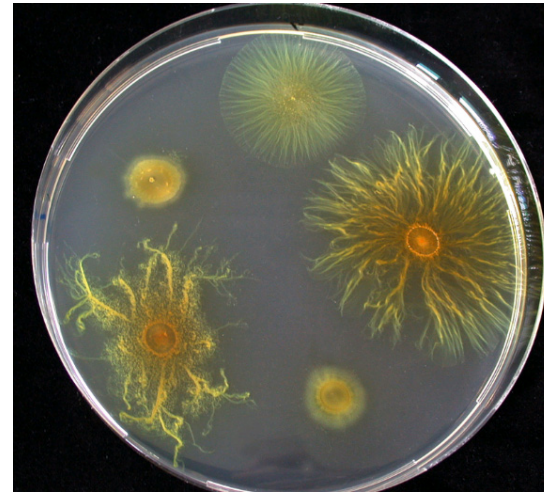
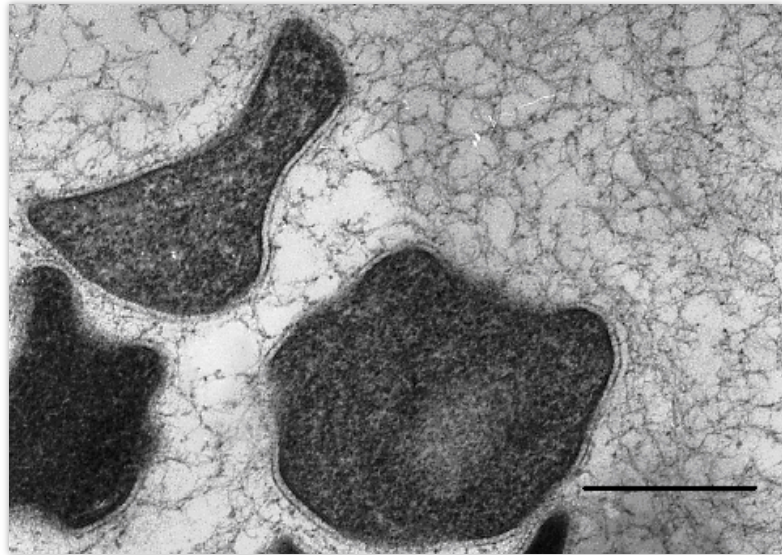
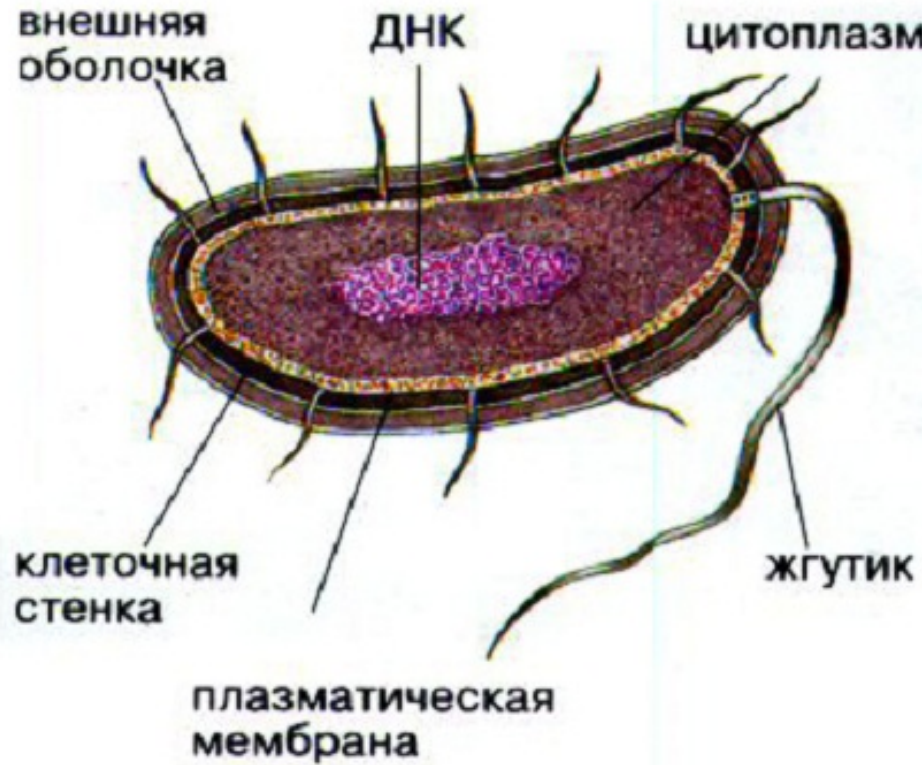


Лекция 4  
Строение микробной клетки  
Колонии и биопленки



# ПРОКАРИОТЫ



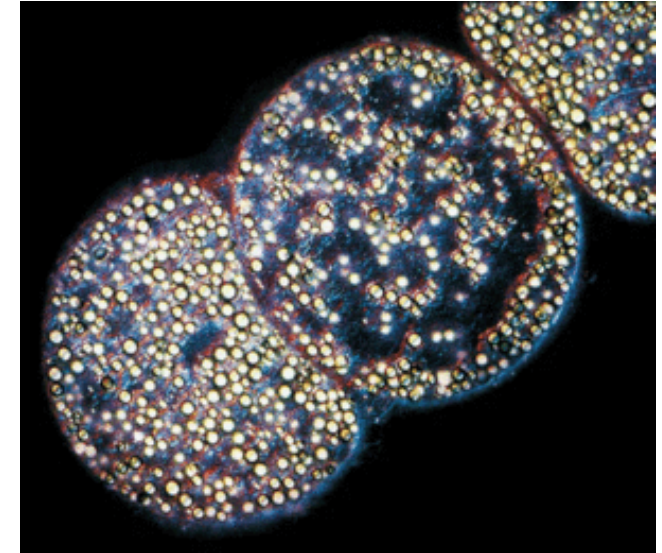
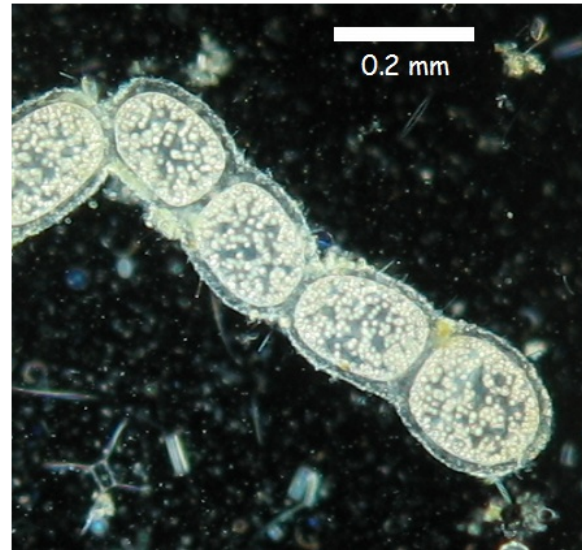
# ЭУКАРИОТЫ



# САМЫЕ КРУПНЫЕ ПРОКАРИОТЫ

*Thiomargarita namibiensis*

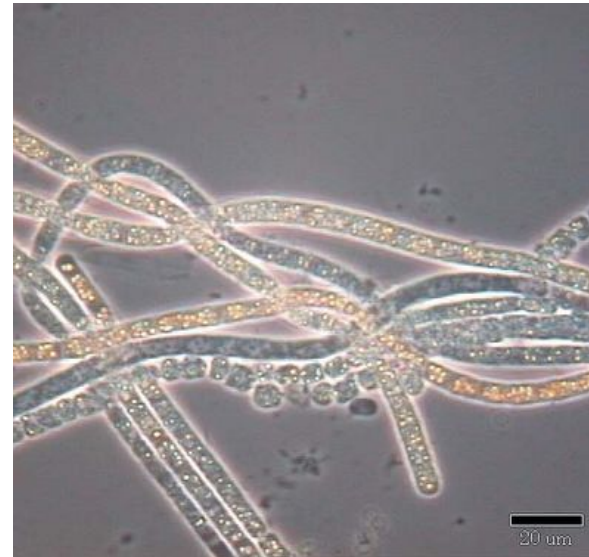
(диаметр клеток может достигать 750 мкм)



Так называемые «Бесцветные серобактерии», окисляющие сероводород и элементную серу

*Beggiatoa alba*

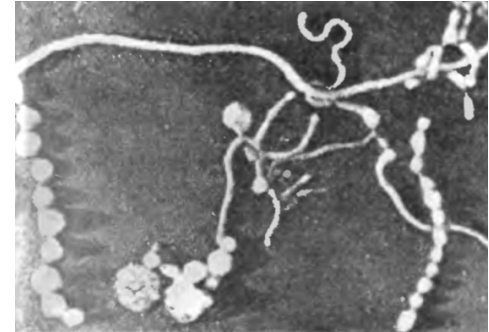
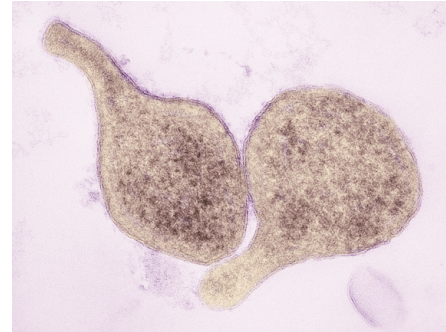
(диаметр клеток может достигать 150 мкм, длина нитей - 10 мм)



