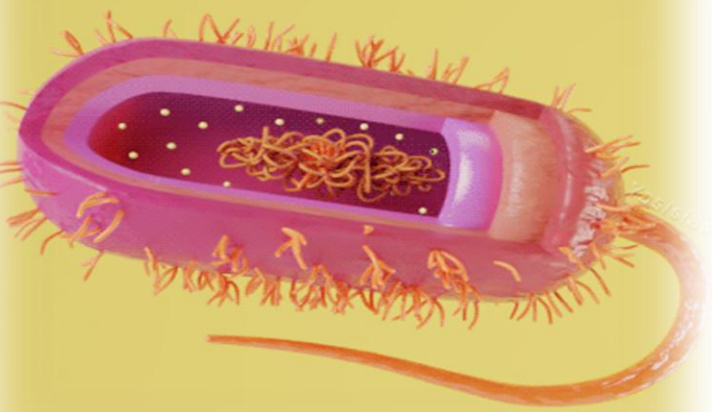


Лекция № 2



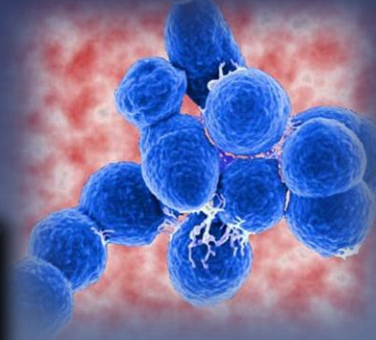
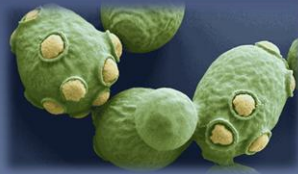
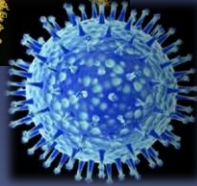
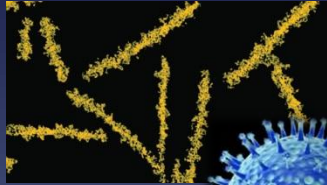
Систематика и номенклатура микроорганизмов


















Ультраструктура бактериальной клетки



Шесть основных групп возбудителей инфекционных болезней человека

- прионы;
- вирусы;
- бактерии;
- грибы;
- паразитические простейшие;
- паразитические черви (гельминты)



 <p>Coccus</p>	 <p>Rod, or Bacillus</p>	 <p>Curved forms: Spirillum/Spirochete</p>		
 <p>Diplococci (cocci in pairs)</p>	 <p>Neisseriae (coffee-bean shape in pairs)</p>	 <p>Coccobacilli</p>	 <p>Vibrios (curved rods)</p>	
 <p>Tetrads (cocci in packets of 4)</p>	 <p>Sarcinae (cocci in packets of 8,16,32 cells)</p>	 <p>Mycobacteria</p>	 <p>Corynebacteria (palisades arrangement)</p>	 <p>Spirilla</p>
 <p>Streptococci (cocci in chains)</p>	 <p>Micrococci and staphylococci (large cocci in irregular clusters)</p>	 <p>Spore-forming rods</p>	 <p>Streptomyces (moldlike, filamentous bacteria)</p>	 <p>Spirochetes</p>

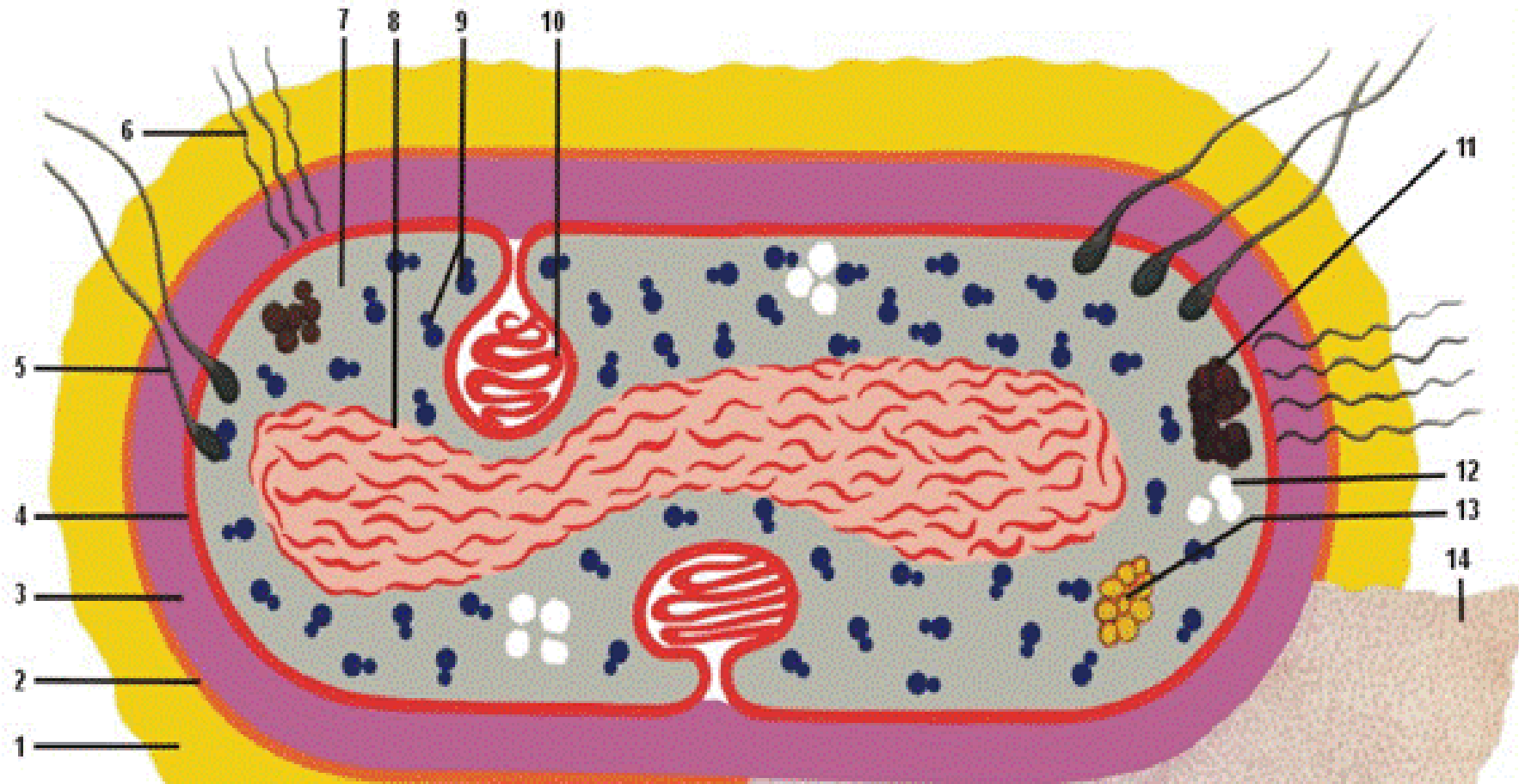
Многоклеточный паразит



1 мм = 1000 мкм, 1 мкм = 1000 нм

СХЕМА СТРОЕНИЯ БАКТЕРИАЛЬНОЙ КЛЕТКИ

BACTERIAL STRUCTURE



1. Макрокапсула (Macrocapsule)
 2. Микрокапсула (Microcapsule)
 3. Клеточная стенка (Cell wall)
 4. Цитоплазматическая мембрана (Cytoplasmic membrane)
 5. Жгутики (Flagella)
 6. Ворсинки (Pili)
 7. Цитоплазма (Cytoplasm)

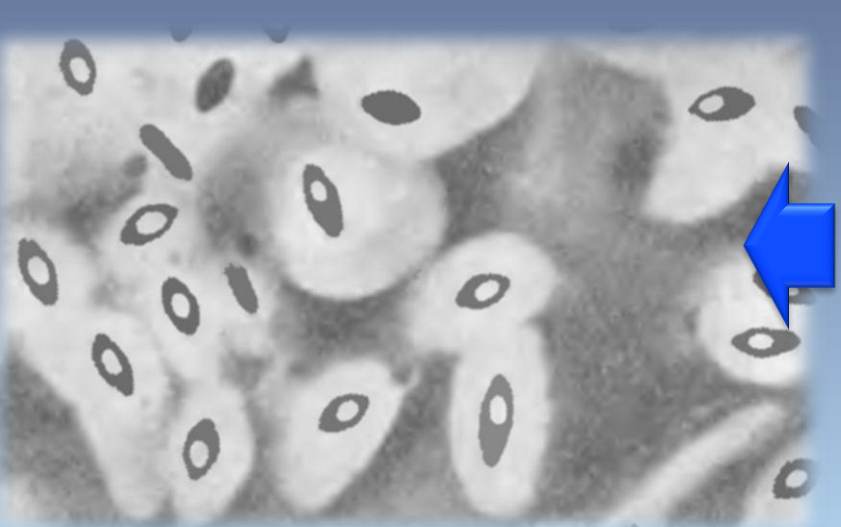
8. Нуклеоид (Nucleoid)
 9. Рибосомы (Ribosomes)
 10. Мезосома (Mesosome)
 11. Зерна волютина (Volutin granules)
 12. Гликоген (Glycogen)
 13. Вкрапления липидов (Lipid protein bodies)
 14. Гликокаликс Glycocalyx, slime layer

Капсула

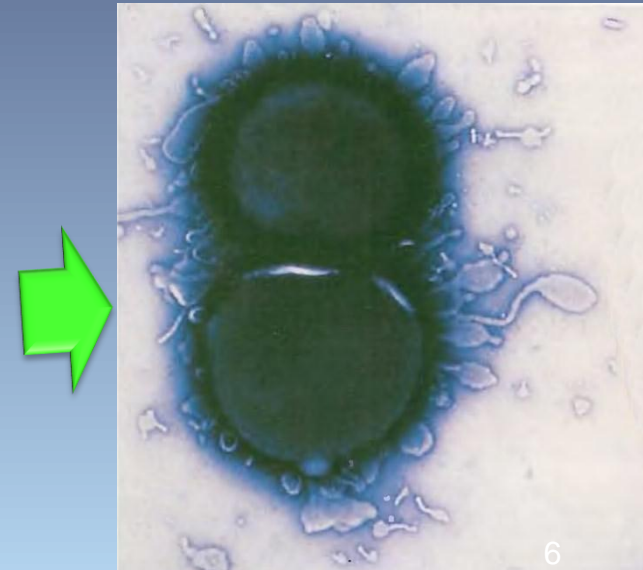
- **Капсула** – слизистый слой, который обычно сохраняет связь с клеточной стенкой. Гидрофильна. Состоит из мукополисахаридов, реже – из полипептидов (сибиреязвенные бактерии), тесно прилегающих к клеточной стенке. Необязательная структура.

