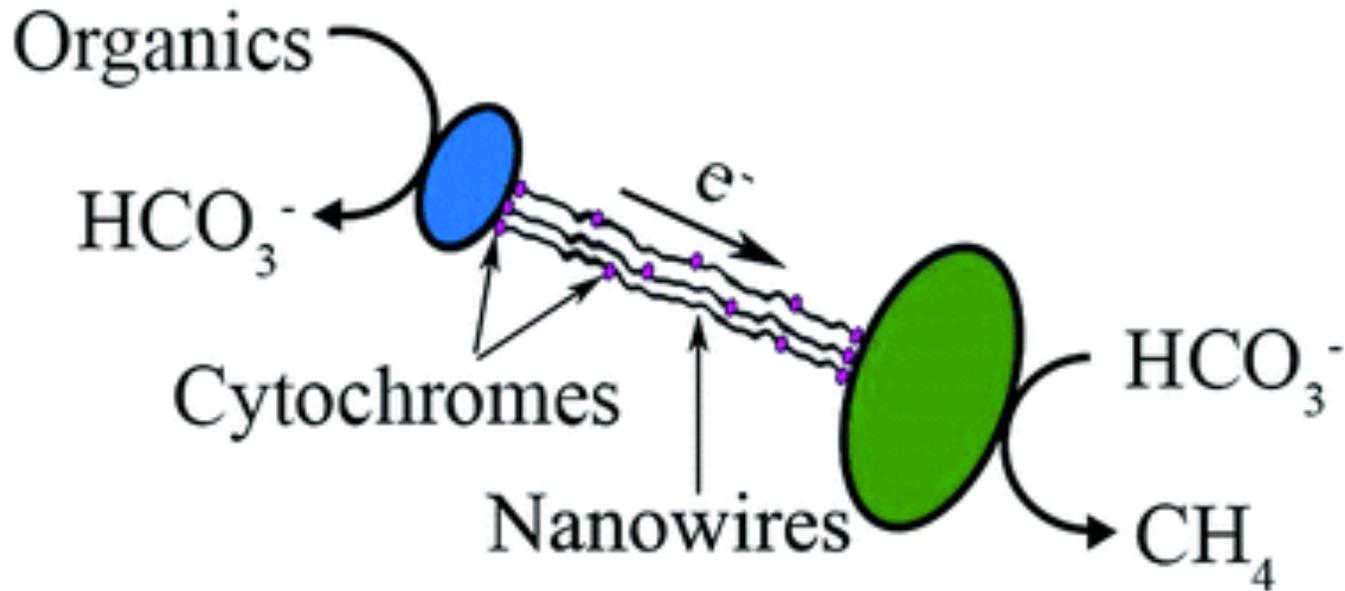


# ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ПРОКАРИОТ ДРУГ С ДРУГОМ И С ЭУКАРИОТАМИ



Е.А. Бонч-Осмоловская  
Зав. кафедрой  
микробиологии МГУ

**Микробное сообщество** - существующая в определенном времени и локализации общность микроорганизмов, связанных комплексом взаимоотношений и осуществляющих общий комплекс реакций

[https://studme.org/259100/geografiya/mikrobnoe\\_soobschestvo\\_sintrofiya](https://studme.org/259100/geografiya/mikrobnoe_soobschestvo_sintrofiya)

Микробное сообщество — это совокупность микроорганизмов с разными функциями, взаимодействующих между собой в течение длительного времени в определенном месте.

# ТИПЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МИКРООРГАНИЗМОВ В МИКРОБНОМ СООБЩЕСТВЕ

- Трофические связи (продукт одного микроорганизма является субстратом другого)
- Создание термодинамически благоприятных условий для членов сообщества
- Обмен факторами роста
- Чувство кворума
- Конкуренция за субстрат
- Продукция антибиотиков

# Трофические связи

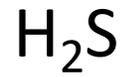
НИТРИФИКАЦИЯ

*Nitrosomonas*

*Nitrobacter*

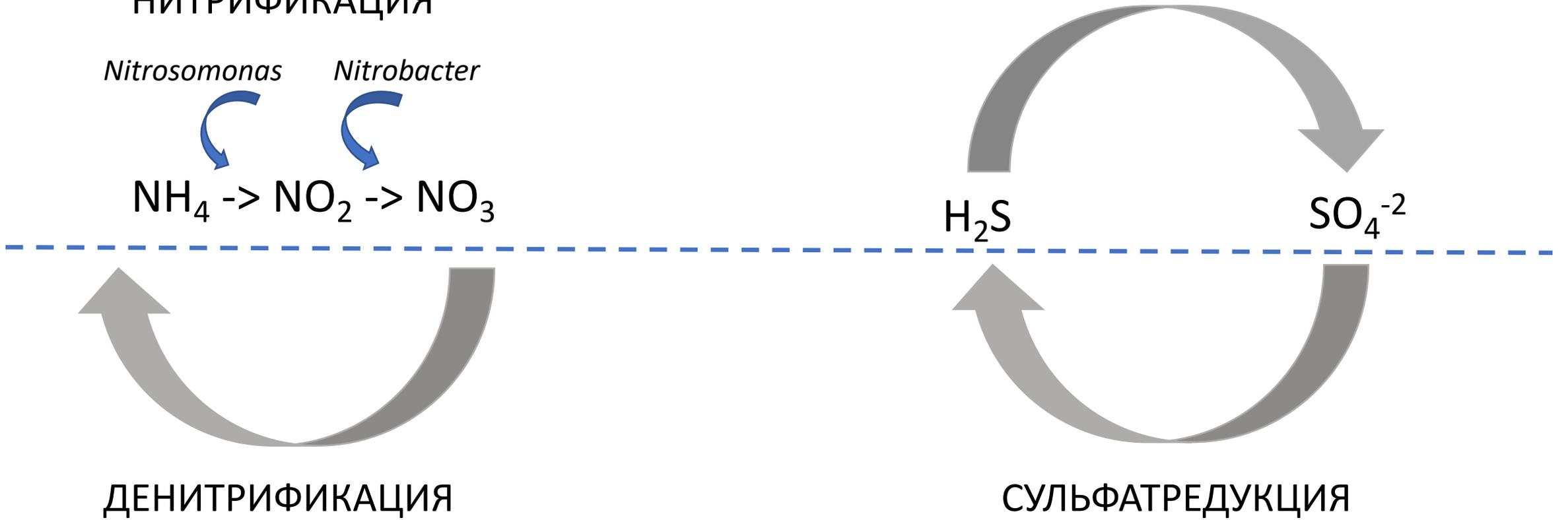


ОКИСЛЕНИЕ СЕРОВОДОРОДА



ДЕНИТРИФИКАЦИЯ

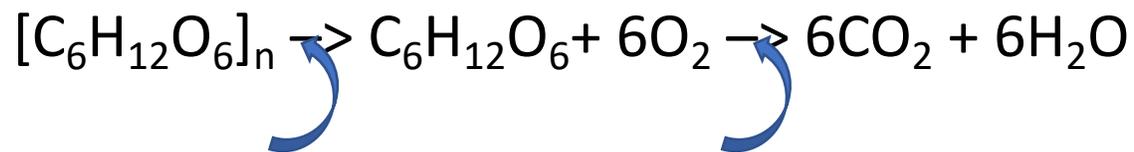
СУЛЬФАТРЕДУКЦИЯ



## Трофические связи

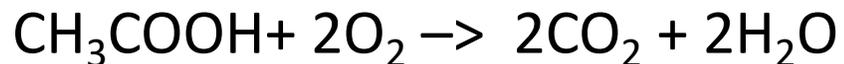
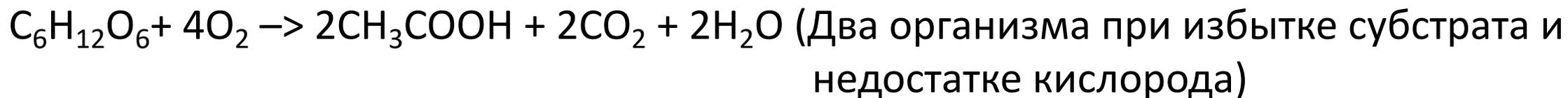
Вне клетки.