# САМЫЕ МЕЛКИЕ ПРОКАРИОТЫ

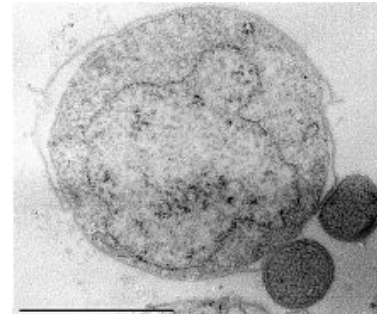
БАКТЕРИИ

Внутриклеточные паразиты  
рода *Mycoplasma*

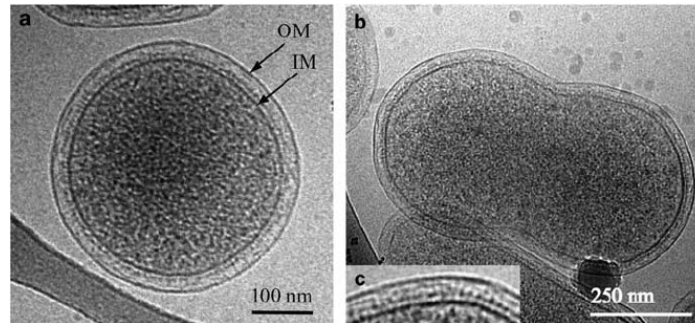


АРХЕИ

*Nanoarchaeota*



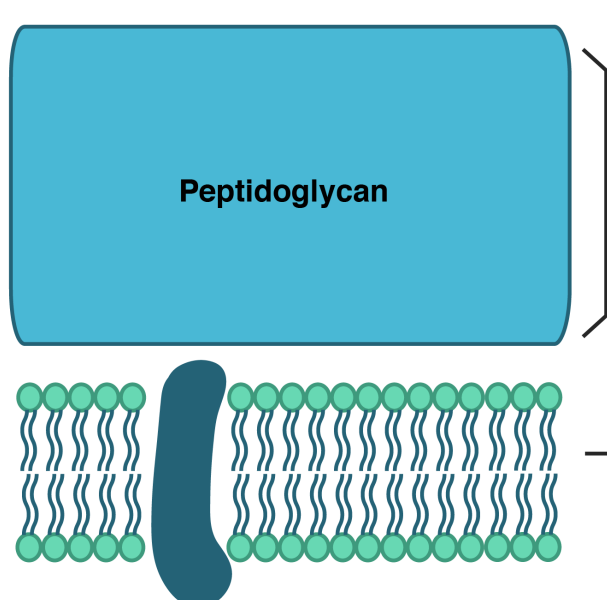
ARMAN



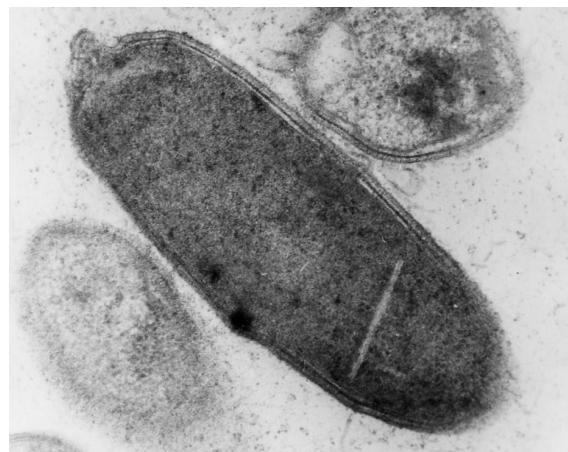
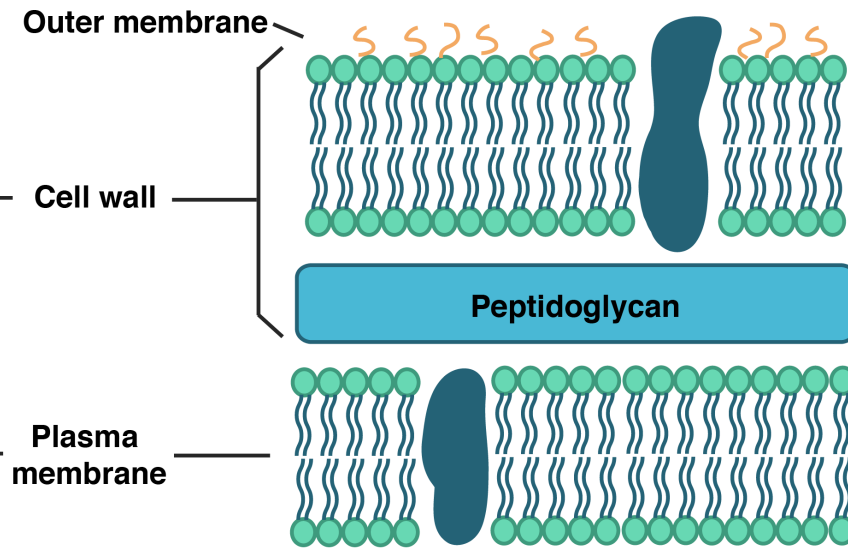
(паразиты или симбионты других архей)

# ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ МЕМБРАНА И КЛЕТОЧНАЯ СТЕНКА

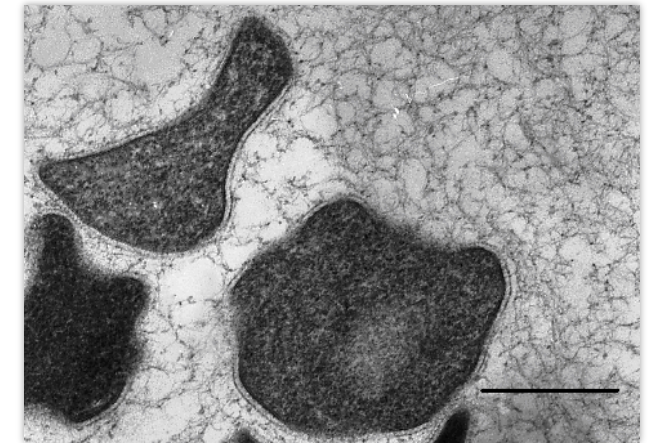
Gram-positive bacteria



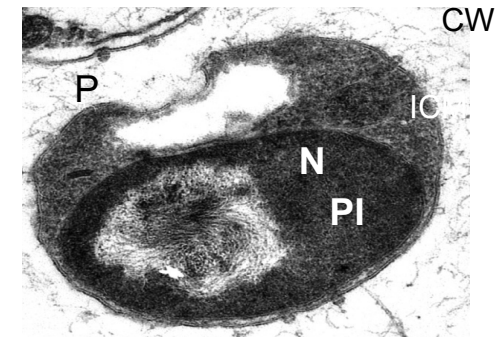
Gram-negative bacteria



У архей вместо клеточной стенки – слой белковых глобул



У планктомицетов стенки нет совсем



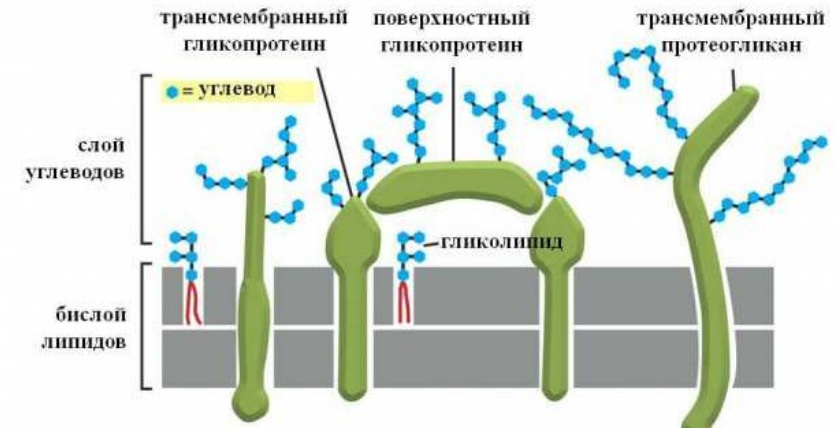
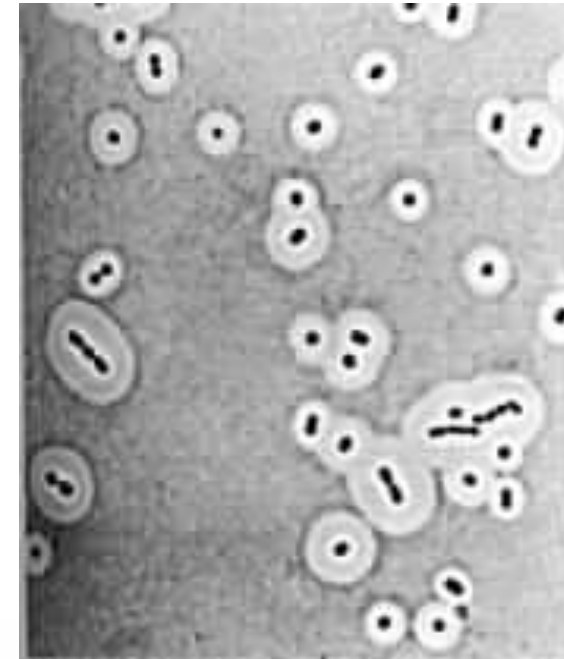
# КАПСУЛА И ГЛИКОКАЛИКС