- **Функции капсулы:**

Капсула предохраняет от повреждения, высыхания, воздействия бактериофагов и ферментов, определяет антигенную специфичность и иммуногенные свойства

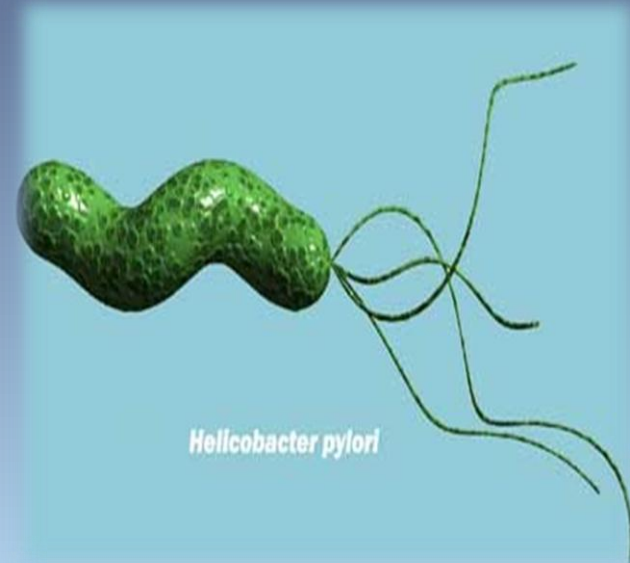
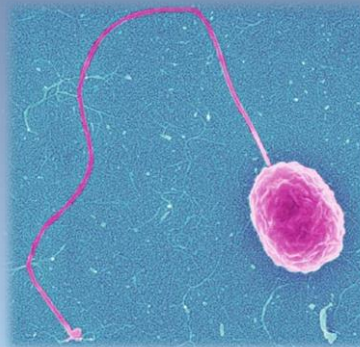


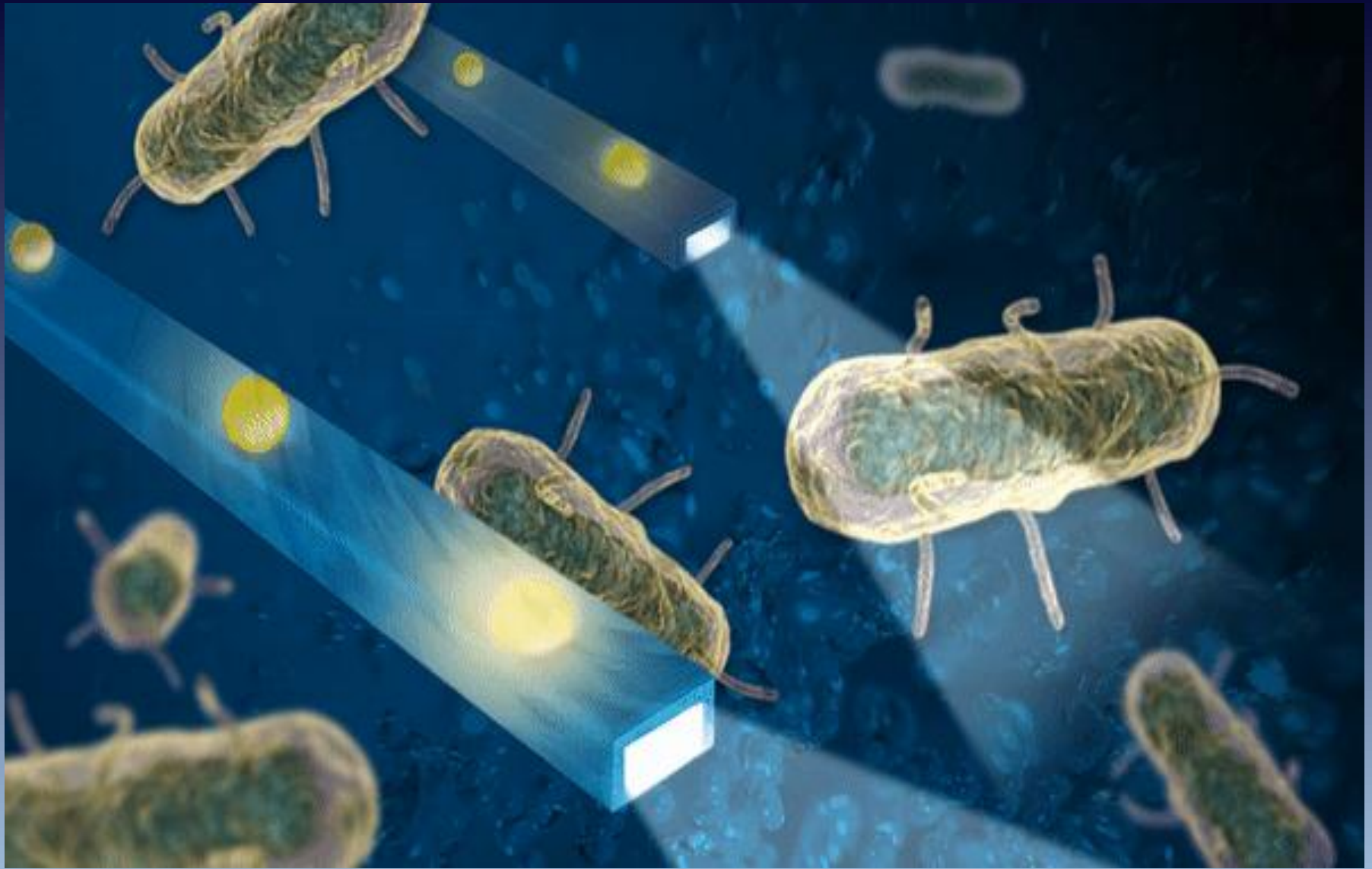
Капсулы вокруг
клеток
клубридий,
МЕНИНГОКОККОВ



Жгутики

- Обеспечивают подвижность. Содержат белок флагеллин, относящийся к сократительным белкам типа миозина.
- Обладают антигенностью
- Различают монотрихи – одиночные, лофотрихи – пучок, амфитрихи – на обоих концах клетки, перитрихи – по всей поверхности бактериальной клетки





ПИЛИ (фимбрии, микроворсинки)

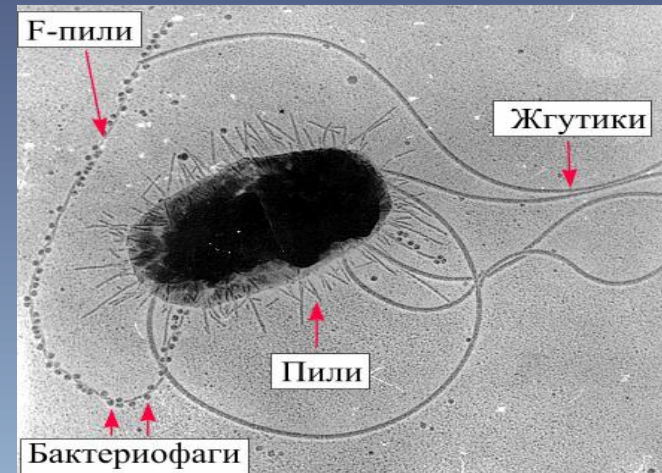
- Тонкие полые нити из белка фибрина, не сократимы
- Функции:
 - **адгезивные** пили (пили 1 общего типа) обеспечивают адгезию бактерий к определенным клеткам;
 - **половые** пили 2 типа (конъюгативные или *sex pili*) участвуют в переносе части генетического материала от клетки донора к реципиенту; частично осуществляют питание и водно-солевой обмен.



Палочковидная бактерия с адгезивными фимбриями. Увел. × 15 000.



Кокки с фимбриями. Увел. × 12000



Палочковидная бактерия с половыми и адгезивными пиями .

Клеточная стенка

Гр (+): толстая, состоит из нескольких слоев пептидогликана, связанных с тейхоевыми кислотами. Имеет однородную многослойную структуру.

Гр (-): тонкая, пептидогликан однослоен, покрыт наружной трехслойной мембраной, в состав которой входят липопротеид и пластинчатая структура из липосахаридов и фосфолипидов. Не содержит тейхоевых кислот.

Функции:

- Придает клетке определенную форму
 - Защищает клетку от факторов внешней среды
 - Участвует в регуляции роста и деления клетки
 - Обеспечивает коммуникацию с внешней средой через каналы и поры (поступление продуктов питания, выделение продуктов обмена)
 - Имеет **рецепторы** для фагов, бактериоцинов и др.
- Протопласты** – полностью лишены клеточной стенки,
Сферопласты – частично лишены клеточной стенки

Основной компонент клеточной стенки – **пептидогликан** (муреин)

Пептидогликан – полимер, состоящий из повторяющихся дисахаридных групп, в образовании которых участвуют N-ацетилглюкозамин и N-ацетилмурамовая кислота.

Содержит родо- и видоспецифические антигены

Паттерн для толл-лайн рецепторов (TLR)

