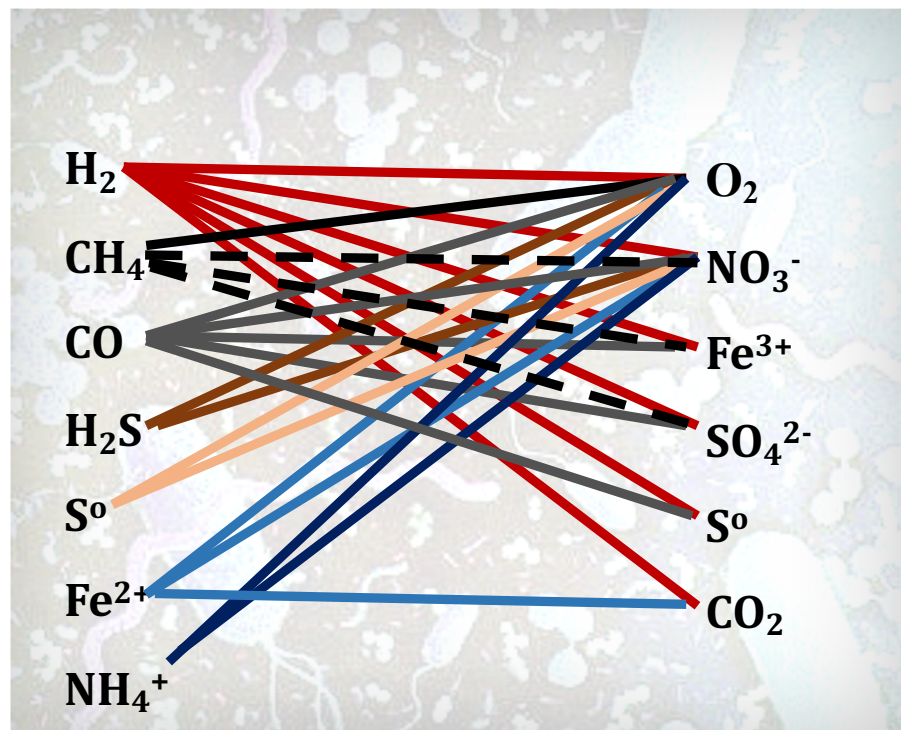
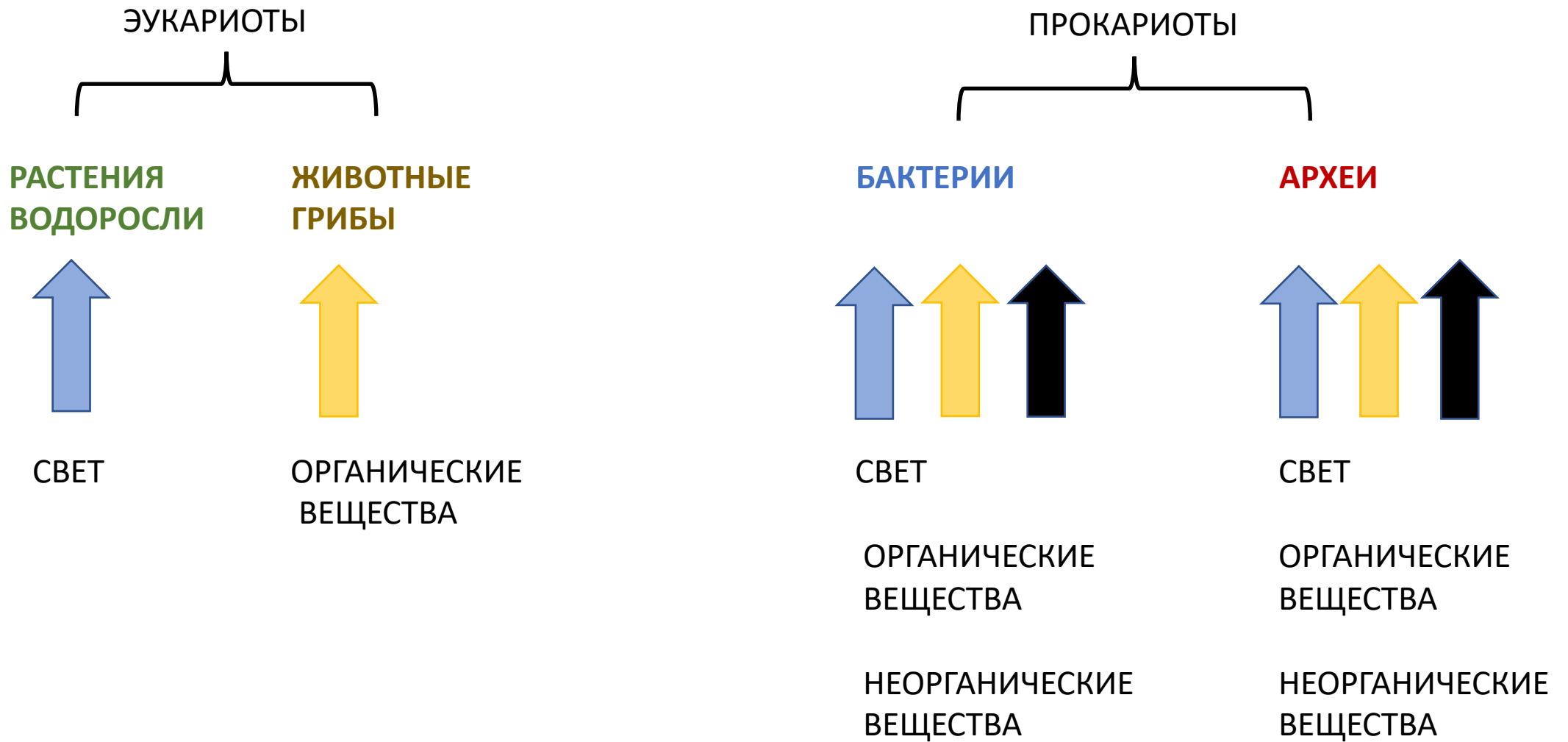


Лекция 5

Способы получения энергии прокариотами – энергетические субстраты и окислители



ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ



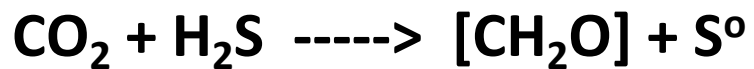
БАКТЕРИАЛЬНЫЙ ФОТОСИНТЕЗ

ЦИАНОБАКТЕРИИ

Кислородный фотосинтез
(донор электронов – вода, продукт – кислород)



Бескислородный
фотосинтез
(донор электронов –
сероводород или
органические вещества)



ЗЕЛЕННЫЕ СЕРОБАКТЕРИИ
ПУРПУРНЫЕ СЕРНЫЕ
БАКТЕРИИ
ПУРПУРНЫЕ НЕСЕРНЫЕ
БАКТЕРИИ

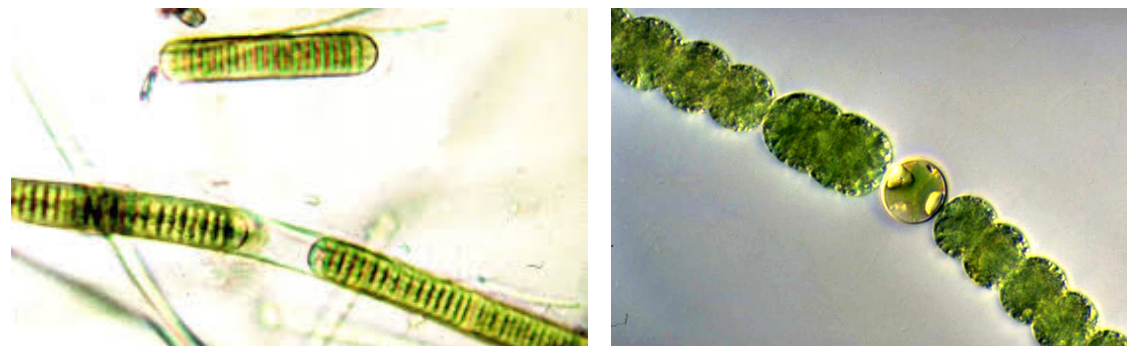


ЦИАНОБАКТЕРИИ

Могут быть одноклеточными или многоклеточными

Есть специализированные клетки – гормогонии (короткие подвижные цепочки, тип движения – скольжение) и гетероцисты (осуществляют ассимиляцию азота)

Могут развиваться в экстремальных условиях - в горячих источниках и соленых лагунах



ЦИАНОБАКТЕРИИ

Prochlorococcus – «пикопланктон»

Размер клеток 0.5-0.7 мкм

Являются основными продуцентами органического вещества и кислорода в мировом океане

Но! Только от 40° с.ш. до 40° ю.ш.



