

22 ДЕКАБРЯ 16:00
КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛ ИЦИГ

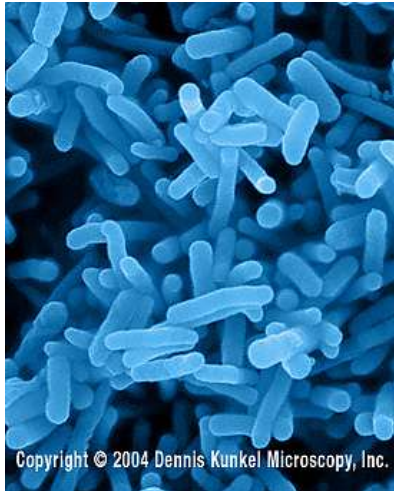
ЖИЗНЬ БЕЗ ЯДРА. ЕСТЕСТВЕННАЯ ИСТОРИЯ ПРОКАРИОТ.

ПУБЛИЧНАЯ ЛЕКЦИЯ

Алла Брянская



Прокариоты – это организмы, в клетках которых отсутствует оформленное ядро.

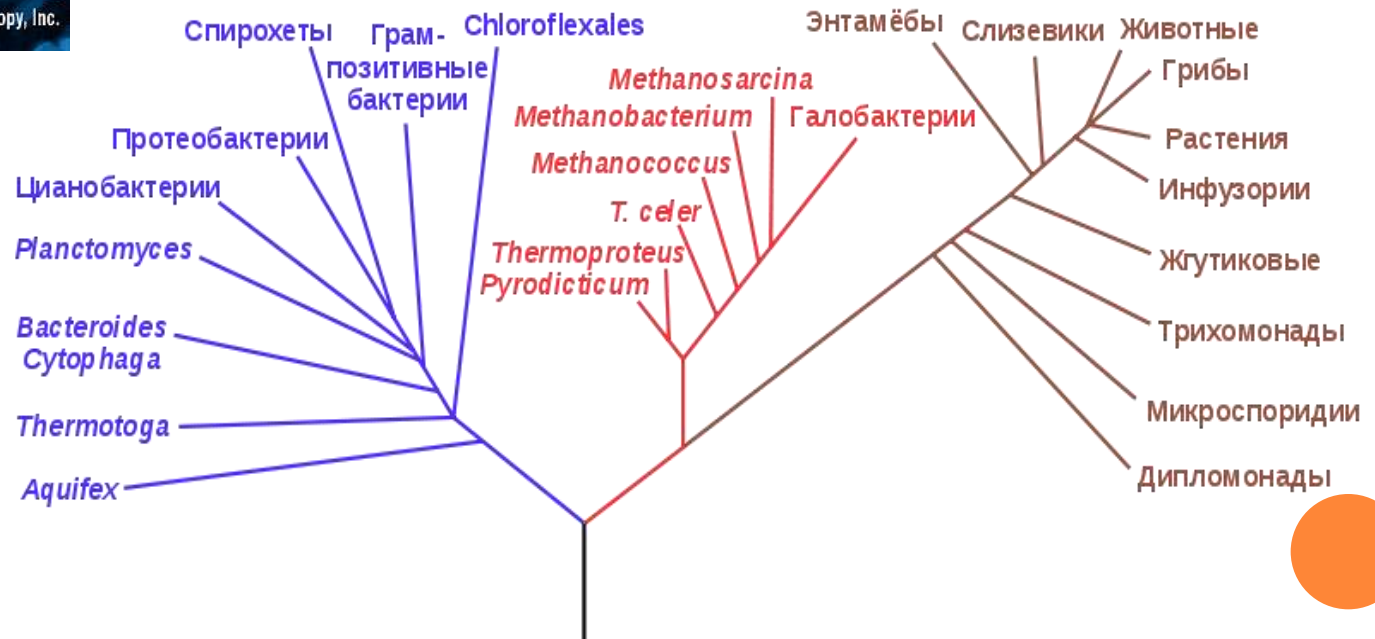


Филогения живых организмов

Бактерии

Археи

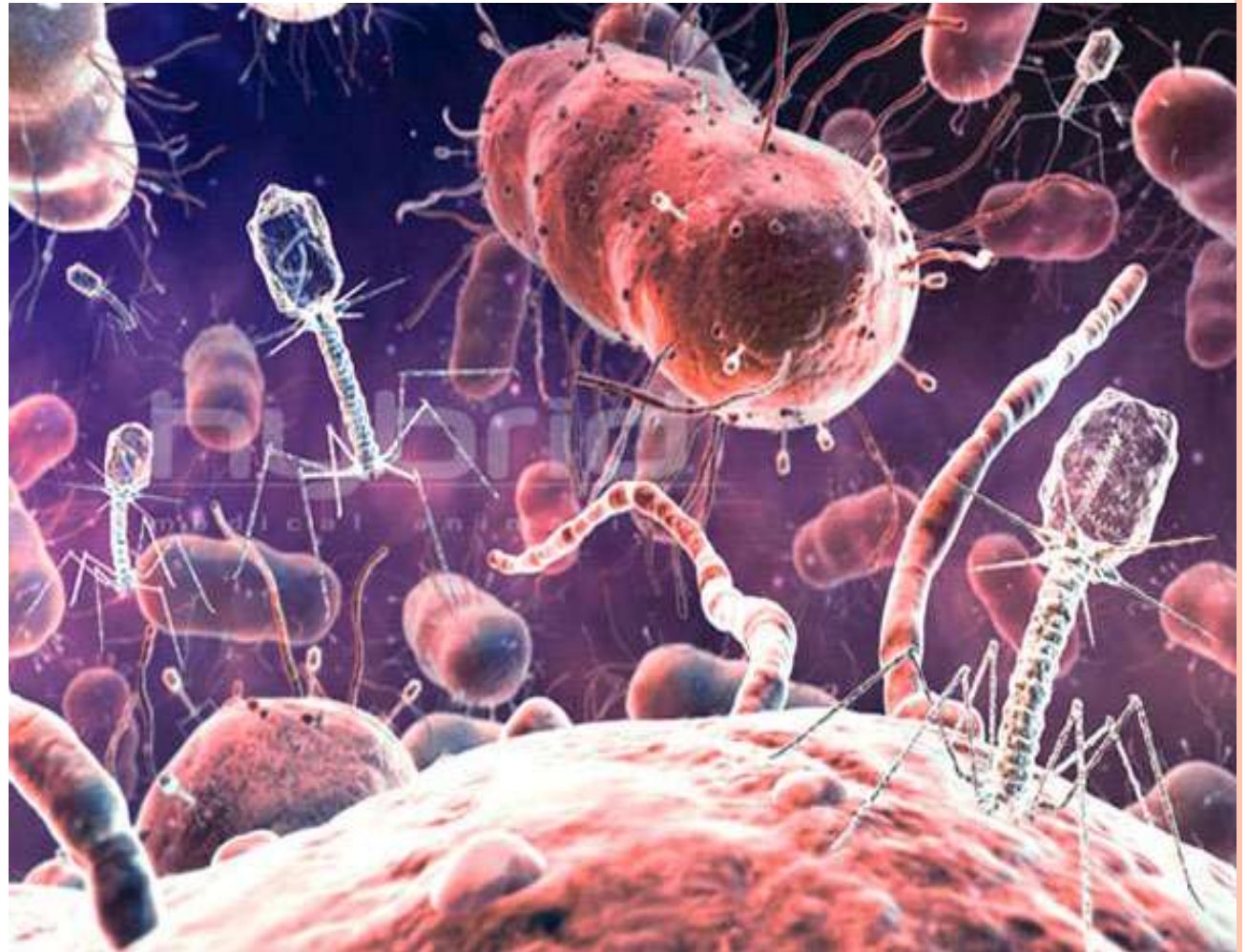
Эукариоты



"Надо понимать, что это планета не людей, это планета бактерий. Мы - маленькая надстройка" . Константин Северинов, д.б.н., профессор университета Ратгерса (США).

**На нашей планете
биомасса прокариот
составляет 50-90%
от всей биомассы
биоты**

**В человеческом
организме
количество
прокариотических
клеток сопоставимо
с числом
эукариотических
или больше...**



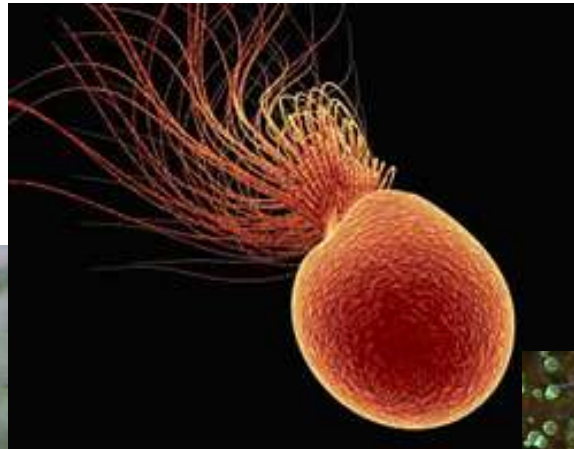
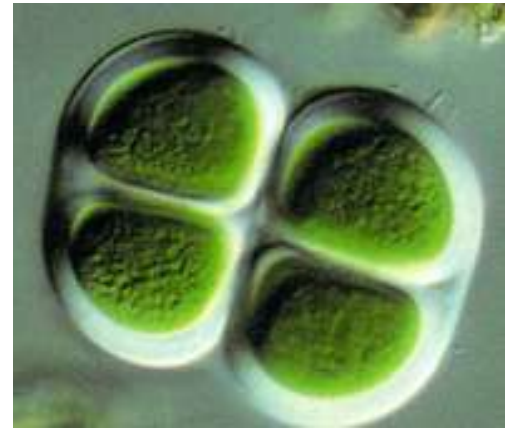
- **История микробиологии**
- **Строение прокариотной клетки**
- **Уровни клеточной организации**
- **Метаболизм**
- **Роль прокариот в эволюции биосферы**
- **Экология микроорганизмов**
- **Бактериально-человеческое взаимодействие**



Основная идея:

МНОГООБРАЗИЕ МИРА ПРОКАРИОТ





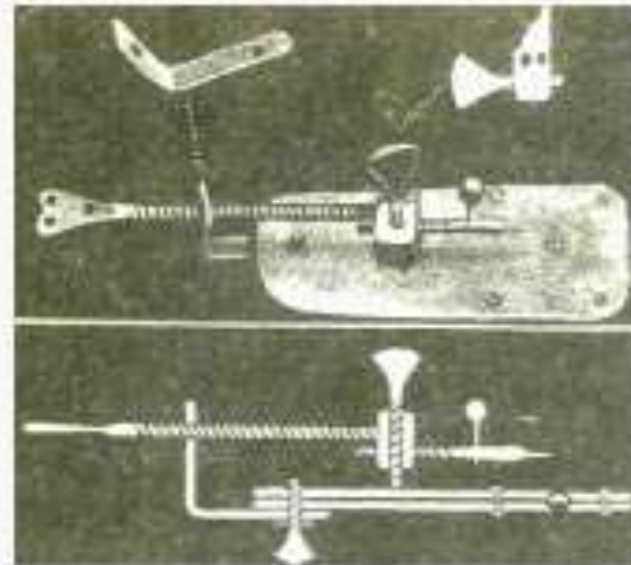
ИСТОРИЯ МИКРОБИОЛОГИИ



Общая микробиология



Антоний ван Левенгук



Микроскоп Левенгука

**1683 год - открытие
бактерий Антонием ван
Левенгуком**





**«В жизни нужно посвятить все усилия, чтобы лучше всего делать то, на что способен...
позвольте сообщить вам секрет моей удачи.
Моя единственная сила — это мое упорство».
Л. Пастер**

«Здесь была лаборатория Л. Пастера:
1857 г. — Брожение
1860 г. - Самопроизвольное зарождение
1865 г. — Болезни вина и пива
1868 г. — Болезни шелковичных червей
1881 г. — Зараза и вакцина
1885 г. — Предохранение от бешенства»





Роберт Кох

1881 г.: выращивание микроорганизмов на твердых средах → получение колоний → выделение чистой культуры, состоящей из идентичных клеток

Чистые культуры





С.Н. Виноградский

Родился в 1853 г. в России
Умер в 1953 г. во Франции

Общая микробиология

**В 1887 г. открыл хемосинтез –
продукцию органического
вещества за счет
использования энергии
неорганических соединений**



Филогенетическая система

4578 Evolution: Woese et al.

Proc. Natl. Acad. Sci. USA 87 (1990)

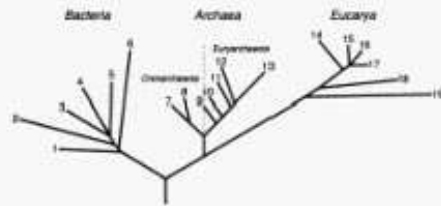
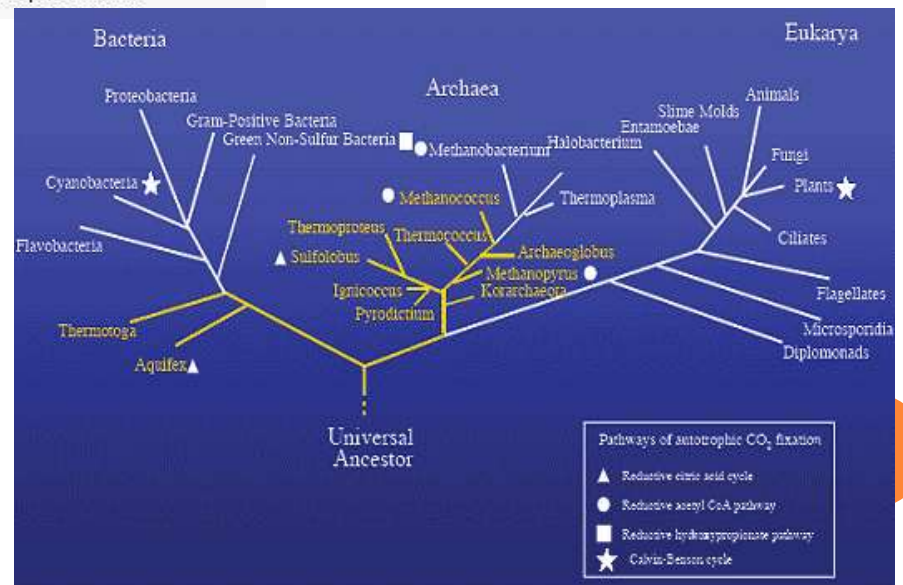


FIG. 1. Universal phylogenetic tree in rooted form, showing the three domains. Branching order and branch lengths are based upon rRNA sequence comparisons (and have been taken from figures 4 of ref. 23). The position of the root was determined by comparing the few known sequences of pairs of paralogous genes that diverged from each other before the three primary lineages emerged from their common ancestral condition (27). (This rooting strategy (26) in effect uses the one set of (subgenically duplicated) genes as an outgroup for the other.) The numbers on the branch tips correspond to the following groups of organisms (21). Bacteria: 1, the Thermotogales; 2, the flavobacteria and relatives; 3, the cyanobacteria; 4, the purple bacteria; 5, the Gram-positive bacteria; and 6, the green nonsulfur bacteria. Archaea: the kingdom Crenarchaeota: 7, the genus Pyrodicticum; and 8, the genus Thermoplasma; and the kingdom Euryarchaeota: 9, the Thermococcales; 10, the Methanococcales; 11, the Methanobacteriales; 12, the Methanocorrobacterales; and 13, the extreme halophiles. Eukarya: 14, the animals; 15, the ciliates; 16, the green plants; 17, the fungi; 18, the flagellates; and 19, the microsporidia.



