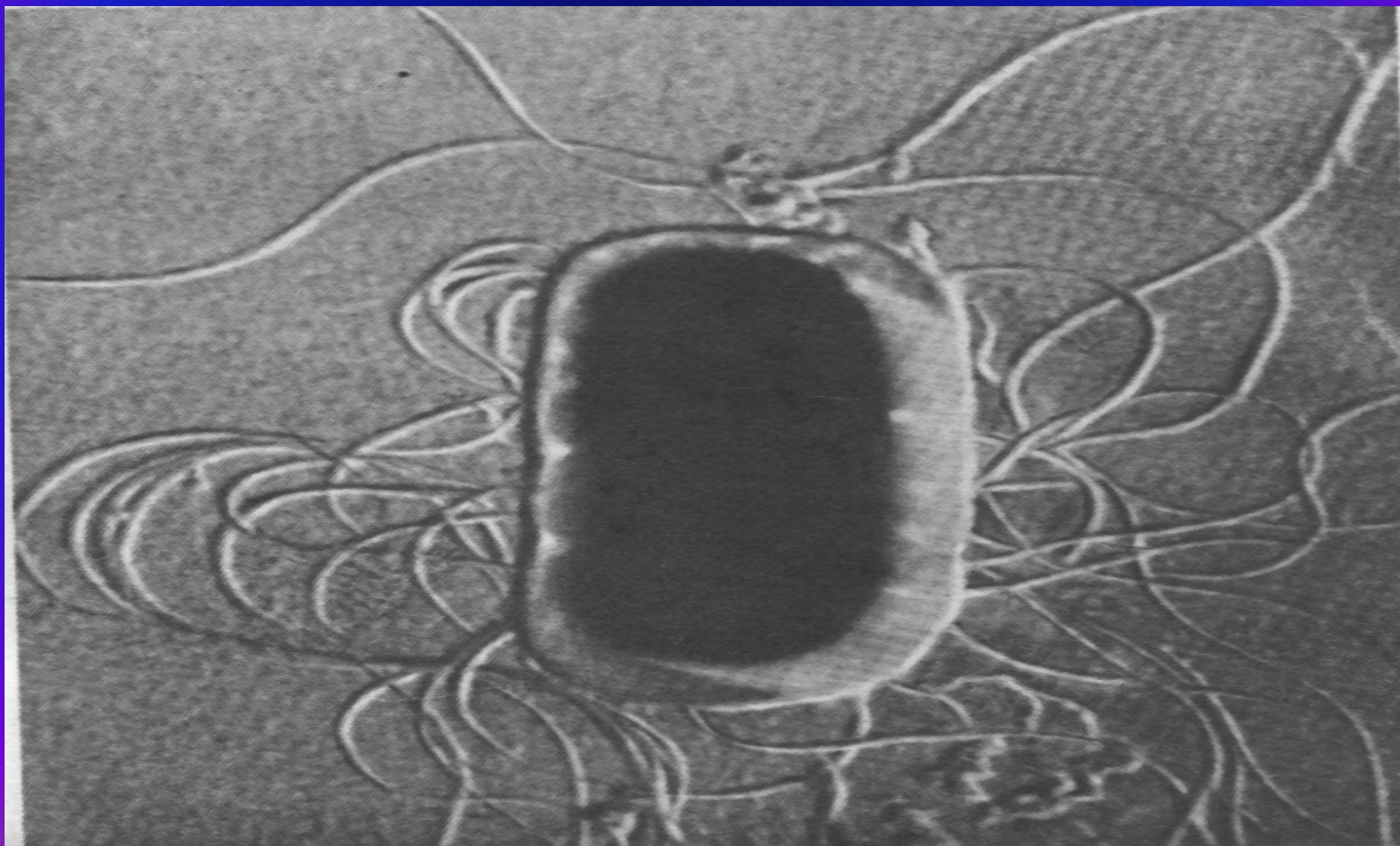
Амфитрих



Перитрих



# Жгутики палочковидной бактерии-перитрих под электронным микроскопированием





# флагеллин

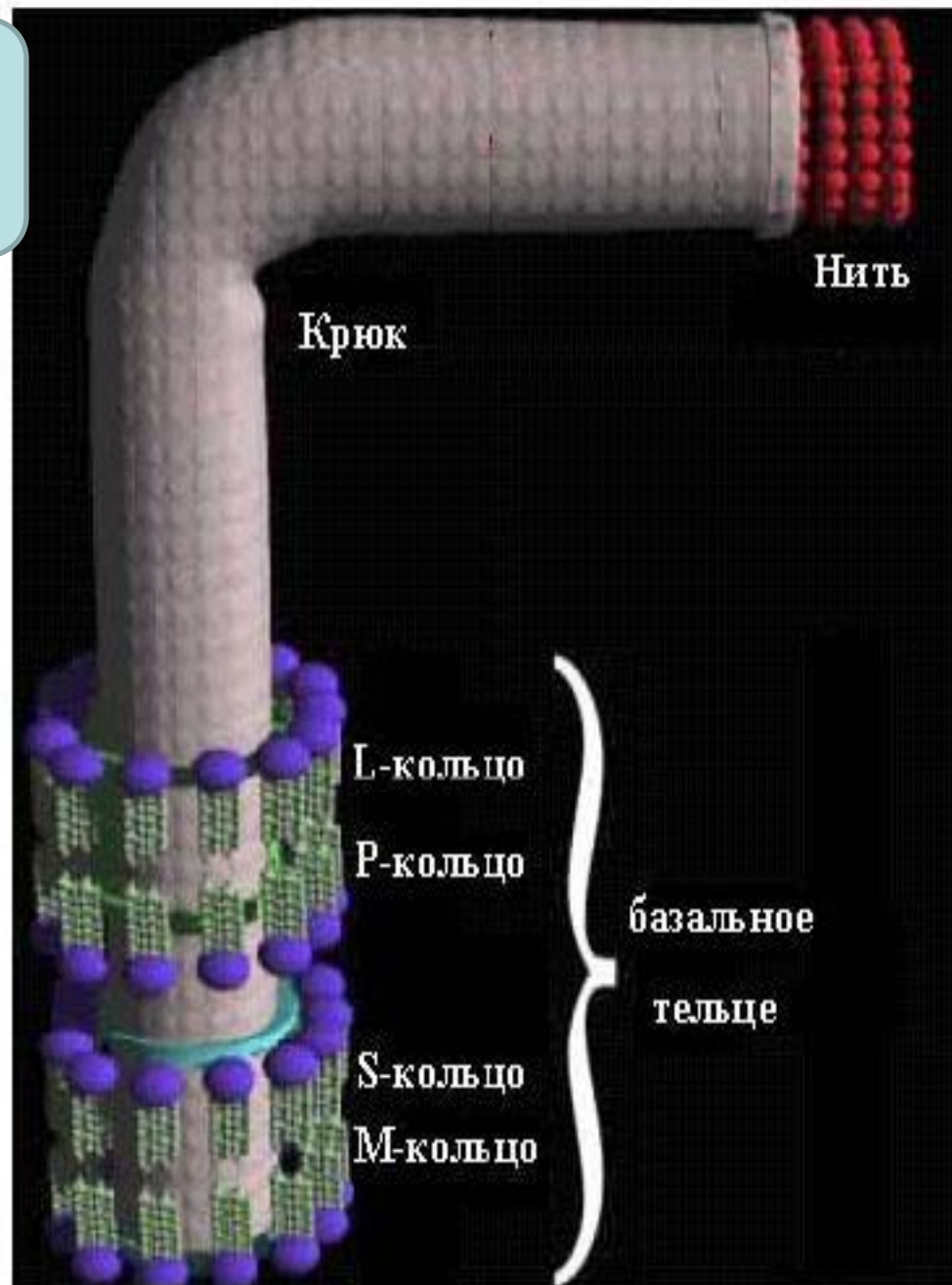