ЦИАНОБАКТЕРИИ

Вызывают цветение воды в пресных водоемах и их эвтрофикацию

Могут продуцировать токсины, опасные для здоровья человека



ЦИАНОБАКТЕРИИ

Вступают в симбиотические отношения с организмами самых разных типов:

С грибами → лишайники

С растениями

С простейшими

Явились предками хлоропластов
при симбиозе с предками
современных водорослей,
давшими начало
фотосинтезирующим эукариотам



АНОКСИГЕННЫЙ ФОТОСИНТЕЗ

Зеленые серобактерии Пурпурные серобактерии Несерные пурпурные бактерии Гелиобактерии

Chloroflexi (нитчатые)

Chlorobi

Proteobacteria

Firmicutes

Донор
электронов

H₂S

Органические вещества

Бактерио-
хлорофиллы

Bchl *a*

Bchl *a*

Bchl *a*

Bchl *b*

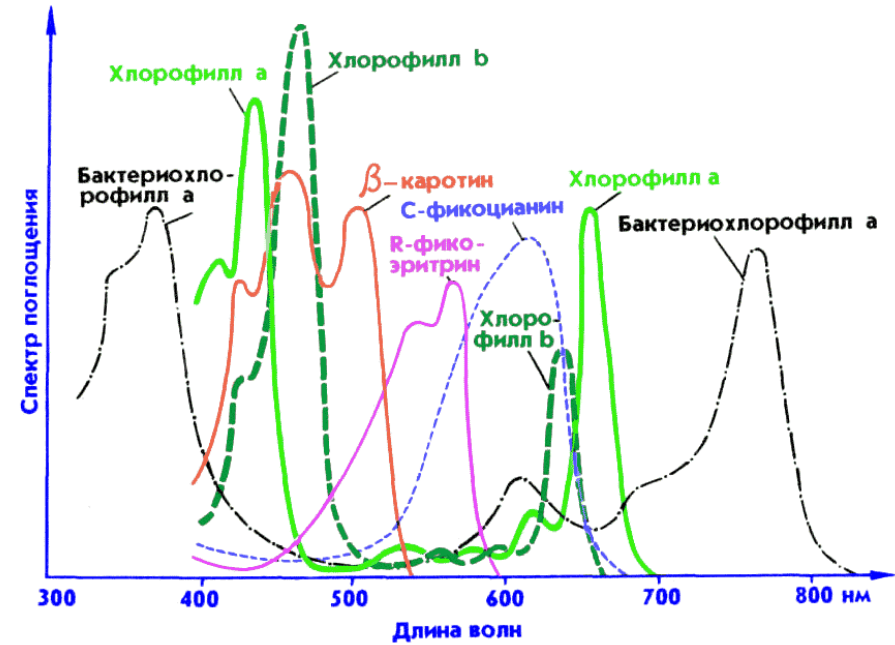
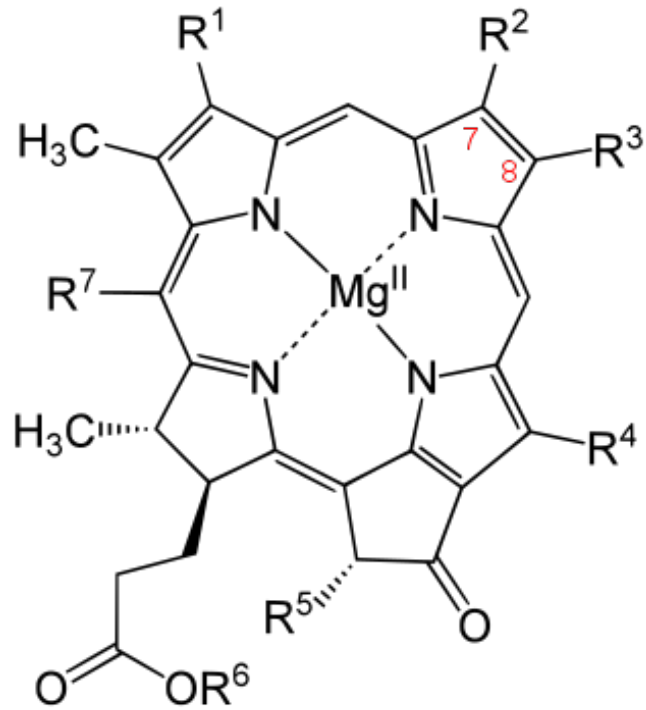
Bchl *c*

Bchl *d*

Bchl *e*

Bchl *g*

АНОКСИГЕННЫЙ ФОТОСИНТЕЗ

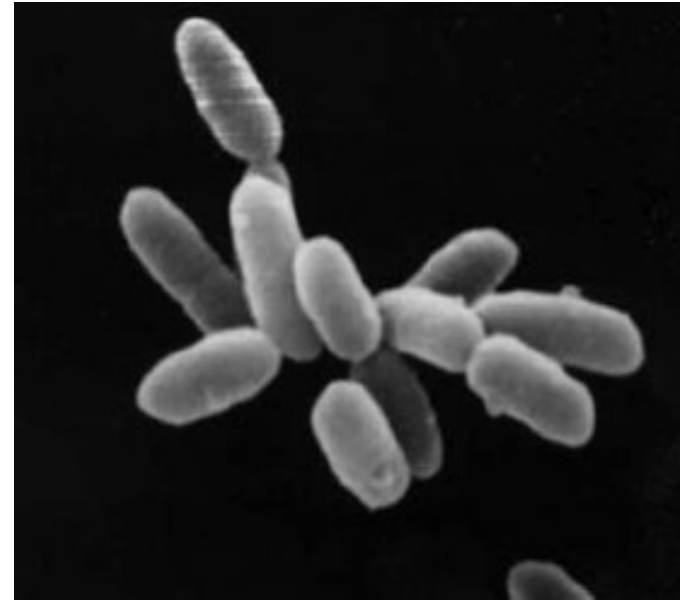


В зависимости от набора пигментов фототрофные бактерии поглощают свет разной длины волны и занимают соответствующие ниши в природе