Тормозит фагоцитоз макрофагов

Запуск активации комплемента

ПЕПТИДОГЛИКАН

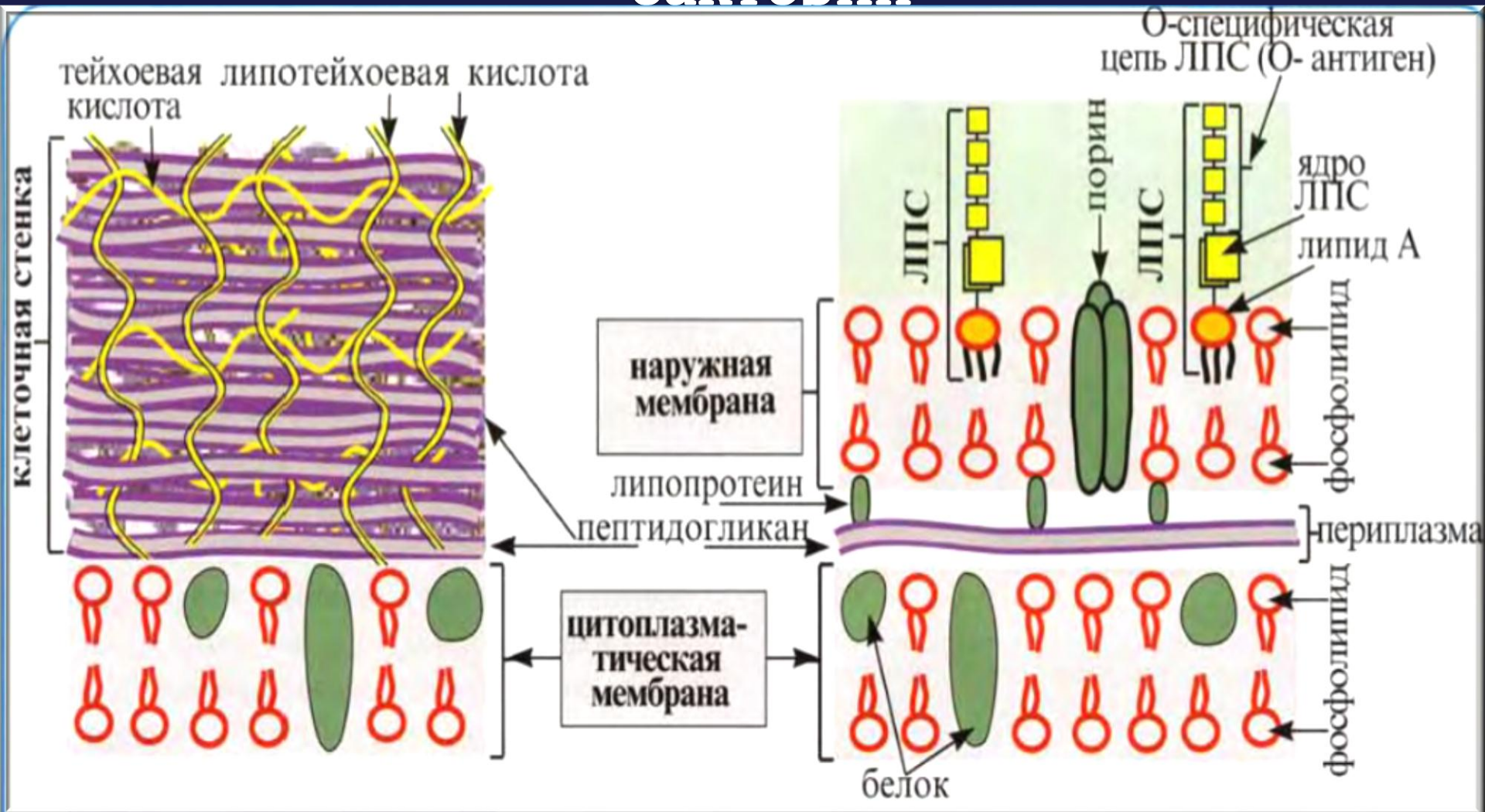
Угнетает миграцию макрофагов

Индукцирует гиперчувствительность замедленного типа

Противоопухолевое действие

Пирогенное действие на человека и животных

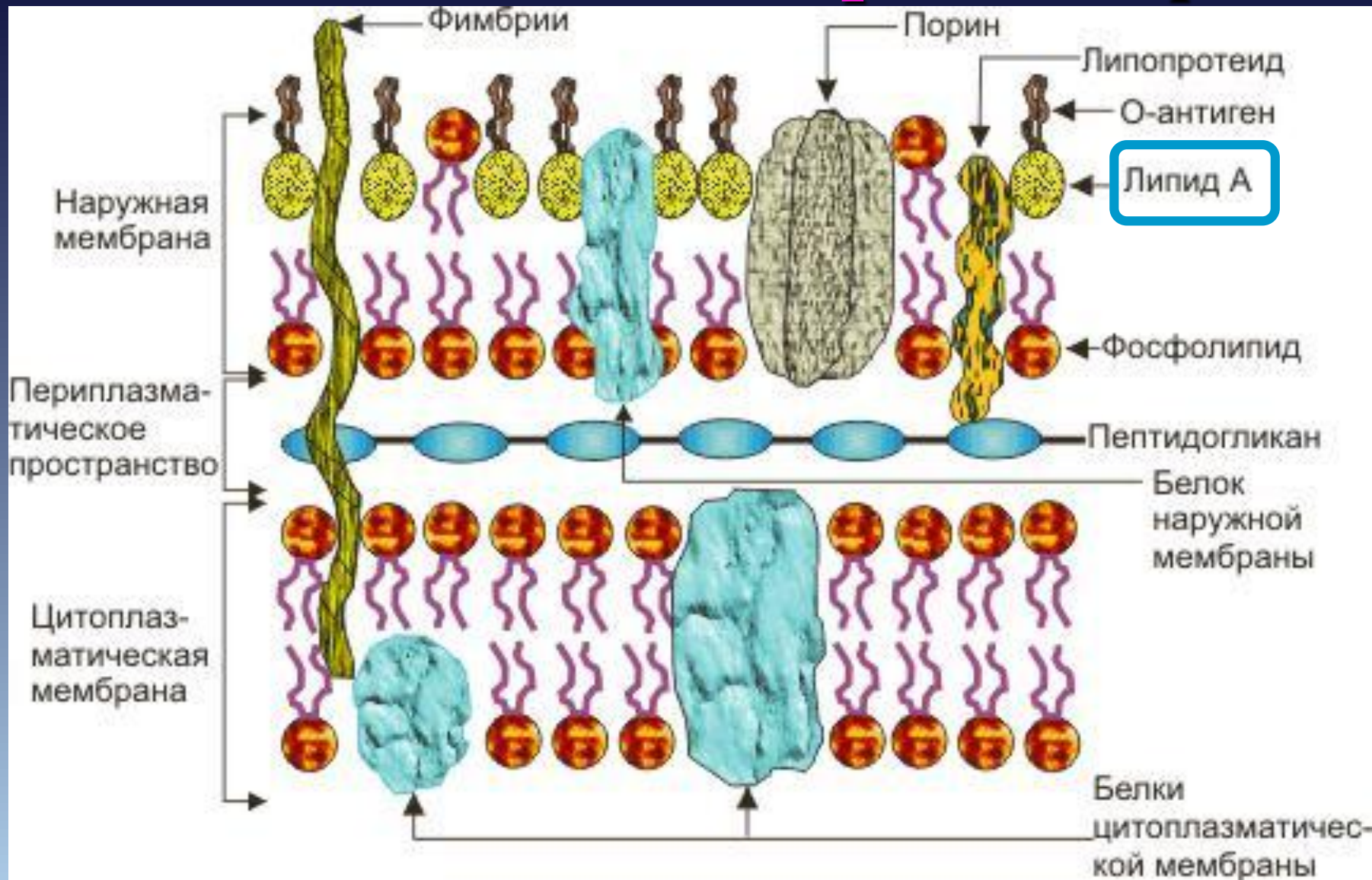
Схема строения оболочек **Гр+** и **Гр-** бактерий



Гр+

Гр-

Клеточная стенка Гр- бактерий

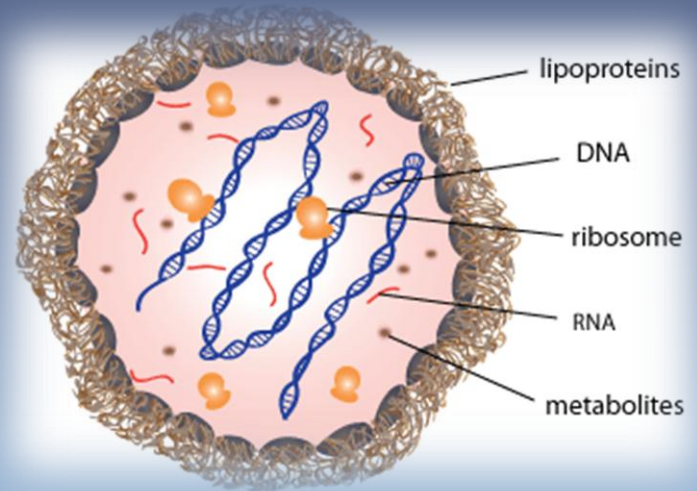
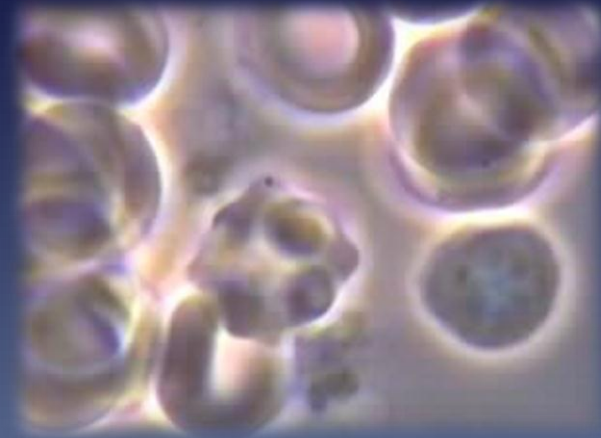
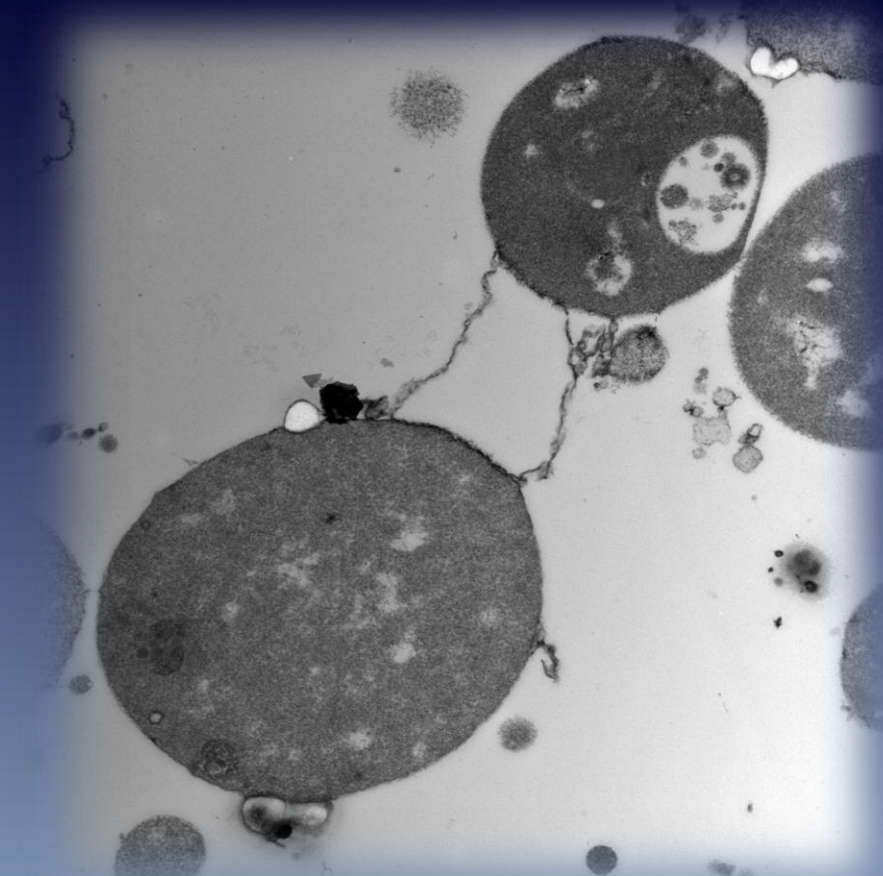




● ФУНКЦИИ ЛПС:

- определяет антигенную специфичность
- является одним из факторов патогенности (эндотоксин)
- запускает синтез около 20 различных биологически активных соединений
- диагностика различных штаммов.

L-формы бактерий и микоплазмы



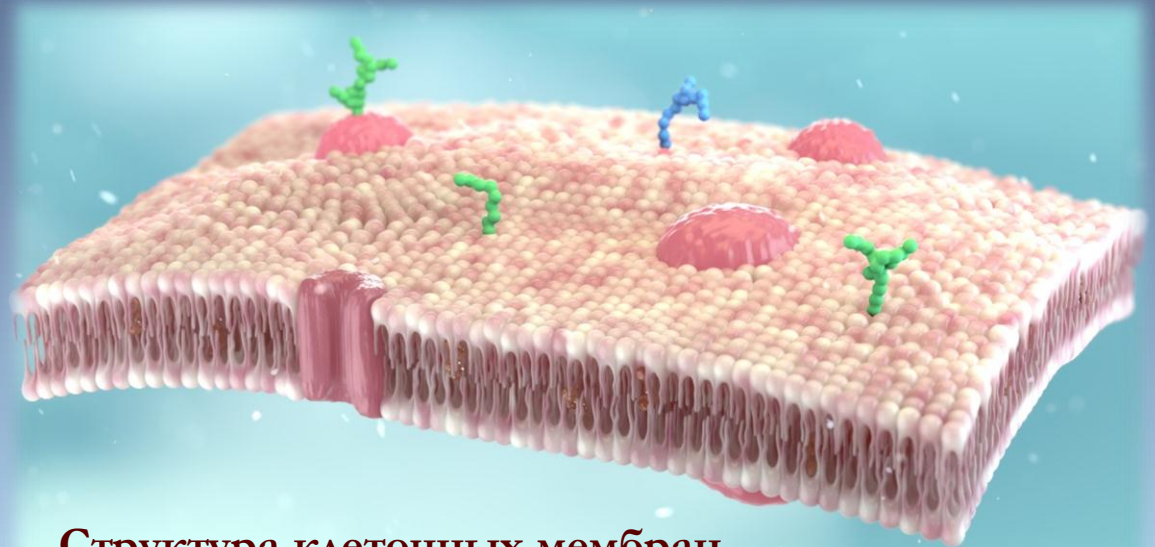
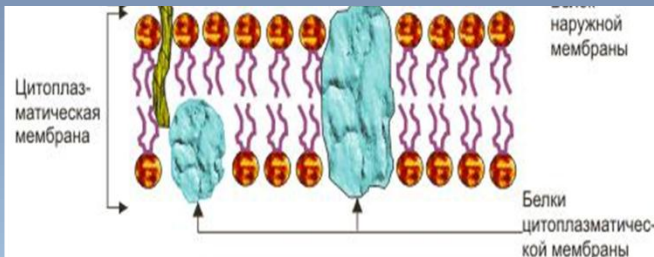
B. subtilis. масштаб - 500
нанометров. L-форма

Микоплазма

Цитоплазматическая мембрана (ЦПМ)

Состоит из двойного фосфолипидного слоя. В двойной слой липидов встроены полностью или частично интегральные белки мембран. Другие белки только прикреплены к поверхности ЦПМ.

- Осмотический барьер
- Активный транспорт веществ (с помощью пермеаз)
- Биохимический синтез
- Аккумуляция энергии
- С ней связаны жгутики и аппарат регуляции их движения
- Участие в процессах деления и репликации клеток (мезосомы)
- Участвует в регуляции репликации хромосом и плазмид



Структура клеточных мембран

Цитоплазма (Ц.)

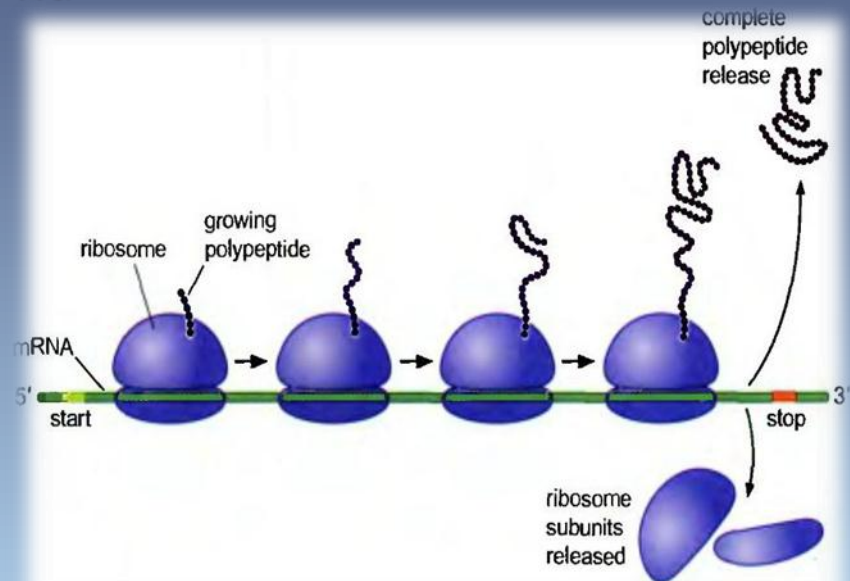
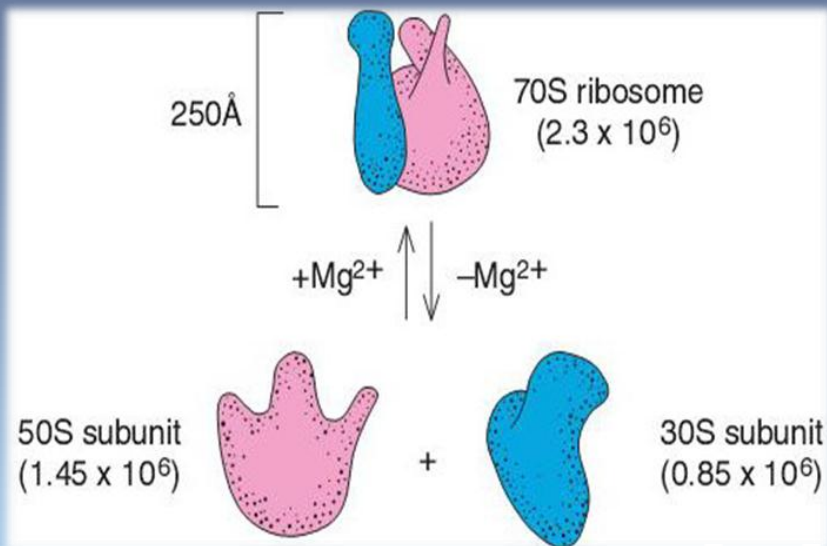
Ц. заполняет полость клетки, ограниченную ЦПМ. В ней нет эндоплазматического ретикулума и других цитоплазматических органелл, свойственных эукариотам; она неподвижна. **Ц. прокариотов** представляет собой сложную коллоидную систему, основные компоненты которой – белки, ферменты, т-РНК, ДНК, аминокислоты, вода и др.