**Капсула** - полимерный чехол, окружающий клетку; в состав капсулы входят полигликаны и полипептиды

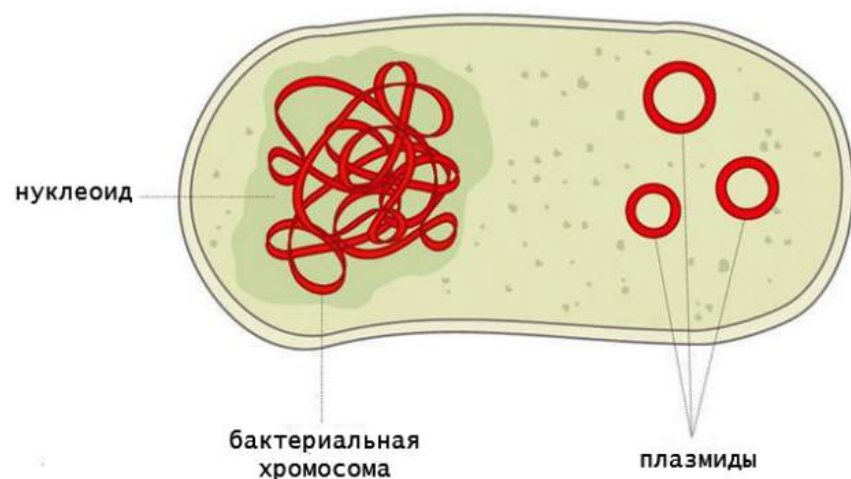
Предохраняет от пересыхания

У патогенных микроорганизмов защищает от действия иммунной системы

**Гликокаликс** — «заякоренные» в клеточной стенке молекулы олигосахаридов, полисахаридов, гликопротеинов и гликолипидов.



# НУКЛЕОИД И ПЛАЗМИДЫ



ДНК + стабилизирующие белки

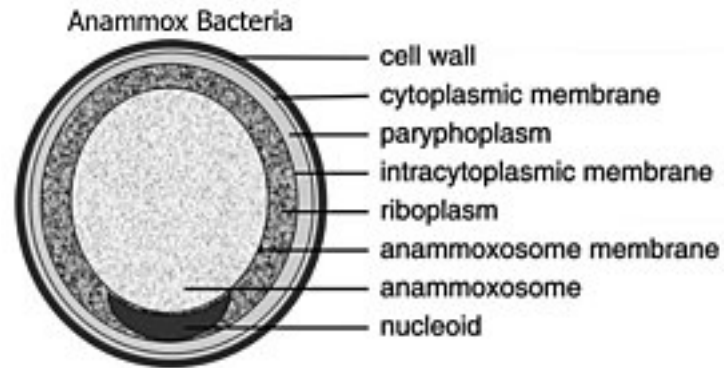
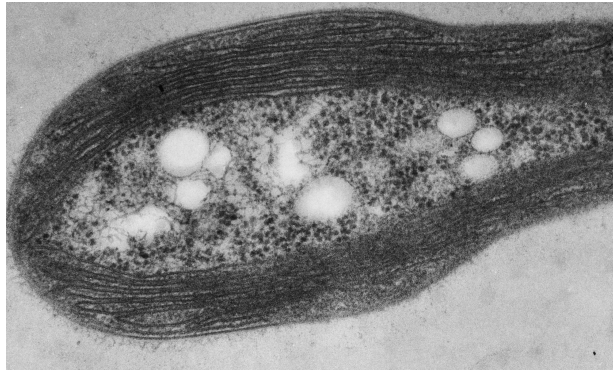
Занимает ~ 20% цитоплазмы

Длина ДНК ~ 1 мм (!)

Плазмиды – небольшие (как правило) фрагменты ДНК

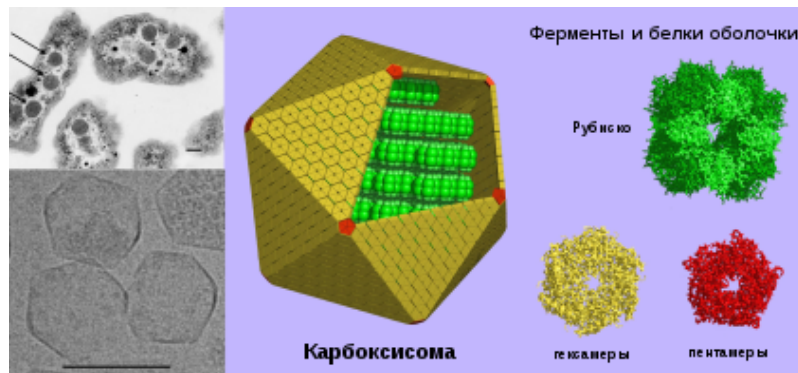
- ✓ У некоторых бактерий в клетке несколько хромосом (*Deinococcus radiodurans* – 10, *Azotobacter vinelandii* – 80)
- ✓ Множественные хромосомы могут быть идентичными, но могут и различаться
- ✓ У некоторых бактерий хромосомы линейные (не замкнуты в кольцо)

# МЕМБРАННЫЕ СТРУКТУРЫ



Анаммоксисомы бактерий,  
анаэробно окисляющих аммоний

Мембраны метаноксиляющих  
бактерий



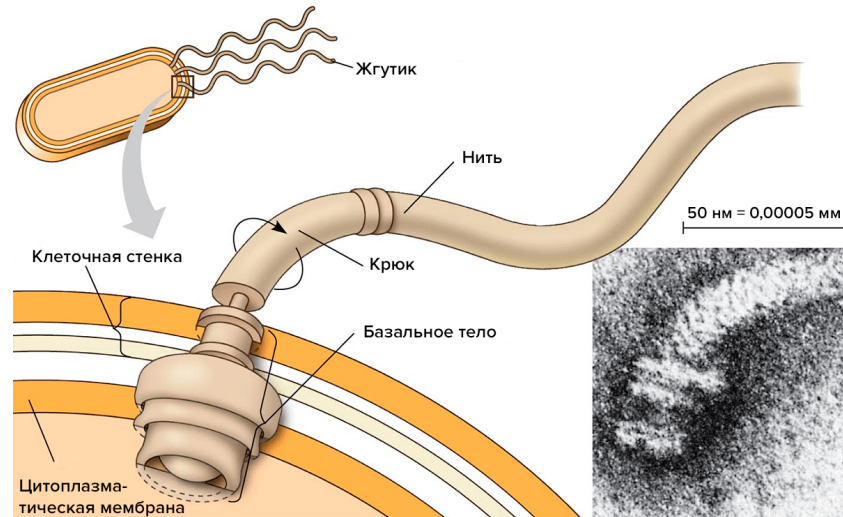
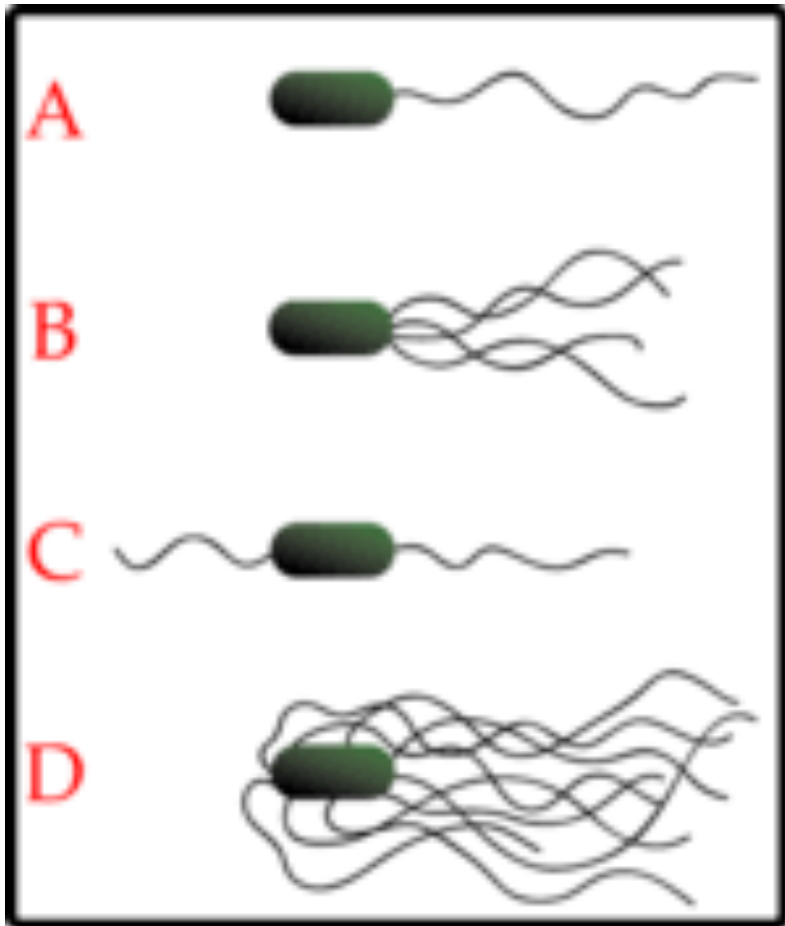
Карбоксисомы автотрофных бактерий