Рис. 17. Структура жгутика грамотрицательных бактерий (по Т.Паустиану, 2001)

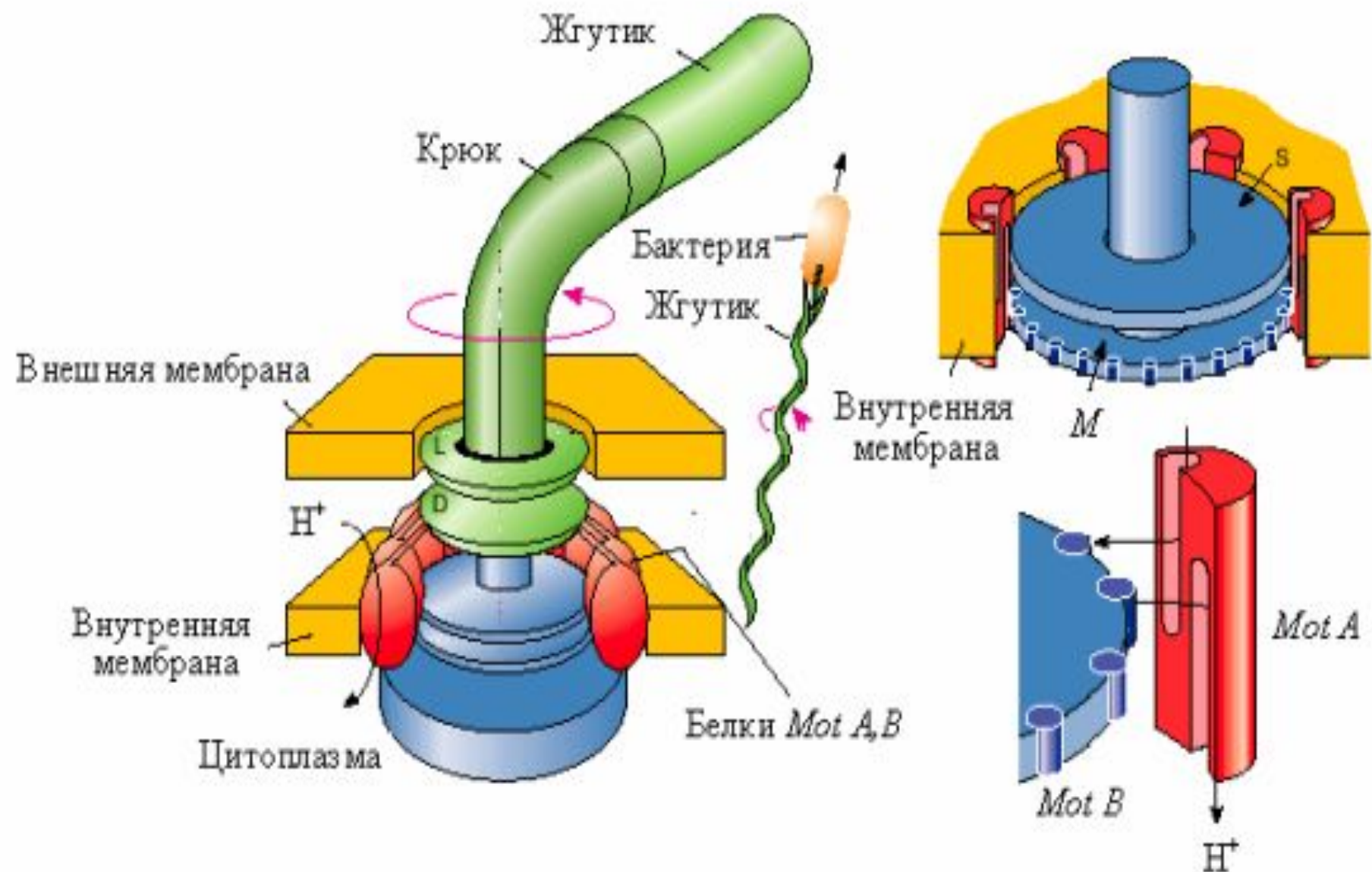


Рис. 18. Схематическое изображение электромотора, вращающего жгутики бактерий (по А.Н.Тихонову, 1999)