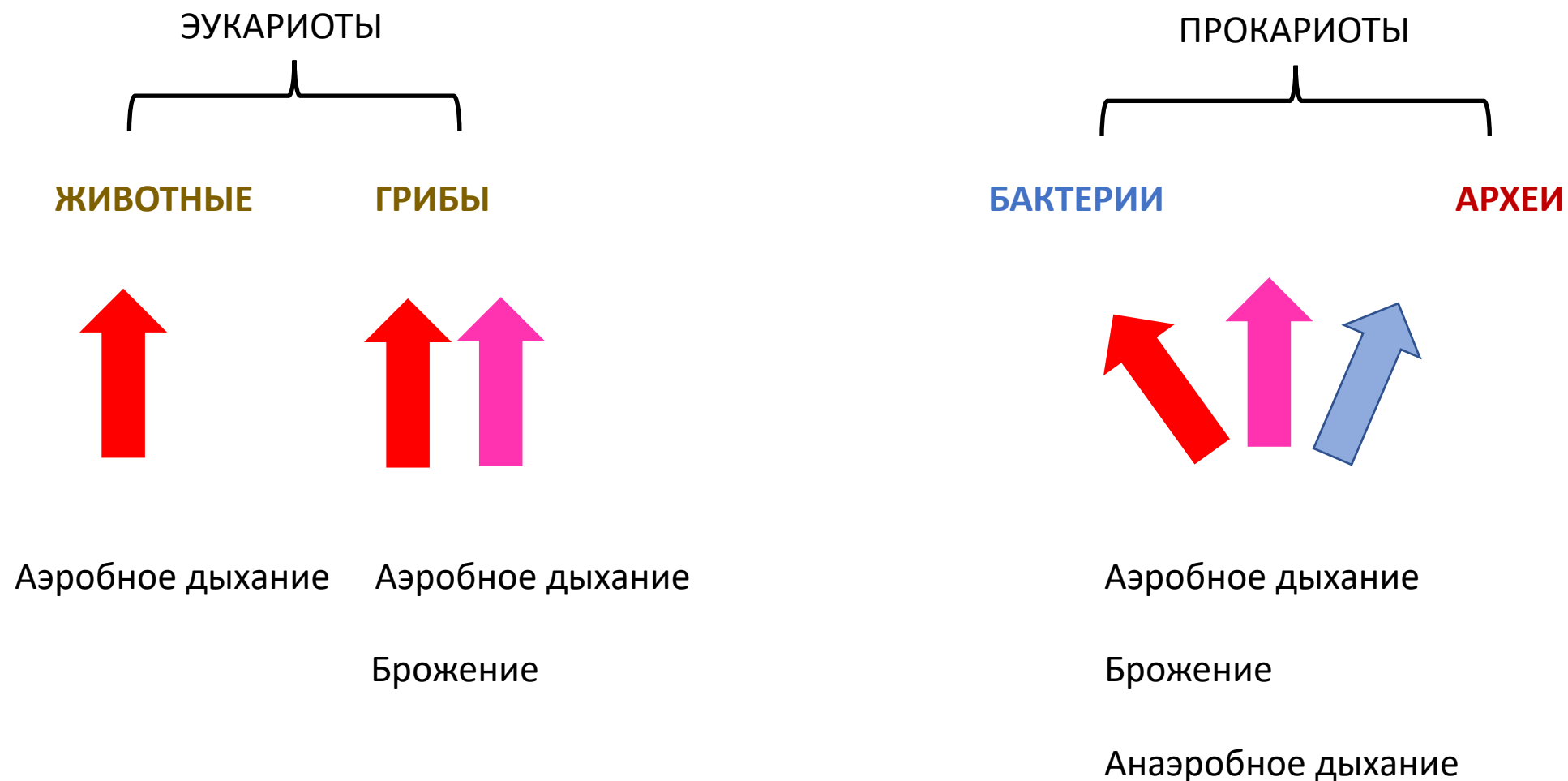


АРХЕЙНЫЙ ФОТОСИНТЕЗ

- Осуществляют галофильные археи -
- *Halobacteria*, живущие при
высокой концентрации соли
- Наиболее примитивный тип
фотосинтеза
- Свет поглощается белком-
бактериородопсином, родственным
родопсину сетчатки глаза высших
позвоночных
- В состав родопсинов входит
ретиаль - хромофор, усваивающий
свет



Органическое вещество как источник энергии



ХЕМОСИНТЕЗ/ЛИТОАВТОТРОФИЯ



С.Н. Виноградский

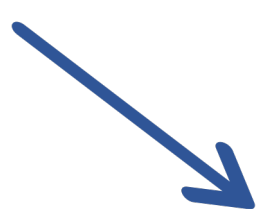
Родился в 1853 г. в России
Умер в 1953 г. во Франции

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



ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

ИСТОЧНИК УГЛЕРОДА



ФОТОАВТОТРОФЫ



Растения

ФОТОГЕТЕРОТРОФЫ

Животные
Грибы



ХЕМООРГАНОГЕТЕРОТРОФЫ

ХЕМОЛИТОАВТОТРОФЫ

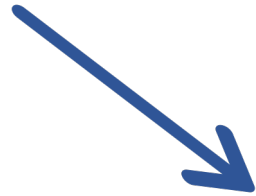
ХЕМОЛИТОГЕТЕРОТРОФЫ



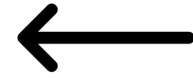
Прокариоты

ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

ИСТОЧНИК УГЛЕРОДА



ФОТОАВТОТРОФЫ



Растения

ФОТОГЕТЕРОТРОФЫ

Животные
Грибы →

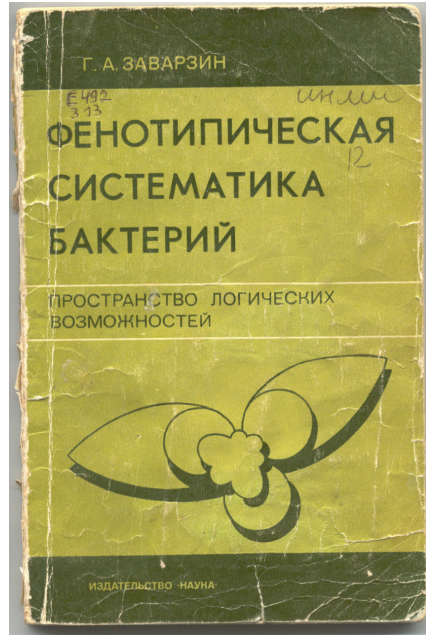
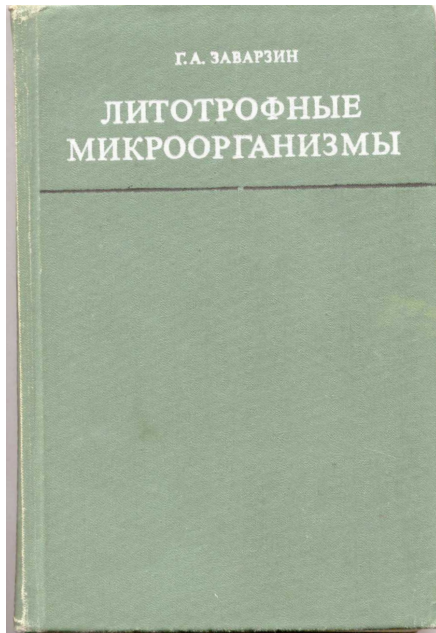
ХЕМООРГАНОГЕТЕРОТРОФЫ

ХЕМОЛИТОАВТОТРОФЫ

ХЕМОЛИТОГЕТЕРОТРОФЫ

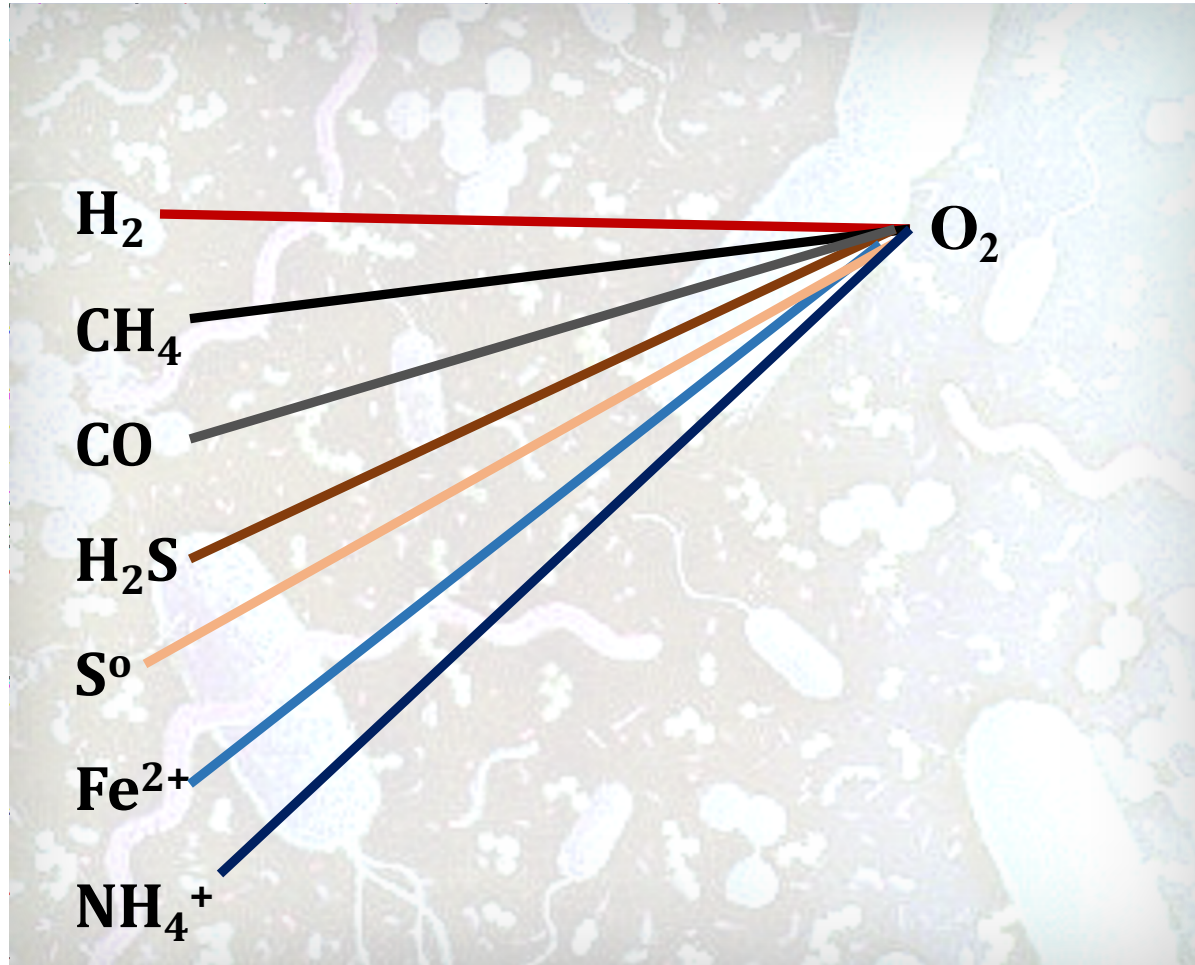


Прокариоты



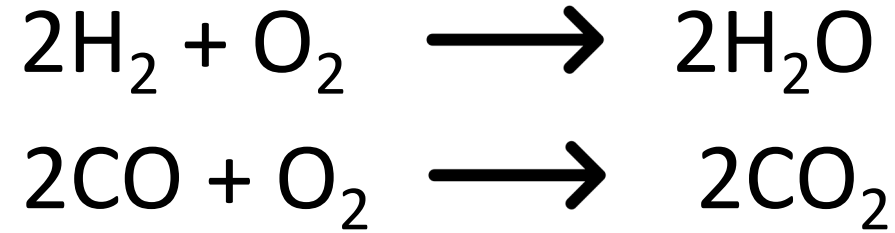
Георгий Александрович Заварзин
1933-2011