Карл Везе

Сравнение консервативных участков генома позволило построить эволюционное дерево прокариот – первую филогенетическую систему

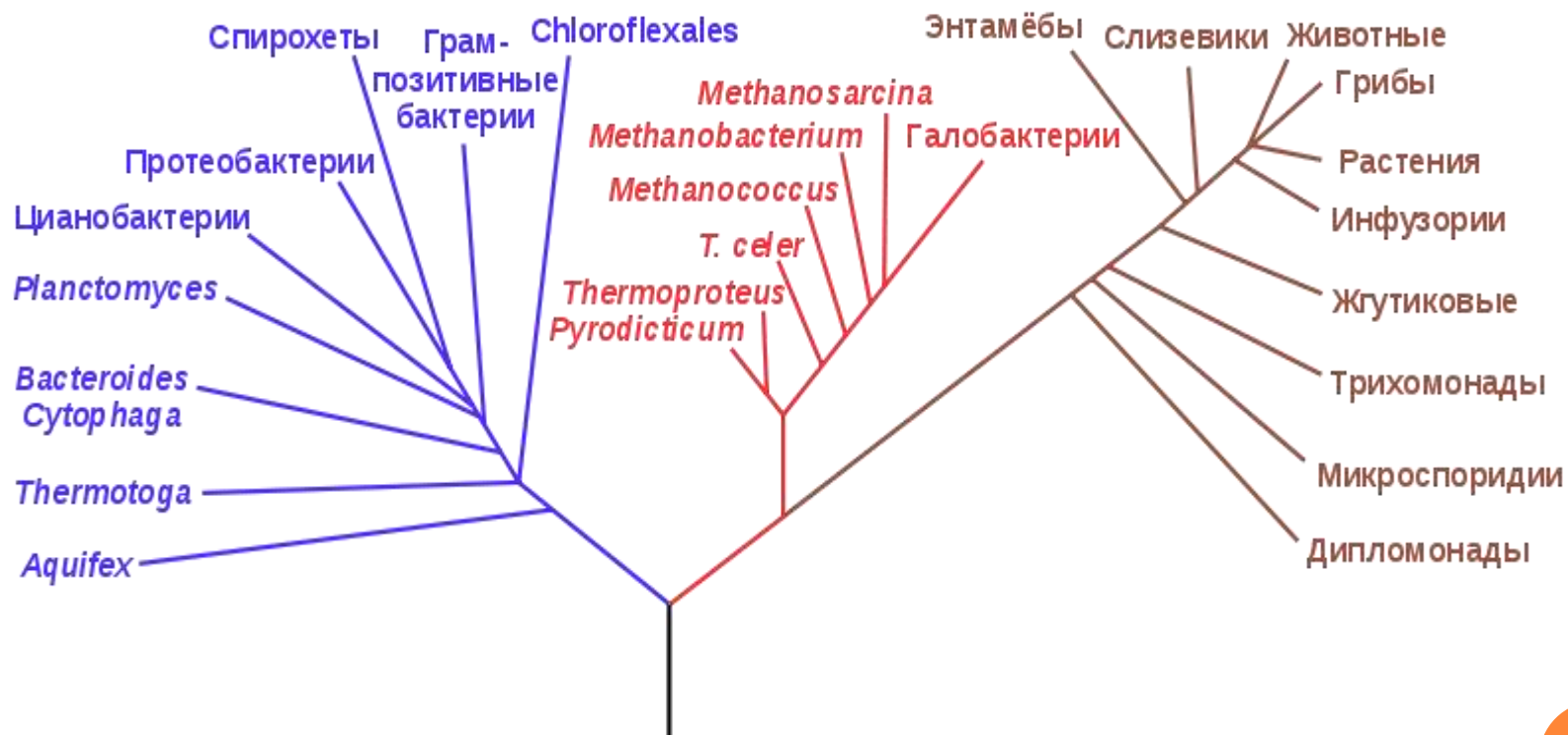


Филогения живых организмов

Бактерии

Археи

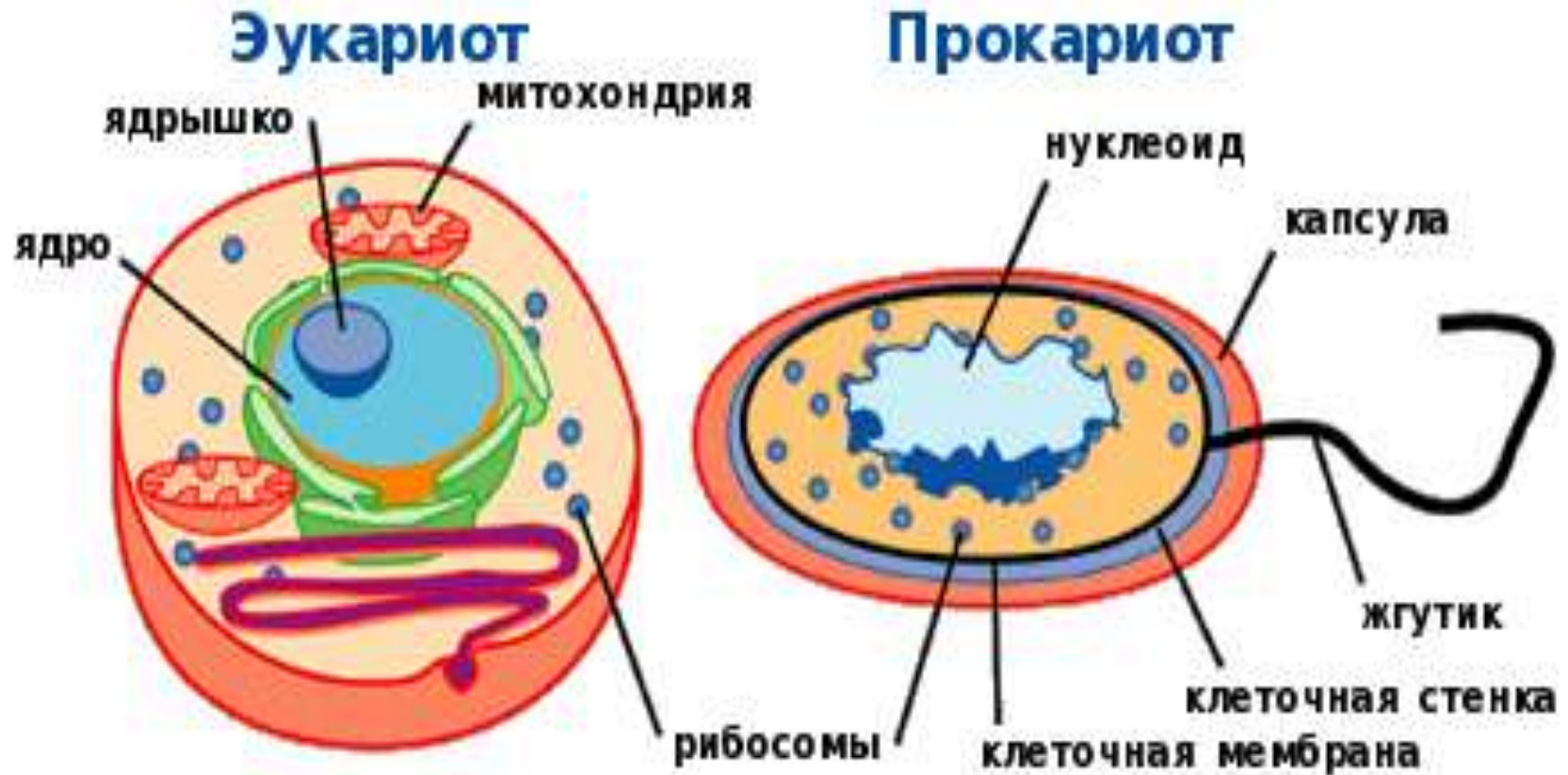
Эукариоты

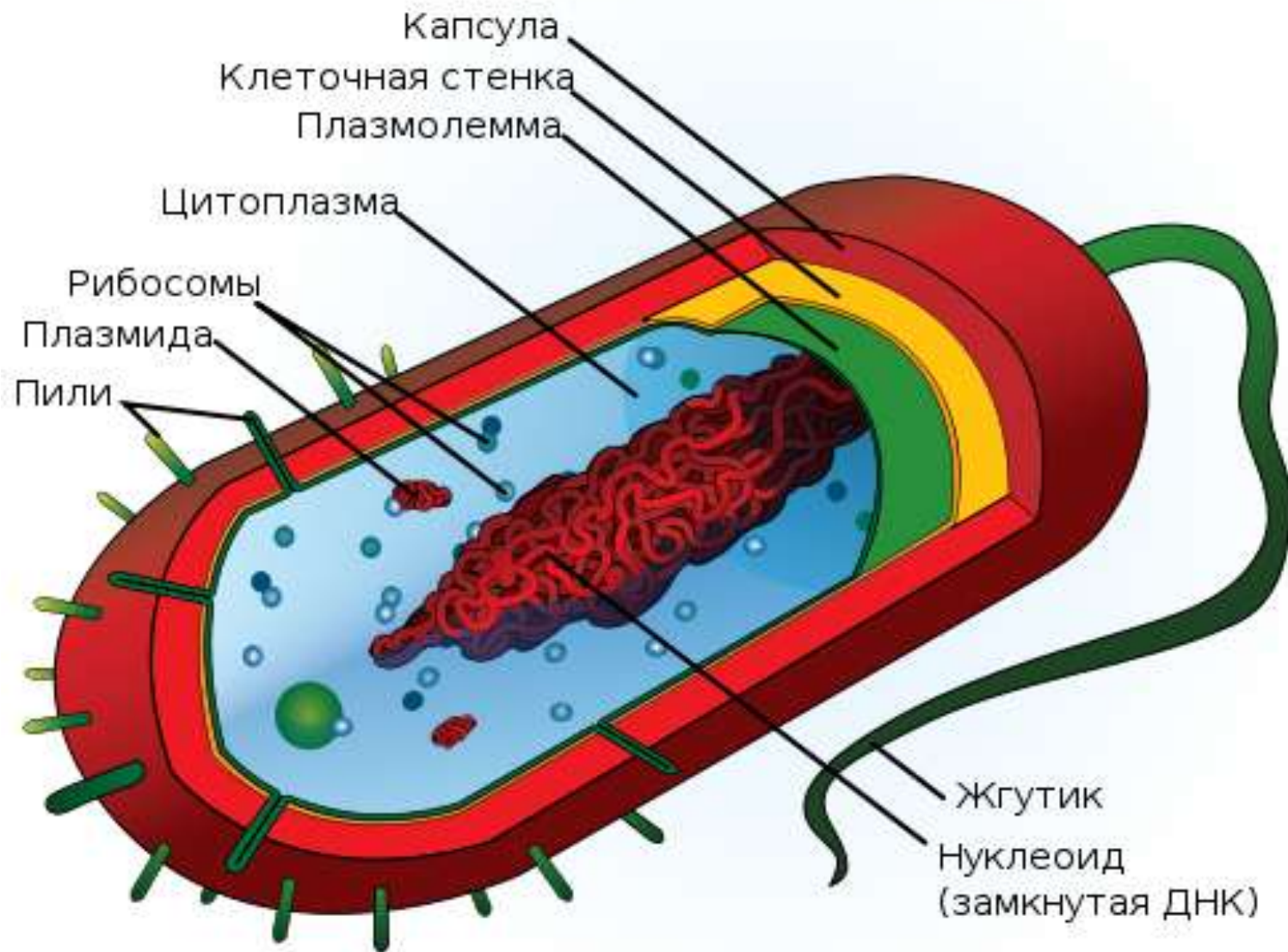


СТРОЕНИЕ ПРОКАРИОТНОЙ КЛЕТКИ



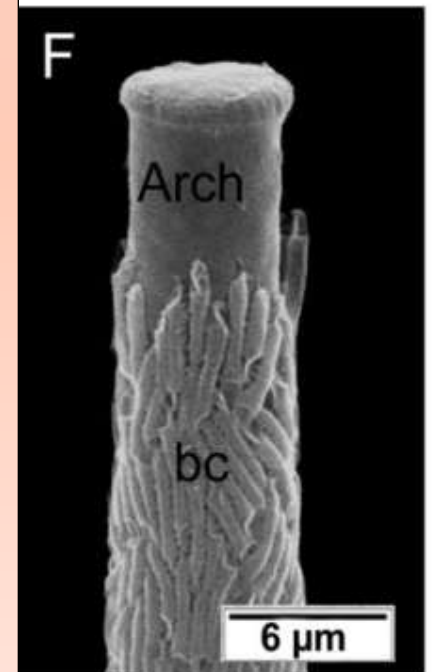
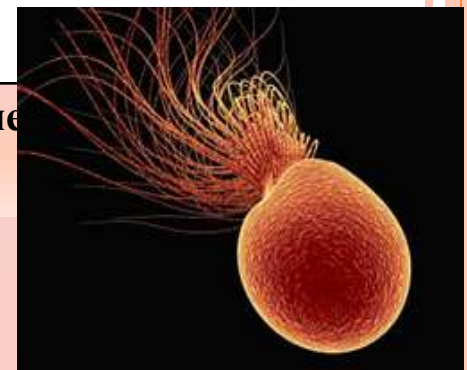
Строение клетки