Хроматофоры  
фотосинтезирующих бактерий

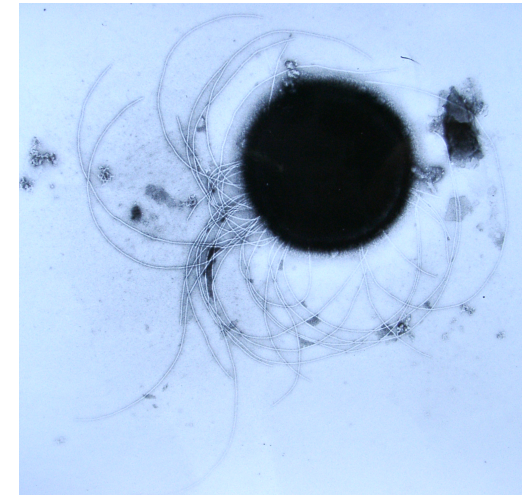
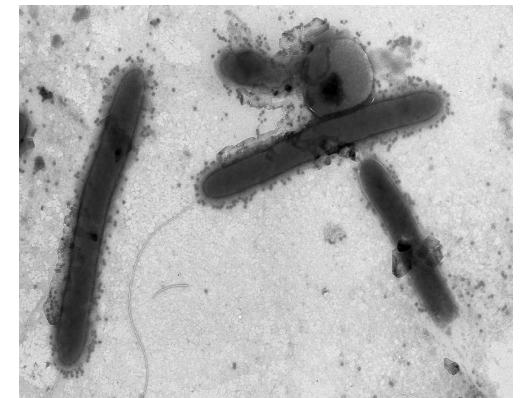


# ЖГУТИКИ И ДВИЖЕНИЕ



Делает от  $1,5 \cdot 10^4$  до  $10^5$  оборотов в минуту

Белок флагеллин  
Субъединицы уложены спирально



У архей жгутики более тонкие,  
белки не родственны  
бактериальным

Скорость движения прокариот при помощи жгутиков –  
От 20 до 200 мкм в секунду

Мотивация движения – фототаксис и  
хемотаксис

# СКОЛЬЗЯЩЕЕ ДВИЖЕНИЕ, ПИЛИ И ФИМБРИИ

Многие бактерии, например, *Beggiatoa*, движутся за счет скользящего движения  
Связано с выделением слизи  
Предполагается, что происходит за счет последовательного сокращения поверхностных белков

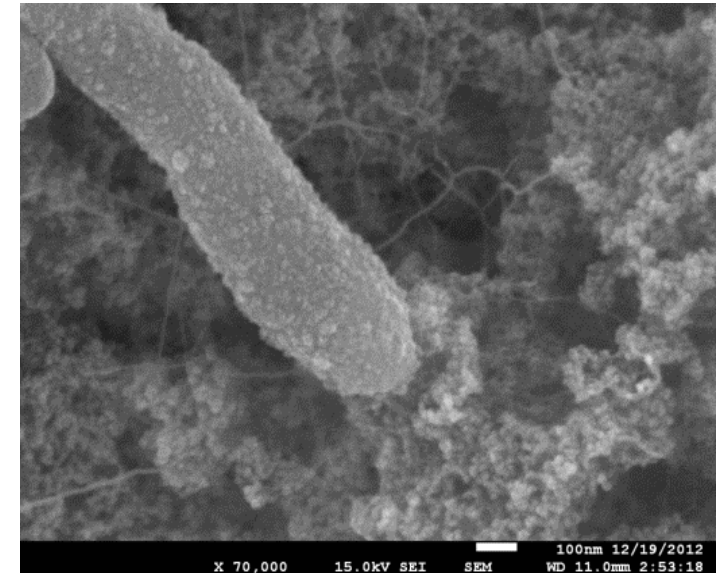
Пили – тонкие нитевидные выросты, иногда очень длинные  
Белки пилины, не родственны флагеллинам

Множественные функции:

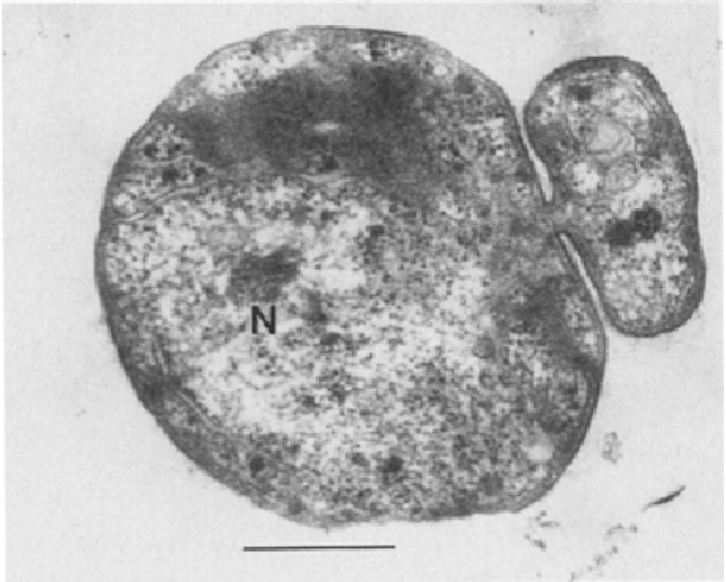
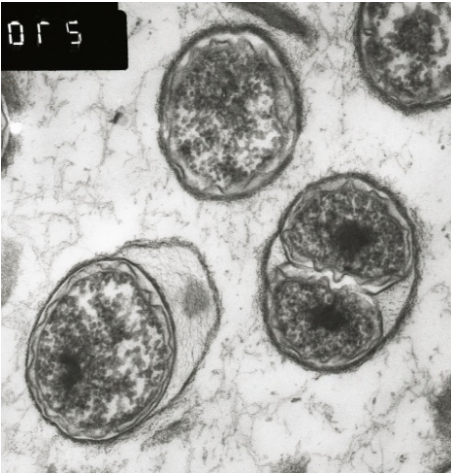
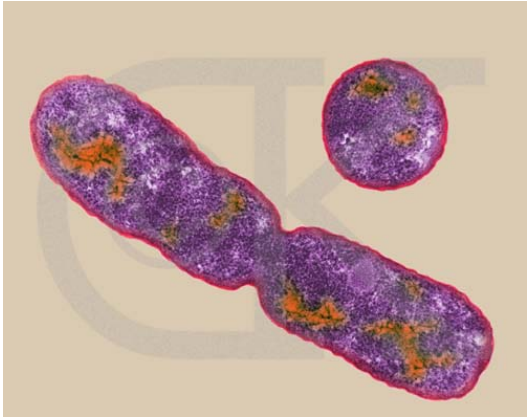
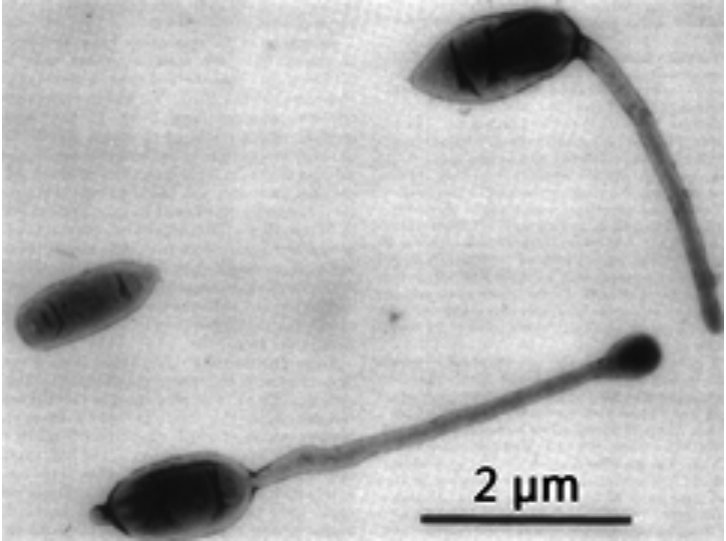
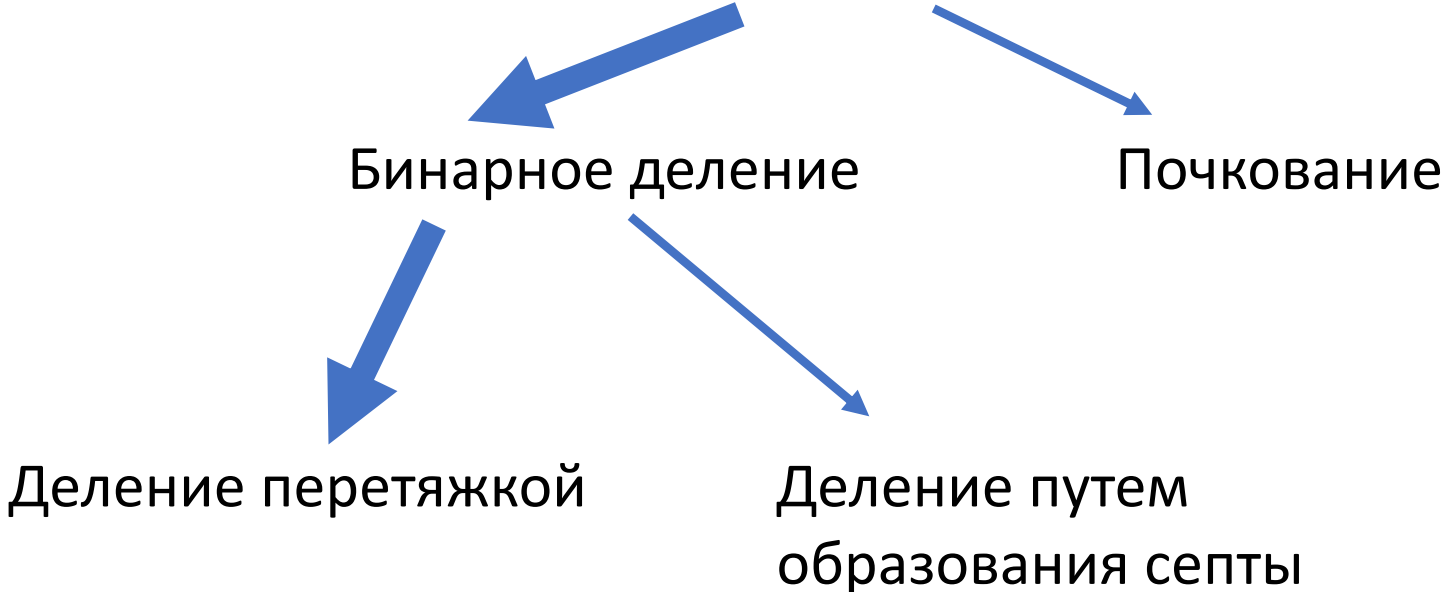
- движение
- конъюгация
- перенос электронов к внеклеточным окислителям и другим микробам (nanowires)