# Движение бактерий

## Скользящий

- Неравномерное выделение слизи
- Миксобактерии;
- Цианобактерии

## Плавающий

- Наиболее распространенный

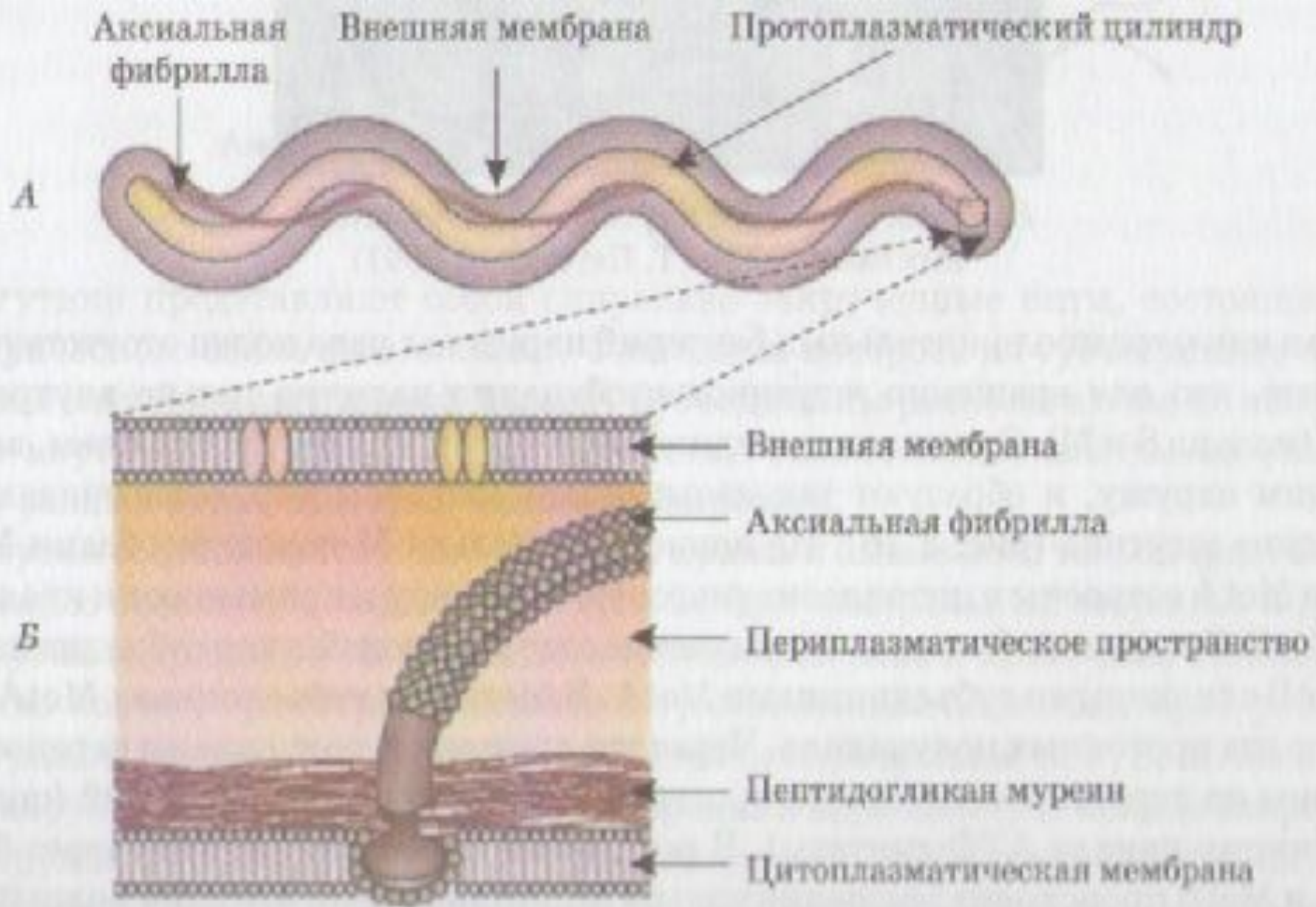


Рис. 2.17. Клетка спирохет в продольном разрезе (А) и увеличенное в размере место прикрепления аксиальной фибриллы у полюса протоплазматического цилиндра (Б) (на <http://www.brown.edu>)