ХЕМОСИНТЕЗ/ЛИТОАВТОТРОФИЯ



- Неорганические источники энергии
- Неорганический источник углерода (CO_2)

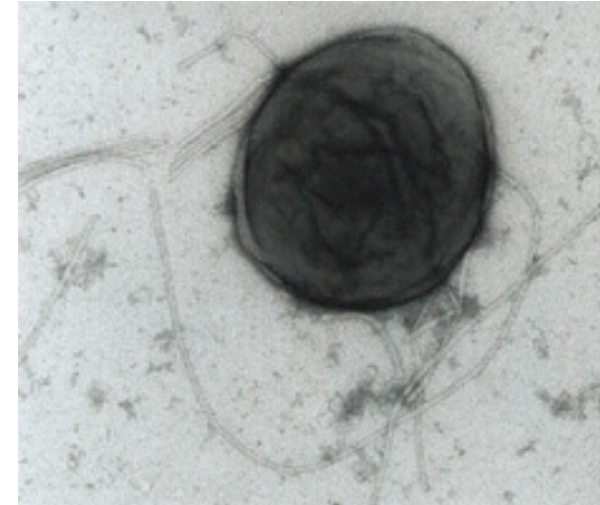
ВОДОРОДНЫЕ БАКТЕРИИ И КАРБОКСИДОБАКТЕРИИ



Реакции, свойственные широкому кругу организмов

Факультативные и облигатные литоавтотрофы

Аэробные карбоксидобактерии используются для очистки воздуха от CO



Ralstonia eutropha

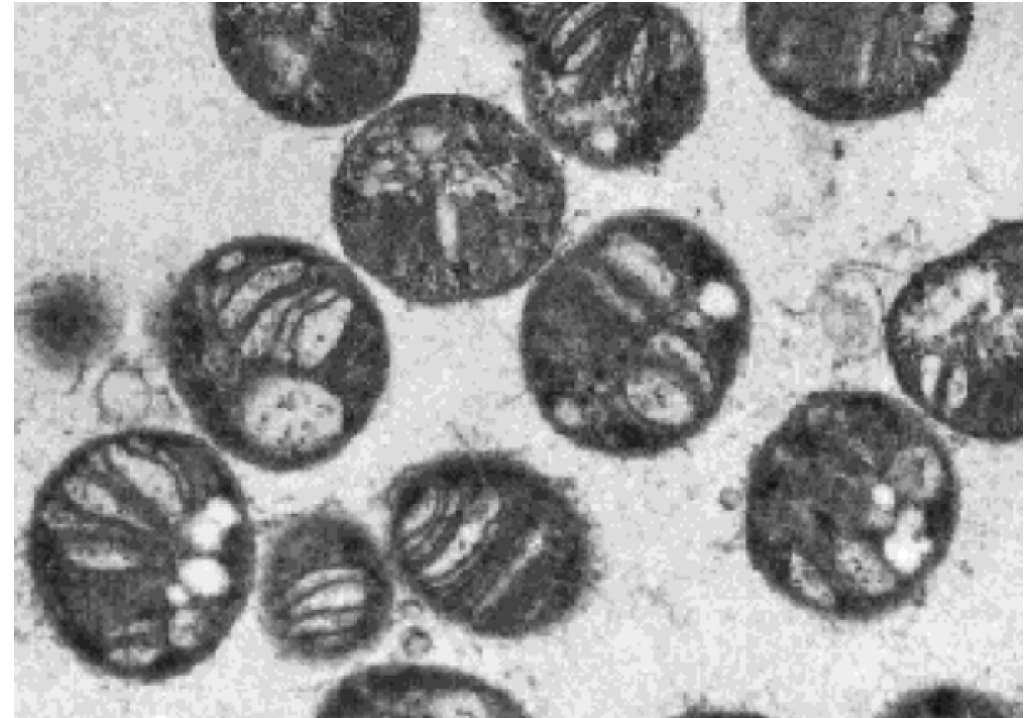
МЕТАНОКИСЛЯЮЩИЕ БАКТЕРИИ



Распространены повсеместно

Играют важную роль, являясь фильтром для биогенного метана, обращающегося при анаэробном разложении органического вещества

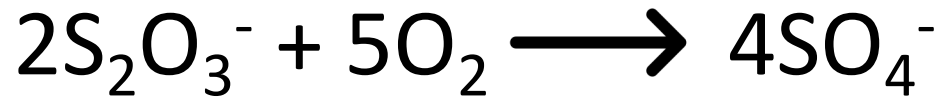
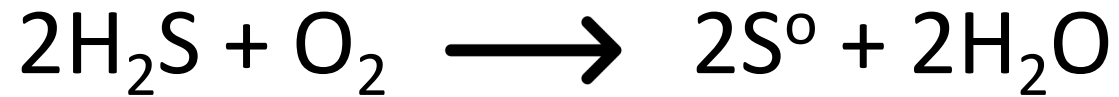
Ключевой фермент - метанмонооксигеназа



Methylococcus capsulatus

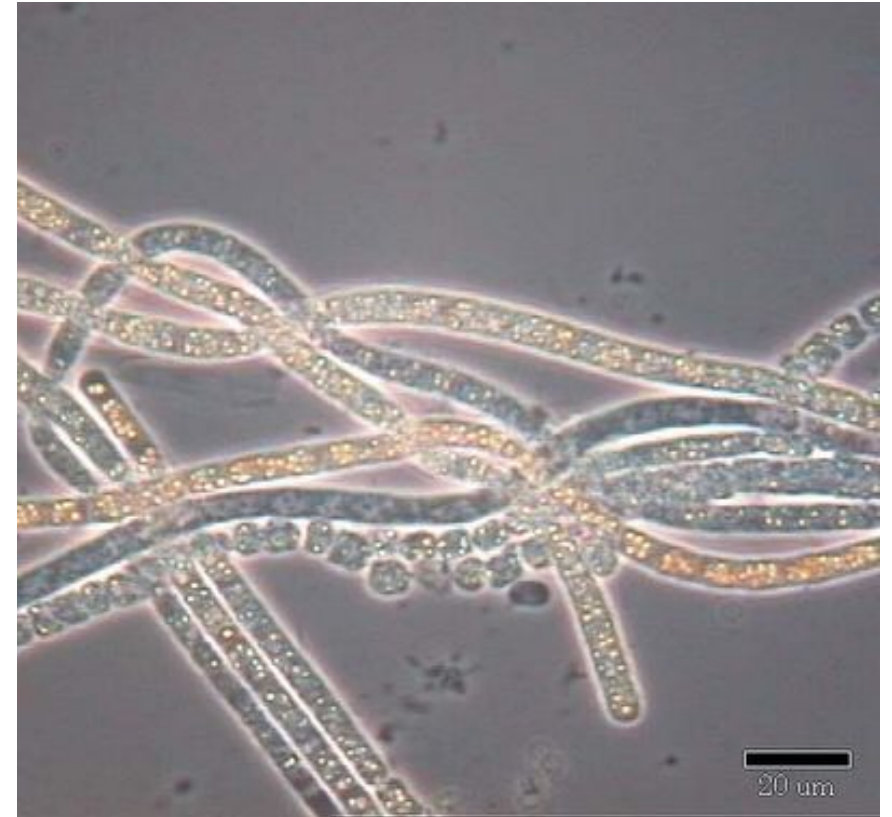
БЕСЦВЕТНЫЕ СЕРОБАКТЕРИИ

Beggiatoa, Thiotrix



Распространены в водоемах, на поверхности осадков, в которых идет образование сероводорода