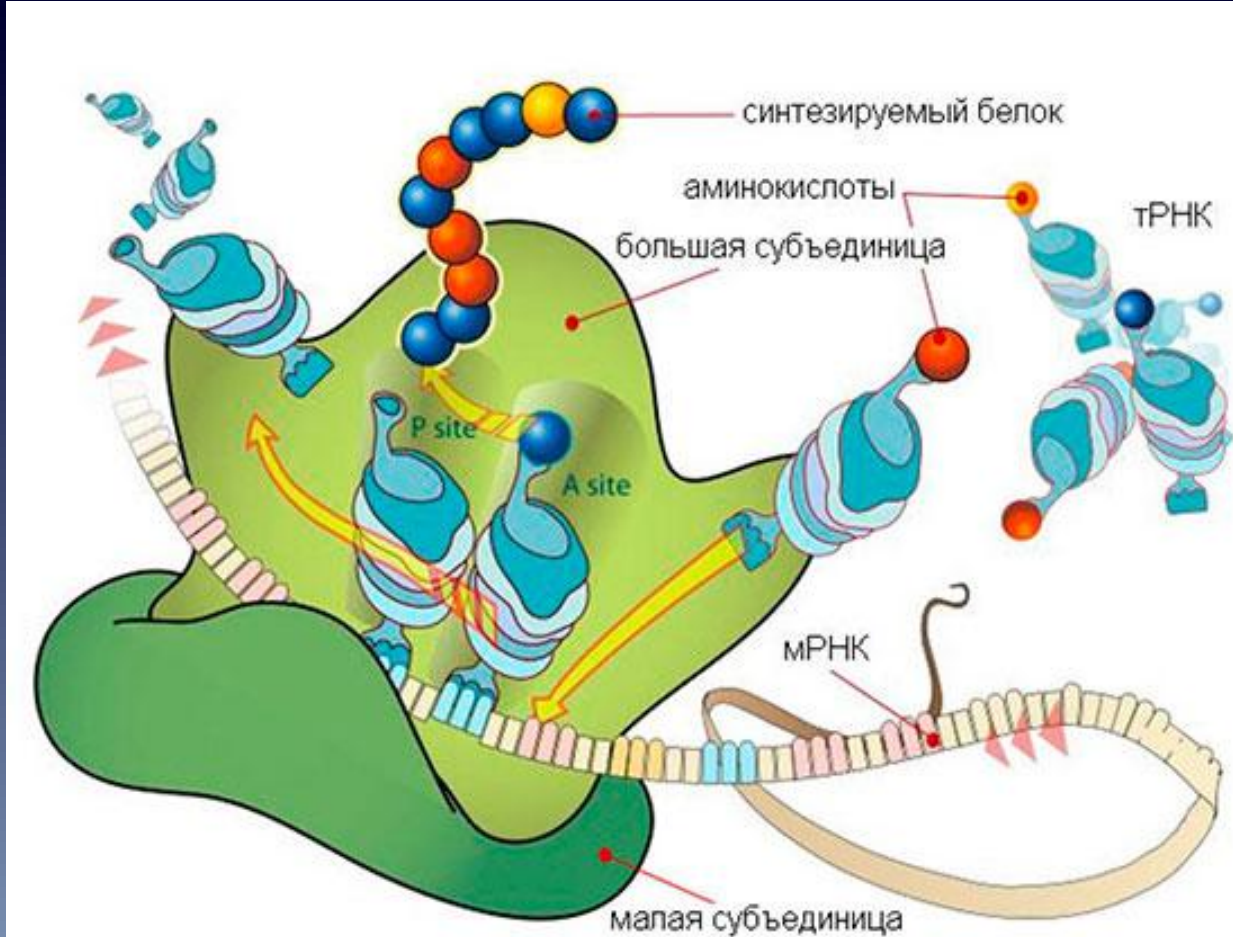
Ц. прокариот содержит органеллы: **рибосомы, мезосомы и нуклеоид**, а также различные непостоянные **включения** (гранулы гликогена – источник энергии, зерна волютина – у возбудителя дифтерии и др.). У спорообразующих бактерий именно в **Ц.** идет формирование спор.



Рибосомы прокариот

- Бактериальная клетка содержит от 5 до 50 тыс. рибосом. Различия между рибосомами бактерий (70S) и эукариот (80S) имеют решающее значение для борьбы с инфекционными болезнями, т.к. некоторые **антибиотики** (аминогликозиды, тетрациклины, макролиды, хлорамфеникол) **подавляют синтез белка**, протекающий именно на рибосомах 70S.



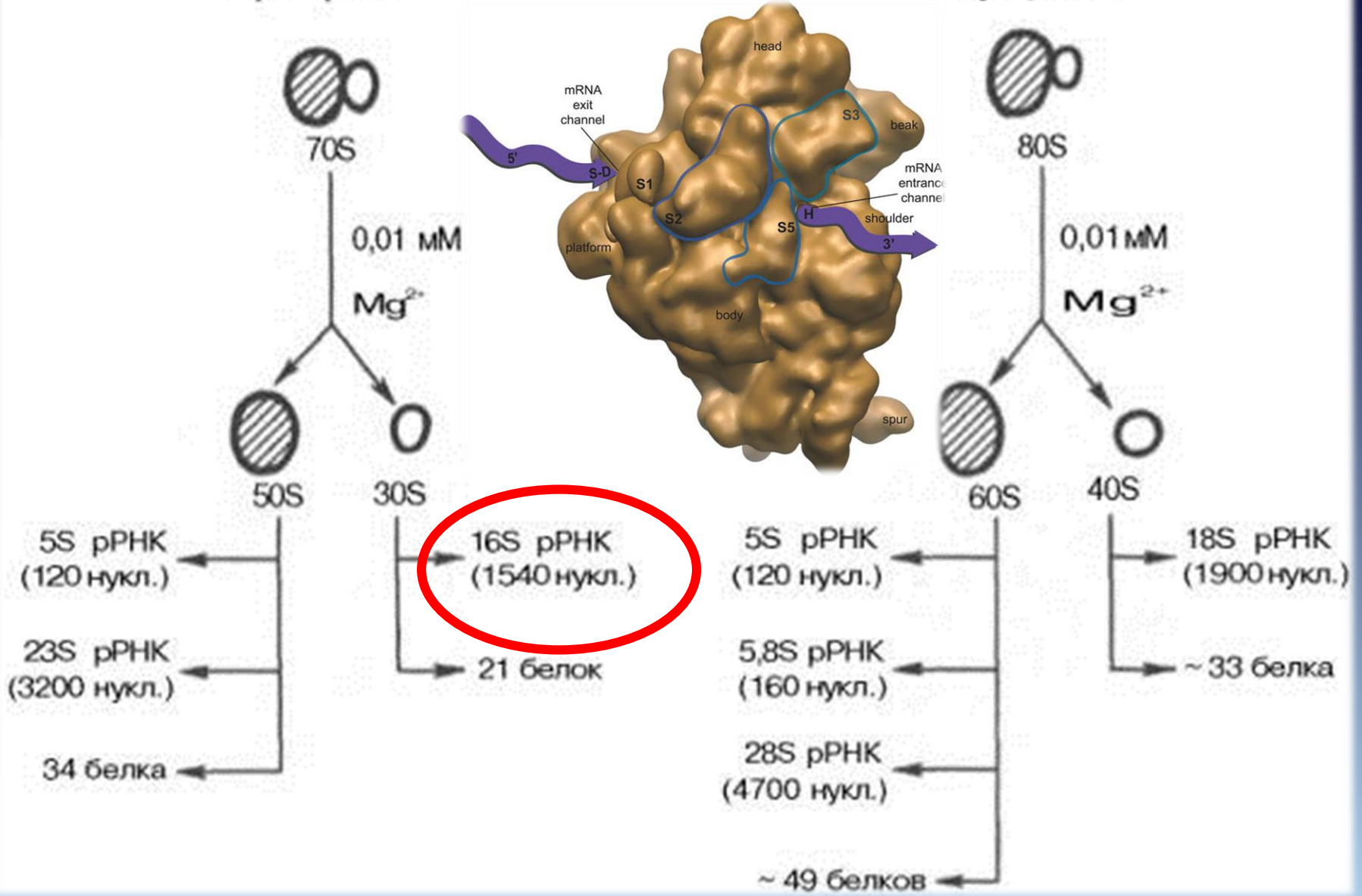


- Схематическое изображение рибосомы в процессе трансляции. Малая субъединица связывает мРНК, а большая субъединица направляет тРНК к матричной РНК, контролируя правильное спаривания соответствующих триплетов – кодонов и антикодонов;
- Рибосома синтезирует белок из аминокислот на основе генетической информации, предоставляемой матричной РНК.