Свойства архей (по Дуде, 1985)

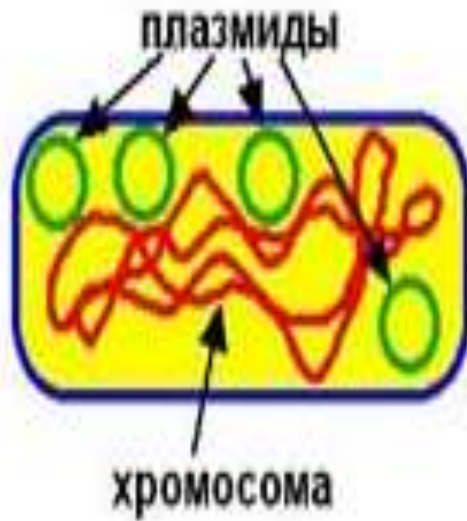
Признаки, характерные для эубактерий	Признаки, характерные для эукариот	Признаки, уникальные для архей
• Нуклеоид • Жгутики • Плазмиды • Газовые вакуоли • Фимбрии • Серное дыхание • Типы автотрофной фиксации CO₂ • Азотфиксация • Типы ферредоксинов и цитохромов • Один из типов клеточных стенок (муреин) • Система рестрикции-модификации • Размер рибосом и рРНК • Типы некоторых рибосомальных белков	• Повторяющиеся последовательности в хромосомной ДНК • Гистоны, связанные с хромосомной ДНК • Наличие нитронов в генах • Процессинг • Родопсиновый белок • Форма рибосом и строение некоторых рибосомальных белков • Чувствительность к некоторым антибиотикам, угнетающим клетки эукариот	• Клеточные стенки (псевдомуреин) • Особые мембранные липиды (многоатомные спирты) • Монослой липидов в ЦПМ некоторых видов • Субъединичный состав РНК-полимеразы • Специфические кофакторы • Образование метана • Тип фотосинтеза (бактериородопсин) • Особенности нуклеотидного состава 5S, 16S-рРНК и тРНК • Сложный компонентный состав рибосомальных белков • Способность расти при температурах выше 100°C



ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕНОМА ПРОКАРИОТ (НА ПРИМЕРЕ КИШЕЧНОЙ ПАЛОЧКИ)

Генетическая информация бактерии *Escherichia coli*

закодирована в единственной двуцепочечной кольцевой молекуле ДНК, содержащей 4.6 млн пар нуклеотидов



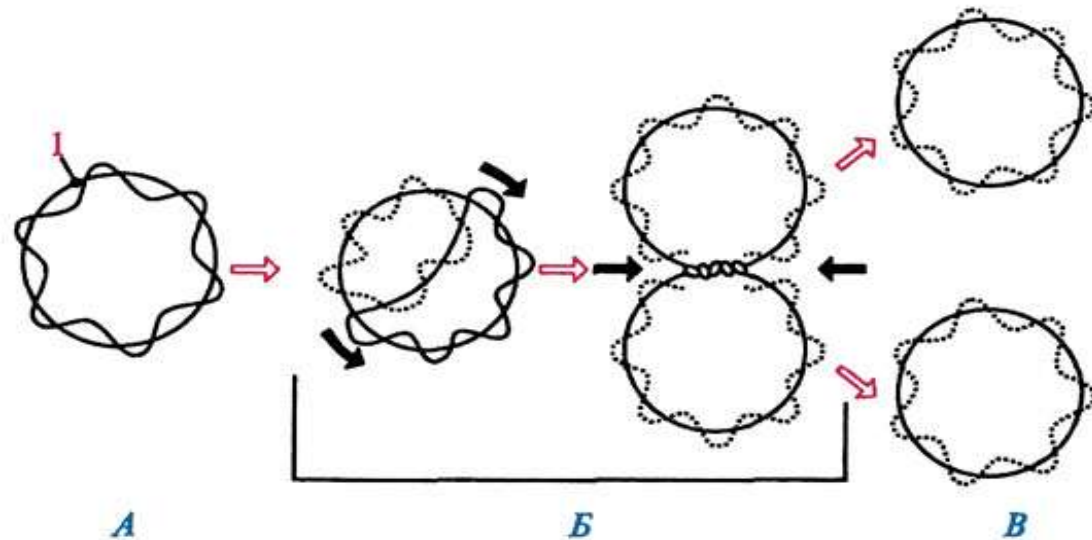
Мол. масса 3×10^6 Да

Длина молекулы ~ 1.5 мм

Время репликации - 20 мин.



Репликация ДНК



Репликация кольцевой бактериальной хромосомы в двух направлениях:
А - родительская молекула ДНК; 1 - область начала репликации; черными стрелками показано направление репликации.

Б - промежуточные репликативные формы;

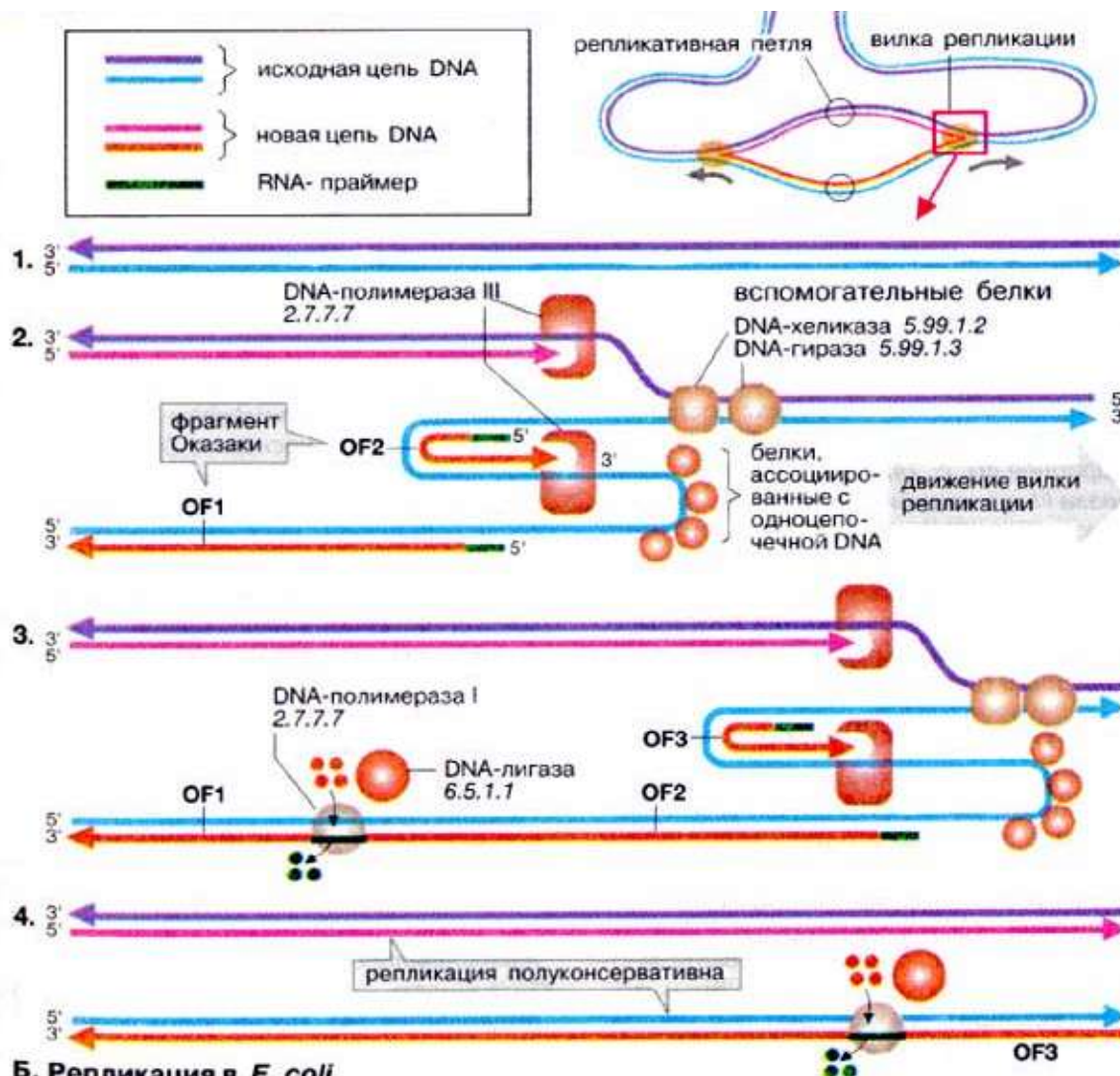
В - дочерние молекулы ДНК после завершения процесса репликации и расхождения.

Предшествует делению клетки

Начинается в точке прикрепления кольцевой хромосомы

Полуконсервативный механизм





Б. Репликация в *E. coli*

Индивидуальные фрагменты Оказаки первоначально не связаны друг с другом и все еще имеют РНК на 5'-концах (3). На некотором расстоянии от репликативной вилки **ДНК-полимераза I** начинает замещать РНК-праймер последовательностью ДНК. В завершение остающиеся одноцепочечные разрывы репарируются ДНК-лигазой.

В образованной таким образом двойной спирали ДНК только одна из цепей синтезирована заново. Поэтому говорят, что репликация ДНК происходит по полуконсервативному механизму.

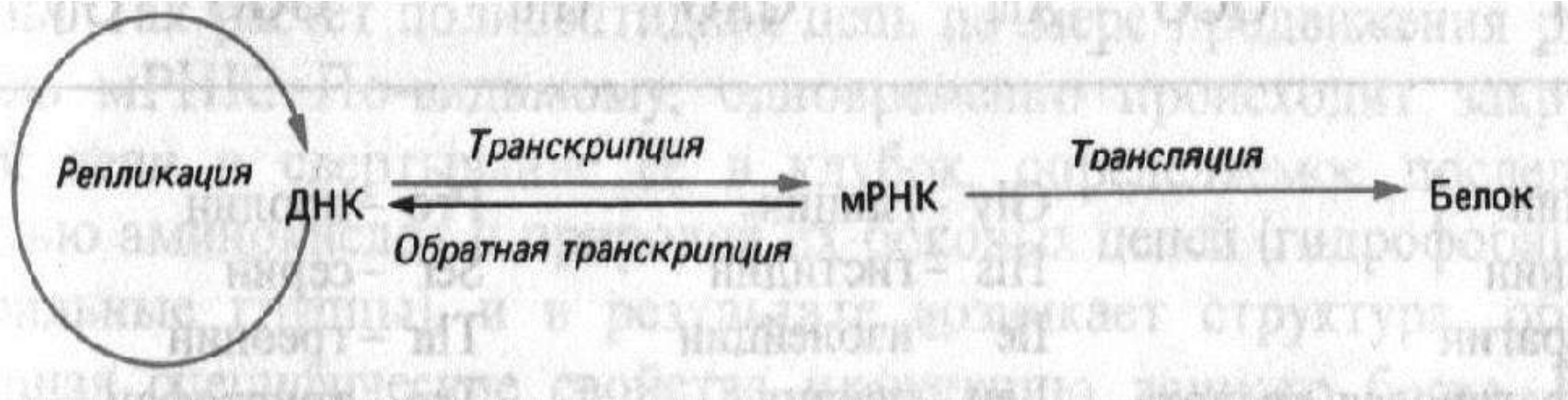
В бактериях репликация начинается со специфической точки в кольцевой ДНК (**область начала репликации**) и продолжается в обоих направлениях. В результате образуются две **репликативные вилки**.

Каждая репликативная вилка (2) включает по крайней мере две молекулы **ДНК-полимеразы III**, ассоциированные с несколькими вспомогательными белками.

Другая цепь (голубого цвета) считается в направлении, противоположном движению репликативной вилки. В результате на матрице вначале синтезируются короткие фрагменты новой цепи ДНК (зеленый/оранжевый), так называемые **фрагменты Оказаки (OF)**. Каждый фрагмент начинается с короткой РНК-затравки (праймера, зеленого цвета), необходимой для функционирования ДНК-полимеразы.