# Таксисы

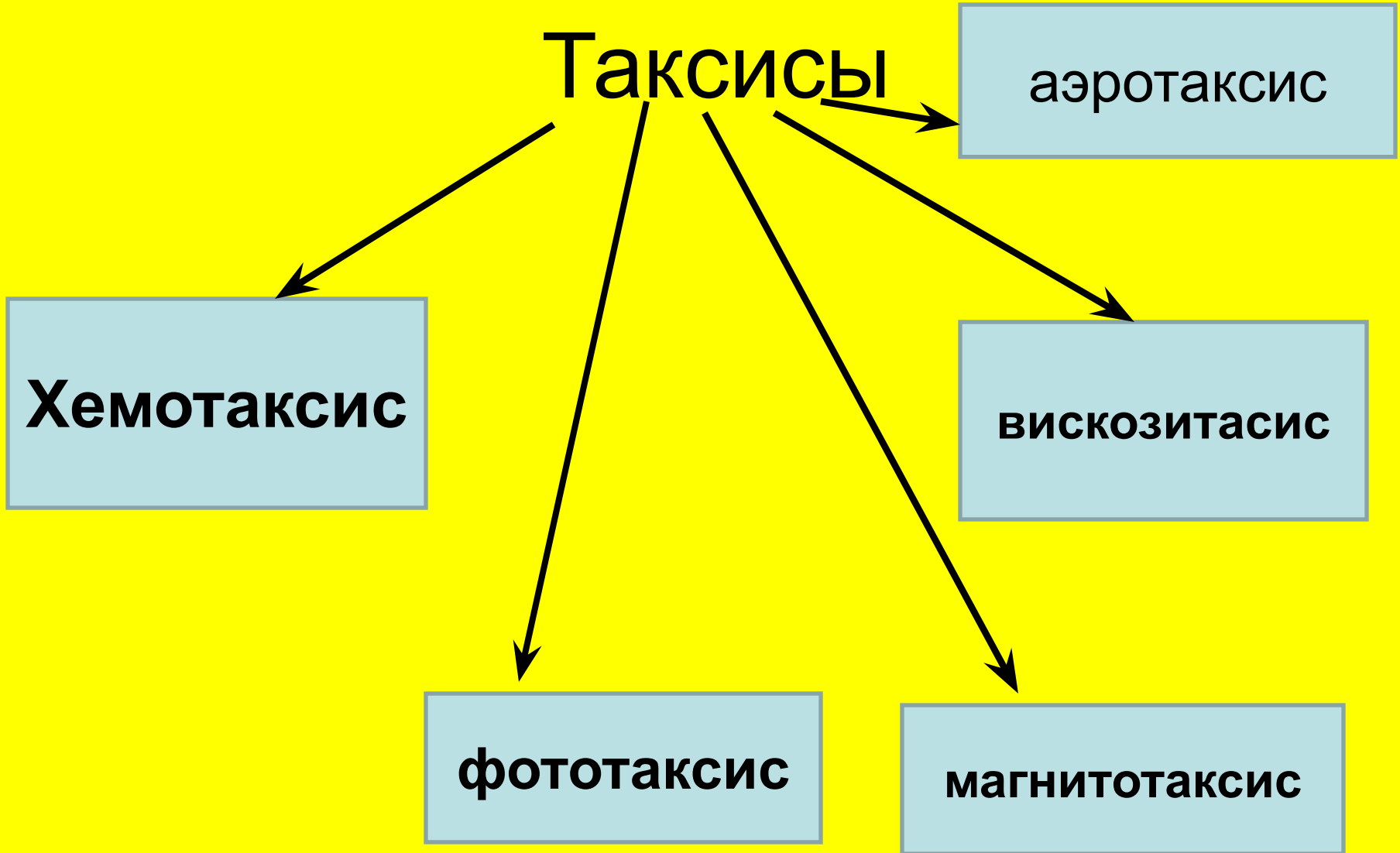
аэротаксис

**Хемотаксис**

**Вискозитасис**

**фототаксис**

**магнитотаксис**



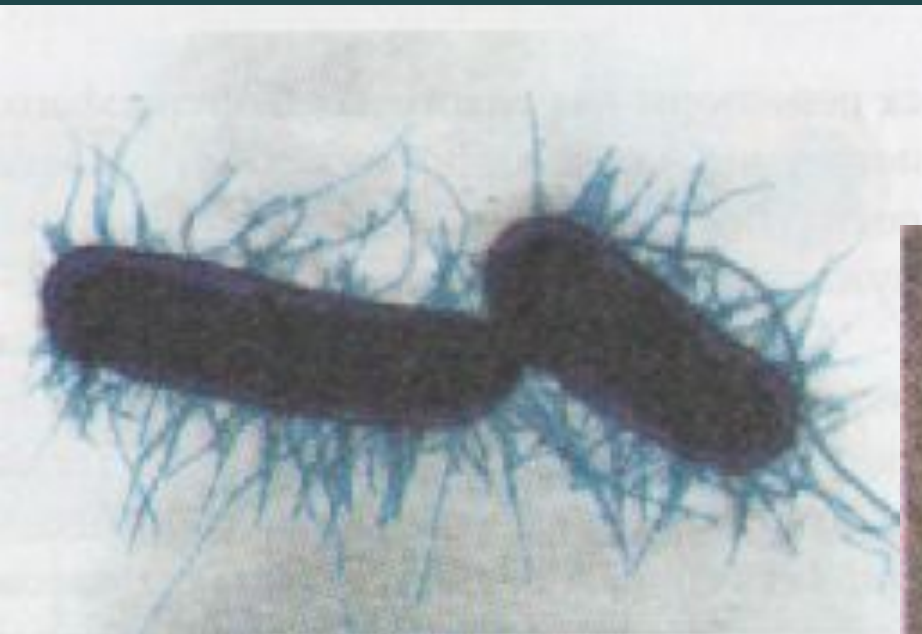


Рис. 16. Подкрашенная микрофотографии клеток *E. coli* с жгутиками на поверхности



Рис. 17. Фимбрии *Neisseria gonorrhoeae*, помогающие прикрепляться к тканям

# Фимбрии у бактерии

- Общего типа:  
прикрепление к субстрату или сцепление клеток;
- Специфического типа:  
Ворсинки— половые фимбрии или F-пили.