Компоненты рибосом прокариот и эукариот

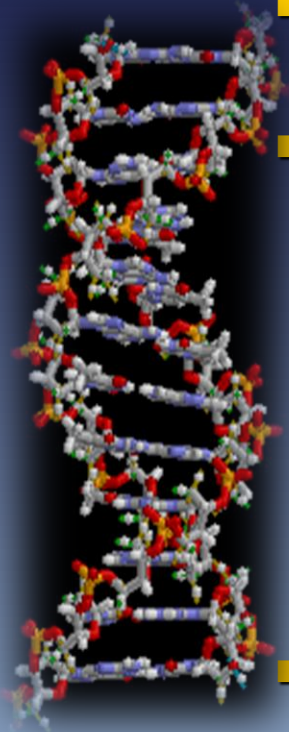
Прокариоты

Эукариоты



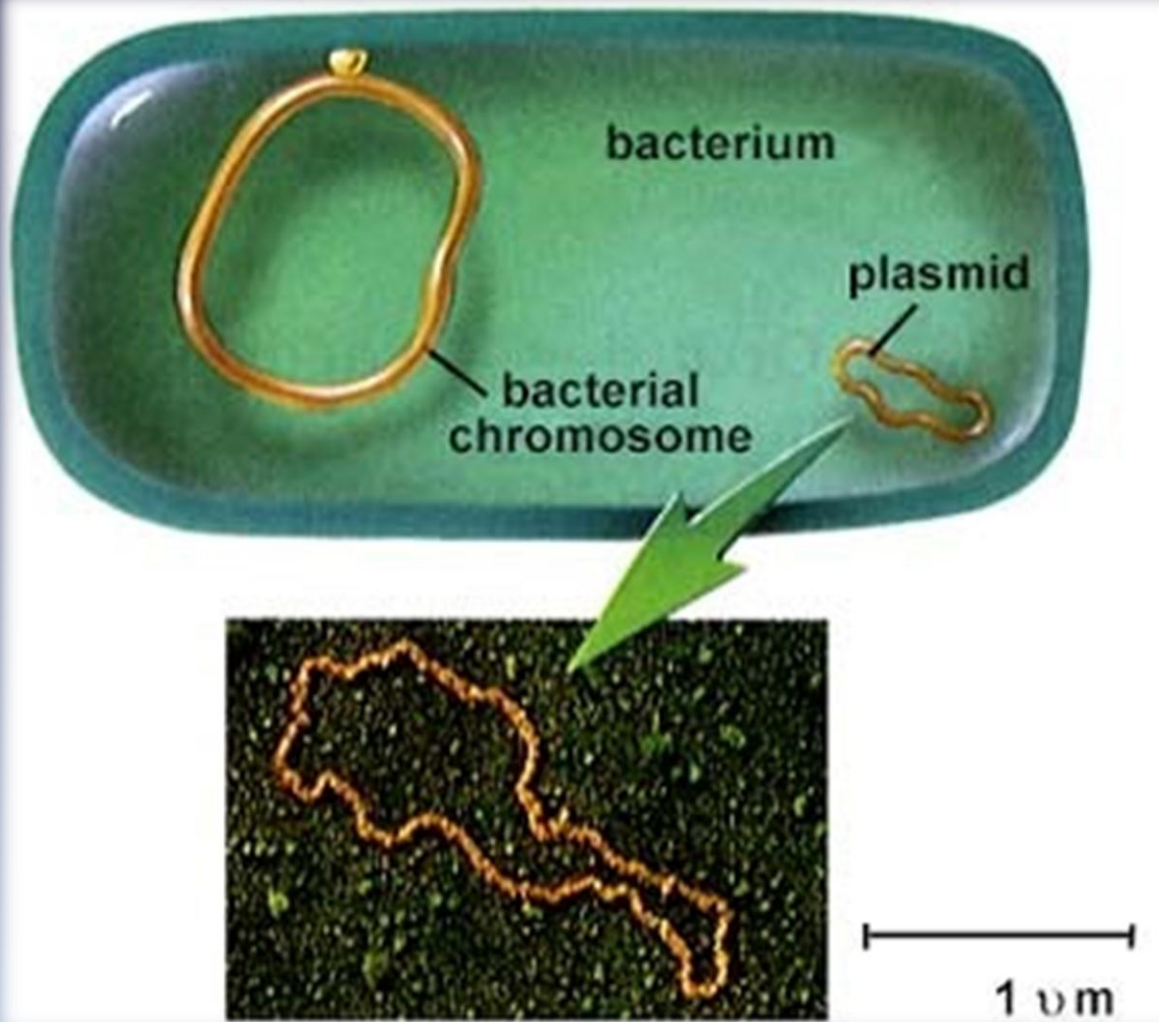
Нуклеоид прокариот

- Это эквивалент ядра в клетке эукариотов
- Нуклеоид бактерий не имеет собственной мембраны, т.е. не ограничен от цитоплазмы
- Один нуклеоид включает в себе макромолекулу ДНК в суперспирализованной форме, в ДНК содержится 1000-5000 генов (у эукариот 10-100 тыс. генов, у вирусов – 10-100 генов). Эта молекула в развернутом состоянии представляет собой замкнутую кольцевую структуру (редко линейная ДНК – боррелии) длиной немного более 1 мм, в которой закодирована вся генетическая информация клетки.
- Число нуклеоидов в клетке меняется в зависимости от фазы роста культуры (от 1 в фазе покоя до 4 и более – в логарифмической фазе).
- Плазмиды (кольцевые, реже линейные молекулы ДНК)



Геном *E. coli* после осмотического шока

Плазмиды



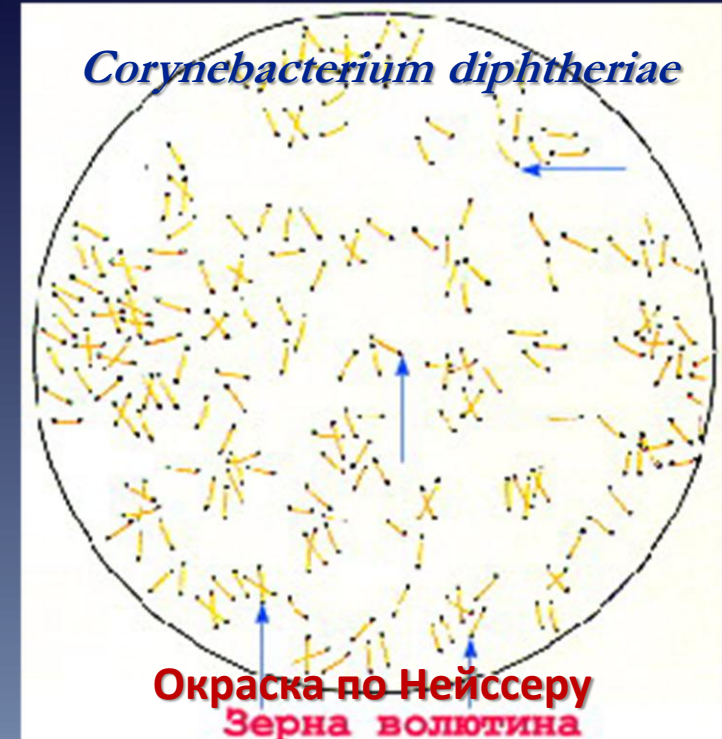
- Внехромосомные молекулы ДНК, кольцевой формы, способны к автономной репликации, кодируют различные генетические маркеры - детерминанты, позволяющие бактериям лучше выживать или успешнее конкурировать с другими, занимающими ту же экологическую нишу.

- Никогда не содержат информации о важных для жизни признаках;
- Основной механизм для **горизонтального переноса генов**

Включения



В цитоплазме имеются различные включения в виде гранул **гликогена**, **полисахаридов**, бета-оксималяной кислоты и полифосфатов (**волютин**). Они являются запасными веществами для питания и энергетических потребностей бактерий. Волютин обладает сродством к основным красителям и легко выявляется с помощью специальных методов окраски (например, по Нейссеру) в виде метахроматических гранул. Характерное расположение гранул **волютина** выявляется у дифтерийной палочки в виде интенсивно прокрашивающихся полюсов клетки.

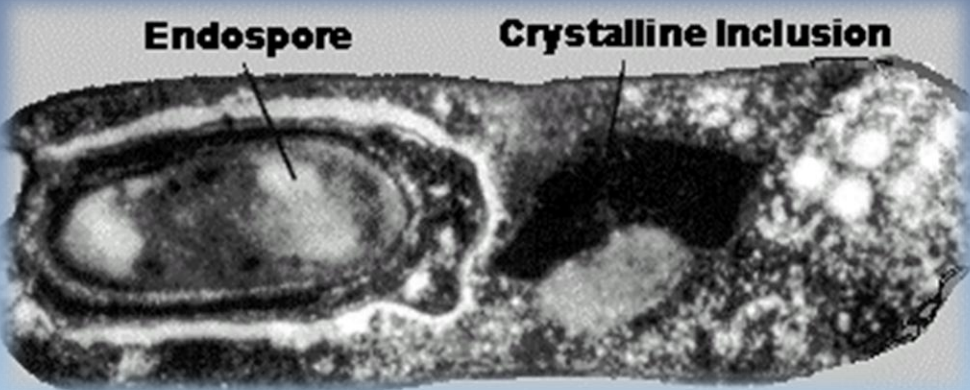


Формирование спор у бацилл



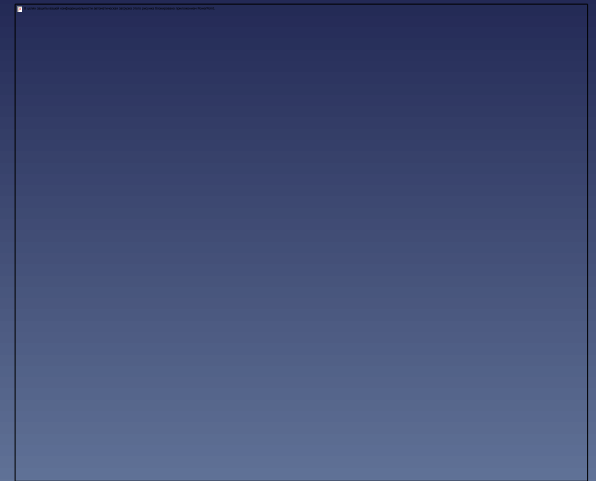
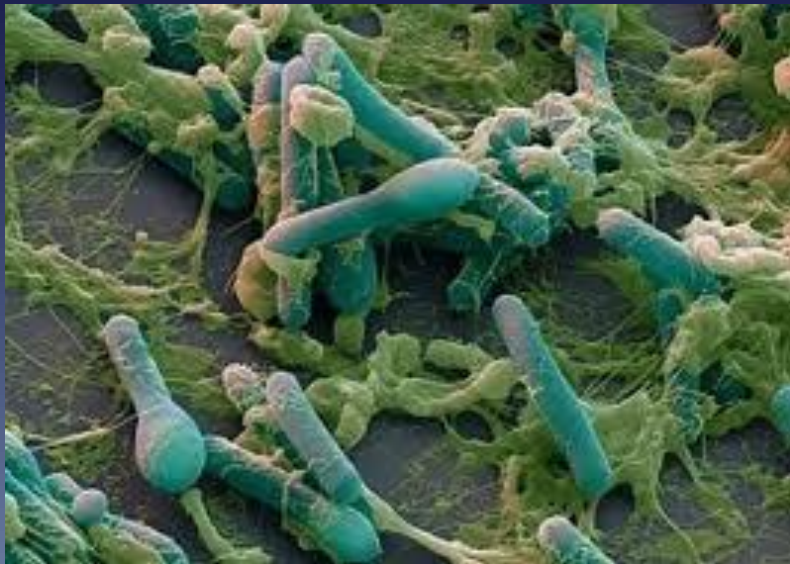
Bacillus subtilis
ATCC 6633

Споры бактерий рода *Vacillus* под электронным микроскопом.
В почве сохраняются на протяжении 200 лет



Споры *Vacillus*

Формирование спор у клостридий



Электроннограмма
ультратонкого среза
столбнячной палочки
(*Clostridium tetani*) в
процессе
спорообразования

Таксономия (систематика) бактерий

Научная классификация организмов, наука о разнообразии живых организмов, взаимоотношениях и родственных связях между группами (таксонами).

(от греч. *Taxis* – расположение; *nomos* – закон, порядок)

Цель – создание единой системы органического мира с учетом филогенетического родства.

Включает **три** раздела:

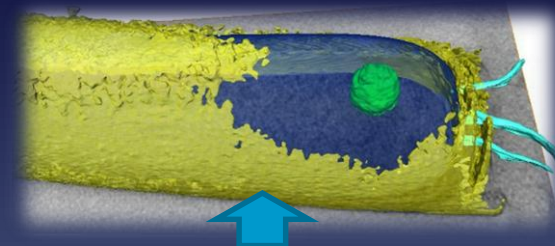
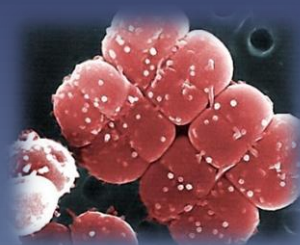
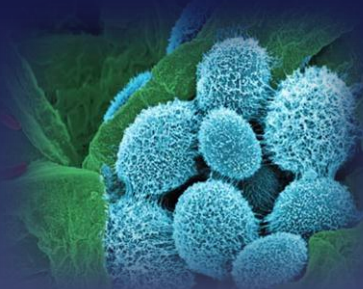
- **классификация** – ранжирование известных живых организмов по биологическим таксонам (**таксон** – единица классификации);
- **номенклатура** – порядок присвоения названий живым организмам (диктует правила наименования **таксонов**),
- **идентификация** – работа с неизвестными живыми организмами по установлению их принадлежности к тем или иным уже имеющимся таксонам.

Таксономия (систематика)

- ✿ Систематика бактерий начала активно развиваться только в конце XX в.
- ✿ Именно тогда были найдены **методы**, благодаря которым ученые смогли выявлять **основные принципы жизнедеятельности** многочисленных представителей царства бактерий.
- ✿ Ввиду того, что человек только начал изучение микроорганизмов новыми методами, **завершенной схемы прокариотического сообщества в микробиологии еще не существует.**
- ✿ Вообще сложно с уверенностью сказать, что когда-нибудь она будет составлена.

Признаки для классификации микроорганизмов по фенотипу (фенотипический метод)

- Морфологические
- Тинкториальные
- Культуральные
- Особенности питания
- Тип дыхания
- Биохимические
- Антигенные
- Чувствительность к бактериофагам
- Химические
- и др.