Внутри клетки



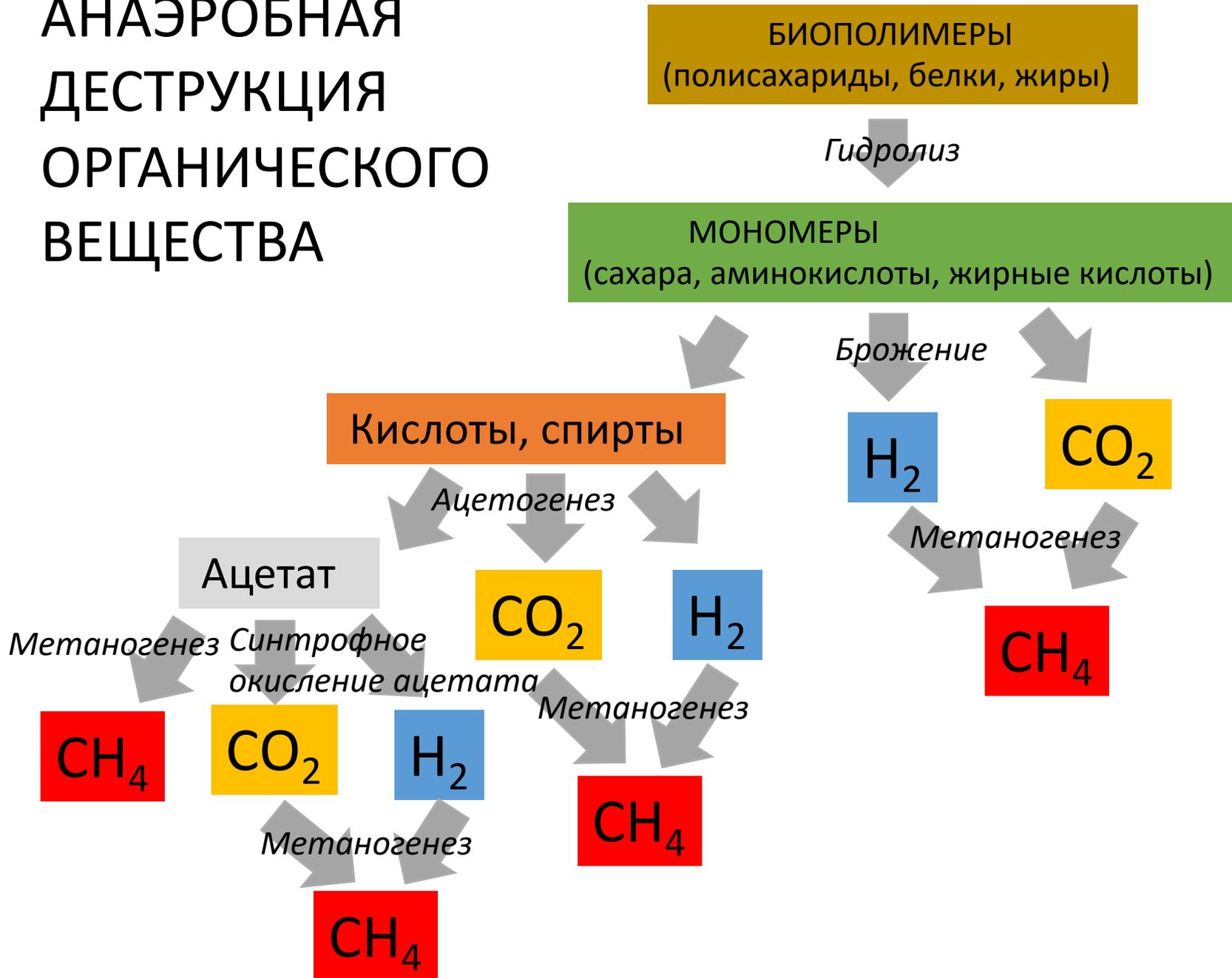
*Целлюлолитики*

*Целлюлолитики и бродильщики*



Анаэробное разложение полисахаридов

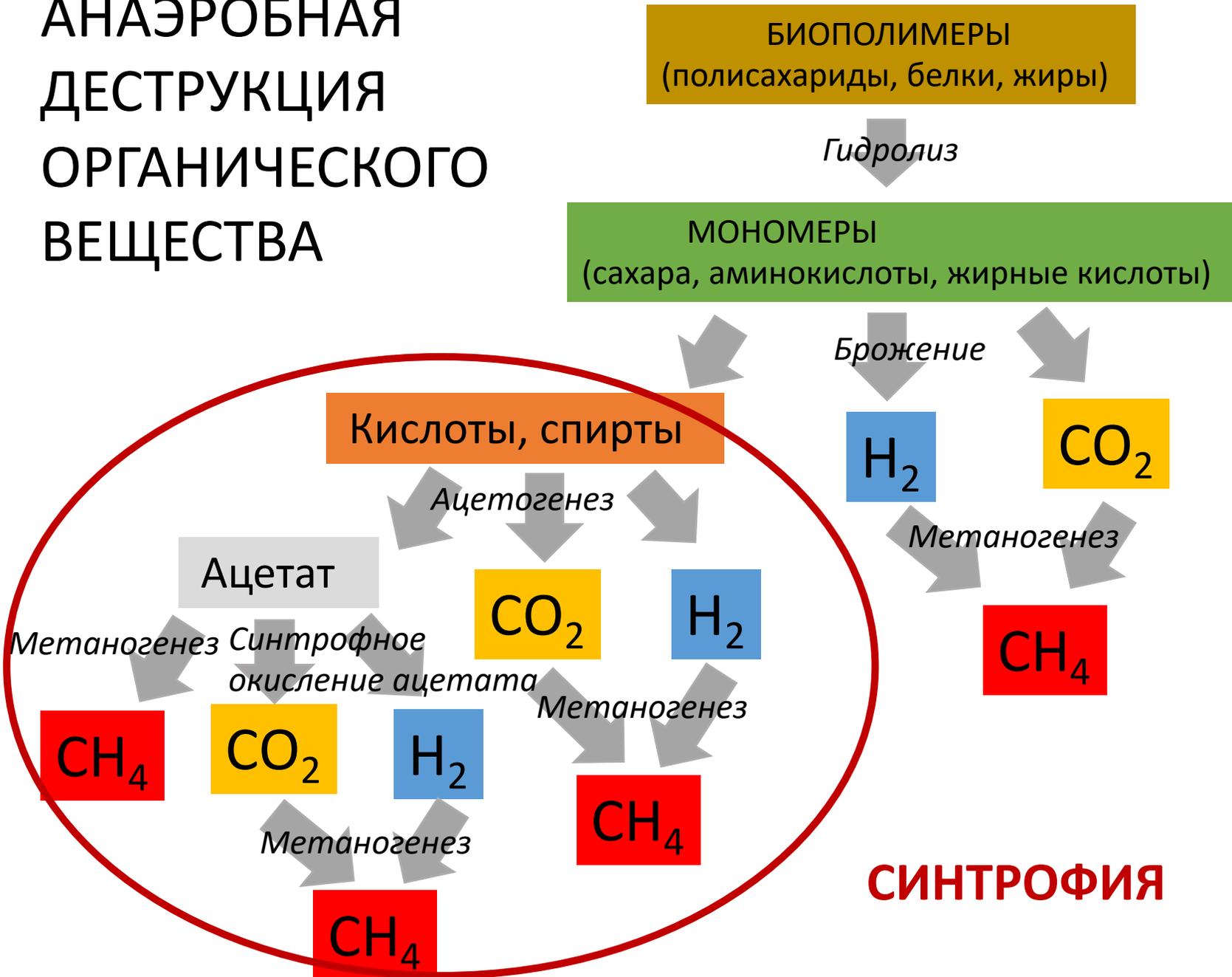
# АНАЭРОБНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА



Метан образуется:

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

# АНАЭРОБНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

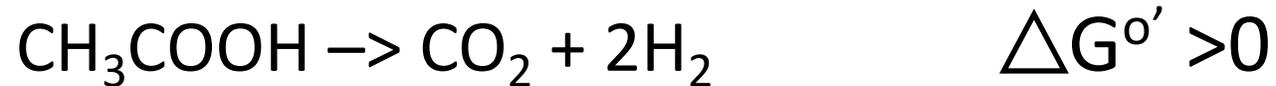


Метан образуется:

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

## Создание термодинамически благоприятных условий для членов сообщества

Синтрофия – рост двух микроорганизмов в условиях, когда по отдельности они расти не могут