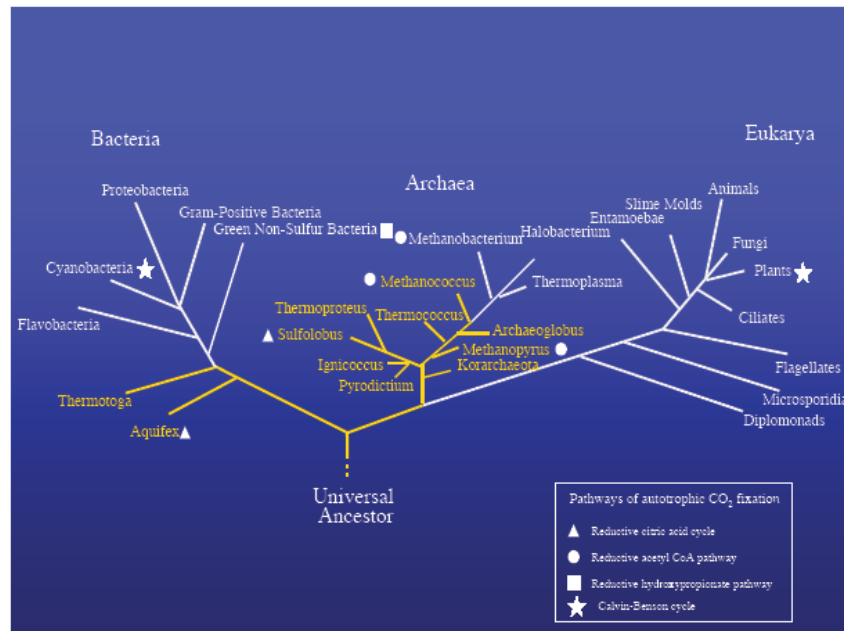
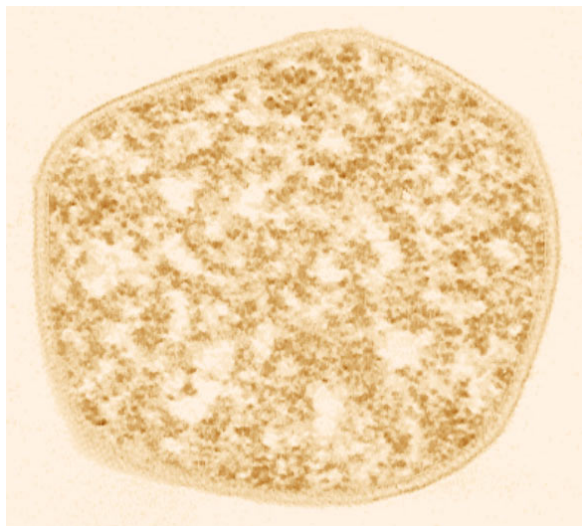
Являются природным сероводородным фильтром



ОКИСЛЕНИЕ СЕРОВОДОРОДА В ГОРЯЧИХ ИСТОЧНИКАХ

Sulfolobus

Архея,
термоацидофил



Aquificae

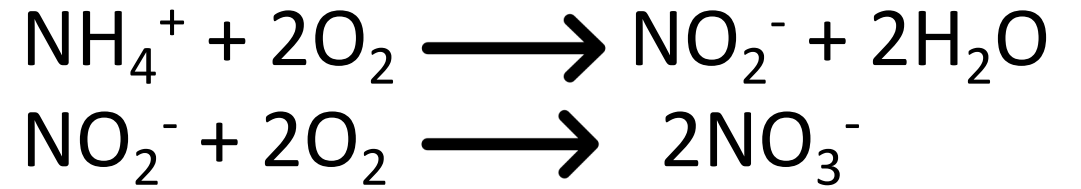
Бактерии, растут в протоке
сероводород-содержащего
флюида



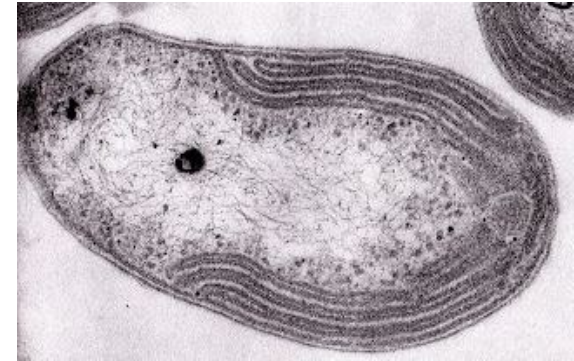
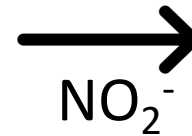
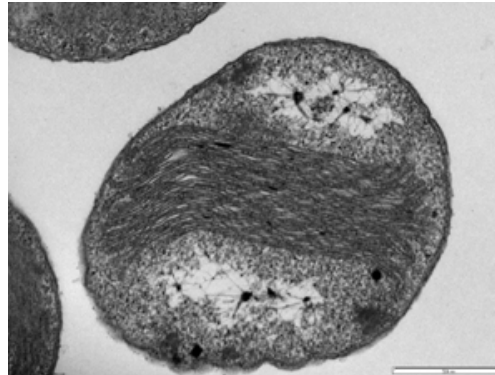
НИТРИФИЦИРУЮЩИЕ БАКТЕРИИ

Нитрификация

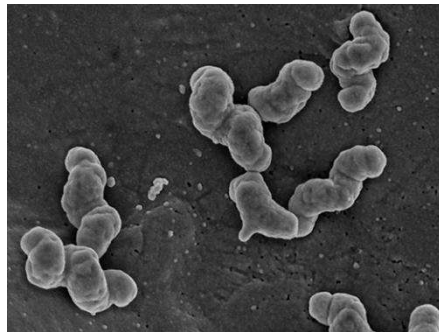
Также открыта Виноградским



Nitrobacter
Nitrosococcus



Nitrospira



“Comammox”

ЖЕЛЕЗОБАКТЕРИИ

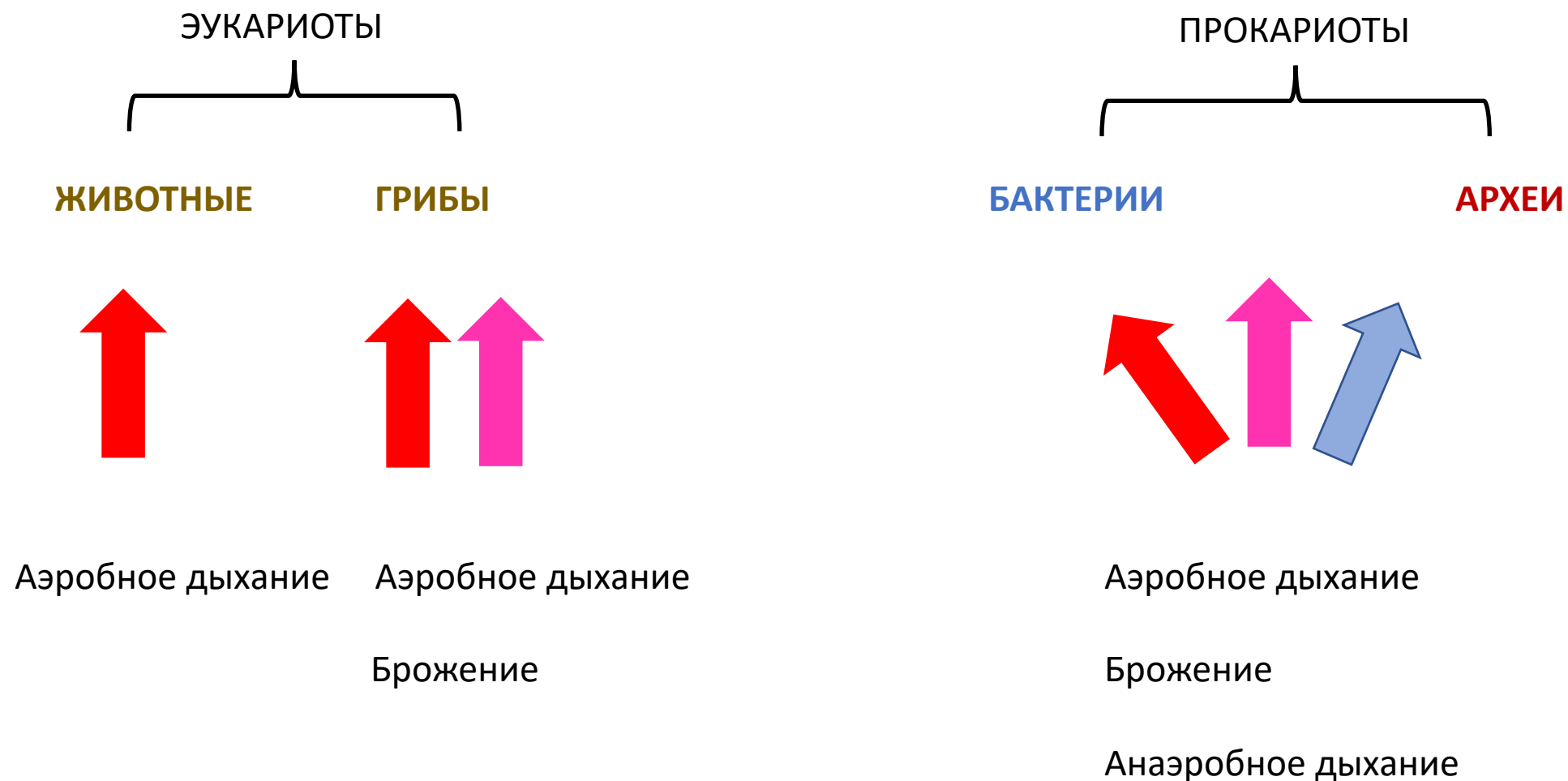
Gallionella
Leptothrix

Бактерии, окисляющие Fe(II) в Fe(III)