Метанообразующая архебактерия *Methanospirillum hungatei* и её энергетическая гранула



По определителю Берджи ранних редакций

Для идентификации и определения родства микроорганизмов ученые долгое время основывались лишь на внешнем сходстве бактерий

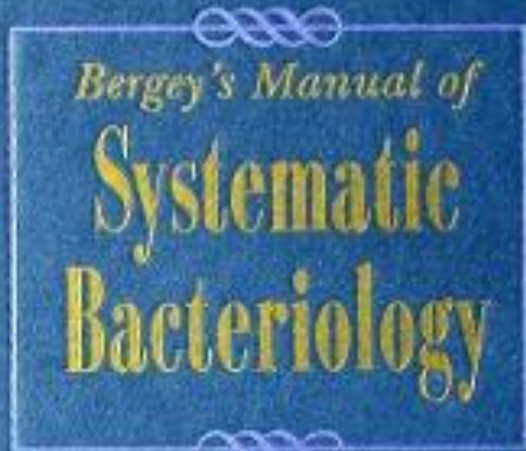
Современная систематика бактерий

- Конечной **целью таксономии** является построение такой системы, в основе которой лежали бы **филогенетические** (родственные) связи между прокариотными организмами
- В 60-х гг. XX в. было установлено, что все свойства организма определяются уникальными молекулами – **ДНК**, поэтому **бактерии могут быть классифицированы путем сравнения их геномов**.
- По такому признаку, как генетический материал (**ДНК, РНК**), оказалось возможным на основании выявления степени сходства делать **вывод о степени родства** между организмами.
- Основными методами современной **таксономии** являются: **генотипический, фенотипический и филогенетический**.

Таксономия бактерий

Определитель Берджи

- Создание «*Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*» соответствует второму направлению в систематизации микроорганизмов – построению системы их филогенетического родства.



Bergey's Manual of
**Systematic
Bacteriology**

SECOND EDITION

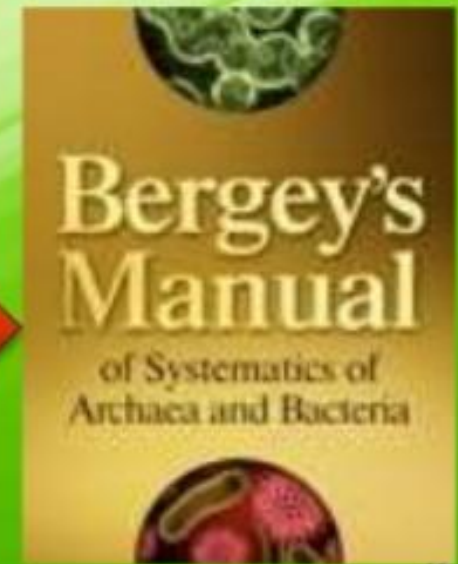
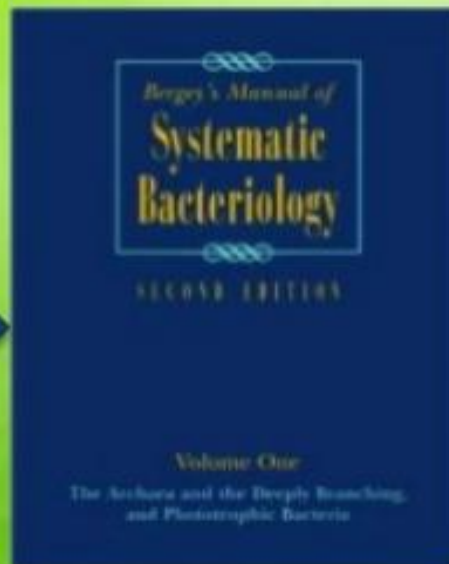
Volume Four

*The Bacteroidetes, Spirochaetes,
Tenericutes (Mollicutes), Acidobacteria,
Fibrobacteres, Fusobacteria,
Dictyoglomi, Gemmatimonadetes,
Lentisphaerae, Verrucomicrobia, Chlamydiae,
and Planctomyces*

Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria

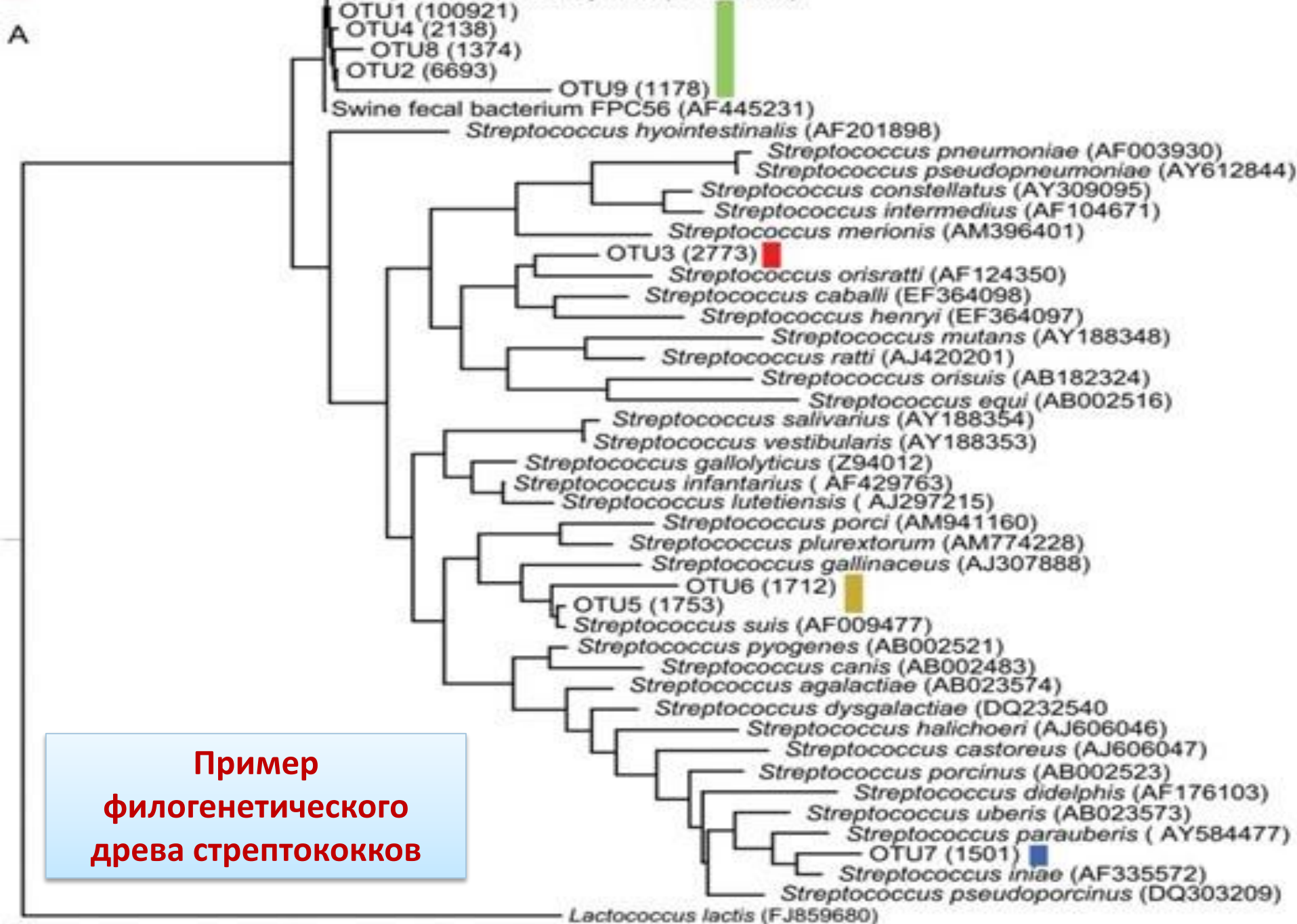
Published by John Wiley & Sons, Inc. in Association with Bergey's Manual Trust

BERGEY'S MANUAL



Систематика микроорганизмов

- Bergey's Manual of Systematic Bacteriology (2001) отражает филогенетическое родство.
- Микроорганизмы систематизированы по:
 - **фенотипическим** признакам;
 - **генотипическим** признакам;
 - **филогенетическим** признакам (секвенирование 16S и 23S рРНК, анализ рРНК-нуклеотидных последовательностей).



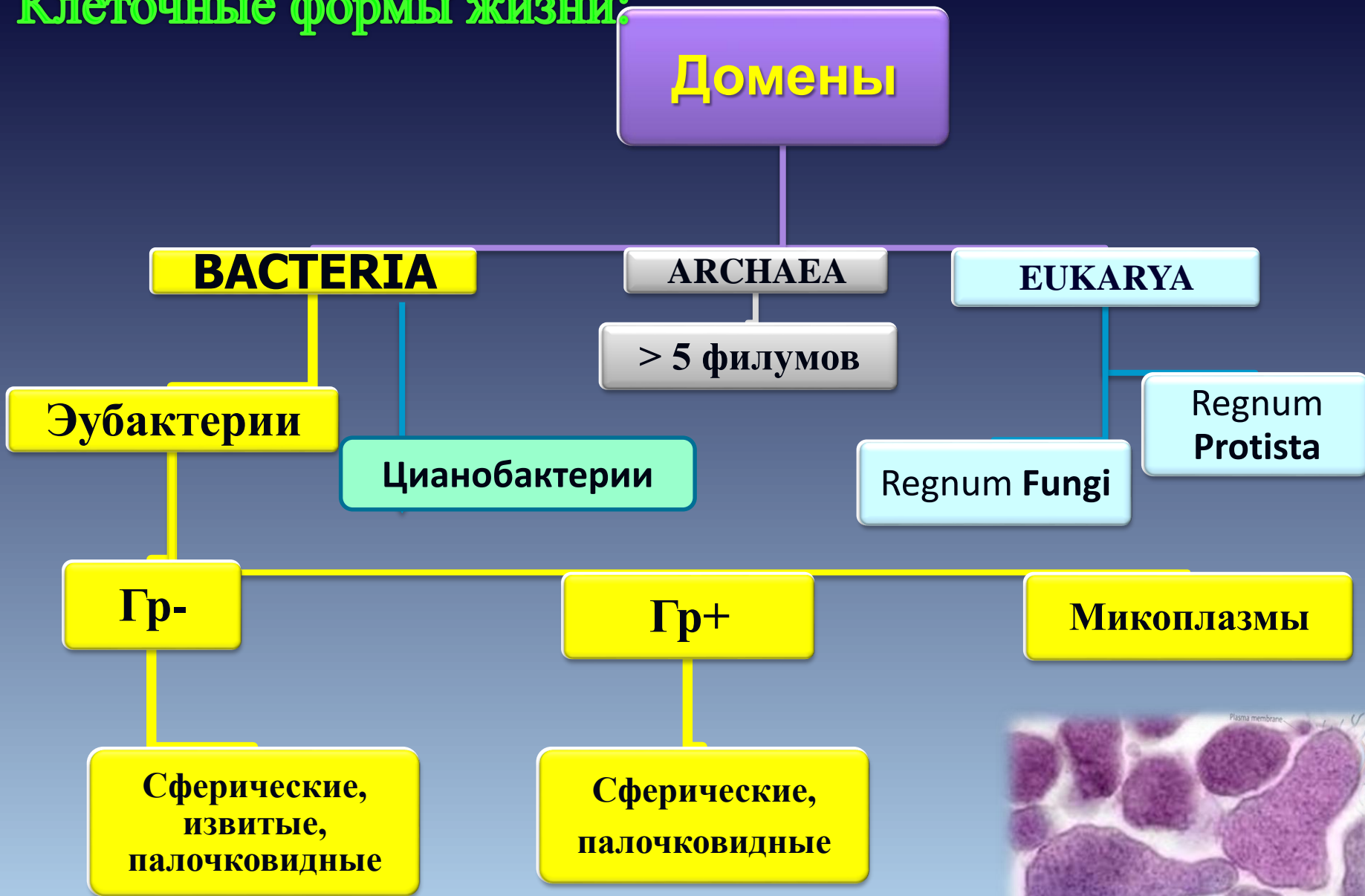
**Пример
 филогенетического
 древа стрептококков**

Таксономия (систематика)

- На основе комплекса фенотипических, генотипических и филогенетических признаков микроорганизмы подразделены на доклеточные формы (вирусы – *Regnum Vira*) и клеточные формы, которые включают три домена:
- первый (1) домен «**Archaea**» – предковые прокариоты или предковые бактерии; более 5 филумов;
- второй (2) домен «**Bacteria**» – истинные прокариоты или истинные бактерии;
- третий (3) домен «**Eucarya**» – эукариотные клетки (*Regnum Fungi* и *Regnum Protista*). Высшие животные, растения, грибы – это уже не микробиология (другая систематика).
- Домены делятся на филии (или типы), которые в свою очередь делятся на классы и т.д. Так в домен «Bacteria» входит 23 филии, среди которых 6 (BXII, BXII, BIV, BVI, BVII, BXX) имеют медицинское значение.