## Создание термодинамически благоприятных условий для членов сообщества

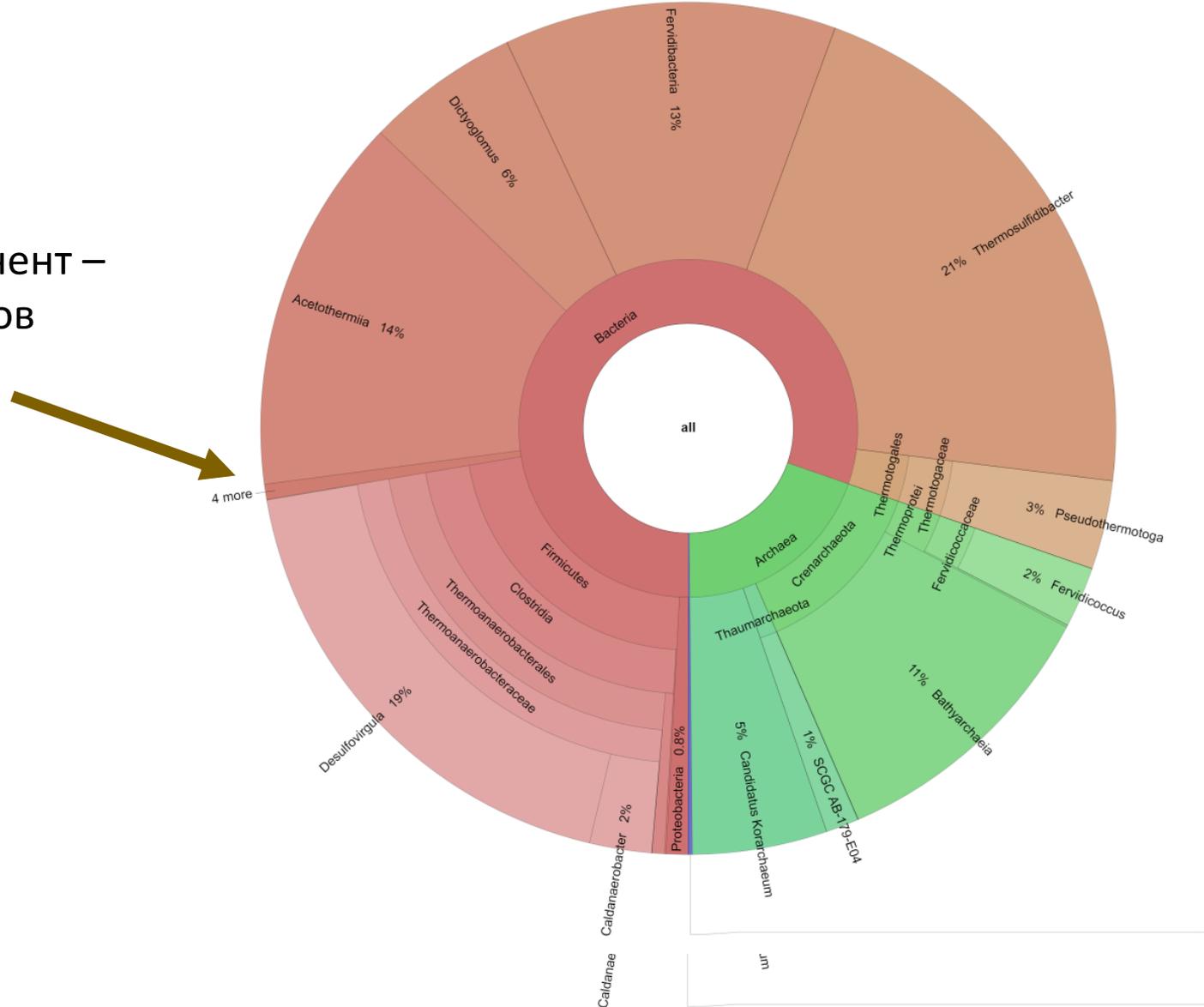
Синтрофия – рост двух микроорганизмов в условиях, когда по отдельности они расти не могут



**Поддерживая низкую концентрацию продукта, потребляющий его микроорганизм делает возможным его образование**

# Обмен факторами роста

Минорный компонент – поставщик факторов роста



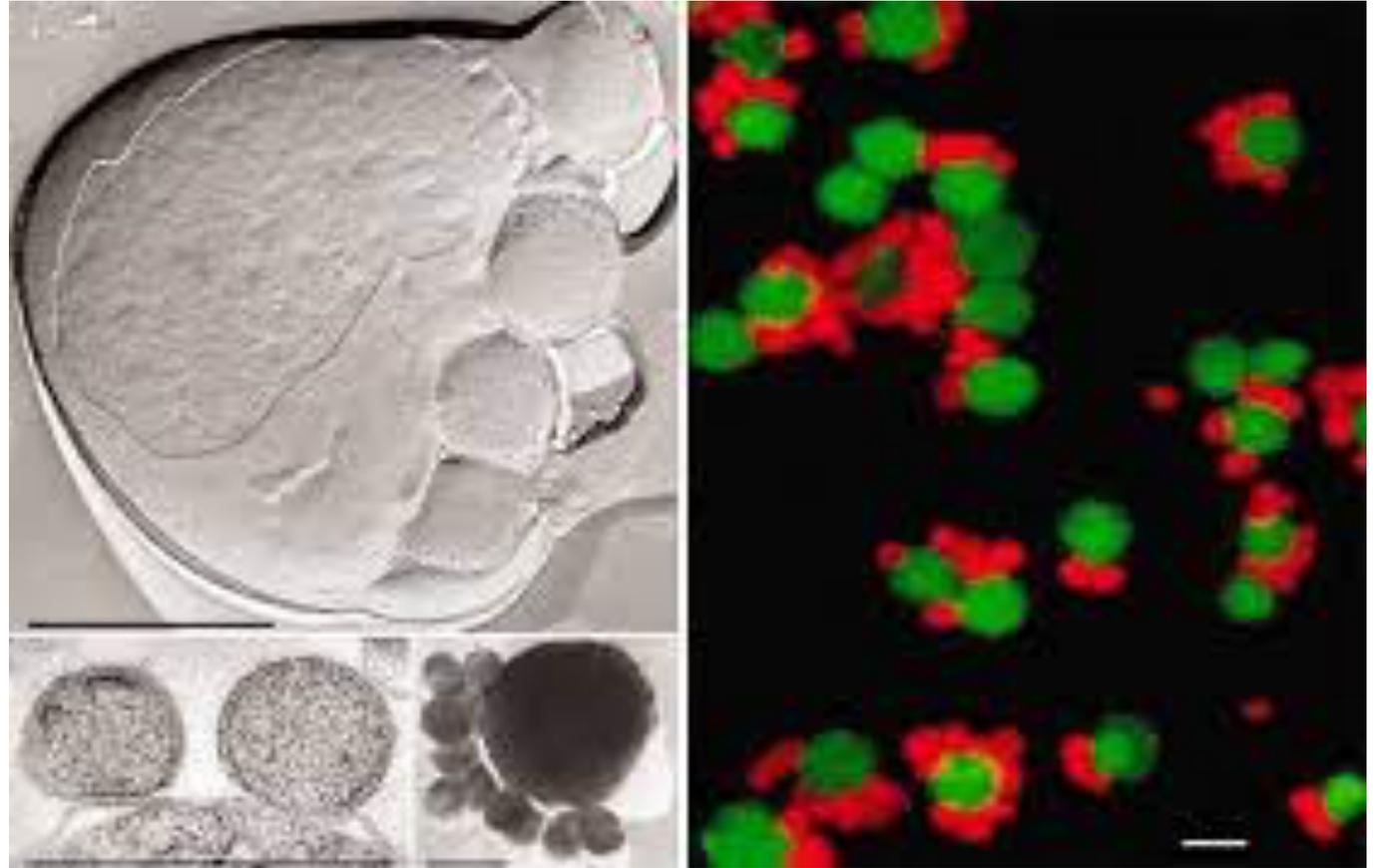
## Обмен факторами роста

*Nanoarchaeota* – симбионты гипертермофильных архей рода *Ignicoccus*

Размеры клеток 0.35 – 0.5 мкм

Размер генома 0.49 Mb

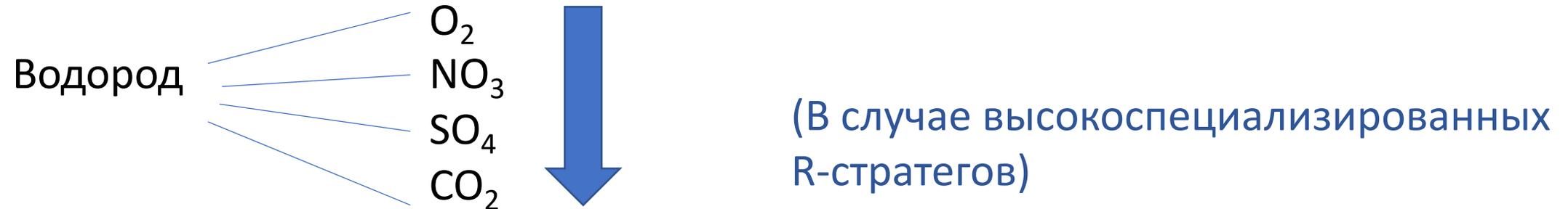
Отсутствуют многие метаболические пути



# Конкуренция за субстрат

Что помогает выиграть конкуренцию?

Эффективный обмен (большой выход энергии)



Высокое сродство к субстрату

Высокая скорость роста

# Конкуренция за субстрат

Что помогает выиграть конкуренцию?