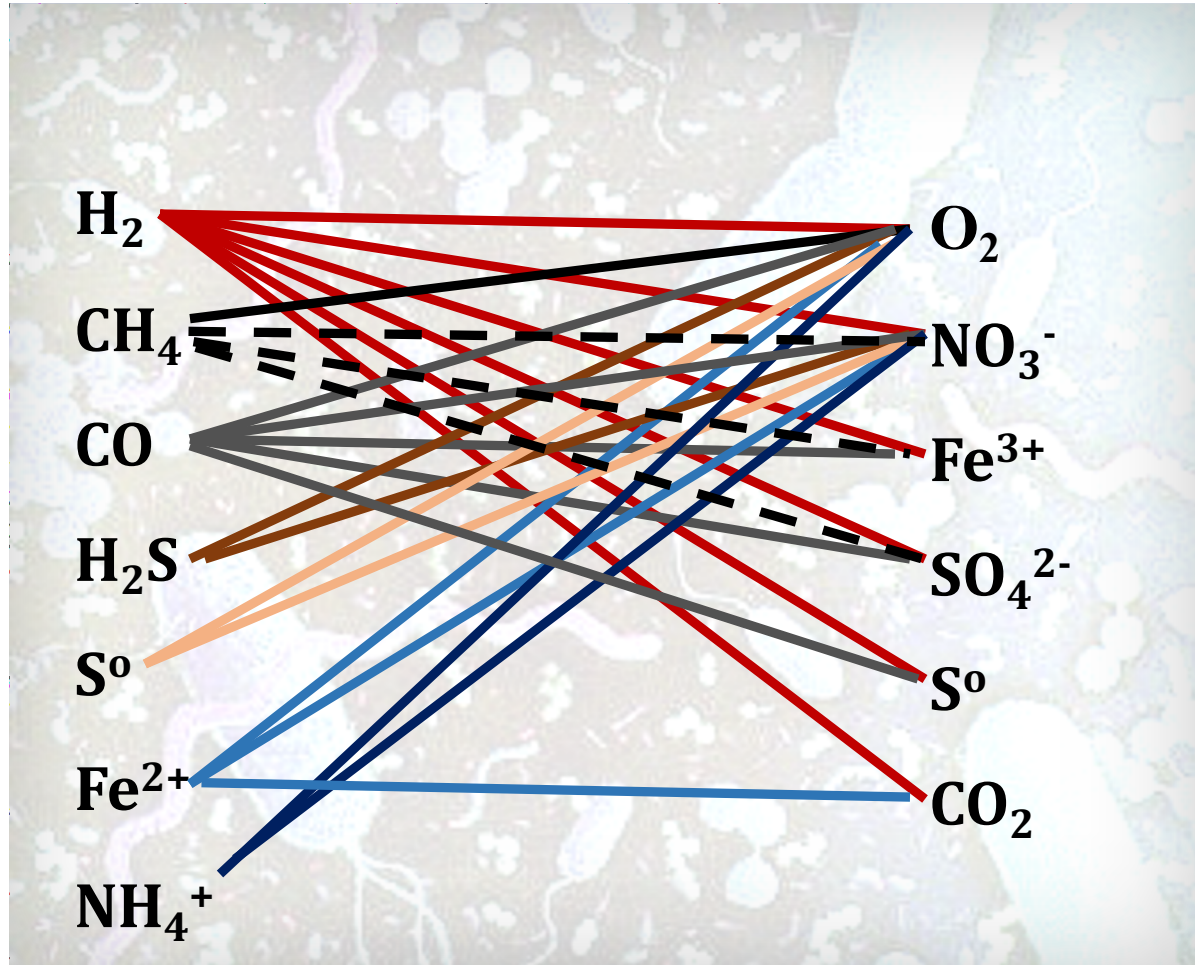
Живут в проточной воде с высоким содержанием железа



Органическое вещество как источник энергии

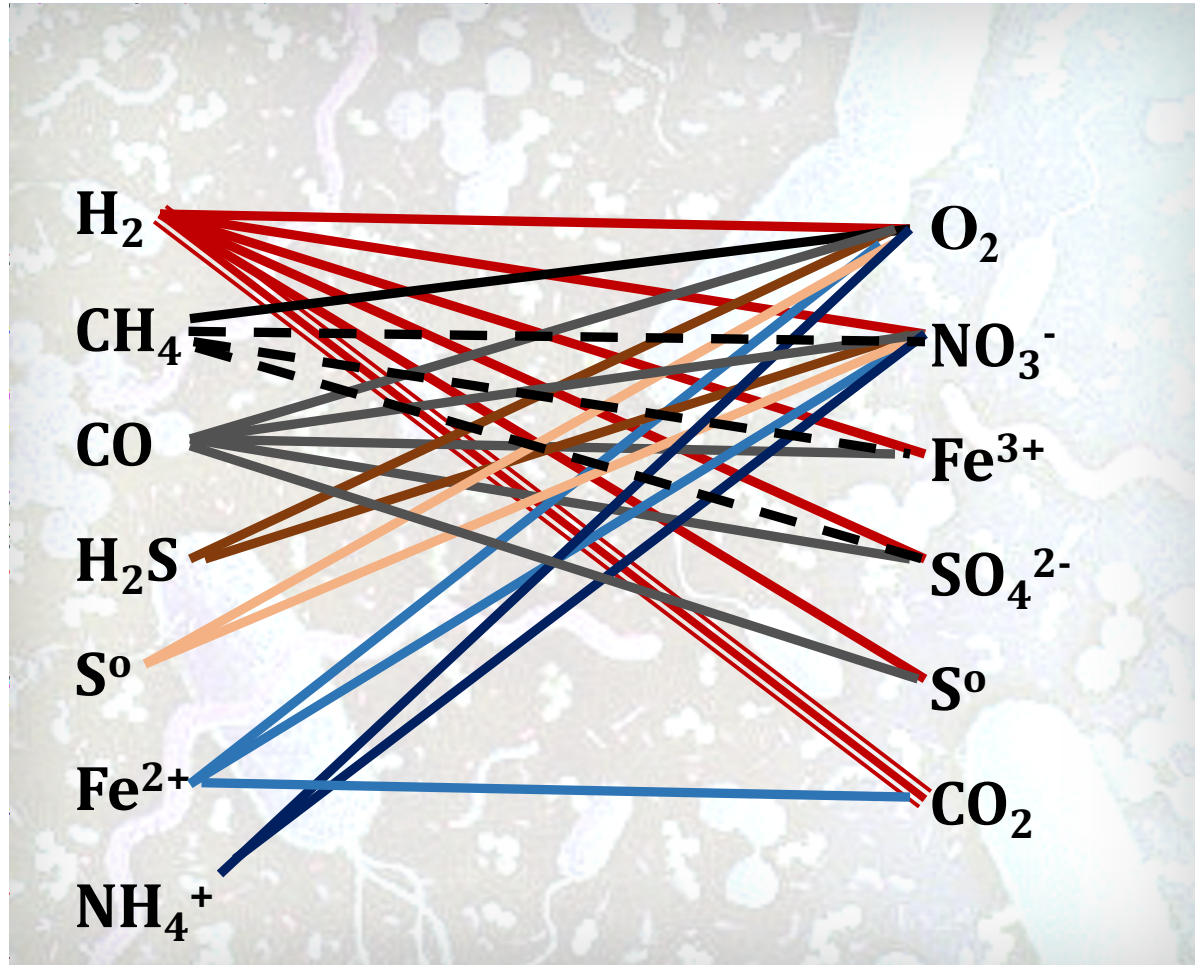


Неорганические доноры и акцепторы электронов



На самом деле
вариантов гораздо
больше

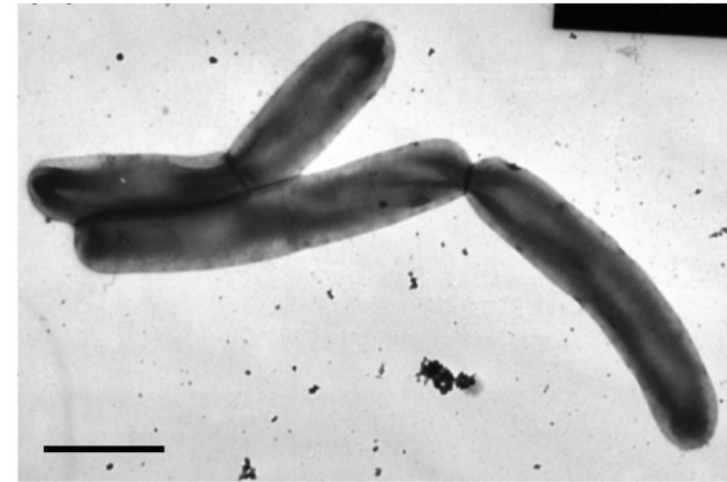
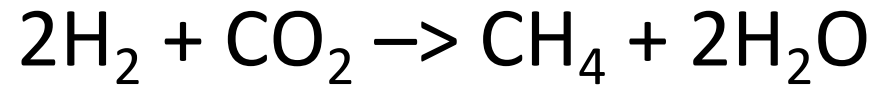
Неорганические доноры и акцепторы электронов