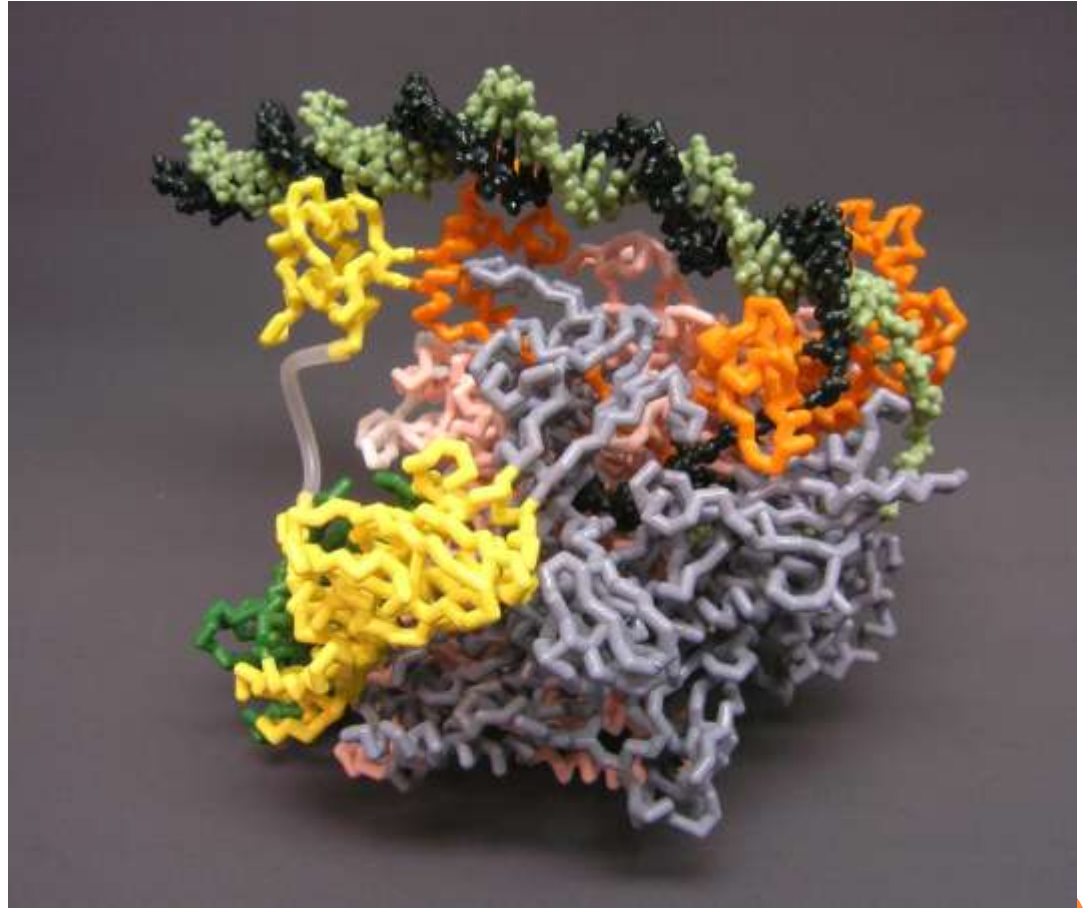
ДНК-полимераза III достраивает этот праймер до фрагмента ДНК длиной 1000-2000 дезоксирибонуклеотидных звеньев (оранжевого цвета). Синтез этого фрагмента далее прерывается, и новый синтез начинается со следующего РНК-праймера.

Каким образом содержащаяся в генах информация определяет специфическую активность и другие свойства ферментов и как она преобразуется в аминокислотную последовательность ферментного белка?



ТРАНСКРИПЦИЯ —ЭТО ПРОЦЕСС СИНТЕЗА РНК НА ДНК-МАТРИЦЕ; ПЕРВЫЙ ЭТАП РЕАЛИЗАЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

ГЛАВНЫЙ ФЕРМЕНТ,
КАТАЛИЗИРУЮЩИЙ
ТРАНСКРИПЦИЮ У
ПРОКАРИОТ — **ДНК-
ЗАВИСИМАЯ РНК-
ПОЛИМЕРАЗА.**



ЭТАПЫ ТРАНСКРИПЦИИ:

- **Связывание ДНК-матрицы** – узнавание промотора, образование открытого двойного комплекса
- **Инициация** - соединение 2-х первых нуклеотидов, образование открытого тройного комплекса, начало синтеза мРНК
- **Элонгация** – продолжение синтеза мРНК
- **Терминация** – Завершение синтеза мРНК

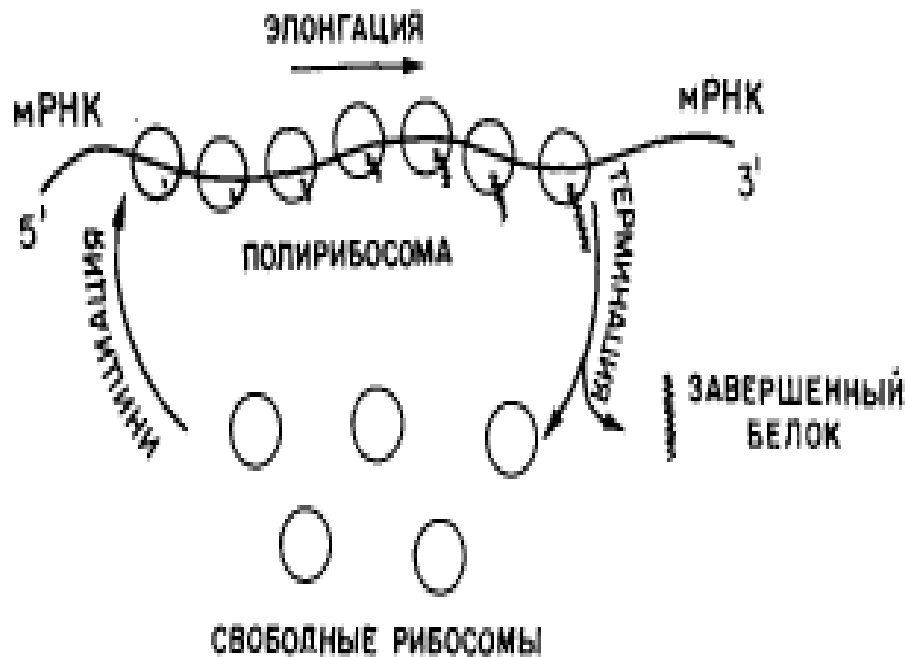


Промотор – участок молекулы ДНК, с которым связывается РНК-полимераза для начала транскрипции

Оперон - группа генов, продукты которых участвуют в общем метаболическом пути, имеют общий промотор, терминатор и регуляторный сигнал.

РИБОСОМЫ. СХЕМА ПОЛИРИБОСОМЫ.

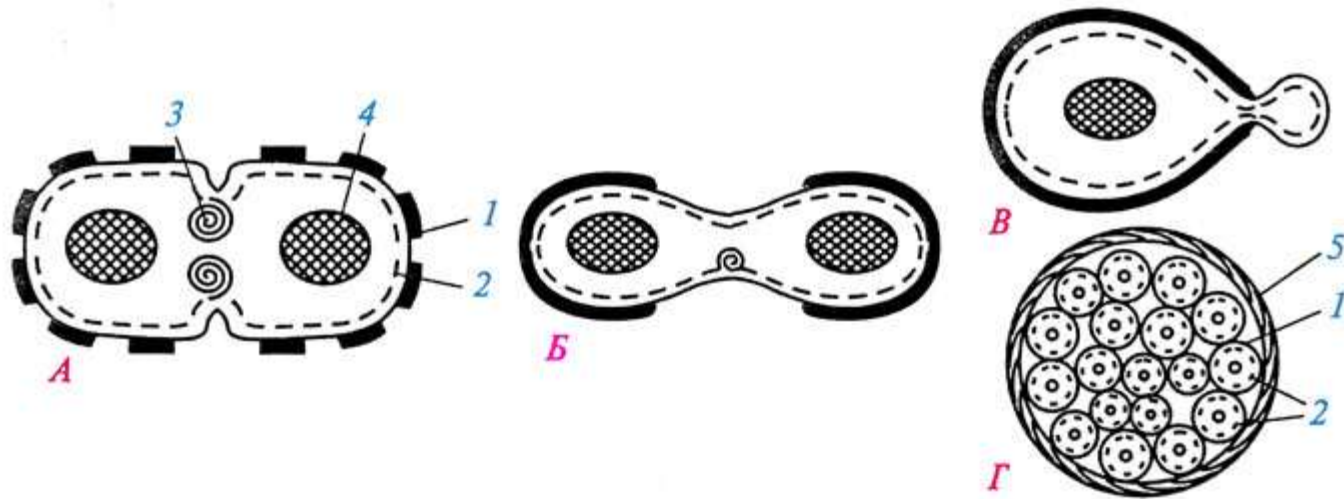
Рибосомы - место синтеза белка - рибонуклеопротеиновые частицы размером 15-20 нм. Их количество в клетке зависит от интенсивности процессов белкового синтеза и колеблется от 5000 до 90000. Общая масса рибосом может составлять примерно четверть клеточной массы, а количество рРНК - 80-85% всей бактериальной РНК.



Рибосомы прокариот имеют константу седиментации 70S (30S- и 50S-субъединиц). 30S-частица содержит одну молекулу 16S рРНК, 50S-субъединица состоит из двух молекул рРНК (23S и 5S). В ее состав входят более 30 различных белков.

Синтез белка осуществляется агрегатами, состоящими из рибосом, молекул иРНК и тРНК, называемыми полирибосомами, или полисомами.

Размножение



Способы деления и синтез клеточной стенки у прокариот:

А - деление путем образования поперечной перегородки;

Б - деление путем перетяжки;

В - почкование;

Г - множественное деление;

1 - клеточная стенка (толстой линией обозначена клеточная стенка материнской клетки, тонкой - заново синтезированная); 2 - ЦПМ; 3 - мембранная структура; 4 - цитоплазма, в центре которой расположен нуклеоид; 5 - дополнительный фибриллярный слой клеточной стенки.

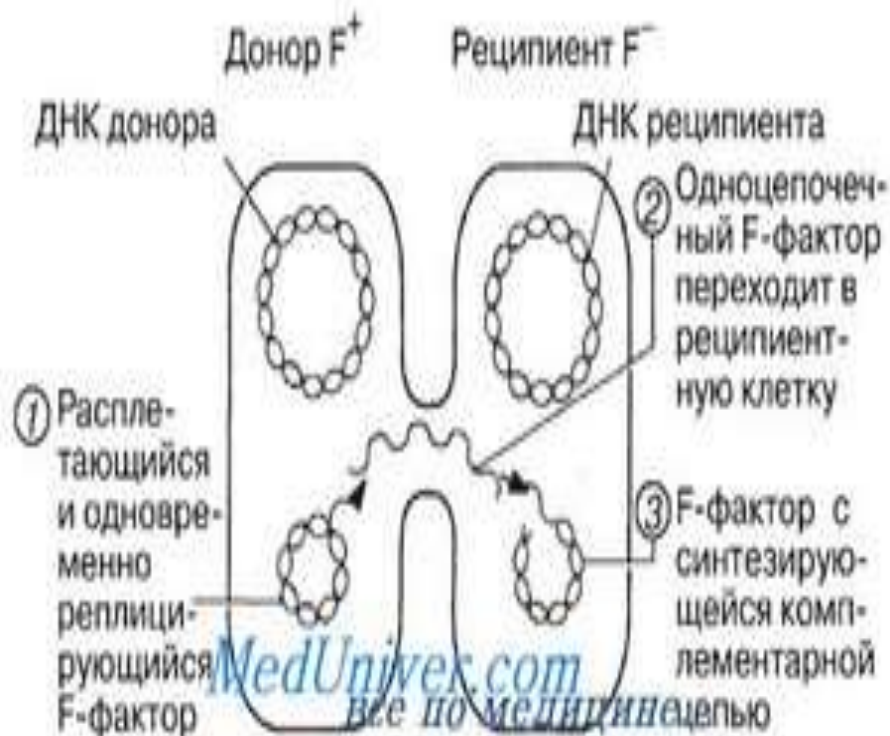
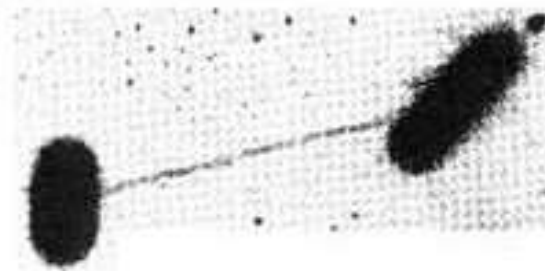


«Половое размножение»

Бидл и Тейтум, 1946; У. Хейс, 1952



Кольцевая ДНК, называемая F-фактор (fertility factor) способна встраиваться в геном бактерии. Содержащие F-фактор клетки образуют особые F-пили (половые ворсинки), с помощью которых прикрепляются к клеткам, не имеющим F-фактора, образуя конъюгационный мостик. При репликации встроенного F-фактора бактериальная хромосома также реплицируется. F-фактор "мобилизует" ее и переносит часть хромосомы через конъюгационный мостик в другую клетку.

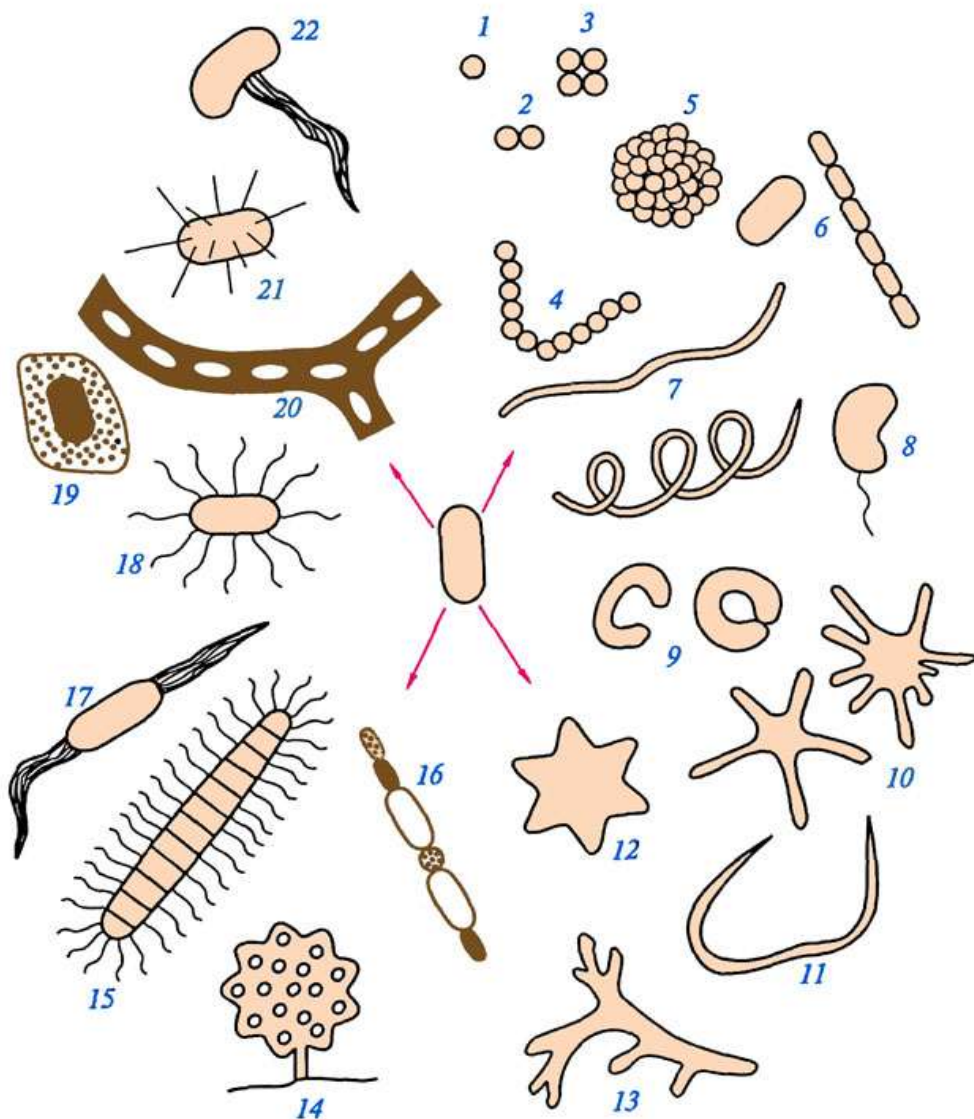


УРОВНИ КЛЕТОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОКАРИОТ



Разнообразие форм прокариот:

- 1 - кокк;
- 2 - диплококк;
- 3 - сарцина;
- 4 - стрептококк;
- 5 - колония сферической формы;
- 6 - палочковидные бактерии (одиночная клетка и цепочка клеток);
- 7 - спириллы;
- 8 - вибрион;
- 9 - бактерии, имеющие форму замкнутого или незамкнутого кольца;
- 10 - бактерии, образующие выросты;
- 11 - бактерия червеобразной формы;
- 12 - бактериальная клетка в форме шестиугольной звезды;
- 13 – представитель актиномицетов;
- 14 - плодовое тело миксобактерии;
- 15 - нитчатая бактерия с латерально расположенными жгутиками;
- 16 - нитчатая цианобактерия ;
- 19 - бактерия, образующая капсулу;
- 20 - нитчатые бактерии, заключенные в чехол, инкрустированный гидратом окиси железа;
- 21 - бактерия, образующая шипы;
- 22 – железобактерия *Galionella* sp.