Разнообразие метаболических путей



Большие геномы



Медленный рост

K-стратеги



*Planctomycetes*

## Продукция антибиотиков

Оружие микроорганизмов в конкурентной борьбе

Продукция небольших биомолекул, которые действуют на различные механизмы микробной клетки (синтез компонентов клеточной стенки, синтез белка и др.)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИМБИОЗА

**Симбиоз** - близкое сообщество живых организмов, принадлежащих к разным биологическим видам

В природе встречается широкий спектр примеров взаимовыгодного симбиоза - *мутуализм*

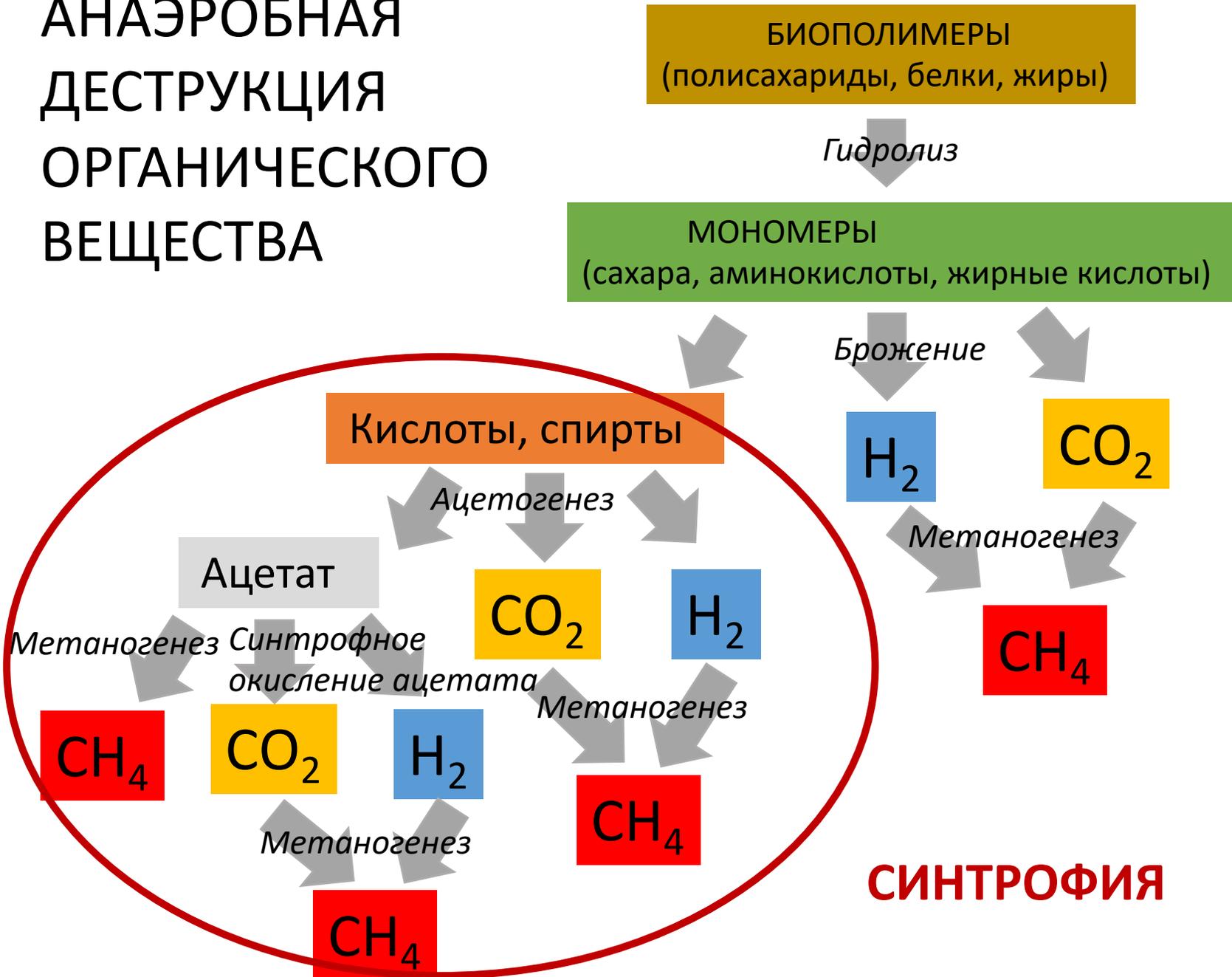
Если выгоду от совместного существования получает только один партнер – *комменсализм*

Если один из партнеров, получая выгоду, наносит другому вред – *паразитизм*

## Типы симбиотических сообществ (по составу)

- Только прокариоты
- Прокариоты и грибы
- Прокариоты и растения
- Прокариоты и беспозвоночные животные
- Прокариоты и позвоночные животные

# АНАЭРОБНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

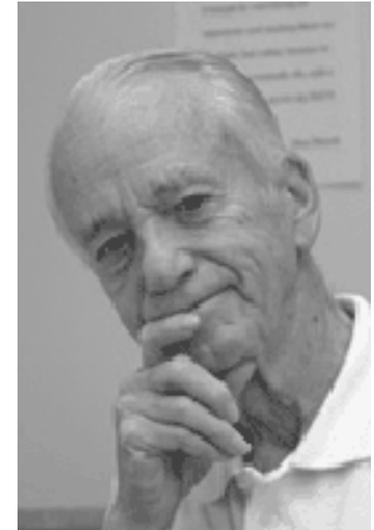
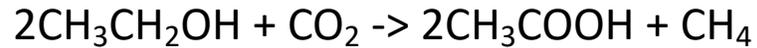


Метан образуется:

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

# МЕЖВИДОВОЙ ПЕРЕНОС ВОДОРОДА

«*Methanobacillus omelianskii*» образовывала метан из этанола:



Ральф Вольф

Спустя 70 лет выяснилось, что это синтрофная ассоциация двух организмов.

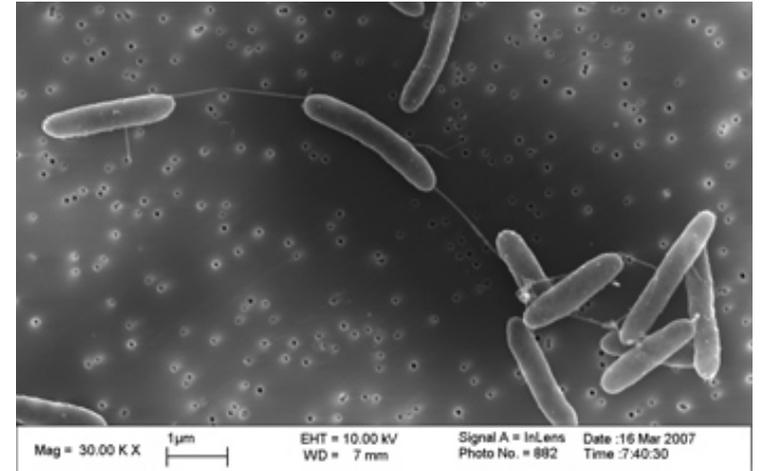
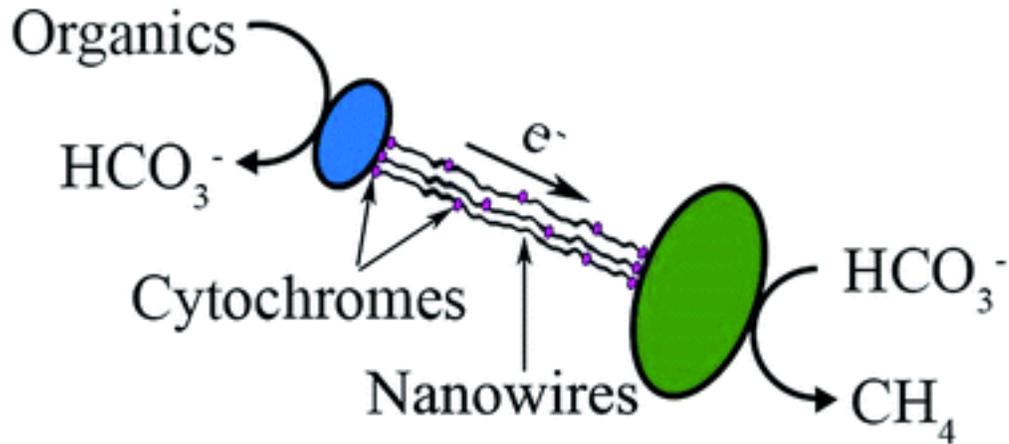
S-штамм образует водород из этанола, но эта реакция эндэргоническая, и отдельно идти не может:



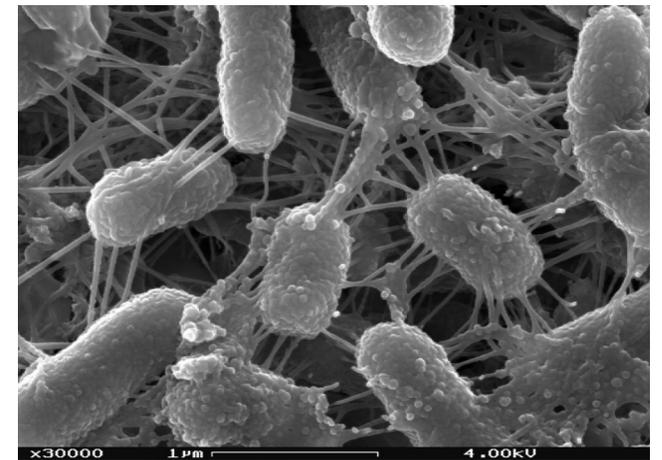
M.o.H.- штамм образует метан из водорода, поддерживает низкую концентрацию водорода и делает возможной реакцию (1):



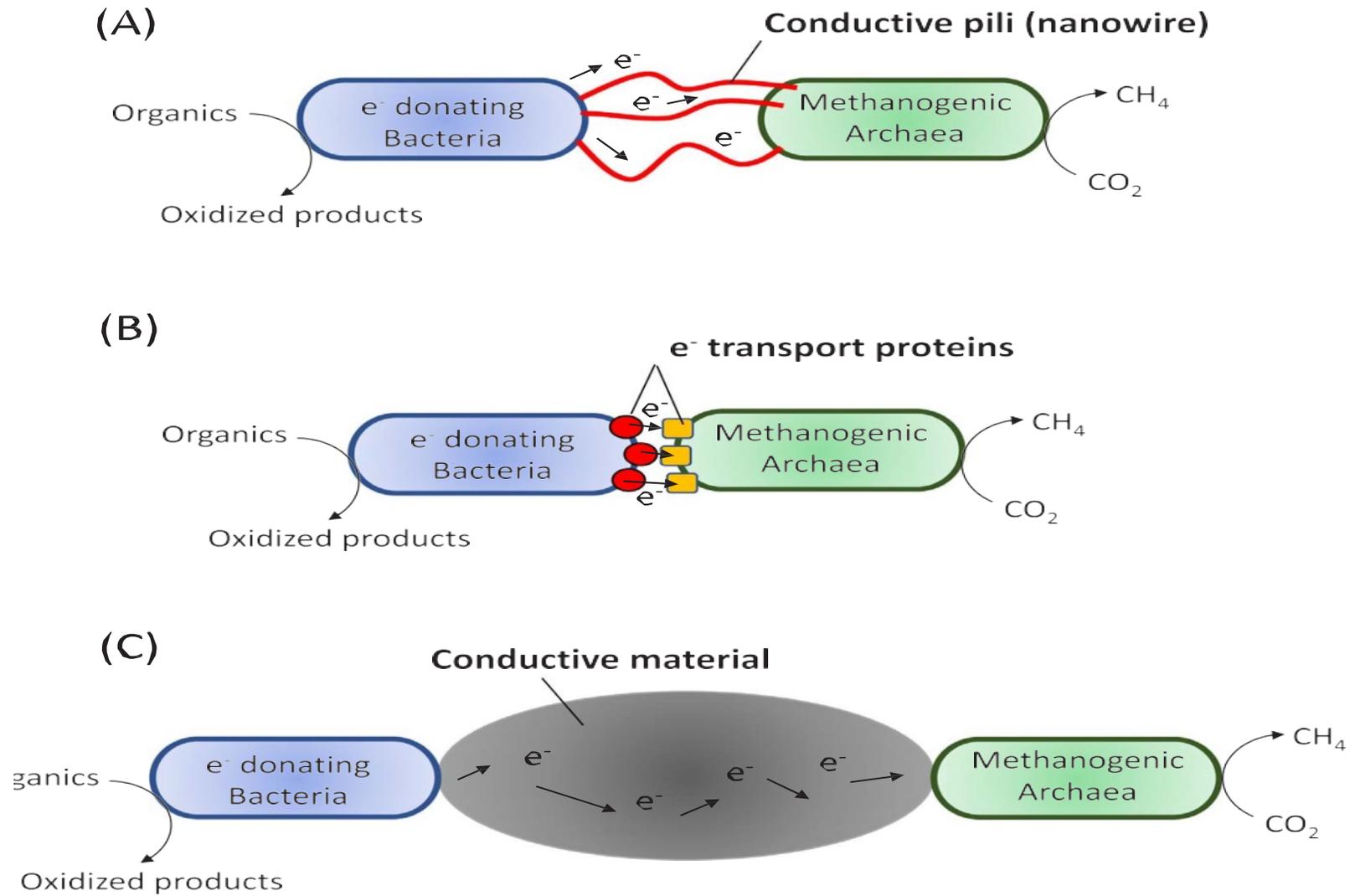
# ПРЯМОЙ МЕЖВИДОВОЙ ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОНОВ



В плотных консорциумах микроорганизмы передают электроны от клетки к клетке с помощью электропроводящих пилей (nanowires)



# ПРЯМОЙ МЕЖВИДОВОЙ ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОНОВ



## ТИПЫ СИМБИОЗА ПРО- и ЭУКАРИОТ

Эндосимбиоз – прокариоты находятся внутри тканей макроорганизма, или даже внутри клеток. Иногда у макроорганизма существуют специальные органы, в которых размещаются симбионты

Экзосимбиоз – симбиотические прокариоты находятся вне тканей макроорганизма, хотя могут быть и внутри его (пример – кишечник)

## Типы симбиотических сообществ (по уровню взаимодействия)

- Термодинамика катаболических процессов (синтрофия)
- Разложение недоступных для макроорганизмов субстратов
- Автотрофная ассимиляция  $\text{CO}_2$
- Снабжение макроорганизма доступными формами азота
- Снабжение макроорганизма витаминами, аминокислотами, etc
- Защита от нежелательной микрофлоры
- Расширение ферментативных возможностей

## Основа симбиотических отношений

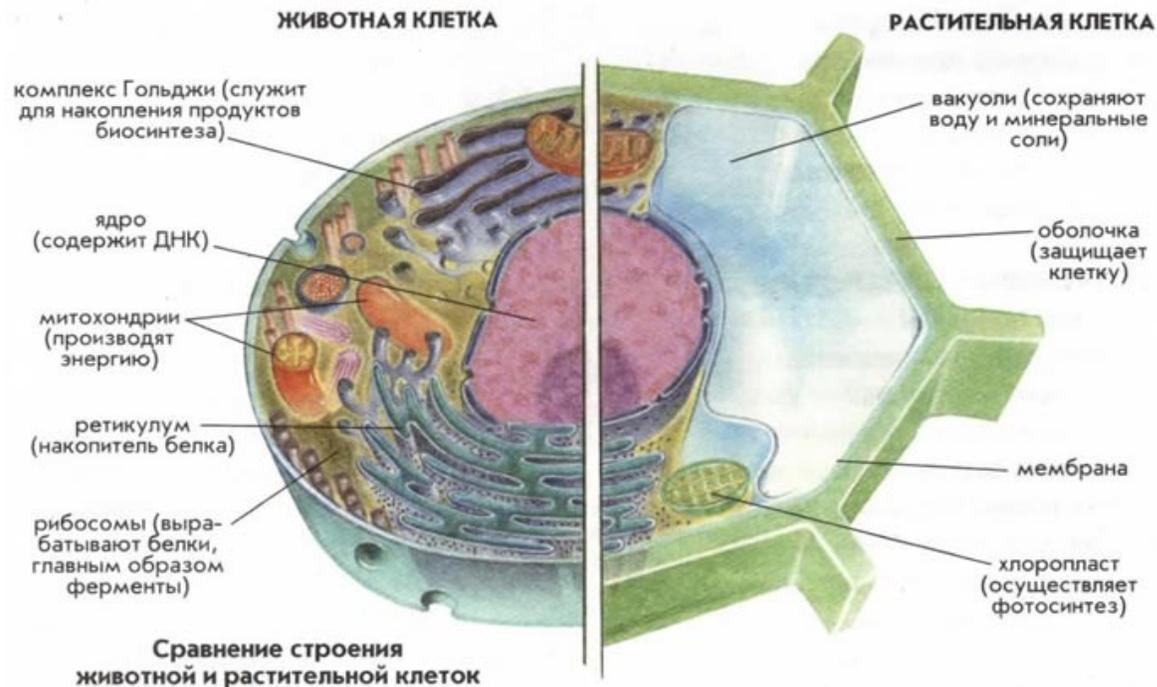
- Термодинамика катаболических процессов (синтрофия)
- Разложение недоступных для макроорганизмов субстратов
- Автотрофная ассимиляция  $\text{CO}_2$
- снабжение макроорганизма доступными формами азота
- снабжение макроорганизма витаминами, аминокислотами, etc
- Защита от нежелательной микрофлоры
- Расширение ферментативных возможностей