На самом деле
вариантов гораздо
больше

МЕТАНОГЕНЕЗ

Археи филума *Euryarchaeota*

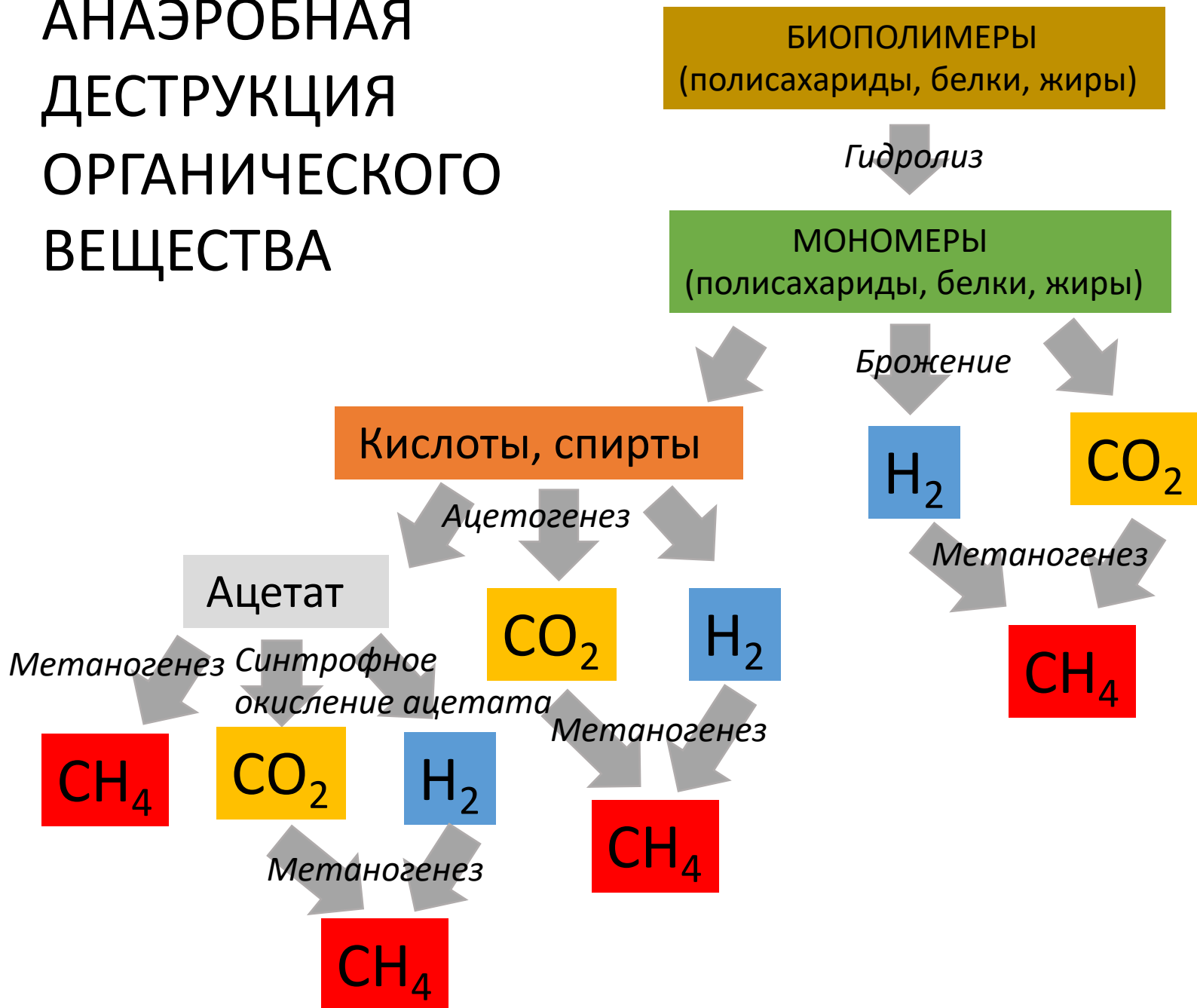


Обитают в осадках водоемов, болотах, глубоководных гидротермах, соленых лагунах, подземной биосфере, желудке жвачных животных, в установках по производству биогаза (метантенки), в анаэробных зонах свалок бытовых отходов

Осуществляют терминальный этап минерализации органического вещества
Вступая в синтрофные ассоциации, делают возможным полное окисление небраживаемых субстратов

Используя вулканический водород, являются первичными продуцентами органического вещества, «запуская» экосистему

АНАЭРОБНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА



Метан образуется:

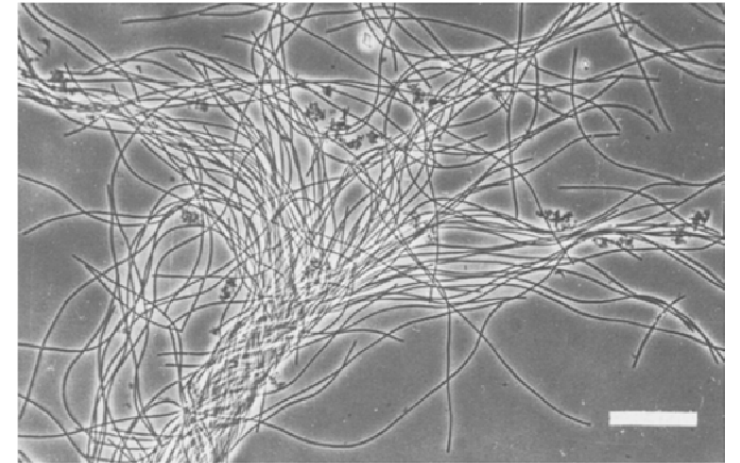
- на стадии брожения, стимулируя его
- на стадии ацетонегеза, делая его возможным
- на стадии синтрофного разложения ацетата
- непосредственно из ацетата

АНАЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ АЦЕТАТА

Ацетокластический метаногенез

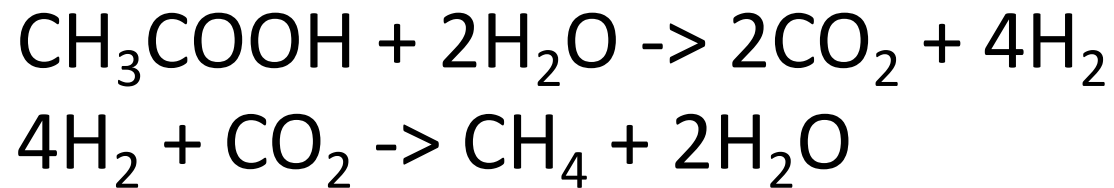


Methanosarcina acetivorans



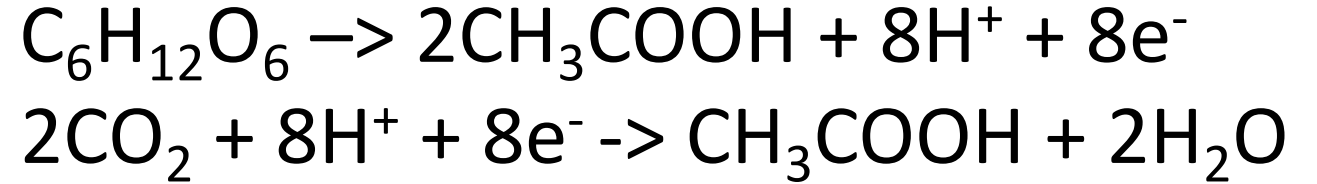
Methanosaeta concilii

Синтрофное окисление ацетата



АЦЕТОГЕНЕЗ

Гомоацетогенные бактерии



Литоавтотрофные ацетогены



Конкурируют с метаногенами за водород; получают преимущества при понижении pH
Являются симбионтами позвоночных и беспозвоночных, например, термитов