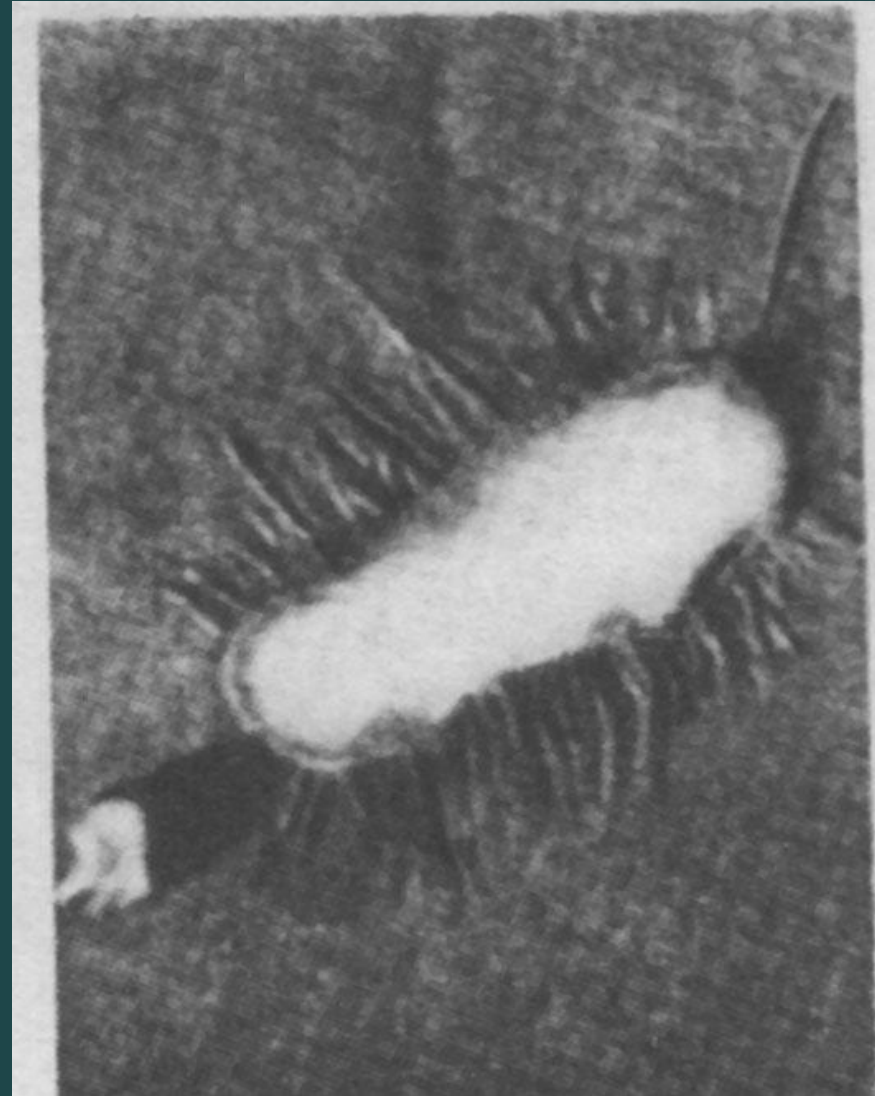
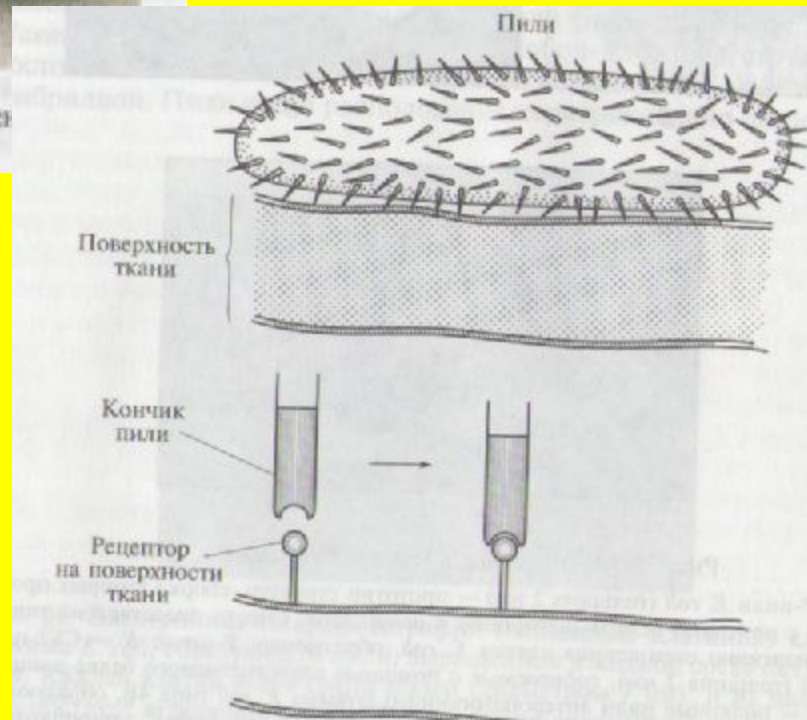




Рис. 18. Подкрашенная микрофотография конъюгирующих бактерий *E. coli*. Клетки соединены







# Эндоспоры

## От вегетативной клетки:

- повышенной резистентностью к нагреванию,
- действию ультрафиолетовых лучей,
- антибиотиков и др.

## Наблюдается при:

- недостатке источников углерода, Р, N, изменении рН и т.д.
- Бывает эндо- и экзотрофная.

# Этапы спорообразования:

- ❑ 1 этап подготовительный;
- ❑ 2. этап формирования споры;
- ❑ 3- этап. созревания споры.