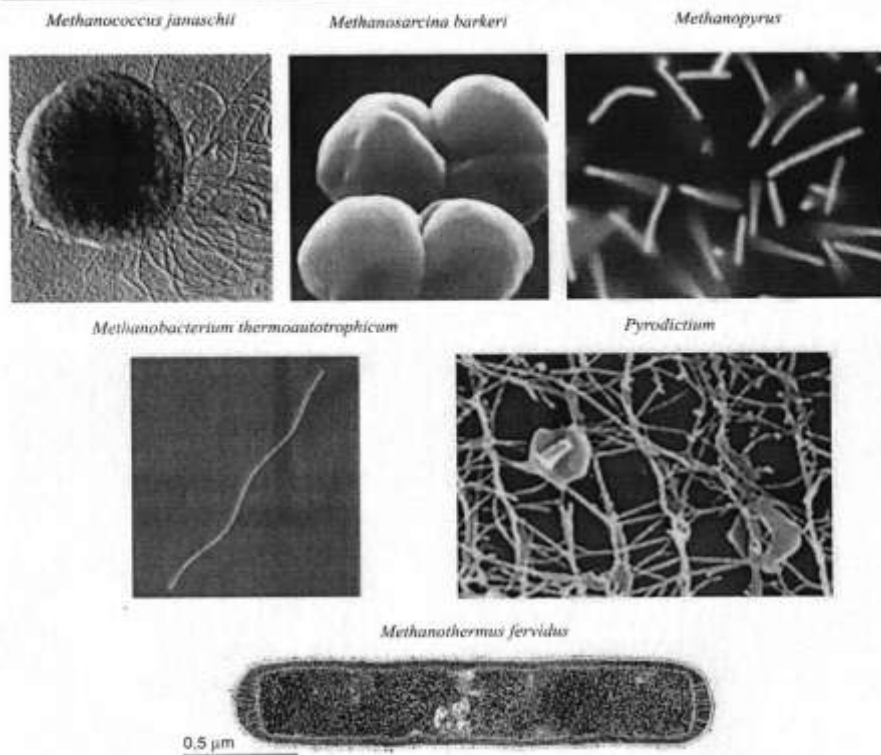


Рис. 2. Формы клеток архей (слева направо): кокки с монополярными жгутиками, бугорчатые кокки, прямые и искривлённые палочки. Масштаб указан в левой нижней части рисунка.

хеол и трансмембранный калдархеол – снижают проницаемость мембран в 10–17 раз. Археобактериальные мембраны *in vitro* образуют везикулы диаметром 20–150 нм, для которых поверхностное натяжение на границе воздух–вода 32–37 мН/м при 20–70 °С (для сравнения – поверхностное натяжение мембранных липидов эубактерий – 54–56 мН/м при 20–70 °С) [14]. В отличие от бактерий в мембранах архей и эукариот присутствует фосфатидилинозит. Необходимо отметить высокую стабильность мембран архей и способность к длительному хранению в липосомах из таких мембран ^{14}C -сахарозы, карбоксифлюоресцина, а также их слабое окрашивание солями тяжёлых металлов (уранилацетатом и

натриевой солью фосфорновольфрамовой кислоты), что является причиной низкой контрастности при электронной микроскопии [14].

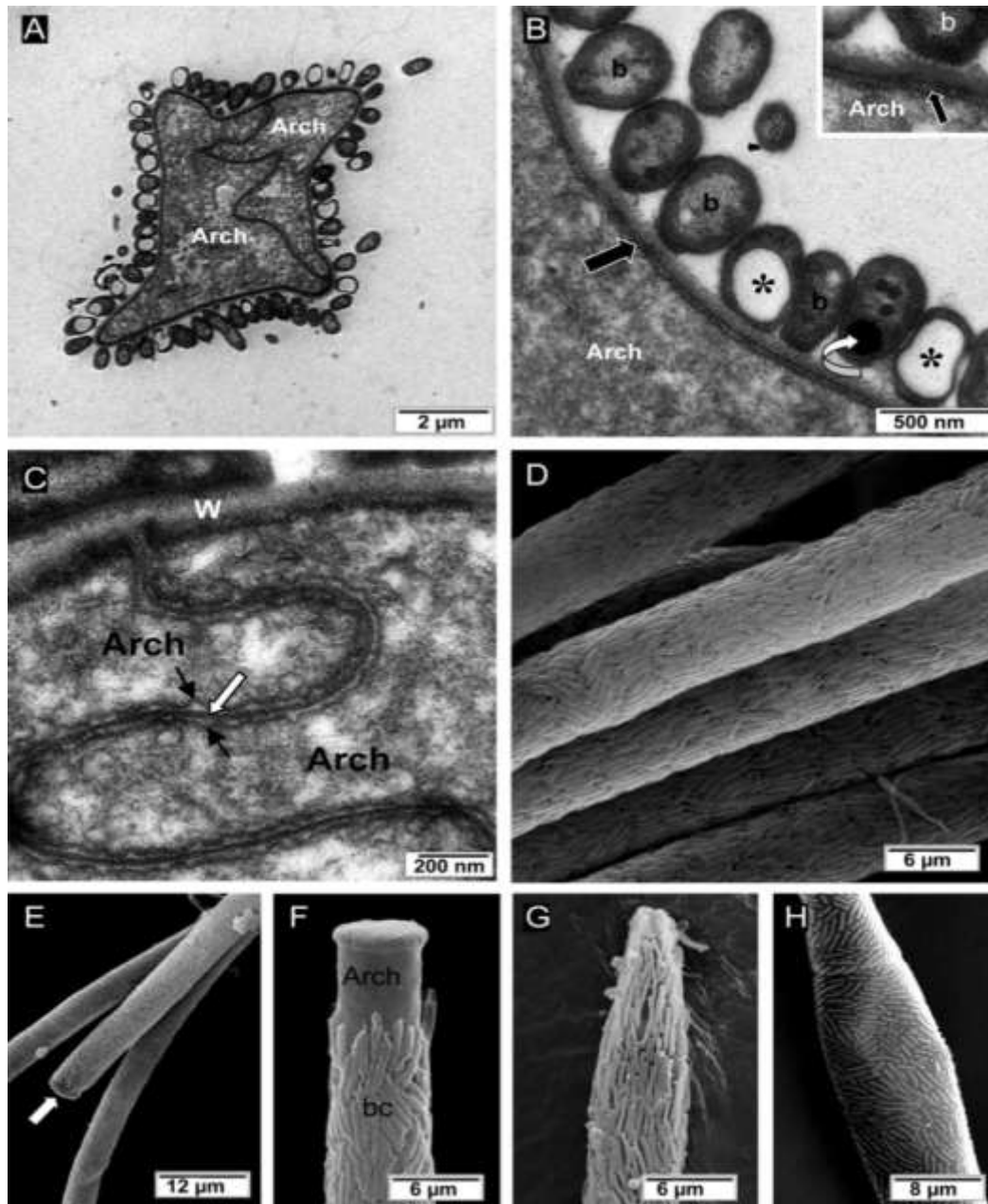
Геном архей состоит из двухцепочечной кольцевой ДНК длиной $(5\text{--}40) \times 10^5$ н.п. и кольцевых плазмид размером от 2813 до 41229 н.п. Размер генома *Nanoarchaeum equitans* 490.885 н.п. является самым маленьким среди архей, геном термоплазмы – 17×10^5 н.п., а *Methanocaldococcus jannaschii* – 40×10^5 н.п. [4]. До настоящего времени определены нуклеотидные последовательности 18 полноразмерных геномов архей, а также более 5.000 плазмид представителей родов *Sulfolobus*, *Halobacterium*, *Haloferax*, *Thermoplasma* и отдельных генов или фраг-

ЗАГАДКИ АРХЕЙ И ИХ ФАГОВ

О.В. Морозова

Институт химической биологии
и фундаментальной медицины
СО РАН, Новосибирск





F. Muller et al.
 2010 Society for Applied
 Microbiology and Blackwell
 Publishing Ltd, *Environmental
 Microbiology*, **12**, 2371–2383



МЕТАБОЛИЗМ (КОНСТРУКТИВНЫЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ). РЕГУЛЯЦИЯ МЕТАБОЛИЗМА.



Растения: кислородный фотосинтез

Животные: использование энергии органических веществ;
аэробное дыхание

Микроорганизмы: кислородный и анаэробный фотосинтез
аэробное и анаэробное окисление
органических веществ

хемосинтез – использование энергии
неорганических соединений

окисление различных неорганических
субстратов

анаэробное дыхание с использованием
различных неорганических окислителей

**Метаболизм —
это процесс получения
энергии и построения
клеточного вещества**

Энергетический

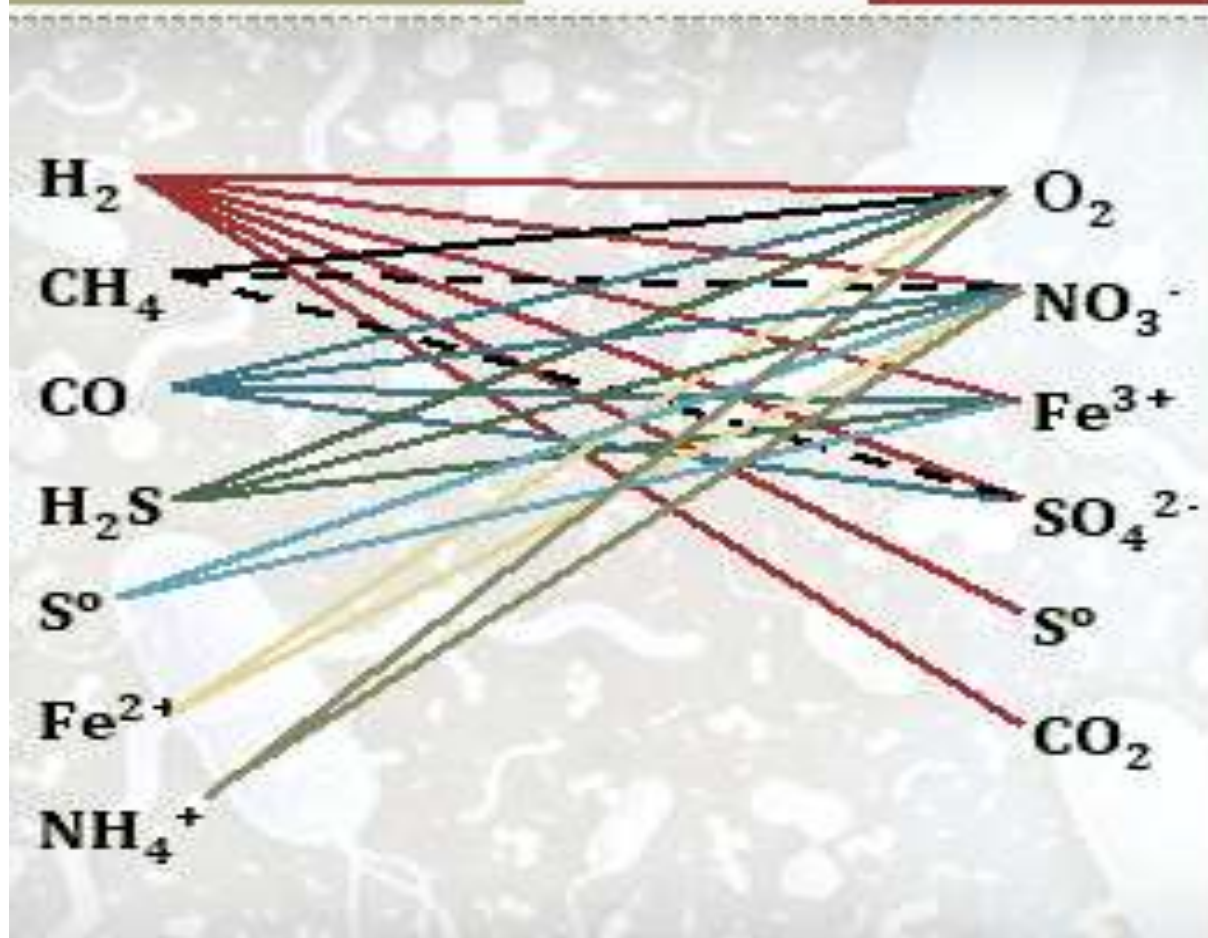
Конструктивный

Великое разнообразие микробов состоит в огромном разнообразии внутриклеточных процессов, за счет которых они живут (Из лекции Е.А. Бонч-Осмоловской, 2011)