Развитие молекулярных методов обнаружило

- Повсеместное распространение симбиоза 2-го типа
- Наличие специфической микрофлоры у большинства исследованных макроорганизмов
- Разнообразие типов взаимовыгодных отношений между микро- и макроорганизмами

# Теория симбиогенеза

Предполагается, что митохондрии в клетках эукариот произошли от Гамма-протеобактерий, а хлоропласты – от цианобактерий, поглощенных архейными клетками



## Доказательства:

Две замкнутые мембраны, внутренняя близка к мембранам бактерий

Размножаются бинарным делением независимо от деления клетки

Имеют свою кольцевую ДНК

Имеют свой аппарат синтеза белка бактериального типа

Некоторые белки близки к бактериальным

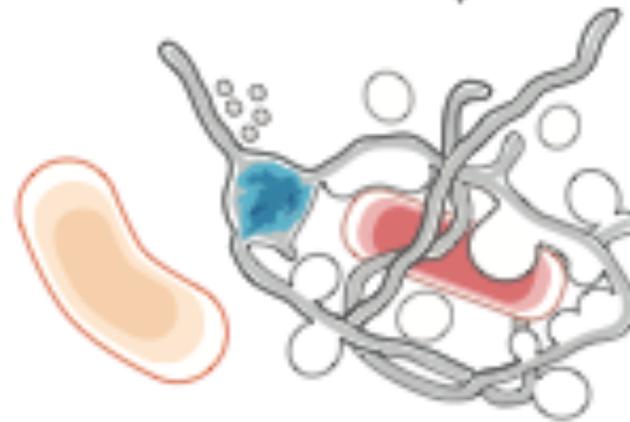
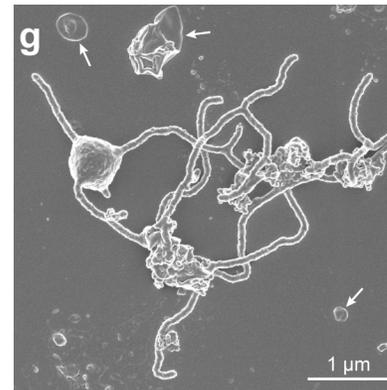
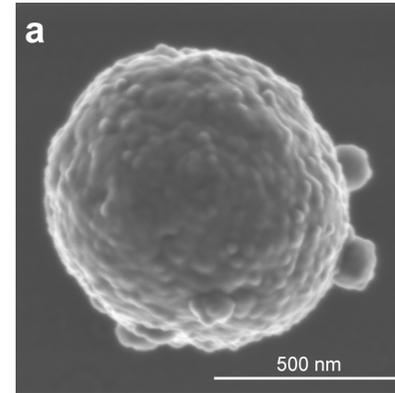
# АРХЕИ И БАКТЕРИИ

## Lokiarchaeota

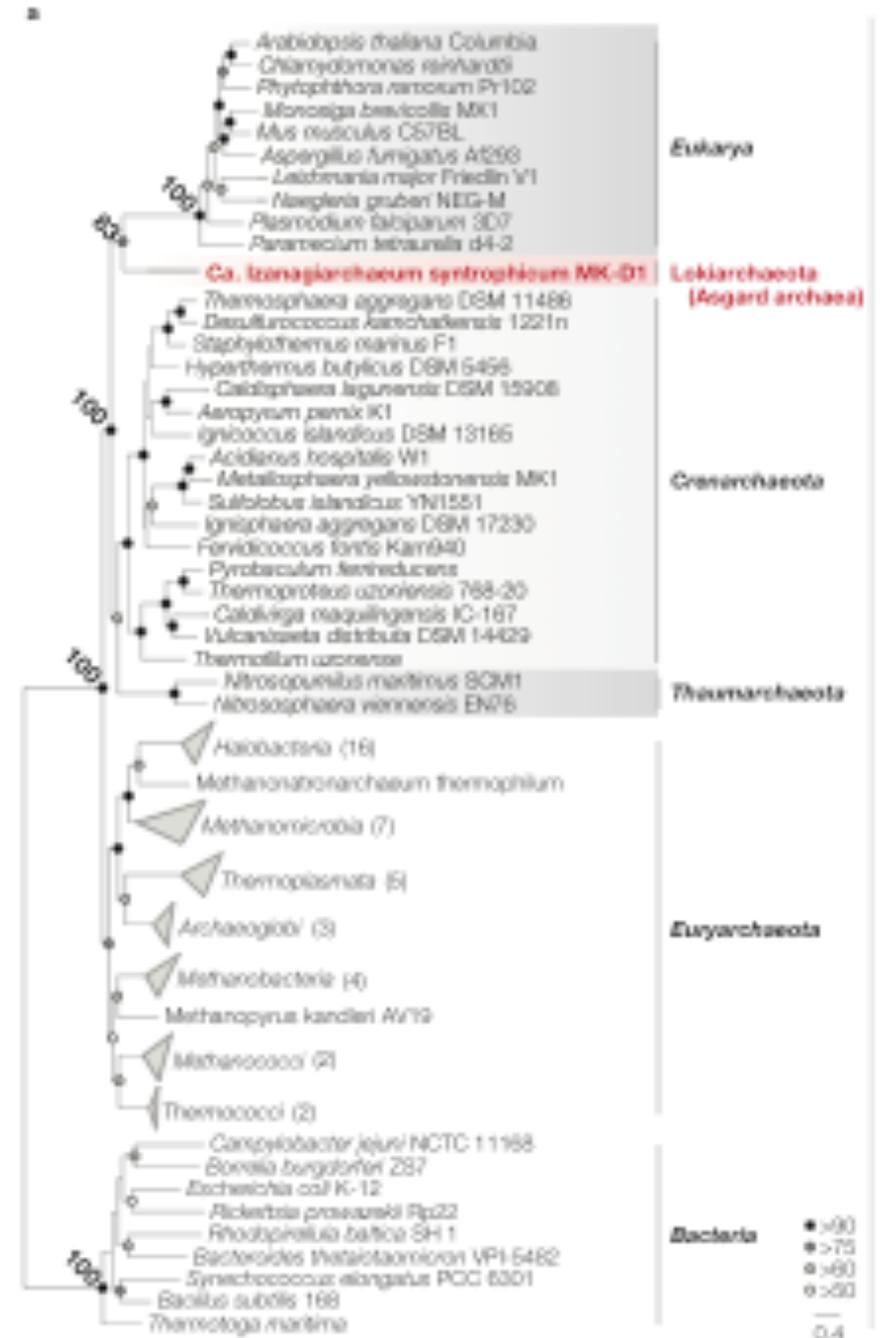


Кен Такаи

2019!



*Ca' Izanagiarchaeum syntrophicum*

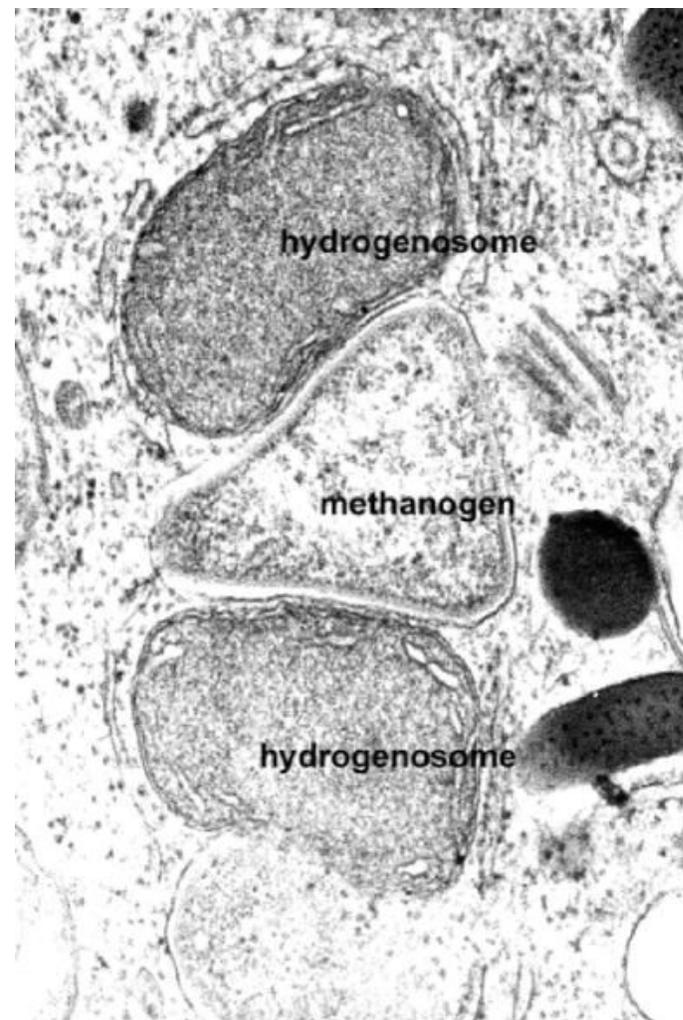


# Простейшие и прокариоты

Простейшие (амебы, инфузории) питаются прокариотами, клетки которых иногда не погибают, а остаются жить в клетке хищника, иногда даже в ядре или ядрышке