Доклеточные формы : царство *Vira*, вириды и прионы

Клеточные формы жизни:



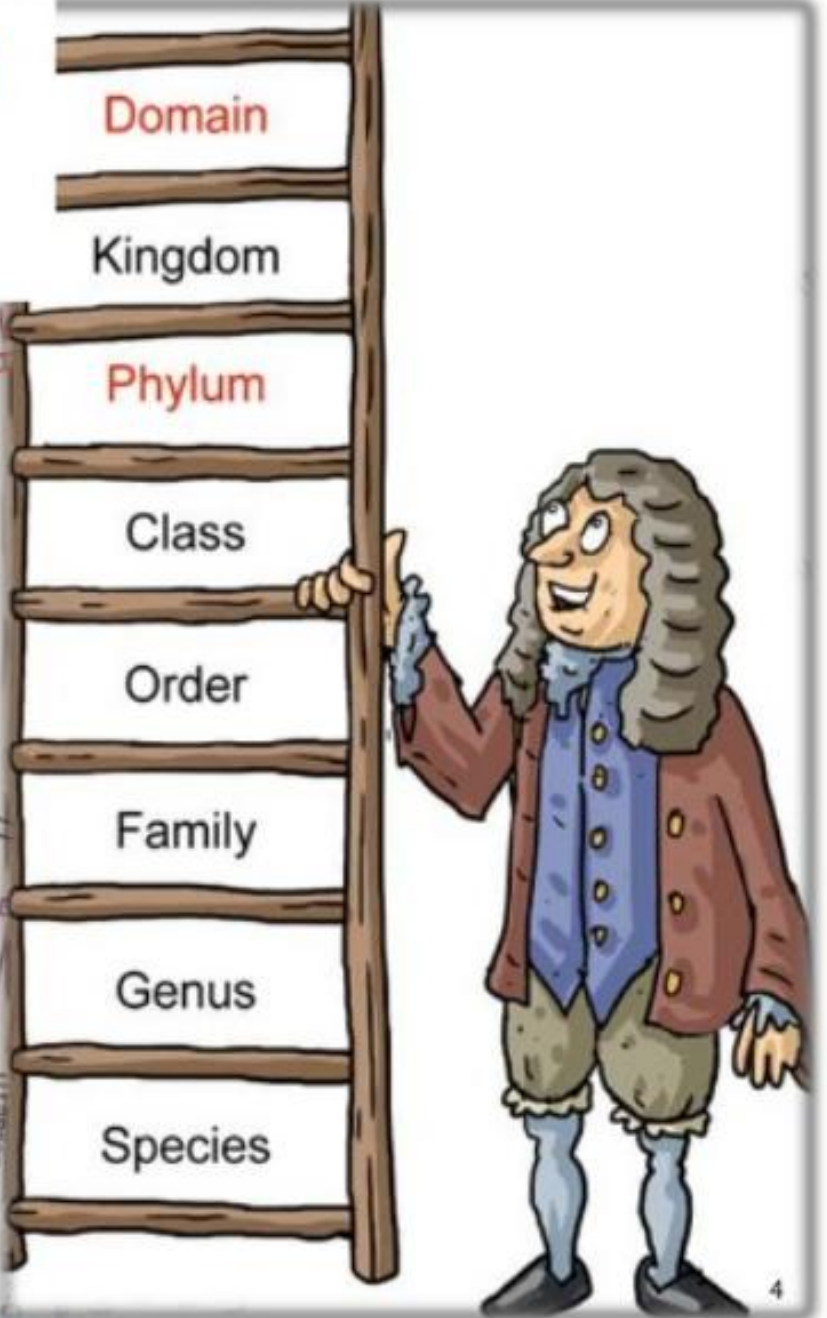
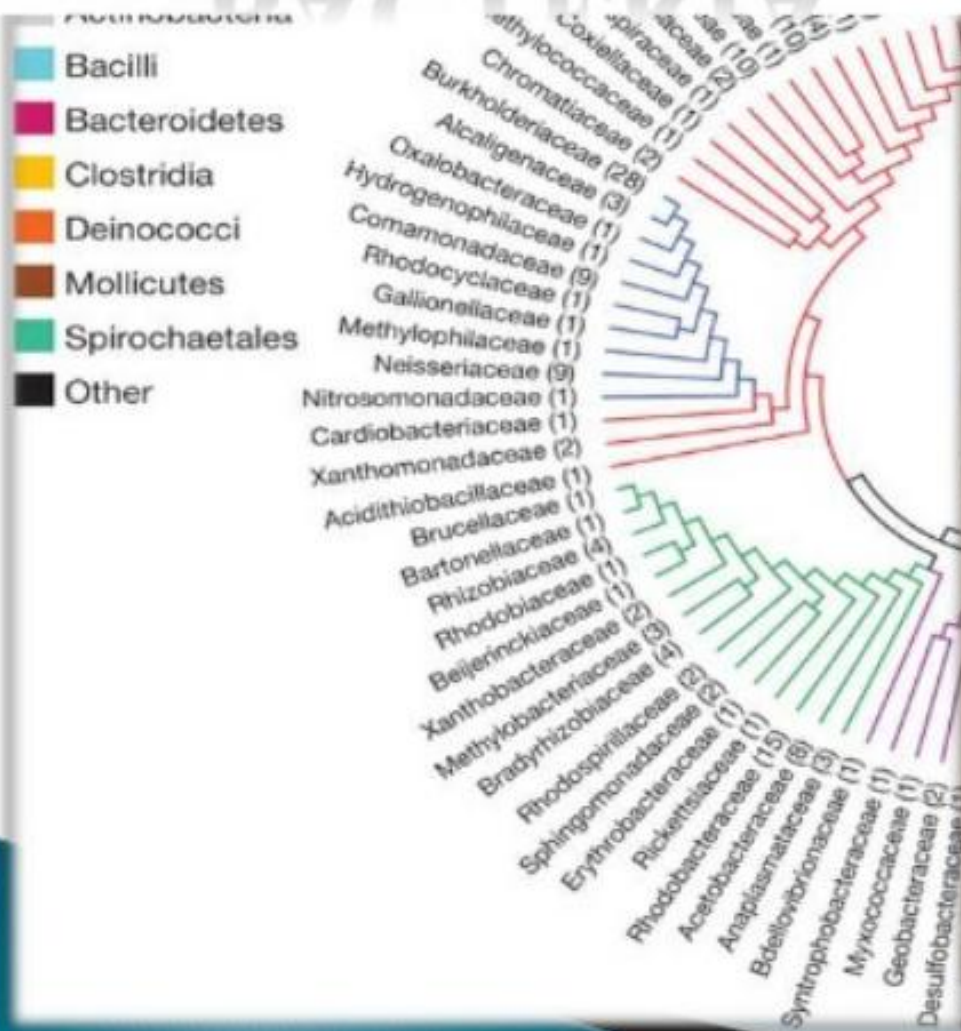
Таксономические категории:

В классификации Bergey используются следующие группы или уровни (**таксоны**):

- **домен** – *Domen*; не всегда – **царство** – лат. *Regnum*;
- **филум** – *Phylum* (лат. – тип). В классификации **прокариотов** для обозначения этого таксона используется термин «филум, филии», а для **эукариотов** – «тип»;
- **класс** – *Class*;
- **порядок** – *Ordo*;
- **семейство** – *Familia*;
- **род** – *Genus*;
- **вид** – *Species*.

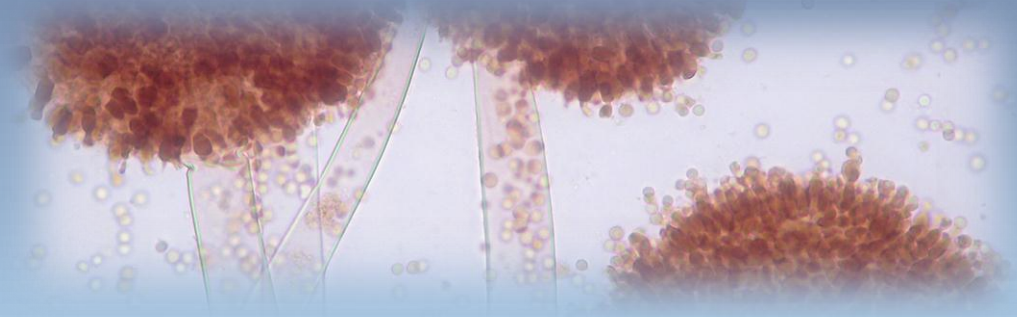


TAXONOMY OF BACTERIA



Таксономия

- **Вид** (основная таксономическая единица) – это эволюционно сложившаяся совокупность особей, имеющих единый тип организации, который в стандартных условиях проявляется сходными фенотипическими признаками: морфологическими, физиологическими, биохимическими и др.
- Согласно **бинарной номенклатуре** название вида микроорганизма состоит из **родового** и **видового** названия.
- При этом название рода пишется с заглавной буквы, а вида – со строчной: *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Escherichia coli* (*E. coli*).



Внутри вида микроорганизмы могут отличаться по разным признакам. Выделяют различные **внутривидовые разновидности**:

- **Штамм** – популяция бактерий, выделенных из какого-либо исследуемого материала;
- **Клон** – популяция бактерий, полученная из одной бактериальной клетки;
- **Чистая культура**. Совокупность однородных микроорганизмов, выделенных на питательной среде, характеризующихся сходными морфологическими, тинкториальными, культуральными, биохимическими и антигенными свойствами
- **Подвид, вариант (-вар)** – популяция бактерий, отличающихся от основного вида по какому-либо признаку или признакам:
 - морфовары** – по морфологическим свойствам;
 - хемовары** – по биохимическим свойствам;
 - серовары** – по антигенной структуре;
 - фаговары** – по чувствительности к бактериофагам;
 - колициновары** – по продукции бактериоцинов;
 - резистенсвары** – по устойчивости к а/б;
 - геновары** – по строению части генома;
 - биовары** – по нескольким биологическим свойствам.

Номенклатура микроорганизмов

Названия таксонов пишутся в соответствии с **Международным Кодексом номенклатуры**:

- латинскими буквами;
- таксоны всех рангов выше вида имеют стандартные окончания: **порядок** — **ales**, напр. *Bacteriales*; **семейство** — **aceae**, напр, *Enterobacteriaceae*; **род** - **um, us**, например *Bacillus, Bacterium*;
- для обозначения вида применяют **бинарную номенклатуру**: первое слово обозначает **род** (с большой буквы), второе — **видовой** эпитет (с маленькой). Например, *Mycobacterium tuberculosis* (туберкулезная палочка). Часто родовое название сокращают после первого упоминания, например, *B. subtilis*.
- Если у микроорганизмов обнаружены отклонения от типичных видовых свойств, то такие культуры рассматриваются как **подвиды**. В этом случае к названию вида добавляют название подвида через слово **subspecies**, например, *Lactococcus lactis subsp. cremoris* (лактококк молочный подвид сливочный).
- Далее может находиться название конкретного штамма

Принадлежность выделенной бактериальной культуры к определенному виду – **идентификация** – проводится по следующим показателям:

- **фенотипические** – окраска по Граму, морфологические и культуральные свойства, биохимические реакции, хромогенные ферментативные реакции, использование источников углерода, антибиотикограмма, фаготипирование, антигенные свойства, химический состав клеточной стенки (пептидогликан, миколовая кислота и др.), а также белков и липидов клетки;
- **генотипические** – соотношение (А+Т):(G+C), гомология ДНК-ДНК, плазмидный анализ, и др.
- **филогенетические** – для филогенетической классификации бактерий информативным показателем является анализ рРНК-последовательности, т.к. рибосомальная РНК более консервативна, она в процессе эволюции изменяется менее значительно, чем ДНК микроорганизмов.

Молекулярно-генетическая классификация

- Предполагает анализ строения молекул важных биополимеров.
- Такая молекула должна быть консервативной и значимой для основополагающего жизненного процесса.
- Профессор Иллинойского университета **Карл Вёзе** предложил взять за основу прокариотную **16S рибосомальную РНК (18S рРНК — для эукариотических организмов)**.
- Эта молекула входит в состав рибосом, которые у всех живых существ отвечают за важнейший жизненный процесс — синтез белка.
- Аппарат синтеза белка **незначительно меняется во времени**, так как любое сколько-нибудь существенное нарушение может привести к гибели клетки.
- Поэтому в молекулах рРНК разных организмов **большинство нуклеотидов неизменно**, а изменяющаяся в процессе эволюции часть **уникальна** для конкретного организма.