Фимбрии – короткие нитевидные выросты

Служат для прикрепления к субстрату и клеток между собой



# РАЗМНОЖЕНИЕ БАКТЕРИЙ

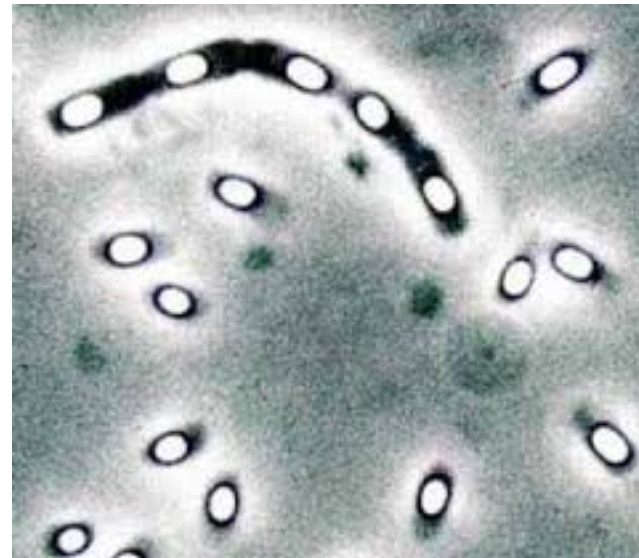
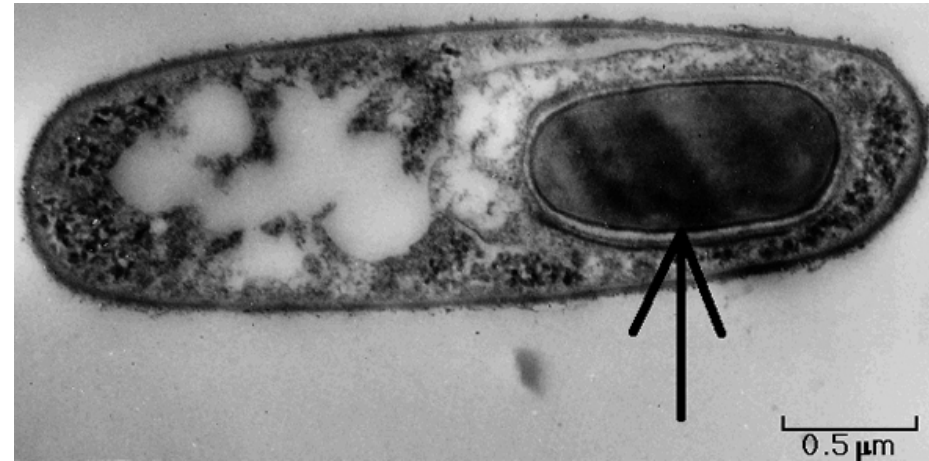


# ПОКОЯЩИЕСЯ ФОРМЫ: СПОРЫ И ЦИСТЫ

Споры бактерий – приспособление для переживания неблагоприятных условий

Выдерживают нагревание, высушивание, механические нагрузки, химическое воздействие (но не ультрафиолет!)

Удалось оживить спору  
возраста 30 млн лет (?)



Овальные или круглые, образуются внутри клетки

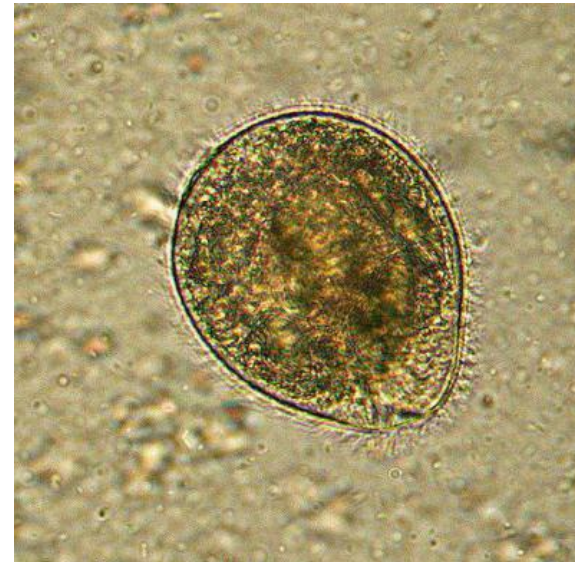
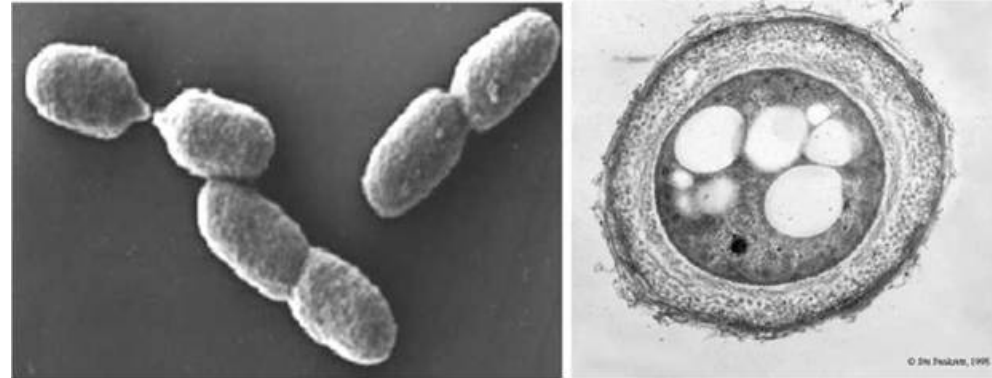
# ПОКОЯЩИЕСЯ ФОРМЫ: СПОРЫ И ЦИСТЫ

Цисты – также приспособление для переживания неблагоприятных условий

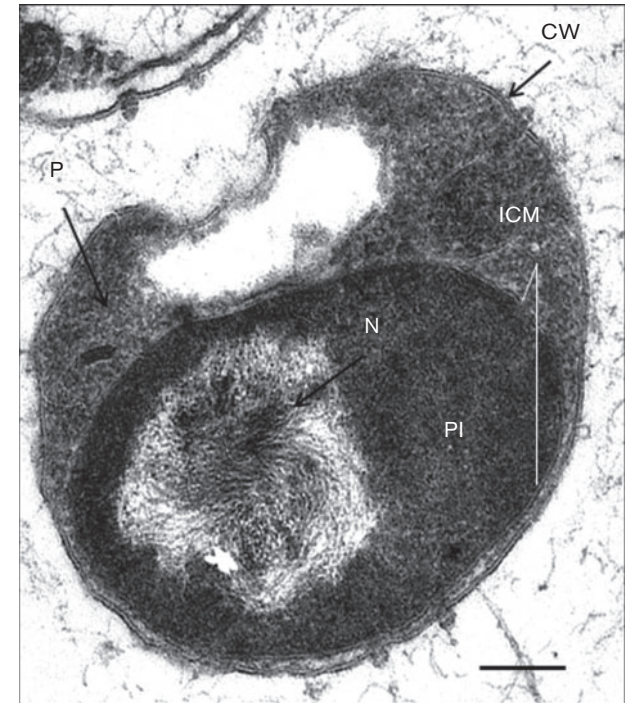
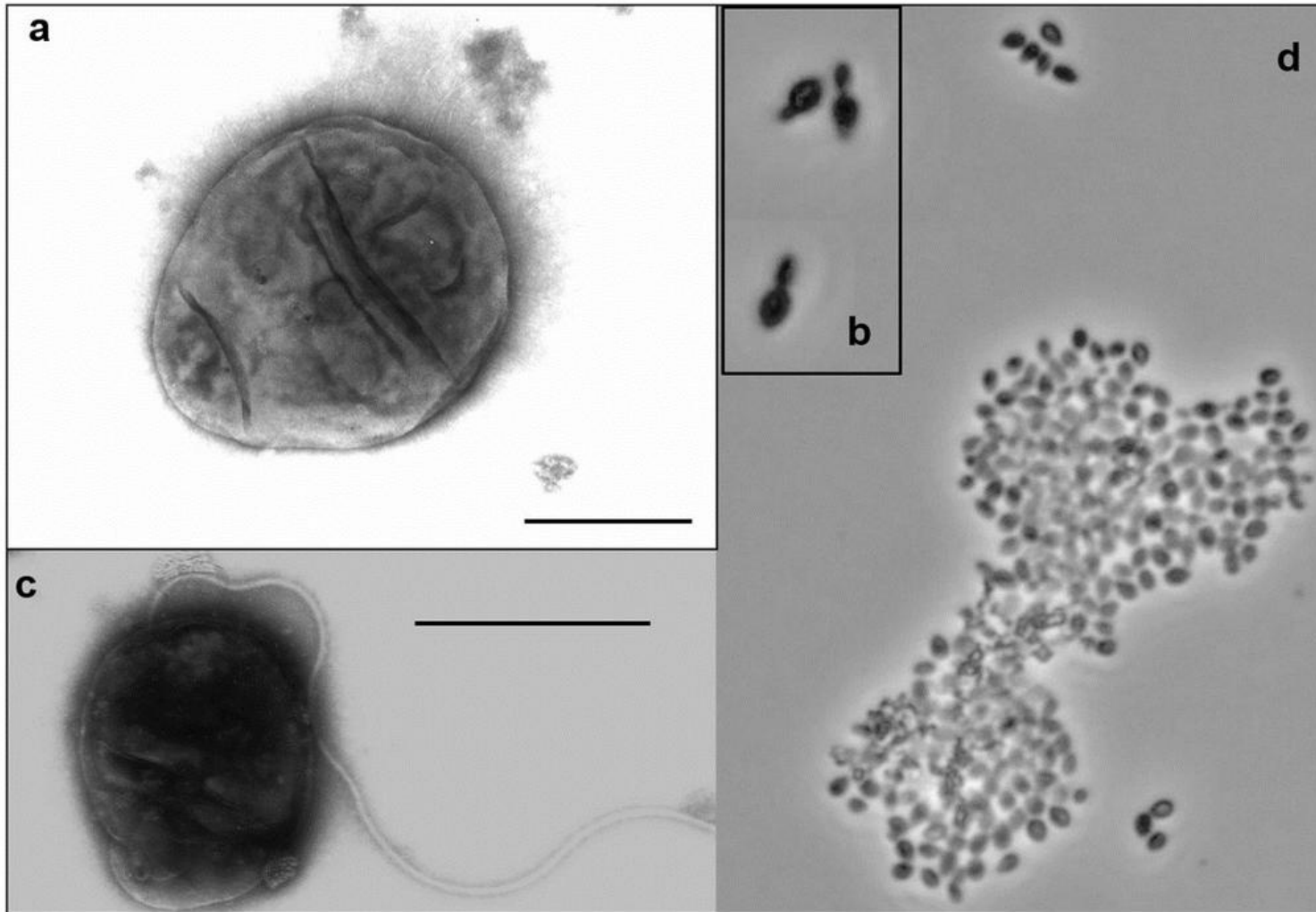
Образуются не внутри, а снаружи клетки