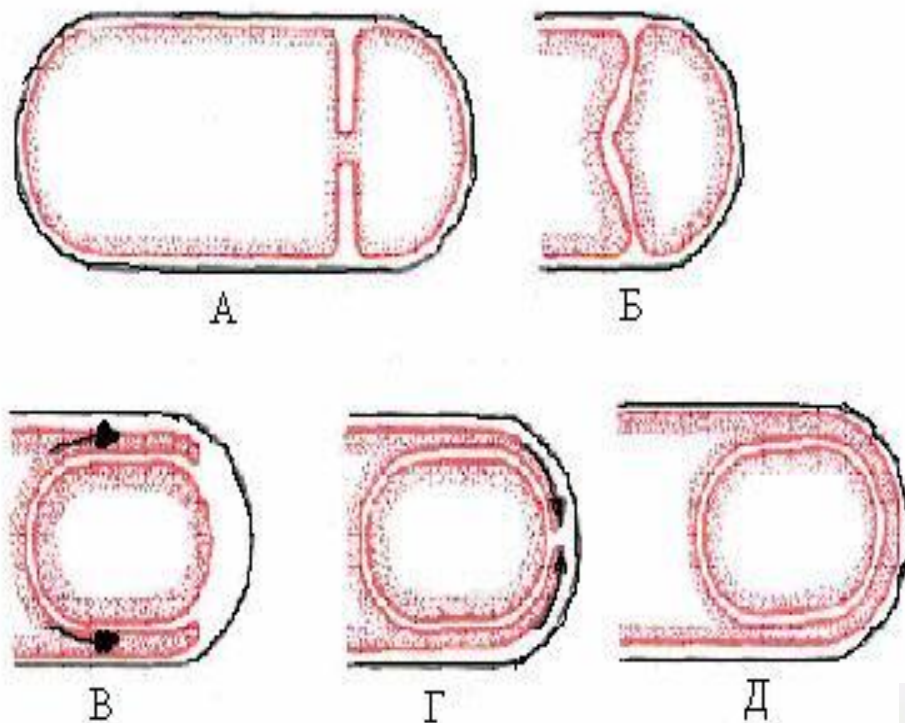


Рис. 20 . Схема процесса спорообразования: А, Б – процесс отделе-  
 пласта споры, В, Г, Д – образование предспоры (по  
 1987)