Источник энергии

Окислитель



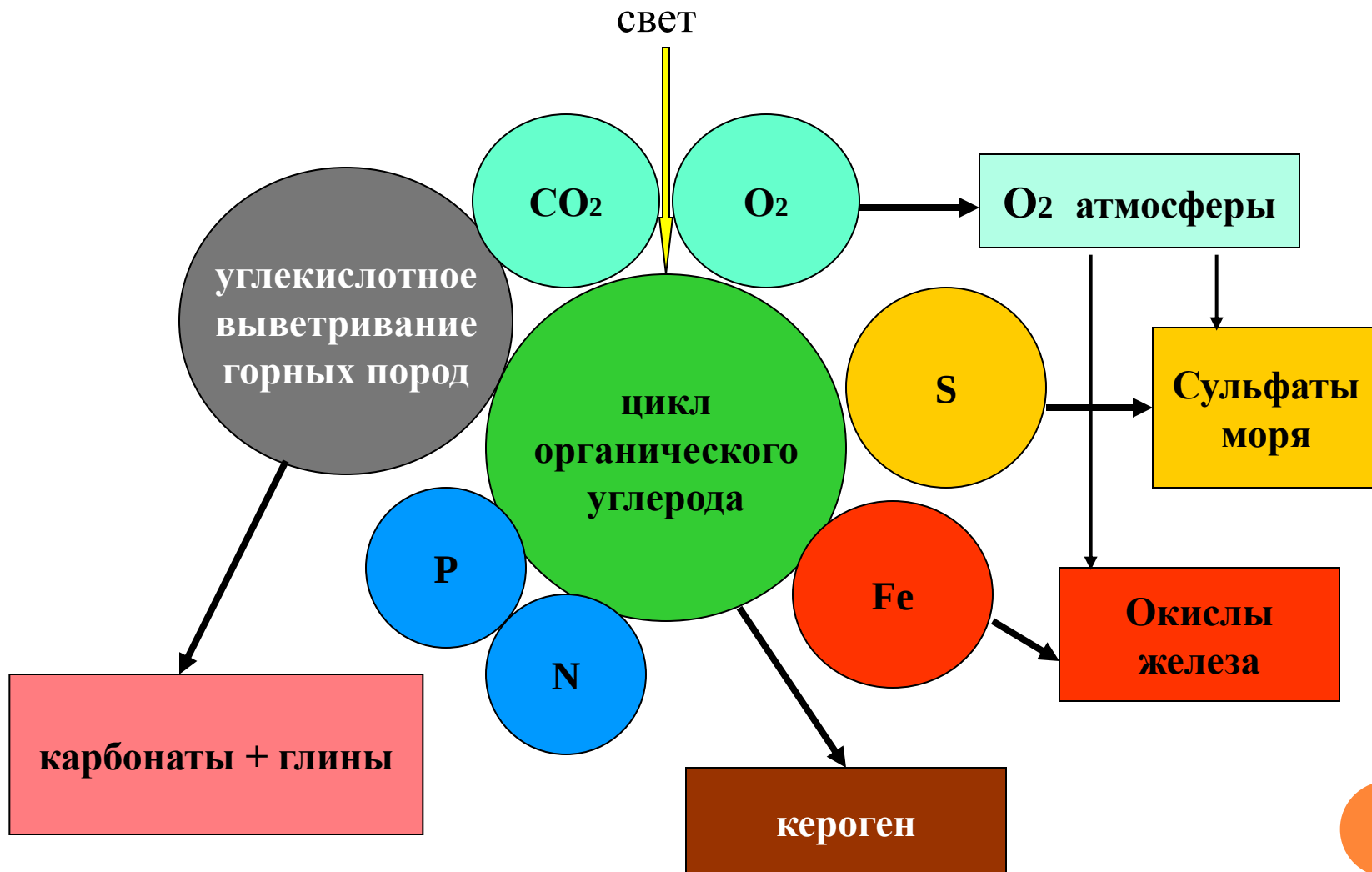
Способы получения энергии —

Фотосинтез Брожение Дыхание



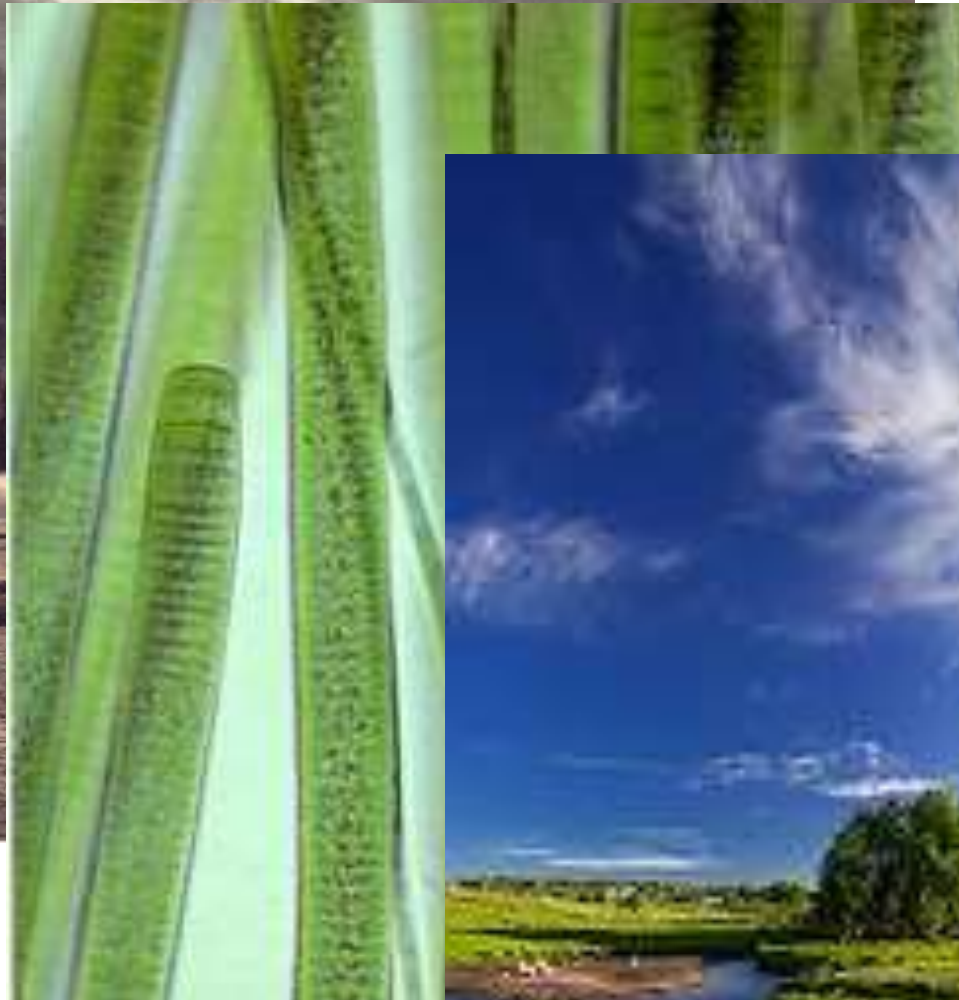
ЦИКЛ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ДЛЯ БИОСФЕРЫ

Г.А.ЗАВАРЗИН ЛЕКЦИИ ПО ПРИРОДОВЕДЧЕСКОЙ МИКРОБИОЛОГИИ. НАУКА, 2004



ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ

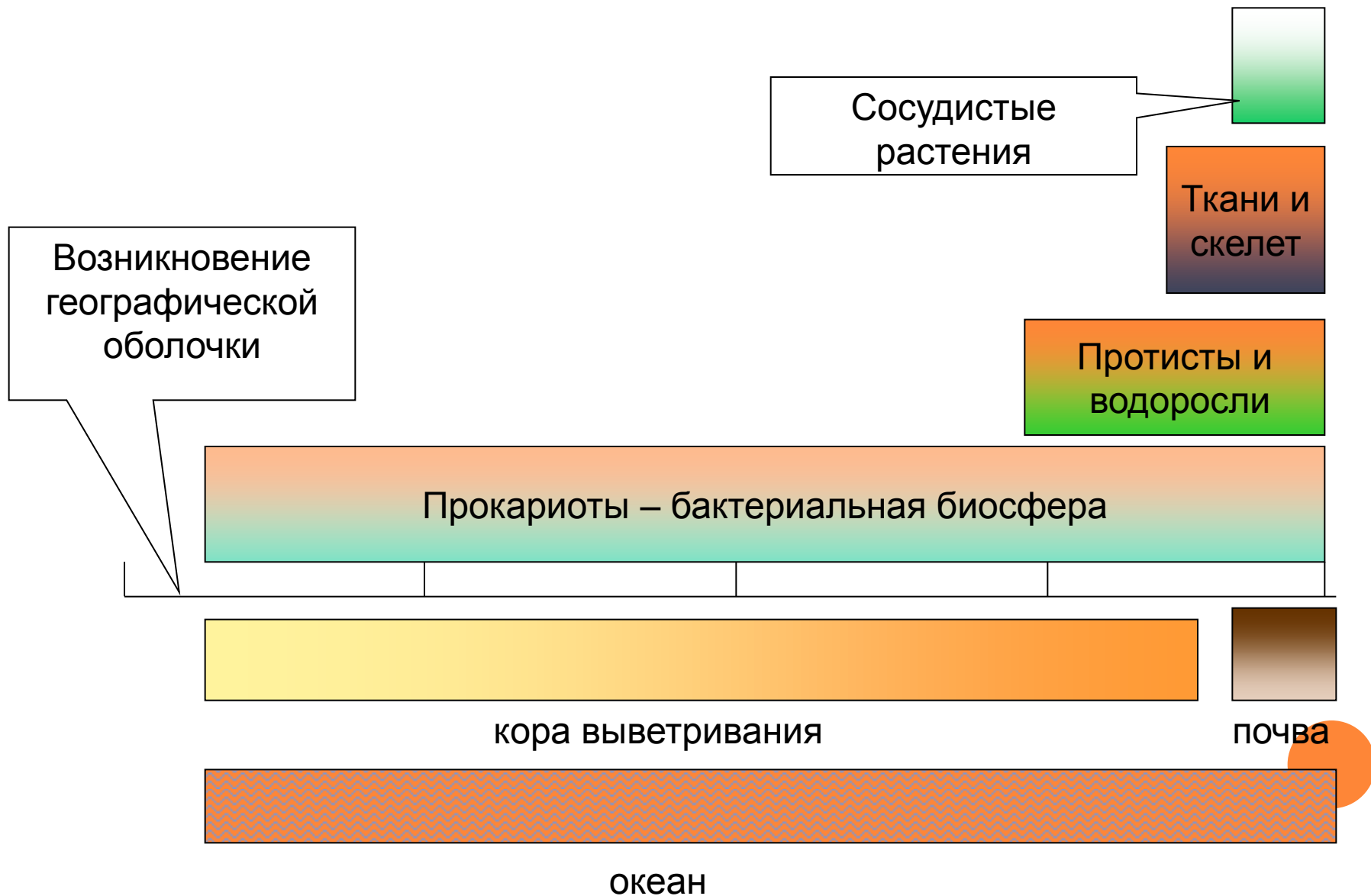




АДДИТИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ:

ПРОШЛОЕ ЕСТЬ УСЛОВИЕ СУЩЕСТВОВАНИЯ НАСТОЯЩЕГО

Из доклада академика Г.А. ЗАВАРЗИНА «ПРОИСХОЖДЕНИЕ БИОСФЕРЫ И
ЭВОЛЮЦИЯ ГЕО-БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ», 2010



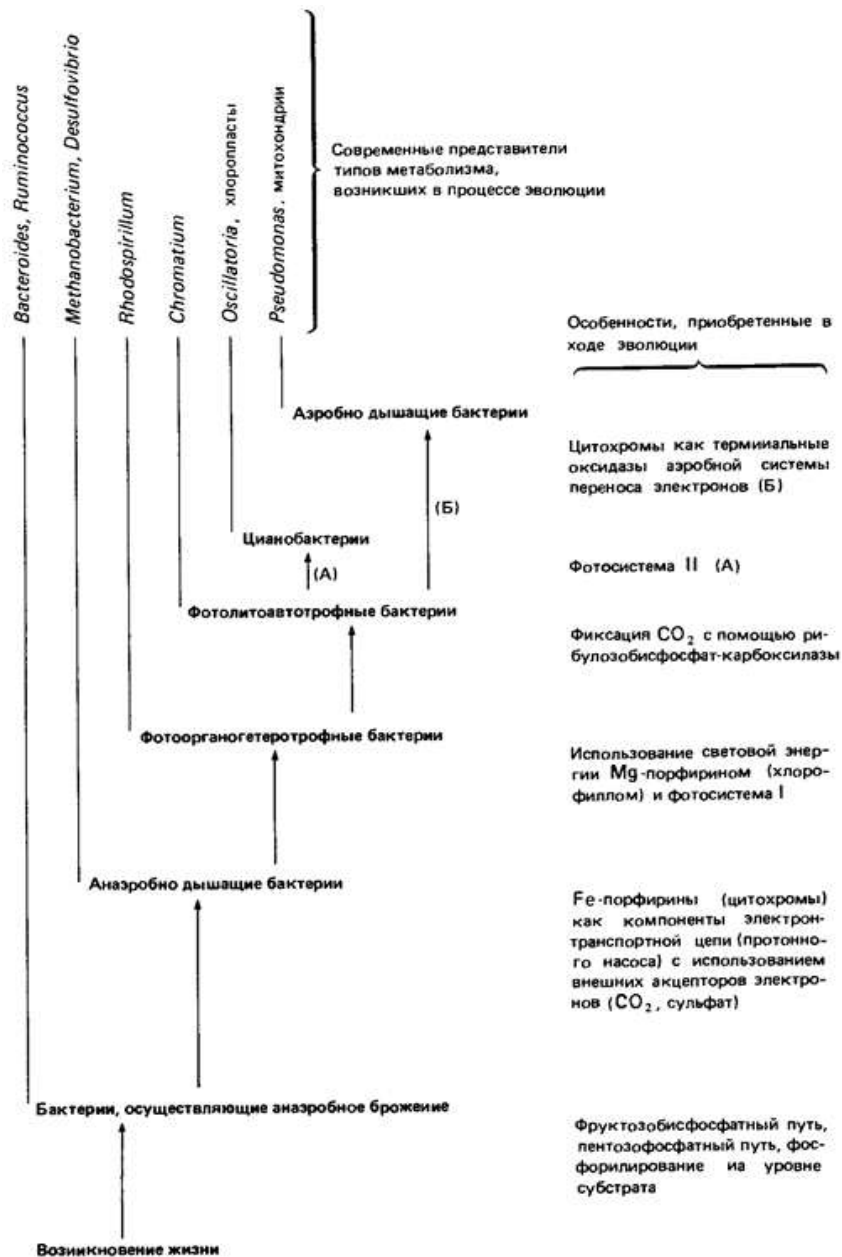


Рис. 17.5. Гипотетические этапы эволюции метаболизма у прокариот.