Защищают от нежелательных пришельцев, снабжают витаминами

В анаэробных условиях участвуют в энергетическом метаболизме: метаногены поглощают образующийся в гидрогеносомах водород



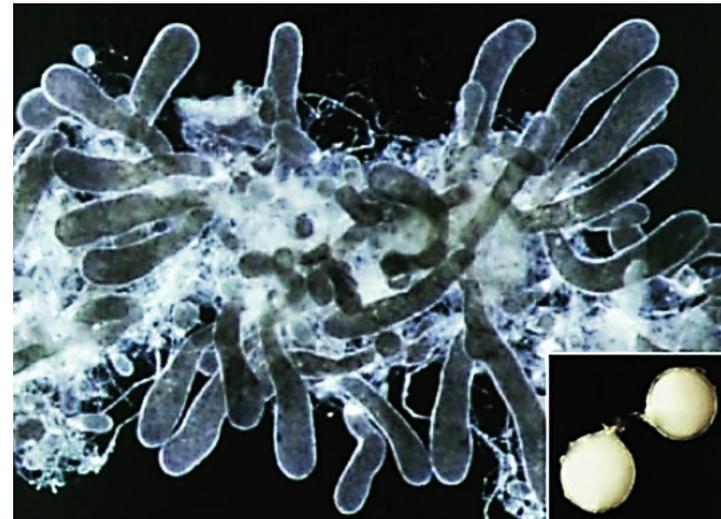
# СИМБИОЗ ГРИБОВ И ФОТОТРОФОВ

Лишайники – симбиоз гриба и водоросли или цианобактерии, иногда нескольких

Экзосимбиоз

В свободном виде не встречаются, но их можно разделить и затем снова соединить

*Geosiphon-Nostoc* – эндосимбиоз, в котором клетки цианобактерии находятся внутри специальных пузырей, образуемых грибом



# ГУБКИ И ИХ СИМБИОНТЫ

Губки содержат множество экзо- и эндосимбионтов (внутри специальных клеток)

Среди них цианобактерии и археи  
Симбиотические цианобактерии могут составлять до трети массы губок и поставлять им 80% питательных веществ

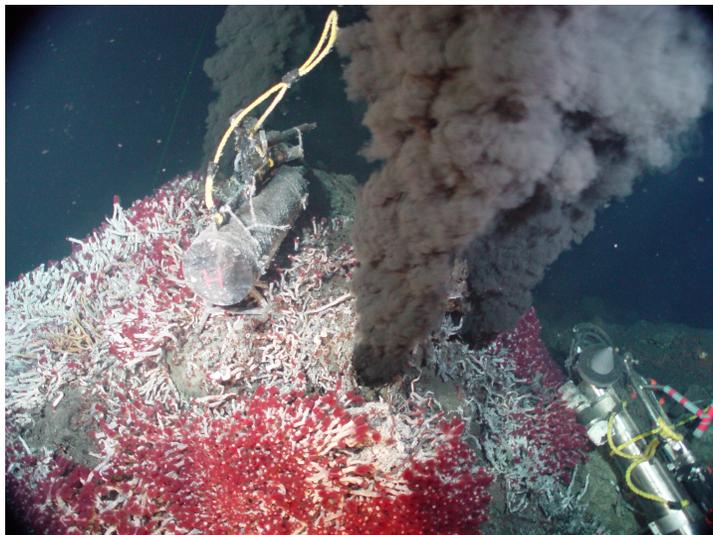
Функции многих симбионтов неизвестны

В озере Байкал обитают эндемичные губки, активности которых приписывают сохранение чистоты воды Байкала

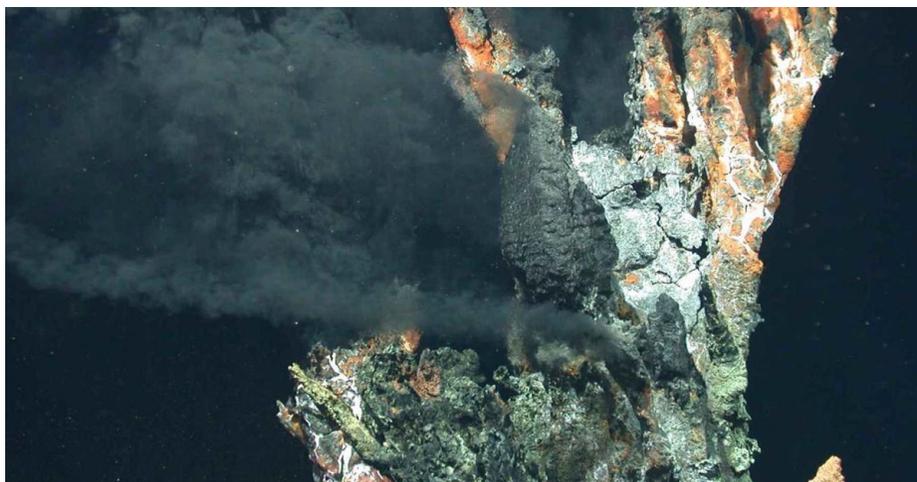
На небольшой глубине они имеют ярко-зеленый цвет благодаря симбиозу с микроводорослями



# Симбиоз беспозвоночных с литоавтотрофными прокариотами



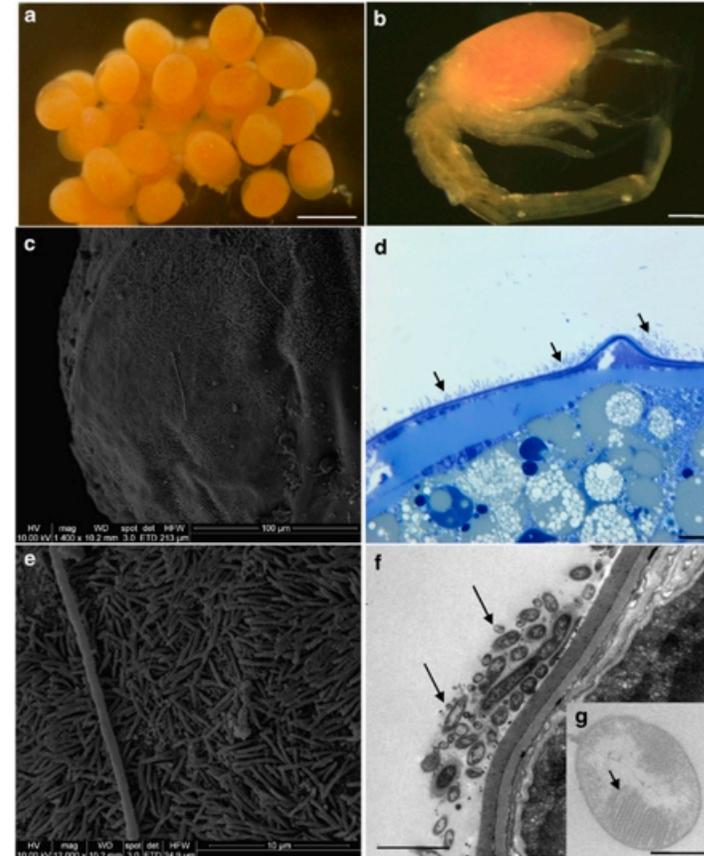
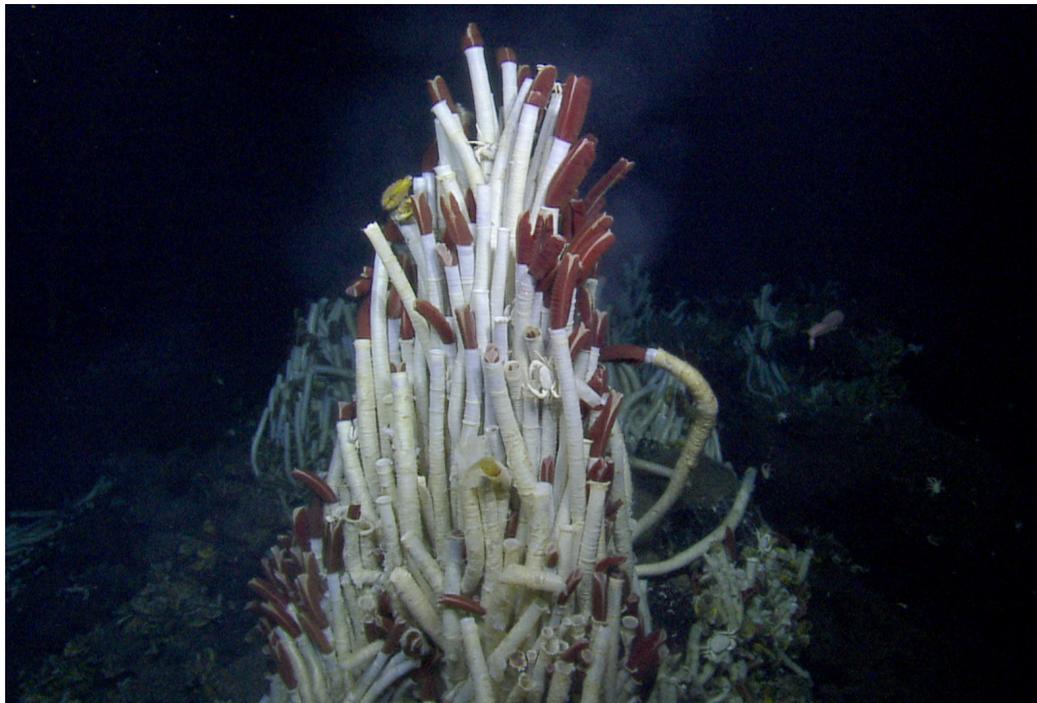
«Черные курильщики»  
– глубоководные  
гидротермы