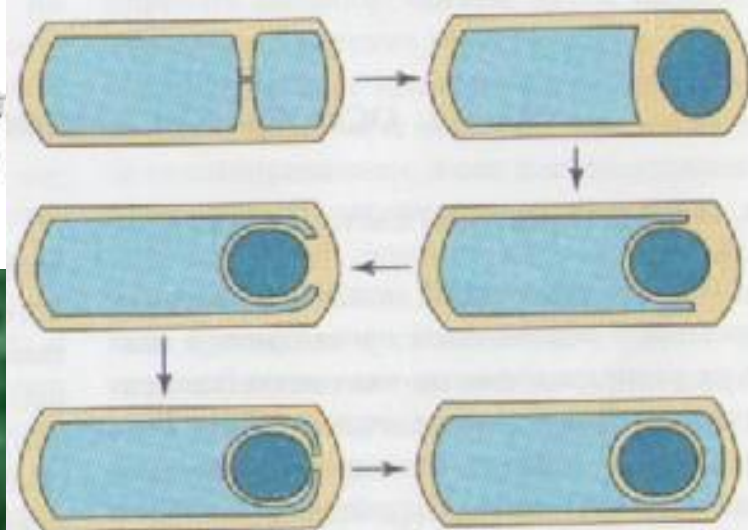


Рис. 20. Процесс образования эндоспор

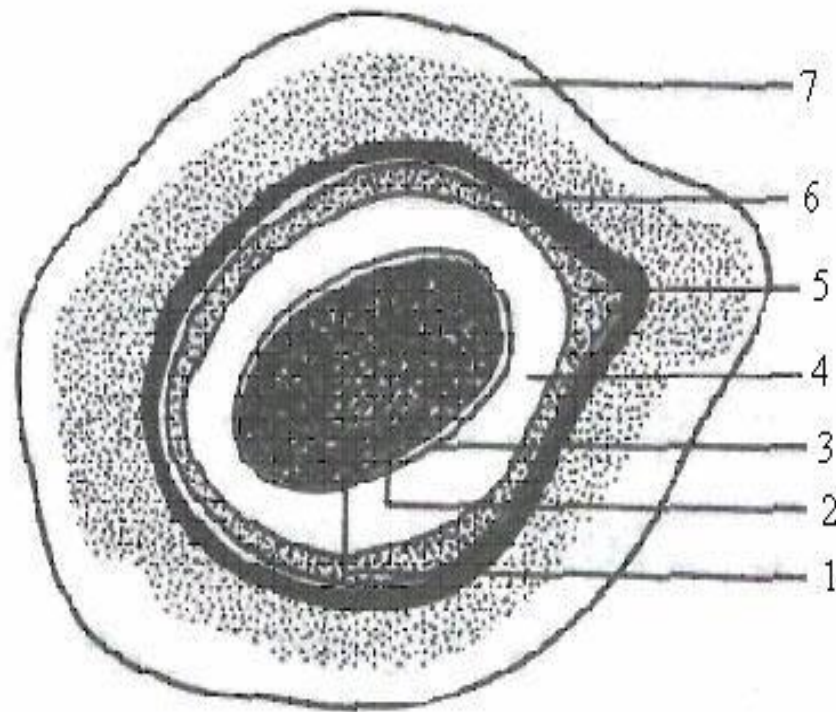
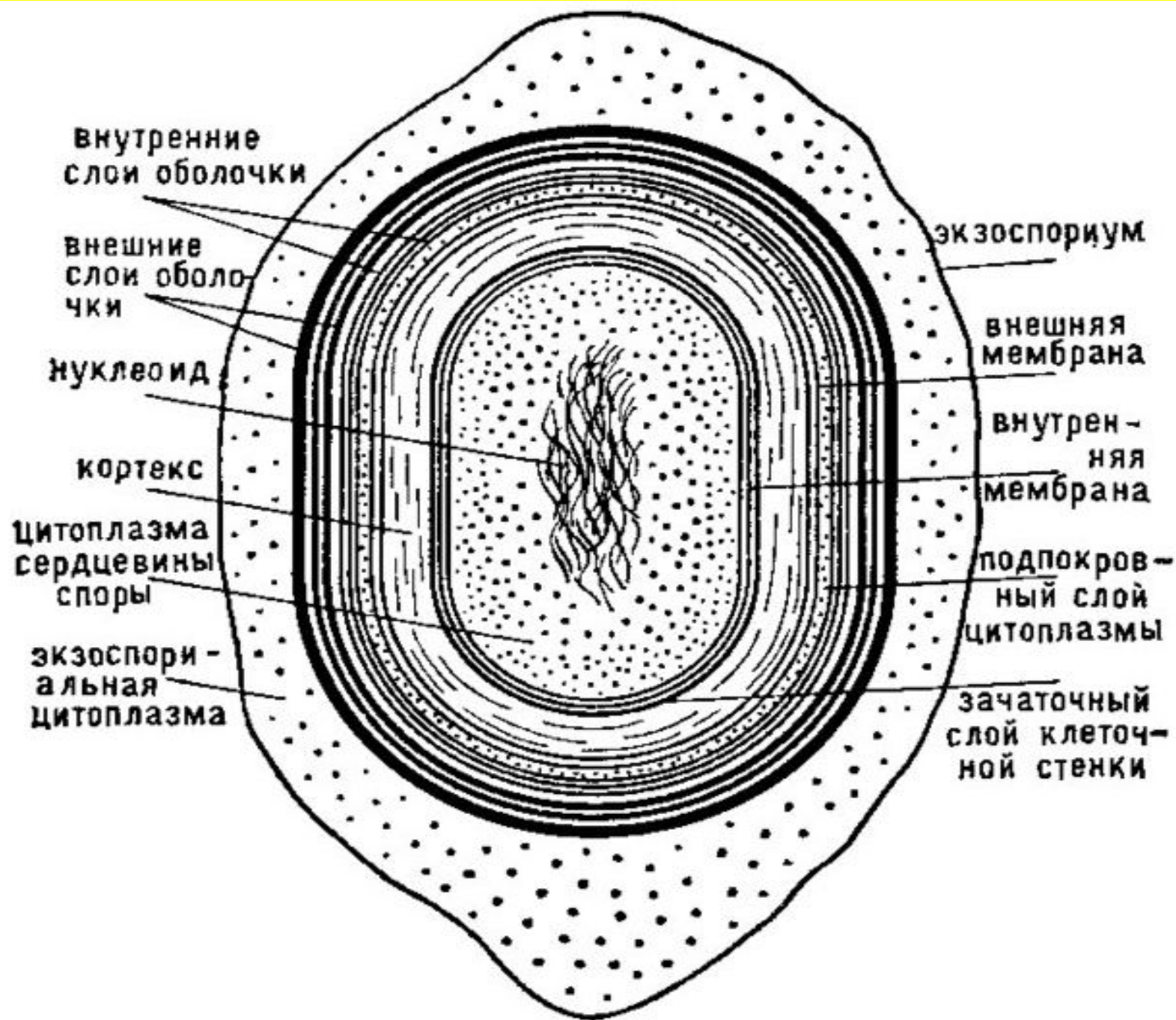


Рис. 21. Схема строения зрелой споры: 1 – цитоплазма, 2 – цитоплазматическая мембрана, 3 – клеточная стенка зародыша, 4 – кора споры, 5 – внутренняя оболочка споры, 6 – наружная оболочка споры, 7 – экзоспориум. (по Г. Шлегелю, 1987)

**Эндоспора состоит из следующих структурных элементов:**  
нуклеоида, уплотненной цитоплазмы, покровных слоев, представленных ЦПМ, клеточной стенкой зародыша, кортекса, внутренней и наружной оболочки, экзоспориумома.