Молекулярно-генетические методы

- Филогенетические методы (от греч. phylon – род, племя и genesis - происхождение, возникновение) позволяют проследить **процесс исторического развития** микроорганизмов как в целом, так и их отдельных таксономических групп: видов, подвидов, родов, семейств, порядков, подклассов, классов, царств и доменов.
- Филогенетические связи между микроорганизмами изучаются методами геномной дактилоскопии (**ДНК- или РНК гомологии**, нуклеотидные последовательности генов **16S р-РНК**), молекулярной биологии, компьютерной идентификации.
- На основании полученных данных строятся **филогенетические деревья**, которые отражают эволюционные взаимоотношения между микроорганизмами.
- Создаваемые филогенетические деревья **не могут быть** использованы для построения **иерархической классификации** микроорганизмов и не заменяют собою систематику. Они являются одним из ее элементов.

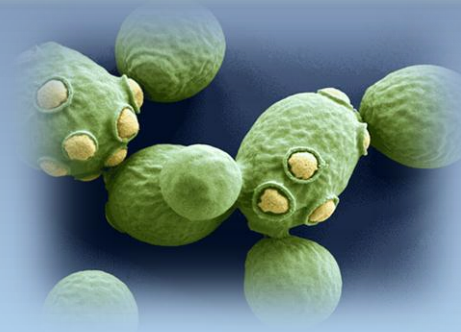
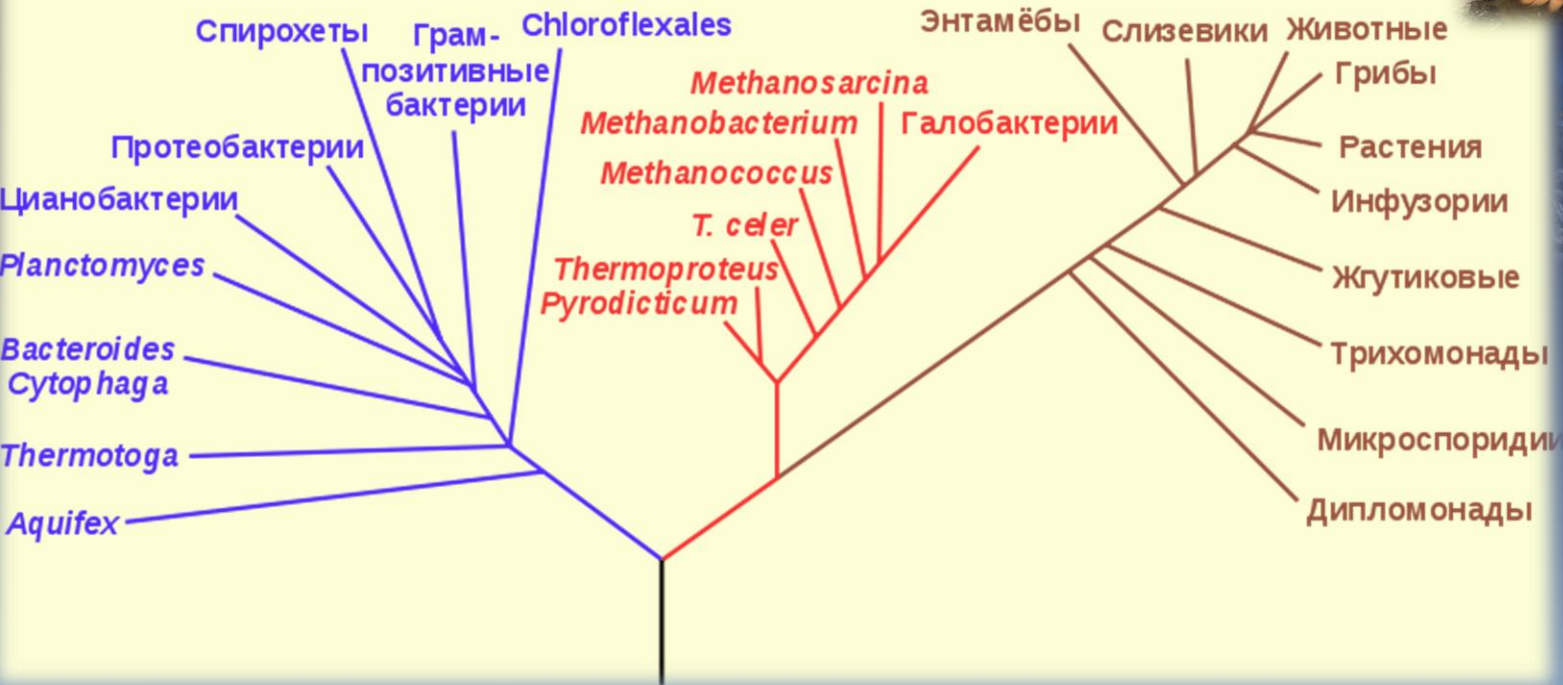
Филогения живых организмов

Археи

Бактерии

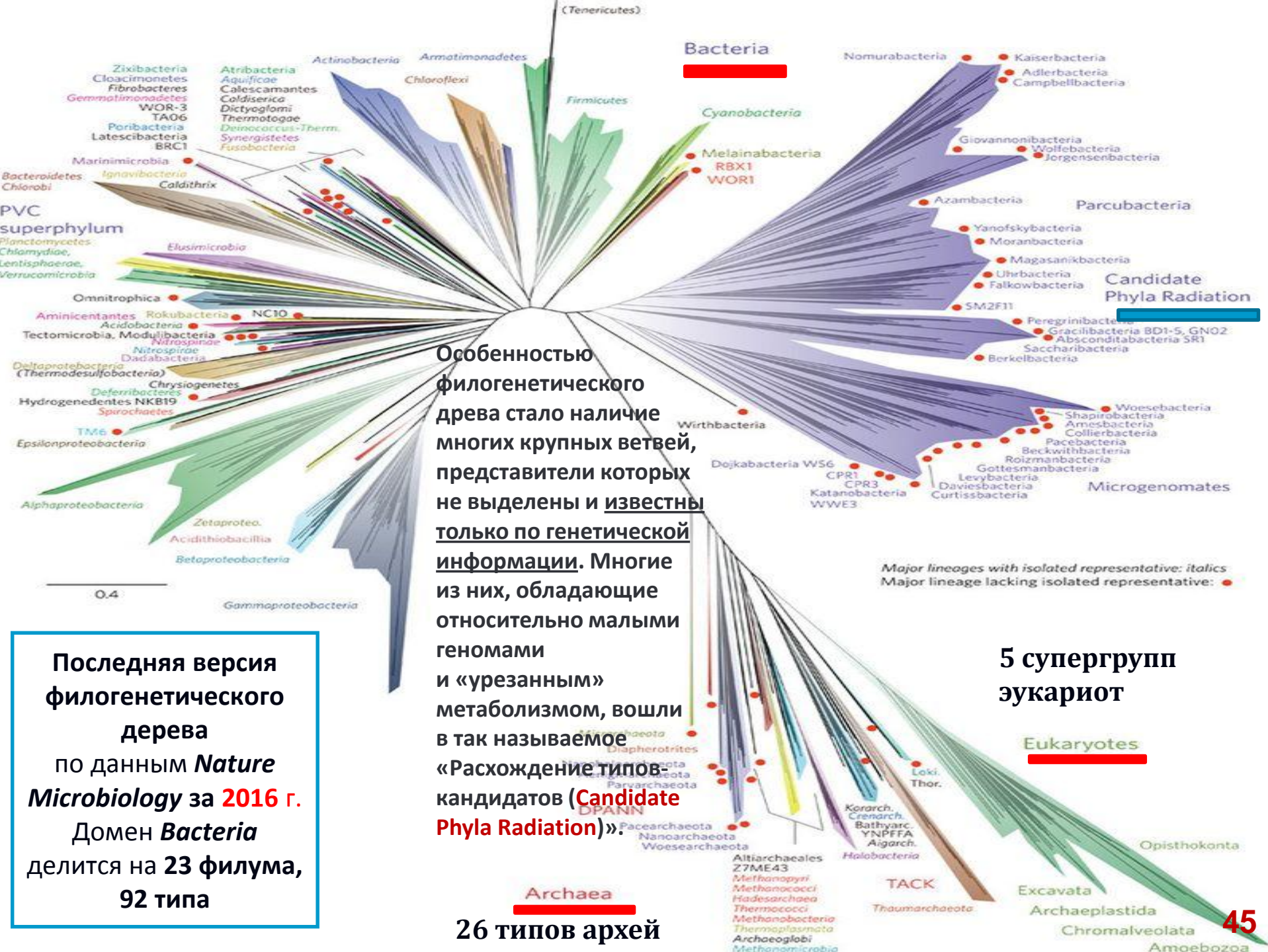
Археи

Эукариоты



Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. В эукариотической клетке дрожжей имеется **6704** гена, из них **2460** имеют прокариотическое происхождение.

Среди «прокариотных» генов **952** — зубактериальные гомологи, а **216** — архейные гомологи.





- Изначально архей считали экстремофилами, живущими в суровых условиях — горячих источниках, солёных озёрах, однако потом их нашли в различных местах, включая почву, моря, болота, толстую кишку человека
- Архей особенно много в океанах, и, возможно, **планктонные археи** — самая многочисленная группа ныне живущих организмов.
- Считают, что археи являются реликтом и самыми архаичными микроорганизмами — появились, когда молодая Земля была ещё вулканически активной — ядовитый ад (а не «тихий» пруд по Дарвину)
- **Ферменты** экстремофильных микроорганизмов, сохраняющие активность при высоких температурах и в контакте с органическими растворителями, находят своё применение в биотехнологии.

Характеристика доменов *Bacteria* и *Archaea*

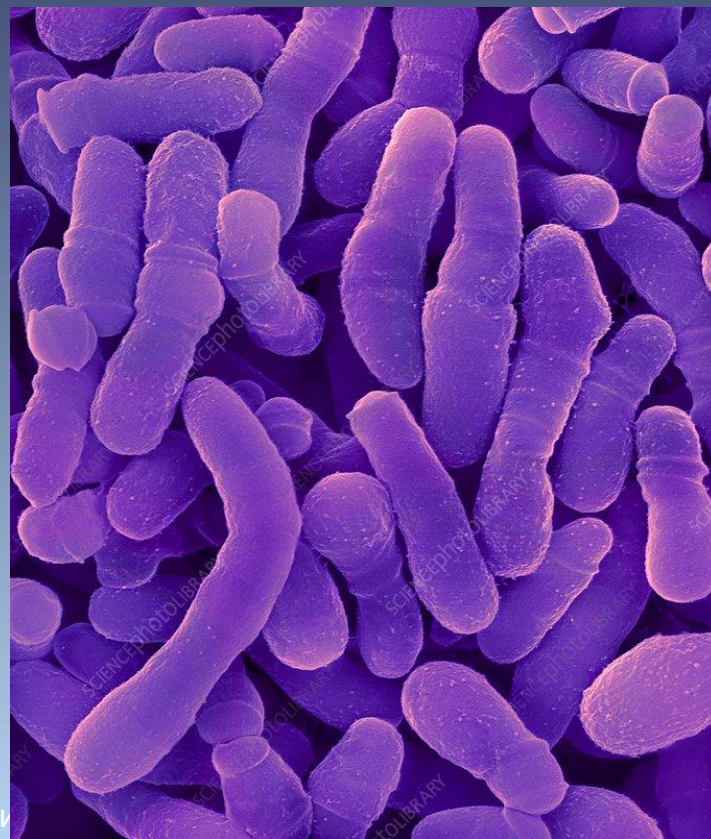
Домен <i>Bacteria</i> (эубактерии)	Домен <i>Archaea</i> (археи)
<ol style="list-style-type: none">1. Бактерии с тонкой клеточной стенкой, грамотрицательные (кокки, спирохеты, риккетсии)2. Бактерии с толстой клеточной стенкой, грамположительные (кокки, актиномицеты, коринебактерии, микобактерии, бифидобактерии)3. Бактерии без клеточной стенки (класс Mollicutes – микоплазмы)	<p>Древняя форма жизни. Имеют свою независимую эволюционную историю и характеризуются многими биохимическими особенностями, отличающими их от других форм жизни. Археи не содержат пептидогликан в клеточной стенке, коренным образом отличаются строением плазматических мембран.</p> <p>Они имеют особые рибосомы и рибосомные РНК, нуклеоид. Не формируют спор. Среди них нет возбудителей инфекций.</p>

- Можно сказать, что **в настоящее время мы находимся только у истоков создания единой концепции эволюции и систематики бактерий**

A vibrant, high-angle photograph of a waterfall in a dense forest. The water is white and frothy as it falls over dark, moss-covered rocks. The surrounding trees are lush green, and sunlight filters through the canopy, creating a bright and natural atmosphere. The text is overlaid on a semi-transparent blue rectangular background in the upper half of the image.

**Благодарю за
внимание**

■ Коринебактерии дифтерии



Таксономическое положение риккетсий и близкородственных к ним микроорганизмов, патогенных для человека (с 2000 г.)