Хемолитоавтотрофные бактерии используют энергию неорганических соединений, поступающих с флюидом и являются пищей для беспозвоночных животных, часто образуя с ними симбиотические ассоциации

# Симбиоз беспозвоночных с литоавтотрофными прокариотами

Черви рода *Riftya* (вестиментиферы) полностью зависят от эндосимбиотических бактерий, окисляющих  $H_2S$  (специальные органы – трофосомы)



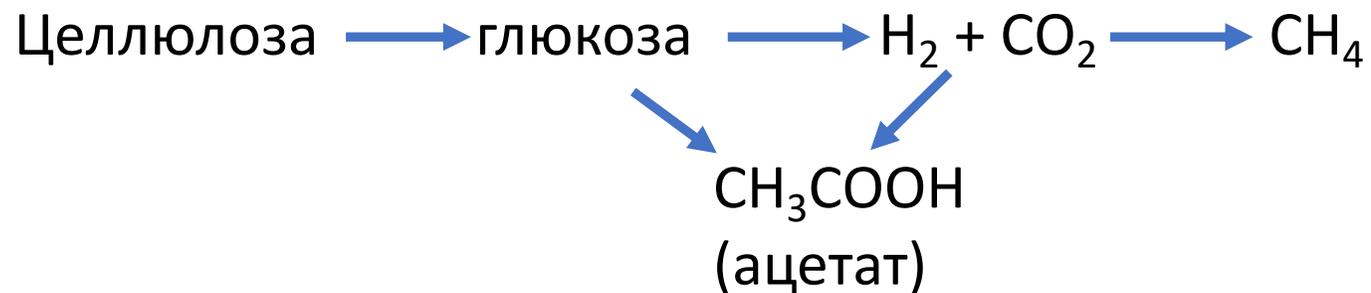
Креветки содержат эпибионтов - сульфид-, метан- и железоокисляющих бактерий

# Симбионты термитов

Термиты обладают способностью переваривать лигнифицированную целлюлозу (древесина)

Очень сложно устроенная пищеварительная система

Кишечник имеет несколько отделов (P1 – P5), которые различаются по составу микробиоты и даже по pH (P1 – щелочной)

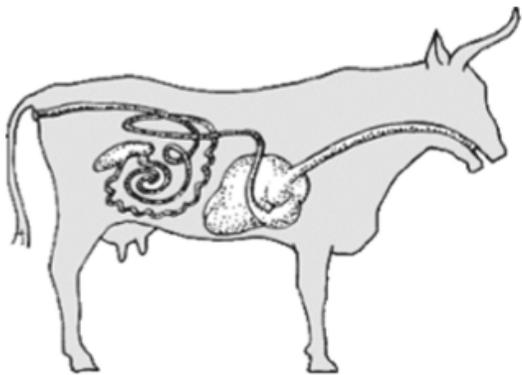
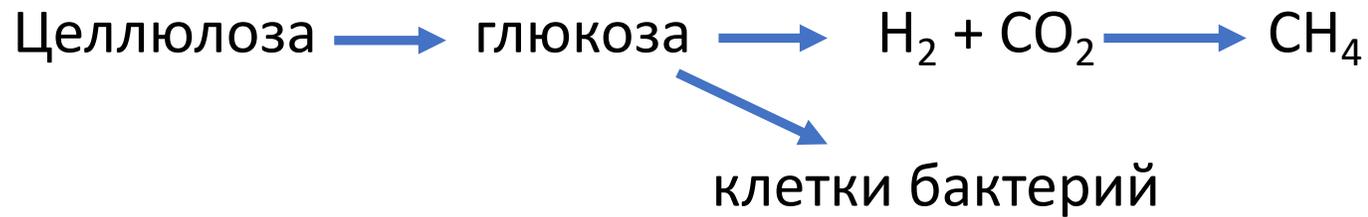


У высших термитов – только прокариоты

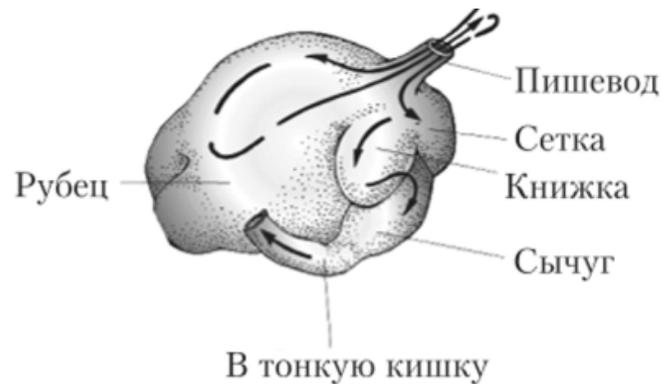
У низших термитов – еще и инфузории

## Рубец жвачных животных

В желудке жвачных животных есть особый отдел – рубец, наполненный клетками микроорганизмов



*a*



*б*

Объем рубца коровы – 80 – 100 л

Количество клеток –  $10^{12}$ /мл

Бактерии рубца являются источником азота для животных

Там есть также археи, грибы, вирусы

Метан, образуемый крупным рогатым скотом составляет 14.5% от всех антропогенных выбросов



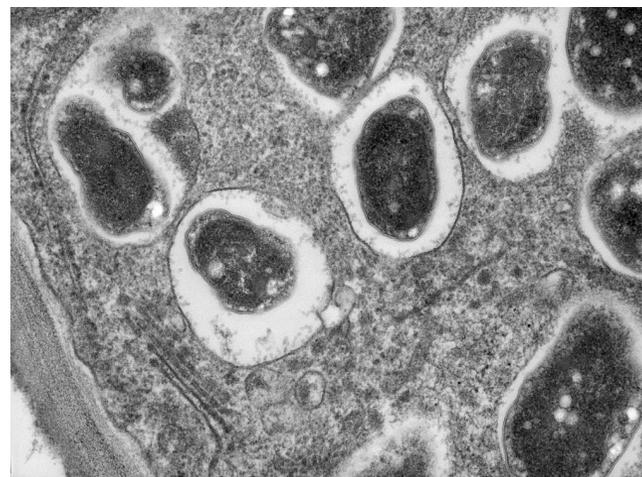
В Аргентине с 2009 года собирают метан, образуемый коровами, для использования в домашнем хозяйстве, и даже для заправки автомобилей

## Клубеньковые бактерии и бобовые растения

Клубеньки (nodules) – специальные органы на корнях растений (не только бобовых), в которых размещаются клетки бактерий, ассимилирующих азот

Растение обеспечивает бактерий энергетическими субстратами

Специальный железосодержащий белок леоглобин обеспечивает повышенное содержание кислорода в клубеньках



# Микроорганизмы ризосферы

**Корневая зона растения, активно заселенная микроорганизмами**



Узкий слой почвы (2-5 мм)  
непосредственно вокруг корней

Растения выделяют питательные  
вещества, привлекающие бактерии и  
микроскопические грибы

Бактерии (свободноживущие)

- ассимилируют азот
- защищают растение от паразитических микроорганизмов

Грибы образуют микоризу и существенно увеличивают поверхность и протяженность корневой системы растения

Микробиота ризосферы специфична; связи между микро- и макроорганизмами сложны и разнообразны

**Пример: суточные циклы у азот-ассимилирующих бактерий, ассоциированных с растениями риса**