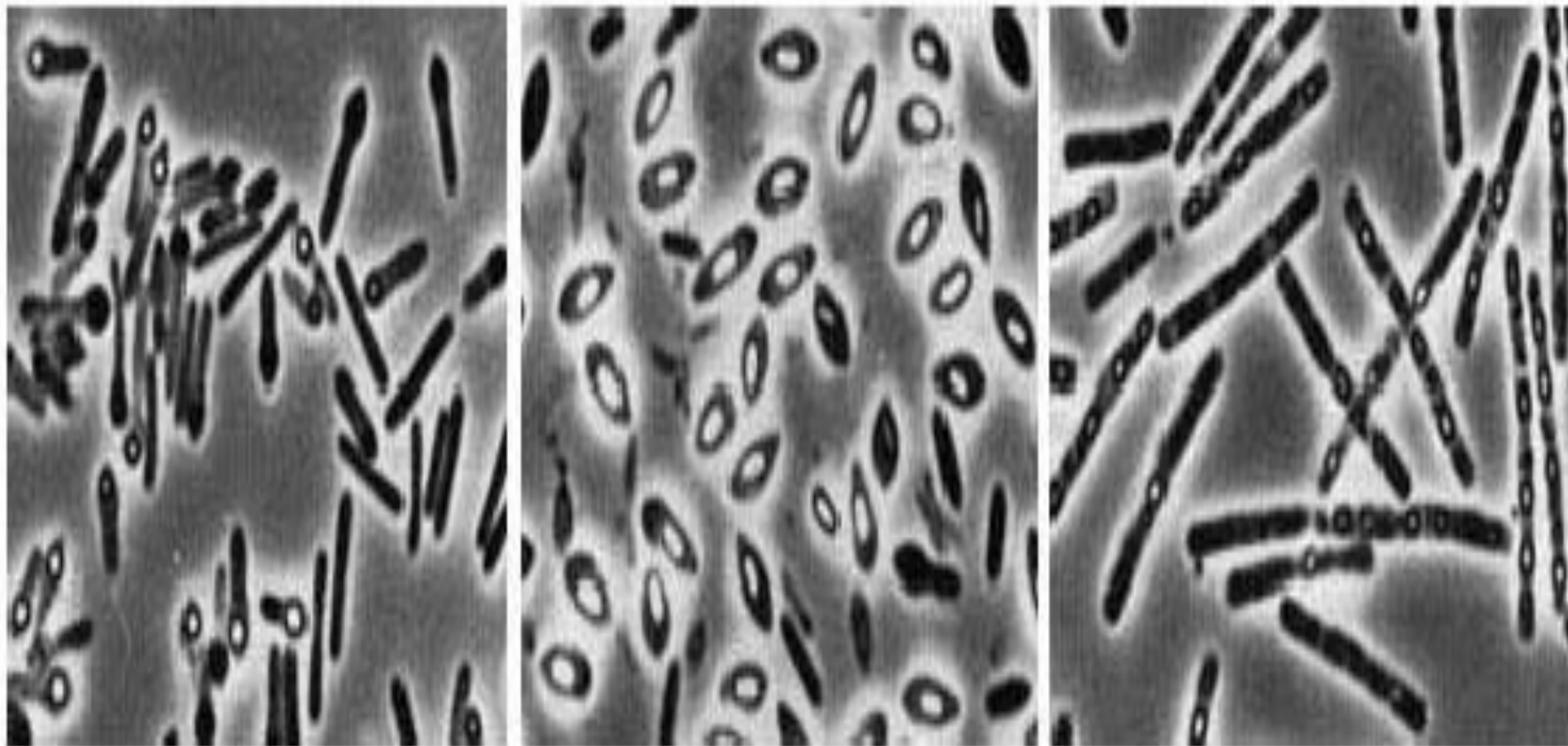


Рис. 22. Расположение эндоспор в клетках бактерий (фазово-контрастная микроскопия)

Споры могут располагаться :

1. Центрально (*Bacillus megaterum*),
2. Субтерминально (*Clostridium botulinum*),
3. терминально (*Clostridium tetani*)

Расположение спор в клетке: 1 — центральное, 2 — терминальное, 3 — терминальное, 4 — центральное (кlostридиальное), 5 — терминальное (плекстридиальное), 6 — латеральное



1



2



3



4



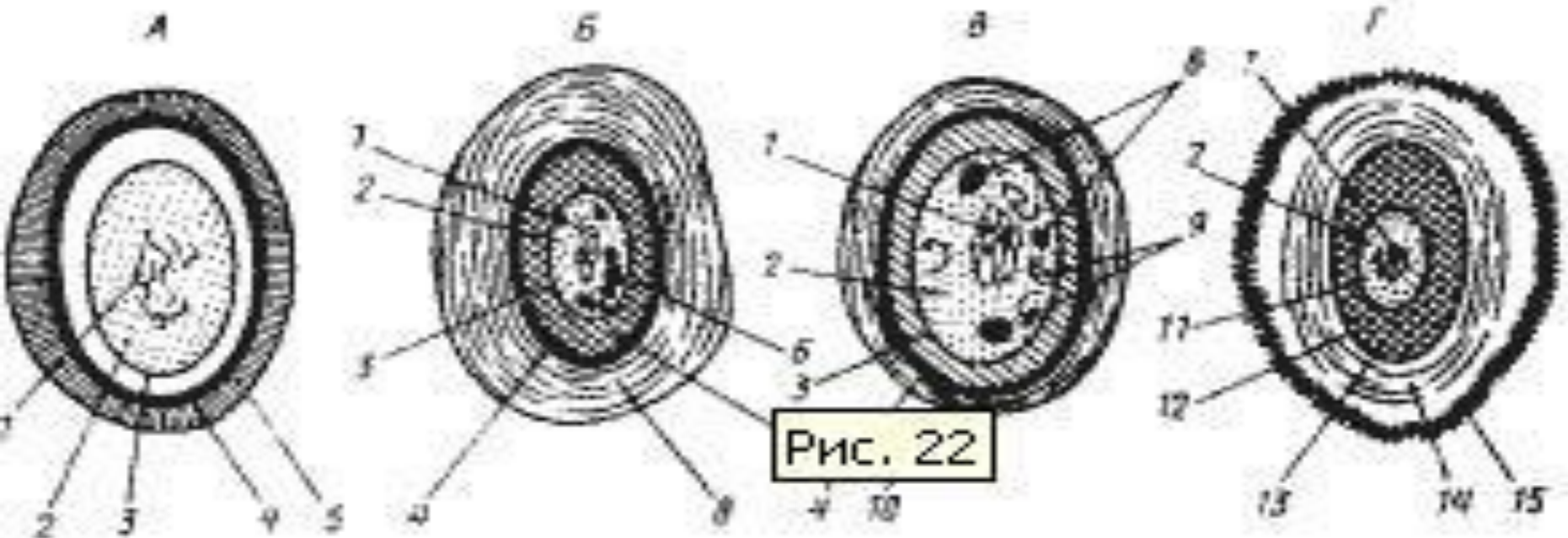
5



6



# Строение поящихся форм прокариот:



А – микроспоры миксобактерий; Б- цисты азотобактера;  
В – акинеты цианобактерий; Г - эндоспоры