Устойчивы к высушиванию и ультрафиолету

Не устойчивы к нагреванию

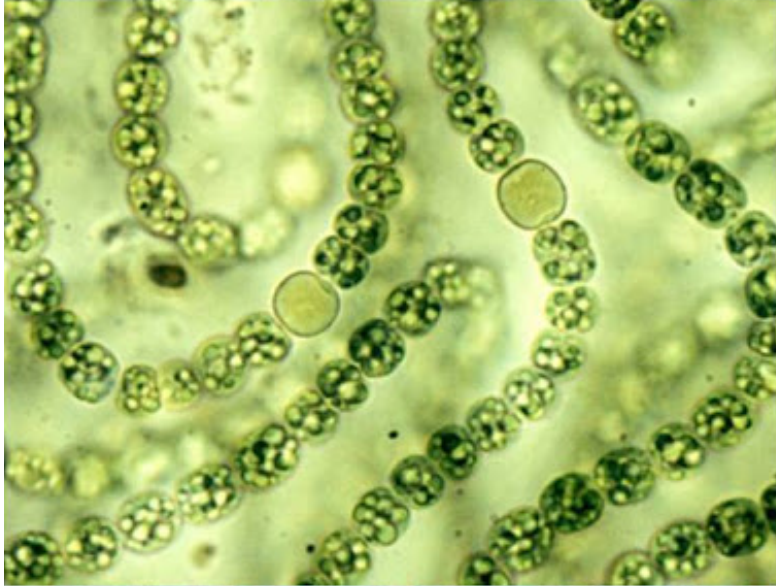


# Планктомицеты – бактерии со сложной организацией и сложным клеточным циклом



*Thermogutta terrifontis* – первый термофильный анаэробный планктомицет

# Дифференцировка клеток у цианобактерий



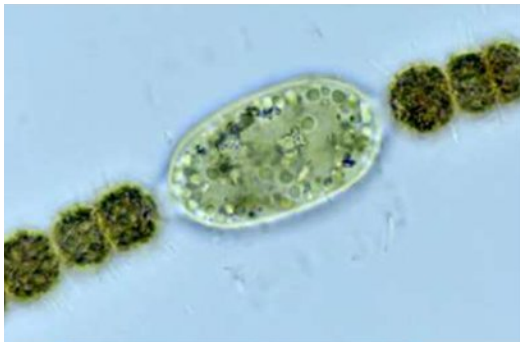
Гетероцисты

Цианобактерии – прокариоты, осуществляющие кислородный фотосинтез

Их клетки могут различаться функционально:

Гетероцисты – осуществляют ассимиляцию молекулярного азота

Акинеты – покоящиеся клетки, устойчивые к внешним воздействиям



Акинеты

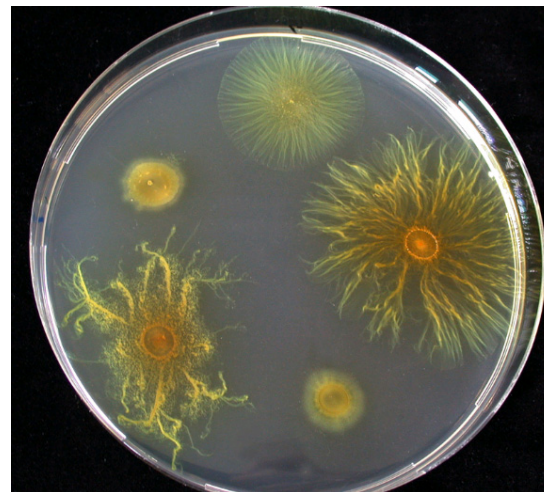


Гормогонии

Гормогонии – короткие подвижные цепочки клеток, служат для распространения

# БИОПЛЕНКИ И ОБРАСТАНИЯ

В лаборатории – колонии



В природе –

микробные обрастания

микробные маты

биопленки

90% микроорганизмов в  
природе существуют в виде  
биопленок (?)





# Типы колоний

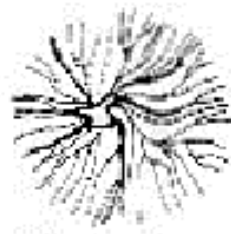
## COLONY SHAPE



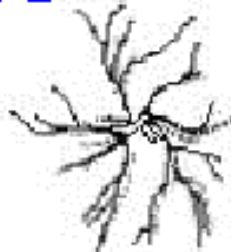
**round**



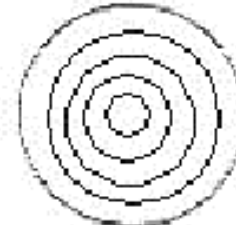
**irregular**



**filamentous**



**rhizoid**



**curled**

## COLONY EDGE/MARGIN



**entire**



**filamentous**



**undulate**

**lobate**

**irregular**

## COLONY ELEVATION



**raised**



**flat**



**convex**



**umbonate**



**growth into medium**

0 min



Рост колонии

# БИОПЛЕНКИ И ОБРАСТАНИЯ

Нефтеразведывательная скважина в Томской области

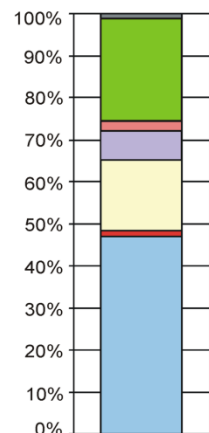
Баженовская платформа –  
захороненное органическое  
вещество Юрского периода

Постоянно изливающаяся вода с  
глубины 2560 м, T 52°C



## Water of well 3P 16S rRNA analysis

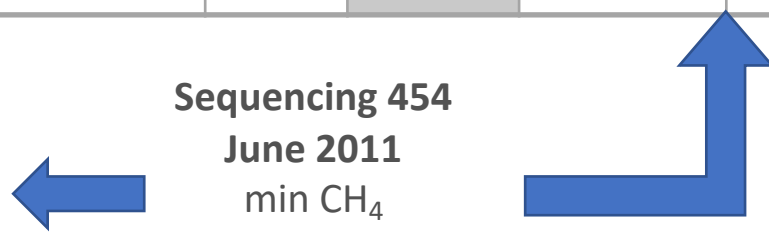
PCR-DGGE analysis, % of similarity with the closest relative	August 2009	February 2010	March 2010	September 2012	August 2013
Phylotypes	Number of phylotypes and their difference (‘-’’’’’)				
<i>Delftia tsuruhatensis</i> , 99%	3				
<b><i>Desulfoviregula thermocuniculi</i>, 98-99%</b>	2	2’		1’’	1’’’’
<b><i>Thermaerovibrio acidaminovorans</i>, 87%</b>	1	1’	1’’	1’’’’	1’’’’’
<i>Thermaeromonas toyohensis</i> , 88%			1		1’
<i>Thermoacetogenium phaeum</i> , 99%	1				
<i>Desulfotomaculum salinum</i> , 99%	1				
<i>Symbiobacterium turbinis</i> , 97%	1				
<i>Moorella thermoacetica</i> , 88%				1	
<i>Thermaerobacter marianensis</i> , 88%				1	
<i>Thermaerobacter subterraneus</i> , 89%				1	1’
<i>Ignavibacterium album</i> , 98%			1		1’
<i>Sphaerobacter thermophilus</i> , 83%					1
<b><i>Methanothermobacter marburgensis</i>, 95-99%</b>	2	1’		1’’	1’’’’