ЭКОЛОГИЯ ПРОКАРИОТ







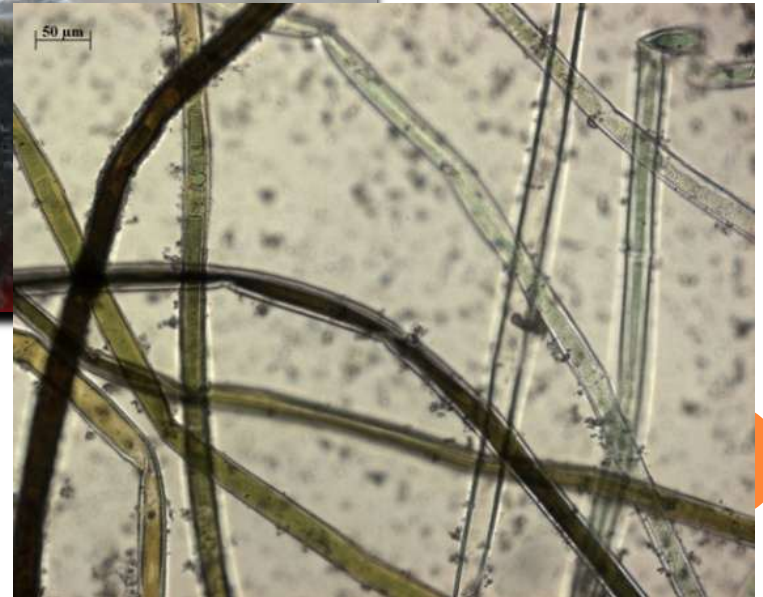
Из лекции д.б.н., проф. Е.А. Бонч-Осмоловской
*«Микробы или их сообщества: что является объектом
микробиологии в XXI веке?»*



Озеро Хорошее (47).
Внешний вид
микробных матов.



Микрофотография
микробного мата. Нити
Scytonema sp.

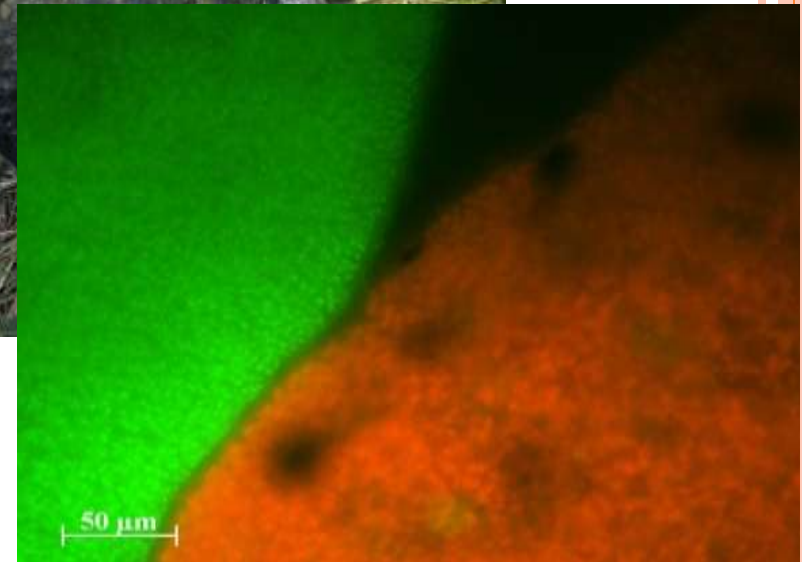




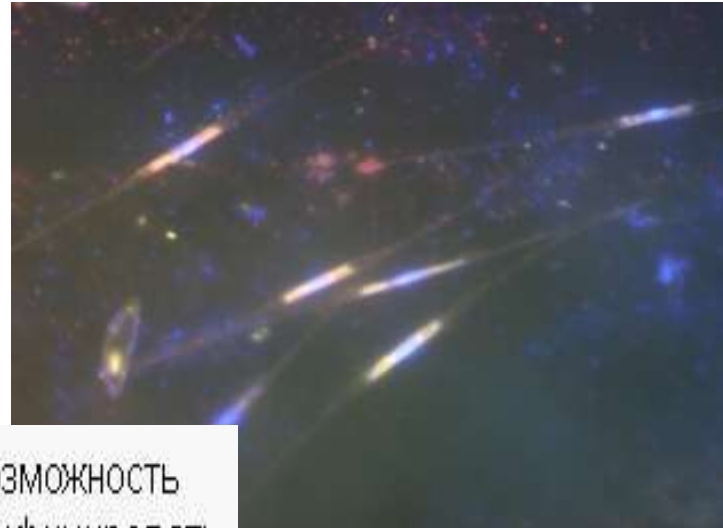
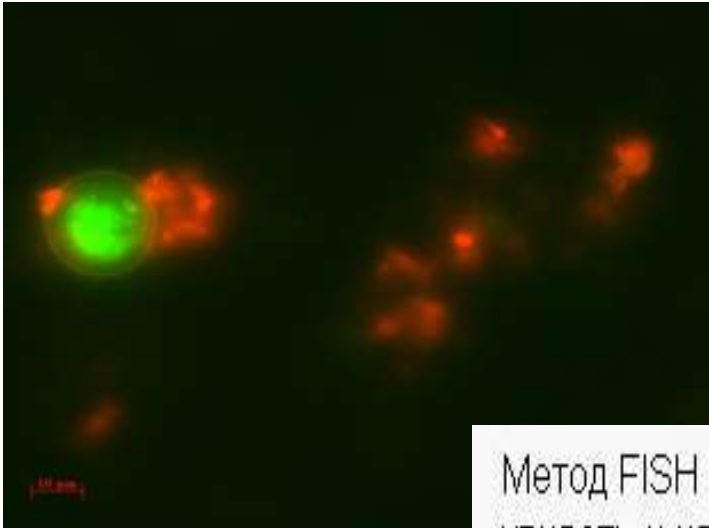
Озеро Соленое (48). Внешний вид микробных матов.



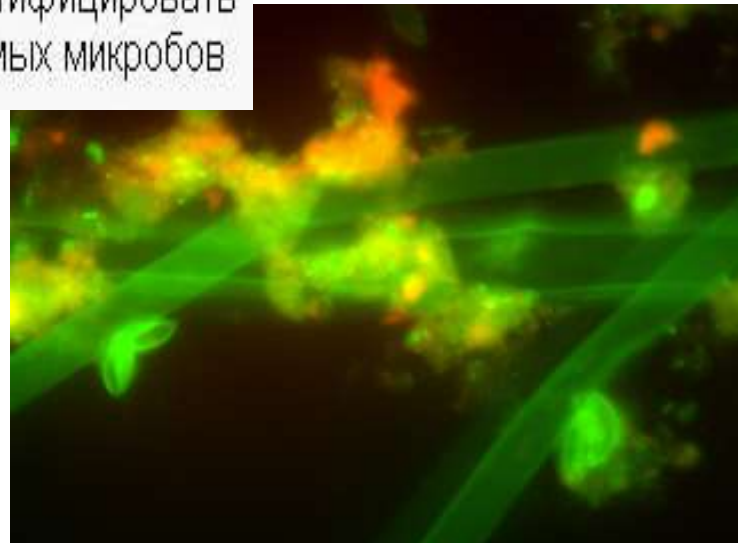
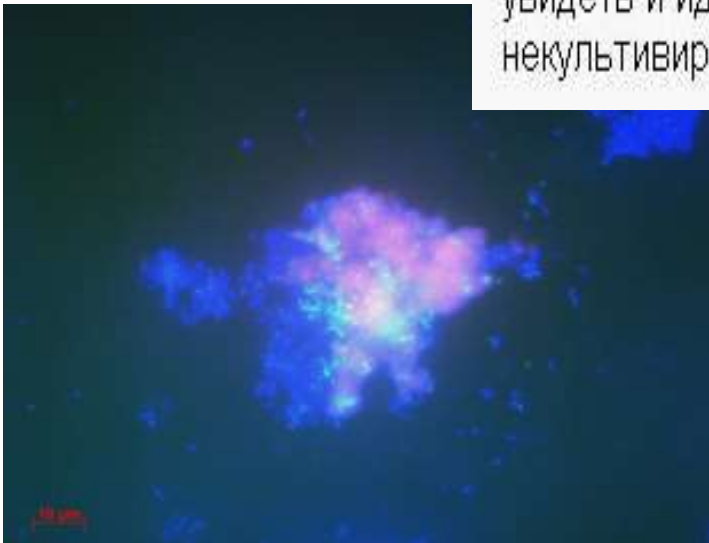
Микрофотография колонии *Microcystis* sp. Люминесцентная микроскопия.



Микрофотография микробных сообществ 4-х соленых озер Новосибирской области. Флуоресцентная *in situ* гибридизация с зондами EUV 338 (FAM, зеленый) и ARCH 915 (CY-5, красный). Синее окрашивание – DAPI.