СУЛЬФАТРЕДУКЦИЯ

Присутствуют повсеместно, особенно характерны для морских осадков

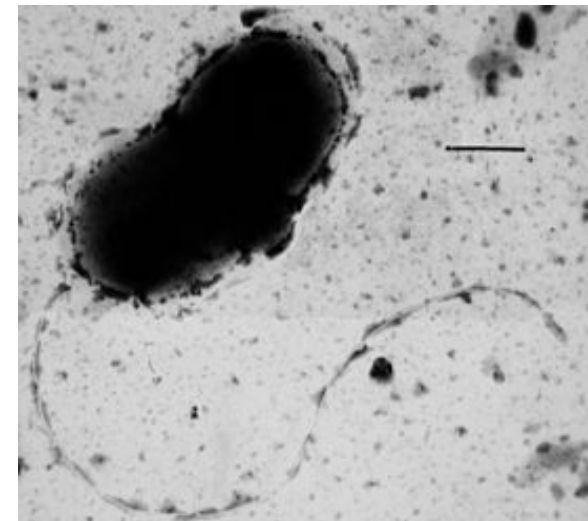
В основном бактерии, но есть археи

Субстраты: органические кислоты, водород

Конкурируют с метаногенами за низкомолекулярные продукты разложения органики



Вызывают коррозию металлических конструкций, создание анаэробных зон в водоемах, где невозможна жизнь высших организмов с кислородным дыханием



Desulfovibrio vulgaris

Sulfate reduction: *Vulcanisaeta moutnovskia*



Isolated from the hot springs of Moutnovsky Volcano, Kamchatka

Maria Prokofeva



Nikolai Chernyh



Grows in the temperature range from 59-102°C with the optimum at 83°C and in pH range 3.5-6.5 with the optimum at 5.2

Evgeny Frolov



ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЕРЫ, ТИОСУЛЬФАТА И СУЛЬФИТА



*Desulfurella
acetivorans*

Процессы, свойственные многим бактериям и археям

Чаще наряду с другими восстановительными процессами; в некоторых случаях (термофильные микроорганизмы) как единственные акцепторы электронов

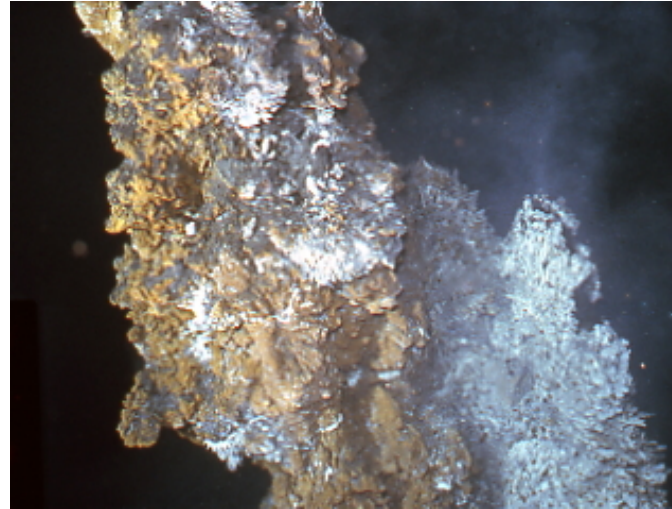
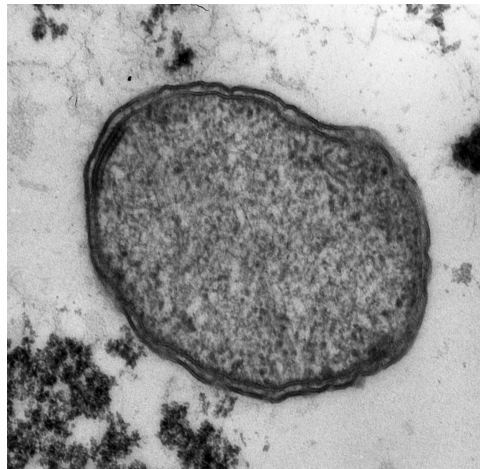
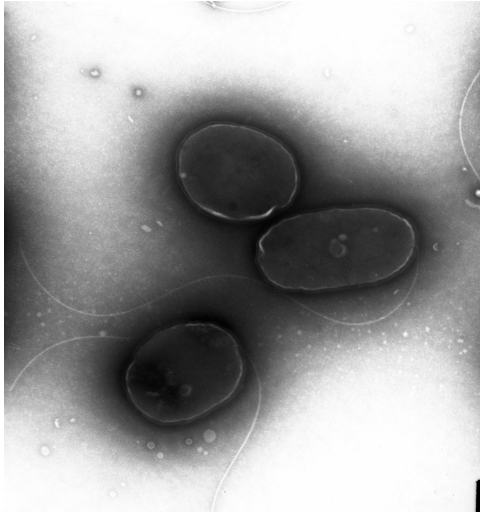


Субстраты: H_2 , летучие жирные кислоты, насыщенные жирные кислоты (стеарат, пальмитат)

Акцептор: только сера

Сульфит интересен с точки зрения эволюции биосферы, так как это единственный (кроме CO_2) акцептор вулканического происхождения

Sulfur disproportionation



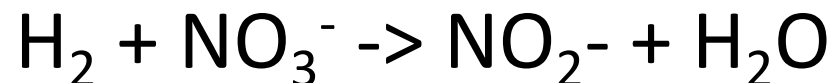
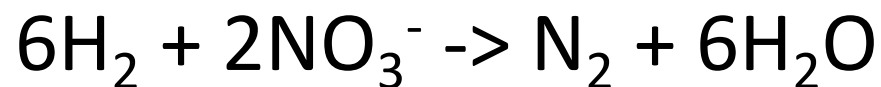
'Thermosulfurimonas dismutans'

Isolated from a deep-sea hydrothermal vent chimney, East Lau Spreading Center, Pacific Ocean (depth of 1700 m,)



ДЕНИТРИФИКАЦИЯ И НИТРАТРЕДУКЦИЯ

Способность восстанавливать нитрат свойственна многим прокариотам – и факультативным анаэробам, и облигатным, археям и бактериям
Доноры электронов – водород, сбраживаемые и несбраживаемые органические субстраты, железо, сера



Денитрификаторы используются в очистных сооружениях

В почве образование газообразного азота нежелательно, так как он выводится из кругооборота

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА

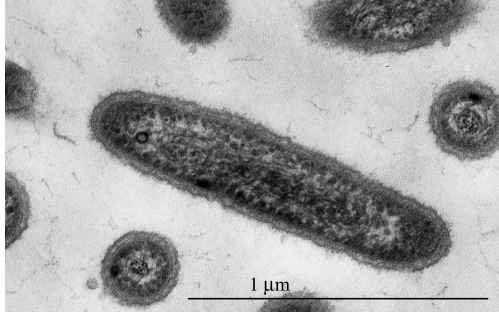
Многие микроорганизмы способны восстанавливать Fe(III) в Fe(II)

Железо может присутствовать в среде в растворенном виде (цитрат железа) или в виде осадка (специально приготовляемый аморфный оксид железа)

Перенос электронов на нерастворимый оксид железа может вестись несколькими способами:

- прямой контакт клеток и оксида железа
- перенос с помощью шаттла – комплексообразователя
- образование пилей - нанопроводов

Phylum *Ignavibacteria*

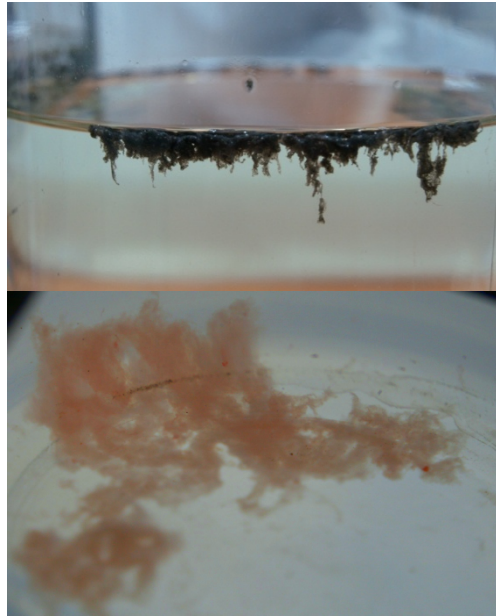


Melioribacter roseus

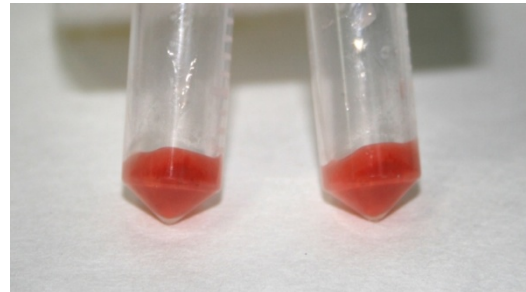
Moderate thermophile
Facultative anaerobe

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

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



Biofilms



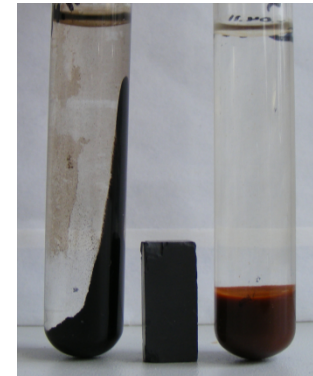
Precipitated cells



Илья
Кубланов



Ольга
Подосокорская



Iron reduction



Arsenate reduction