- Others
- Methanobacteriales*
- OP9
- Uncultured Firmicutes
- Thermacetogenium* sp.
- Desulfotomaculum kuznetsovii*
- Desulfoviregula thermocuniculi*

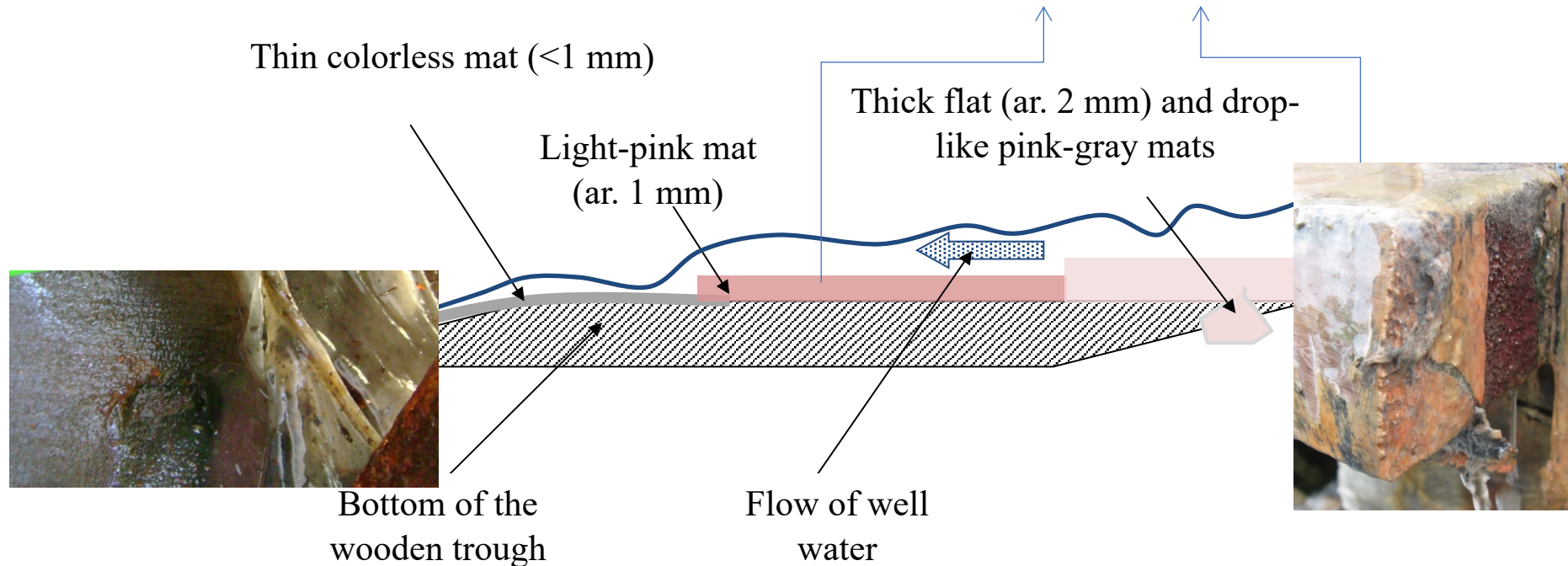
Cells/ml	$10^8$	$3 \times 10^4$	$10^5$	$10^5 - 10^7$
----------	--------	-----------------	--------	---------------

**Sequencing 454**  
**June 2011**  
 min CH<sub>4</sub>  
 $2 \times 10^5$  клеток/мл

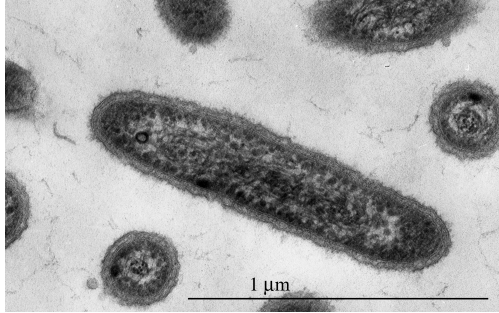


## Molecular analysis of mats developing at the outflow of well 3P

PCR-DGGE analysis, % of similarity with the closest relative	August 2009	February 2010
Phylotypes	Number	
<i>Flavobacterium kamogawaensis</i> , 94%	1	
<i>Flavobacterium cucumis</i> , 94%	1	
<i>Flavobacterium gelidilacus</i> , 94%	1	
<i>Hydrogenophaga pseudoflava</i> , 95%	1	1
<i>Hydrogenophilus thermoluteolus</i> , 96-99%		1
<i>Calditerrivibrio nitroreducens</i> , 90%		1



## Phylum *Ignavibacteria*

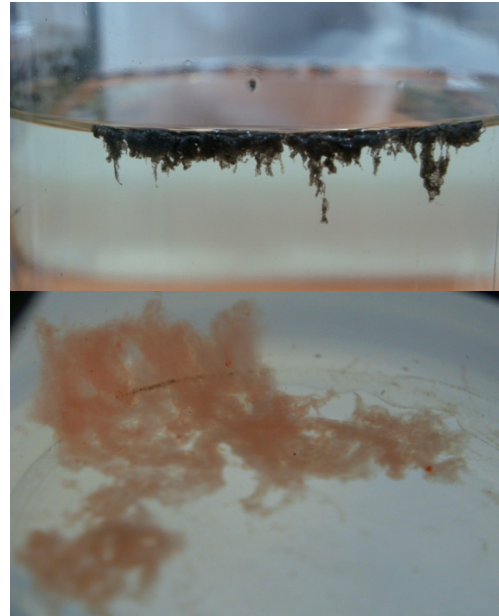


*Melioribacter roseus*

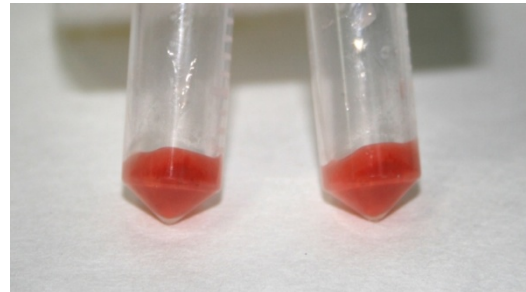
Moderate thermophile  
Facultative anaerobe

Substrates: mono- and disaccharides, polysaccharides (MCC, CMC, xylan, starch, lichenan, dextran, xanthan gum), proteins, acetate