Метод FISH – возможность увидеть и идентифицировать некультивируемых микробов



Источники кальдеры Узон

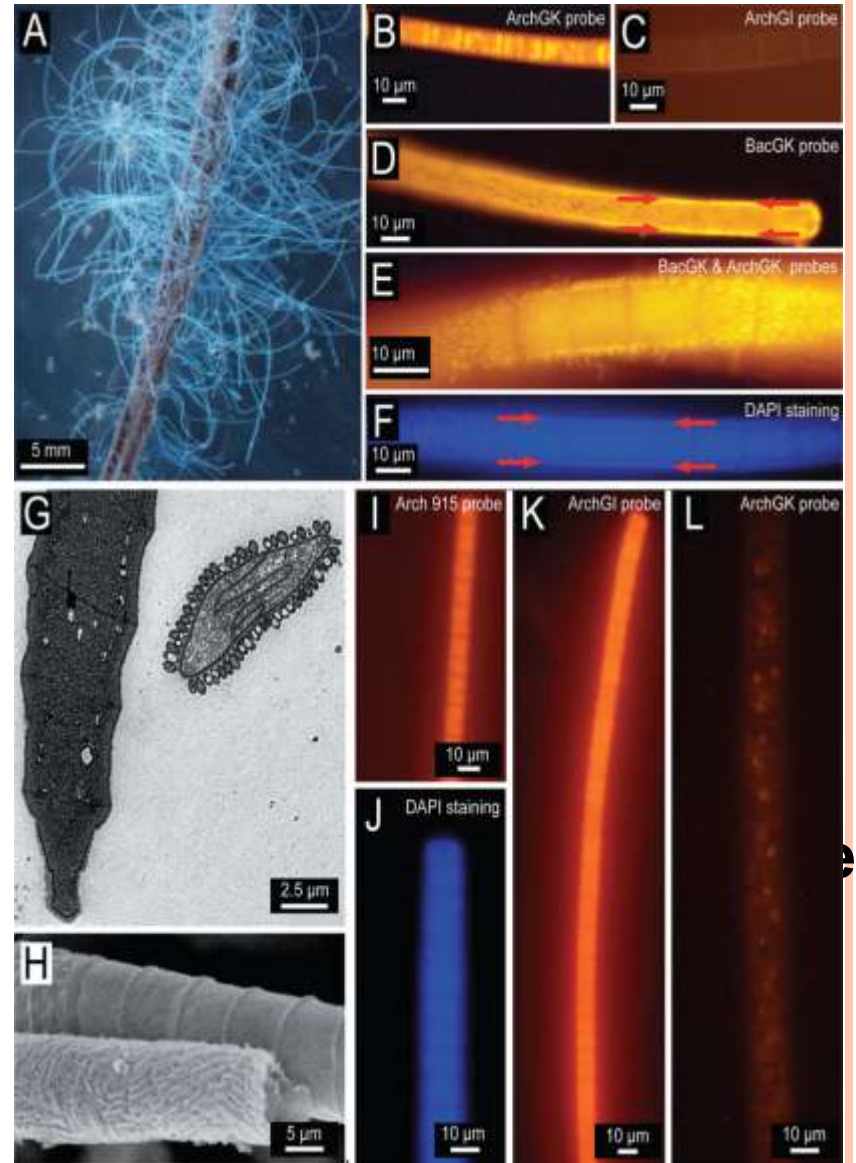
Гейзеры

Грязевые котлы

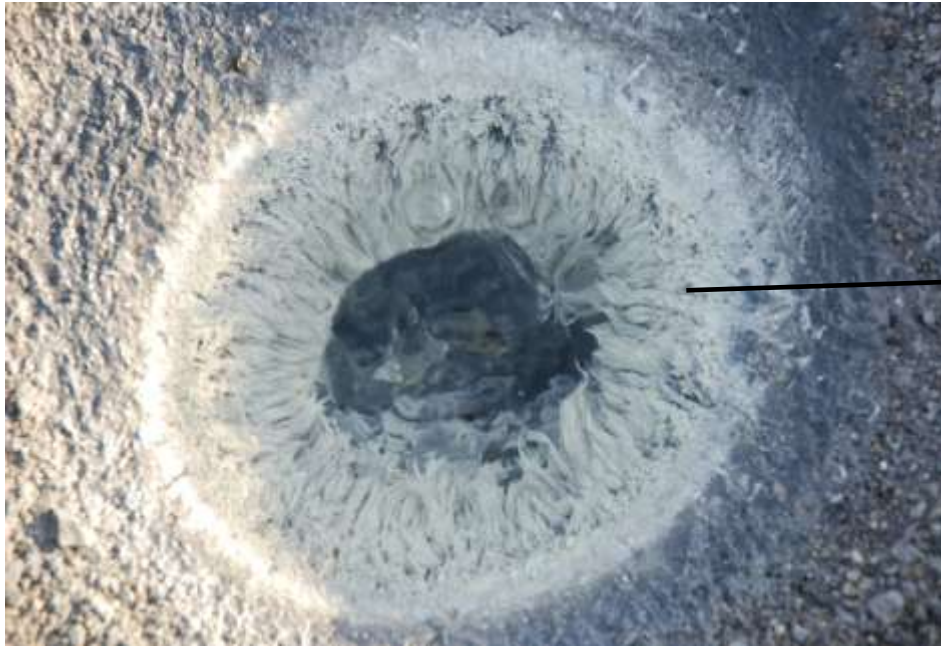
Мышьяковые



Температура 95-97 °C



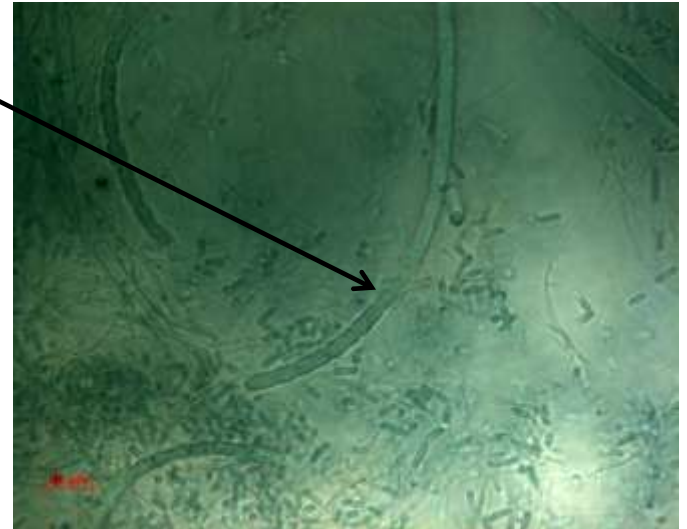
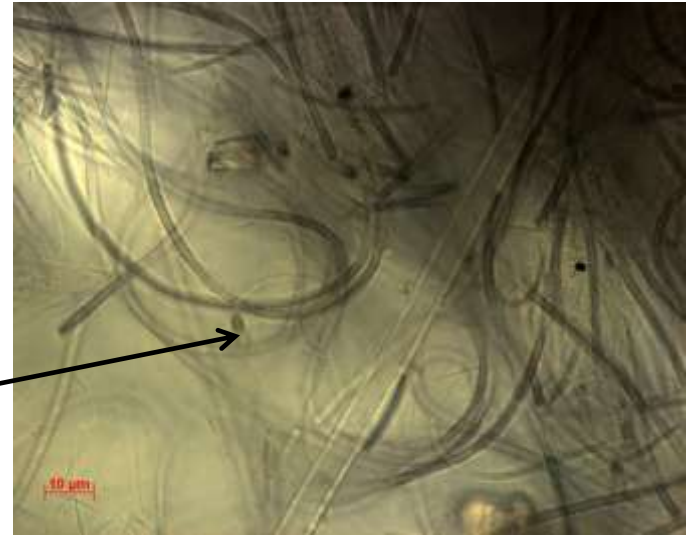
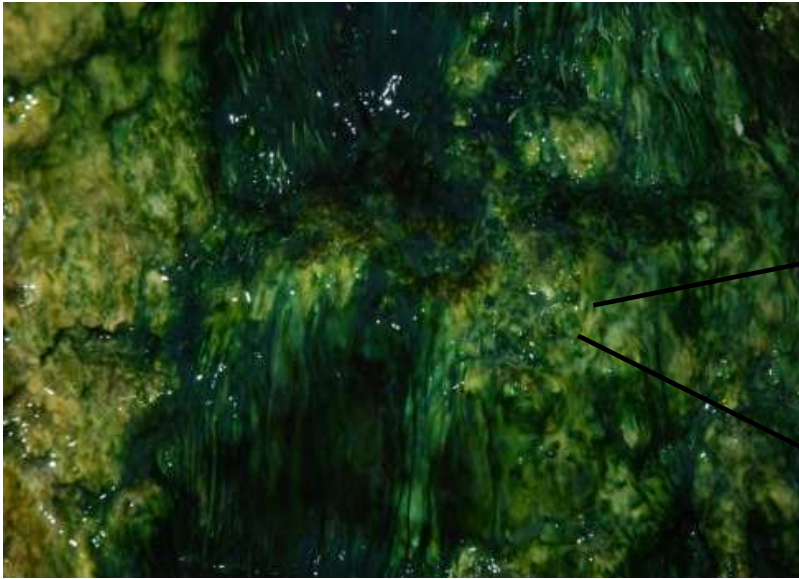
Температура 55-65 °C



Нитчатые серные бактерии типа *Thermothrix*



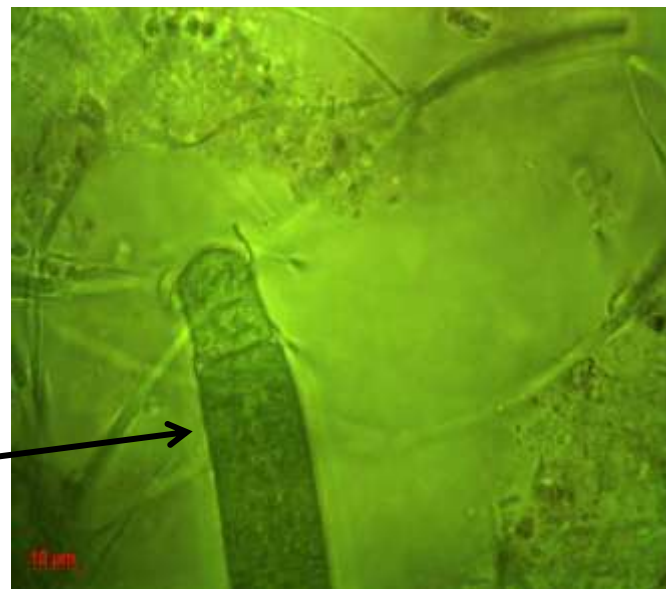
Температура 40-50 °C



**Цианобактерии *Phormidium* spp.,
Mastigocladus laminosus,
аноксигенная фотосинтезирующая
бактерия *Chlorophlexus aurantiacus***

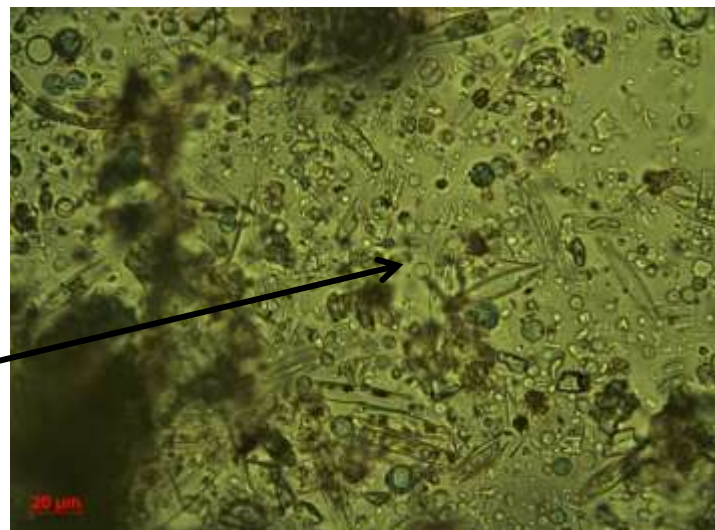


Температура 20-30 °C



**Цианобактерии *Phormidium spp.*,
*Oscillatoria sp.***

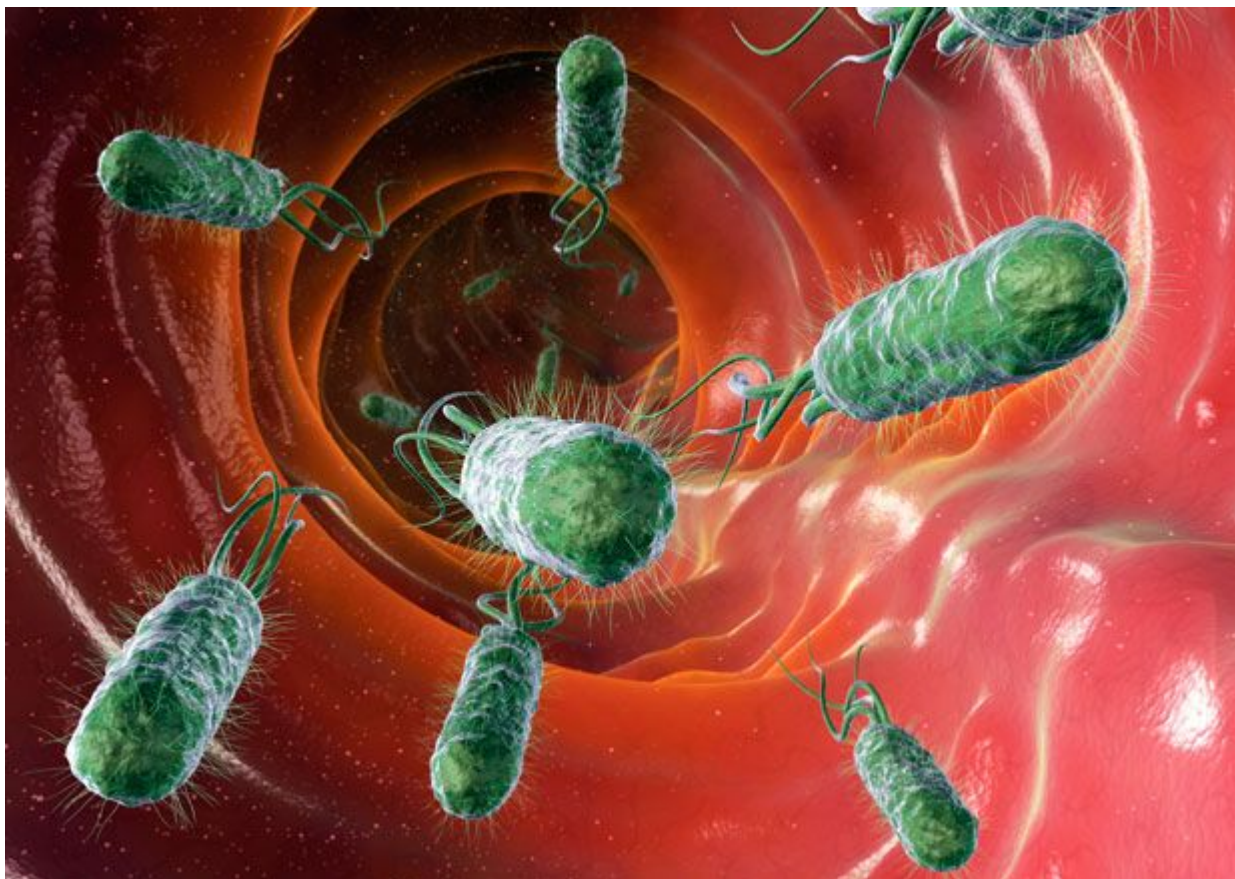
Температура 10-20 °C

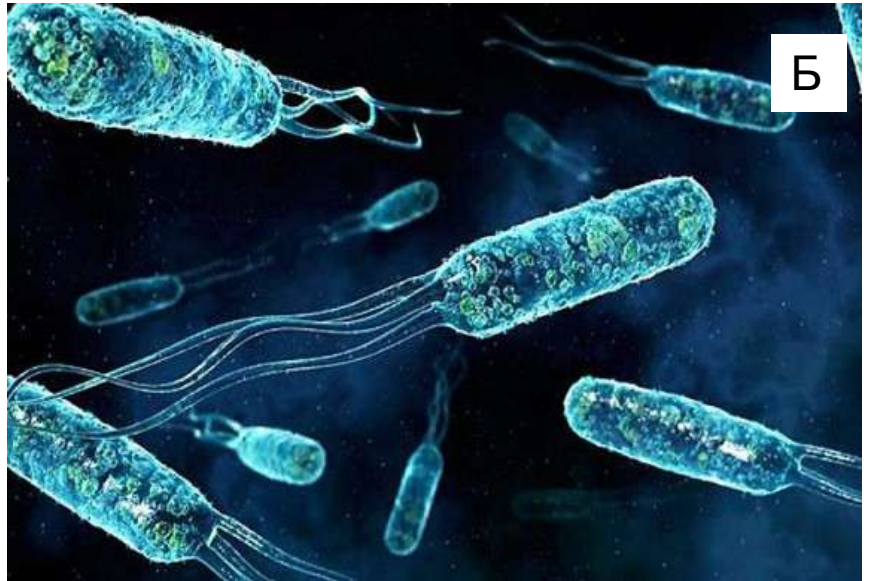


**Цианобактерии, диатомовые
водоросли, зеленые
одноклеточные водоросли**



БАКТЕРИАЛЬНО-ЧЕЛОВЕЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ





А - Компьютерное изображение бактерий (голубые и зеленые) на человеческой коже.
Б - Бактерии внутри организма человека.







Как жить
без ядра???

A photograph of a man with dark hair, wearing a light pink shirt, looking upwards with his hand to his chin in a thinking pose. Above him is a large, white, cloud-like thought bubble with a brown outline. The background is a clear blue sky with a few wispy clouds.



Замечательно!

A cartoon illustration of a smiling sun with a jagged, star-like outline and a simple face consisting of two dots for eyes and a curved line for a smile. A brown speech bubble with a tail pointing to the sun contains the text. In the bottom right corner, there is a solid orange circle.