Electron acceptors: oxygen, Fe(III), arsenate, nitrite, sulfate



Biofilms



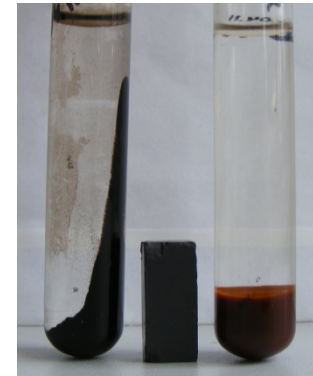
Precipitated cells



Илья  
Кубланов



Ольга  
Подосокорская



Iron reduction



Arsenate reduction

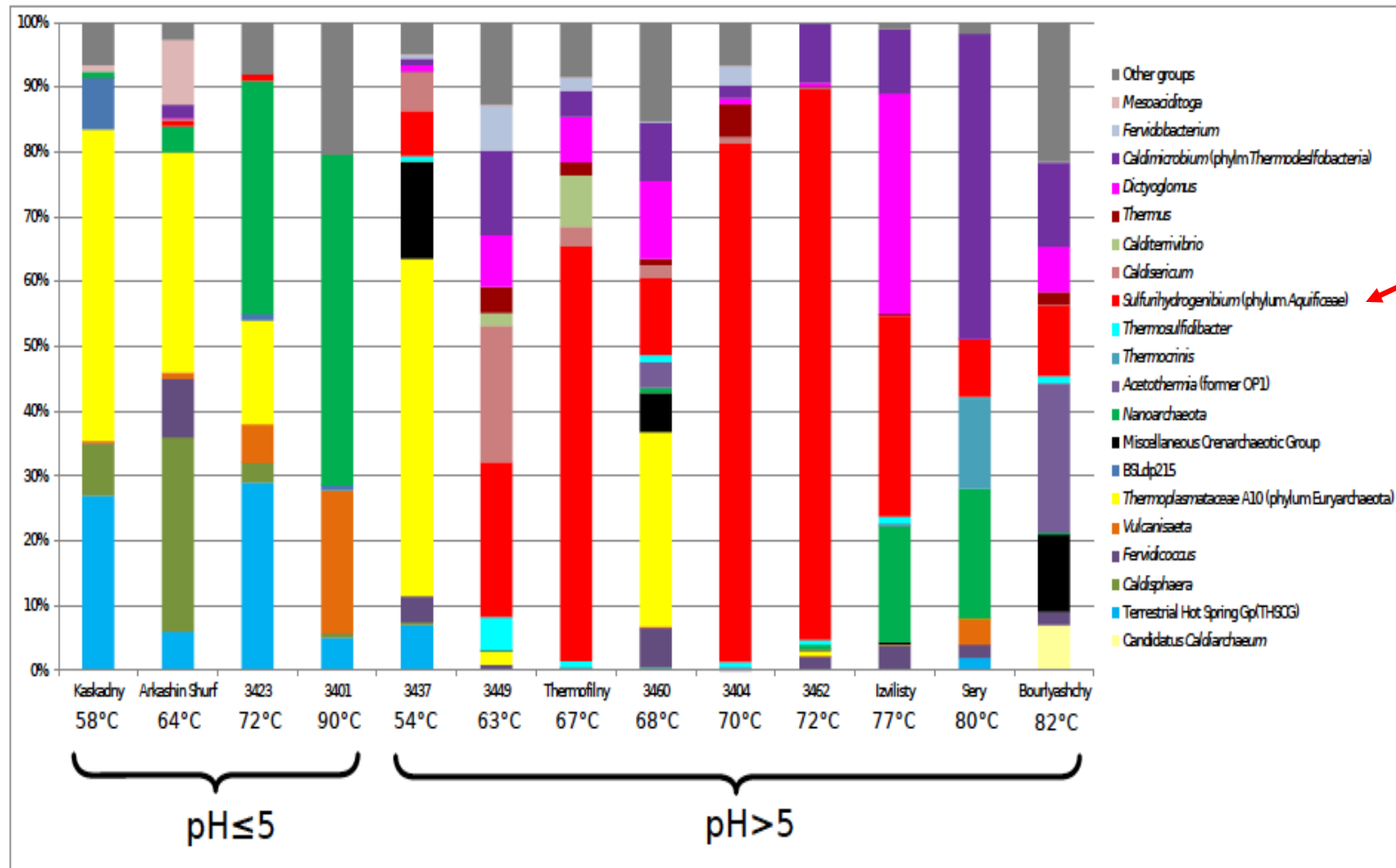
# БИОПЛЕНКИ И ОБРАСТАНИЯ

В горячих источниках – мощные обрастания микроорганизмов, окисляющих сероводород до серы кислородом воздуха

Т 70-80°C



Волокна *Aquifex*



Массовая форма в проточных ручьях кальдеры Узон с нейтральным рН и температурой 67-77°C



# БИОПЛЕНКИ И ОБРАСТАНИЯ

Цианобактериальные маты

Развиваются в горячих источниках и соленых лагунах

Верхние слои – фотосинтез

Нижние – деструкция органического вещества цианобактерий

Слоистая структура

Окаменелости - строматолиты

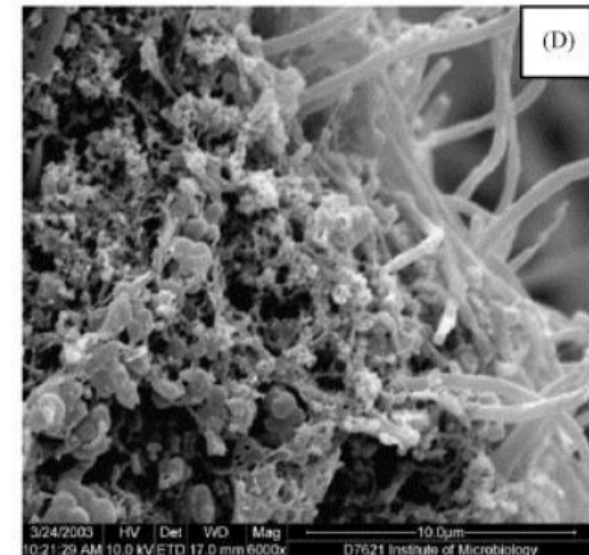
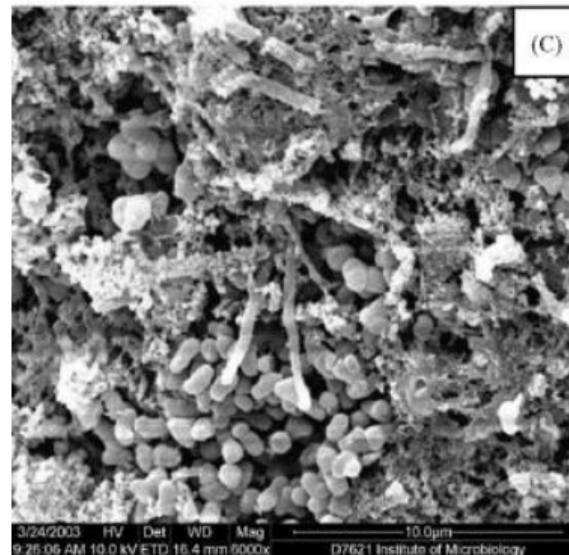
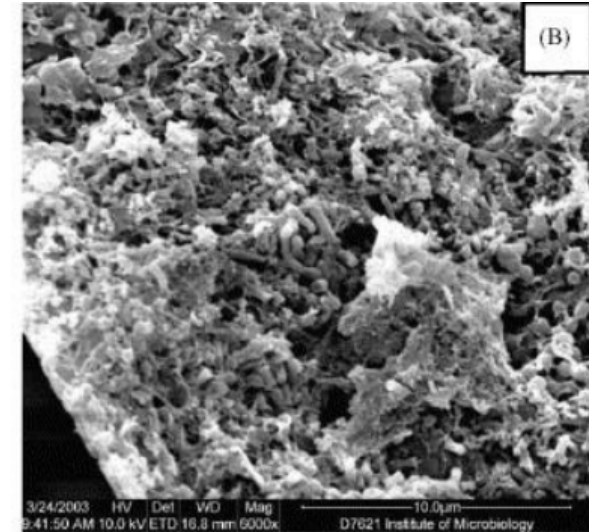
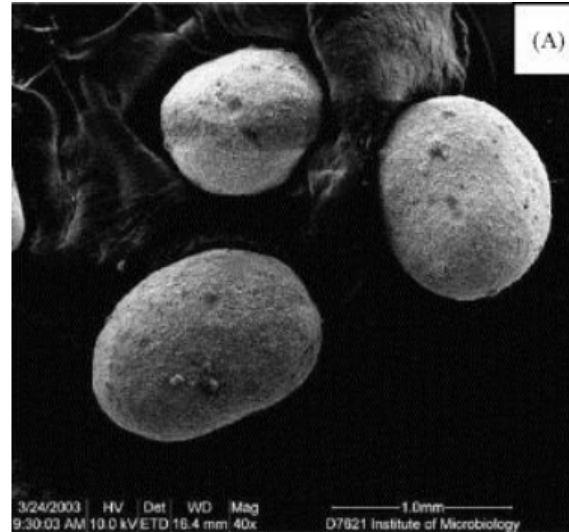


# АНАЭРОБНЫЕ ГРАНУЛЫ

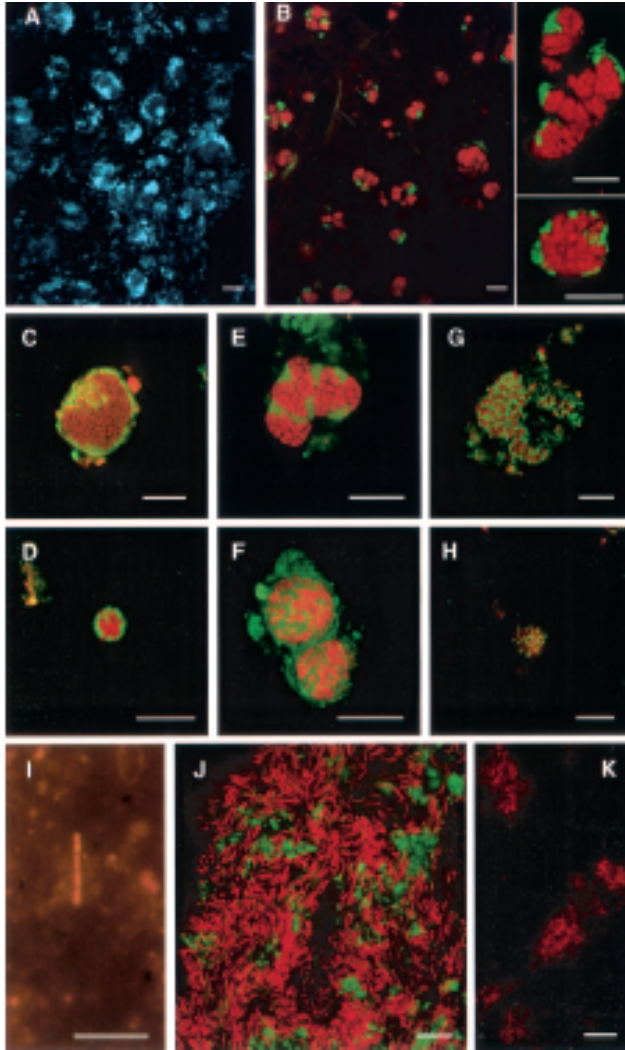
Внутри – метаногенные археи

Снаружи – микроорганизмы,  
окисляющие органические  
вещества с образованием  
водорода

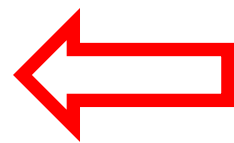
Образуются при анаэробном  
разложении различных  
органических отходов



# АНАЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ МЕТАНА



- Происходит в местах активного выделения метана
- Микробные сообщества в виде гранул, культивировать практически невозможно
- Состоят из анаэробных метаноокисляющих архей, родственных метаногенам, и сульфатредуцирующих архей
- Синтрофная ассоциация, в которой один микроорганизм, сдвигая термодинамическое равновесие, делает возможным осуществление всего процесса



Метод FISH – возможность увидеть и идентифицировать некультивируемых микробов