

# Метаболизм 2

Донор e	Первичный акцептор	Конечный акцептор	Тип биологического окисления	микрорганизмы
$\text{AN}_2$	НАД	ЦИТОХРОМОКСИДАЗНАЯ СИСТЕМА $\frac{1}{2} \text{O}_2 \text{H}_2\text{O}$	Аэробное дыхание (не прямое окисление)	Облигатные аэробы, фак. анаэробы
		Оксидаза $1/2\text{O}_2 \text{ CO}_2$	Аэробное дыхание (прямое окисление)	Облигатные аэробы
$\text{AN}_2$	НАД	Органические соединения	брожения	Облигатные анаэробы, Фак. анаэробы
	НАД	$\text{NO}_3^- \text{NO}_2^-$	Анаэробное дыхание	
		$\text{CO}_2 \text{--- CH}_4$		Облиг. анаэробы

# Прямое аэробное окисление

- В качестве доноров обычно используются неорганические молекулы. При этом в качестве источника углерода чаще всего используется  $\text{CO}_2$  (хемотритоавтотрофы)

Виноградский открыл новый образ жизни – когда в качестве источника энергии используются неорганические молекулы

# Хемолитоавтотрофы

- 1. Нитрифицирующие бактерии. Облигатные аэробы, большинство облигатные автотрофы
- 2. Водородные бактерии.
- 3. Серобактерии и тионовые бактерии.
- 4. Железобактерии.
- 5. Карбоксидобактерии
- Недавно обнаруженный микроорганизм *Stibiobacter*, окисляющий окислы трехвалентной сурьмы ( $Sb_2O_3$ ) до пентавалентной ( $Sb_2O_5$ ).  
Таким образом, выявлены хемолитоавтотрофы, способные получать энергию в результате окисления минеральных соединений пяти элементов: H, N, S, Fe и S

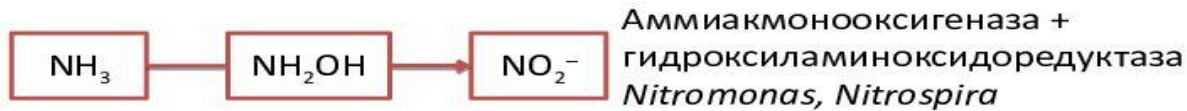
# Нитрификаторы

Используют  $\text{NH}_3$  в качестве доноров электронов



Процесс идет в два этапа, которые осуществляются двумя разными группами организмов

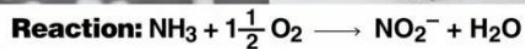
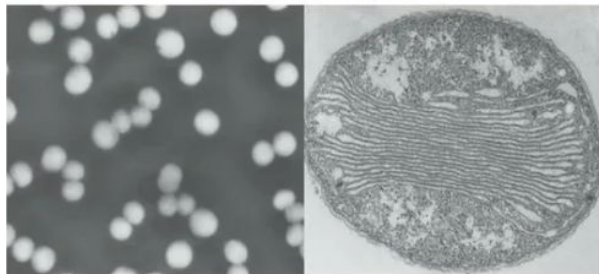
1. Этап осуществляют бактерии р. Nitrosomonas, Nitrosococcus Nitrospira



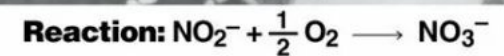
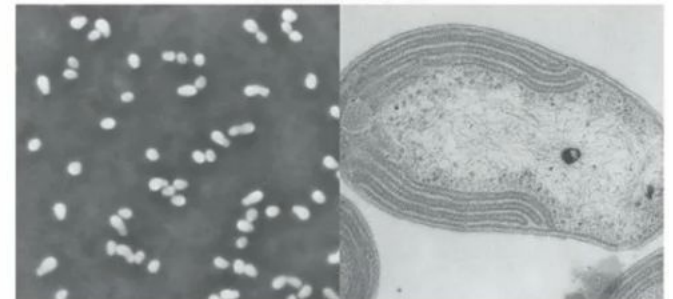
2. Этап осуществляют бактерии р. Nitrobacter

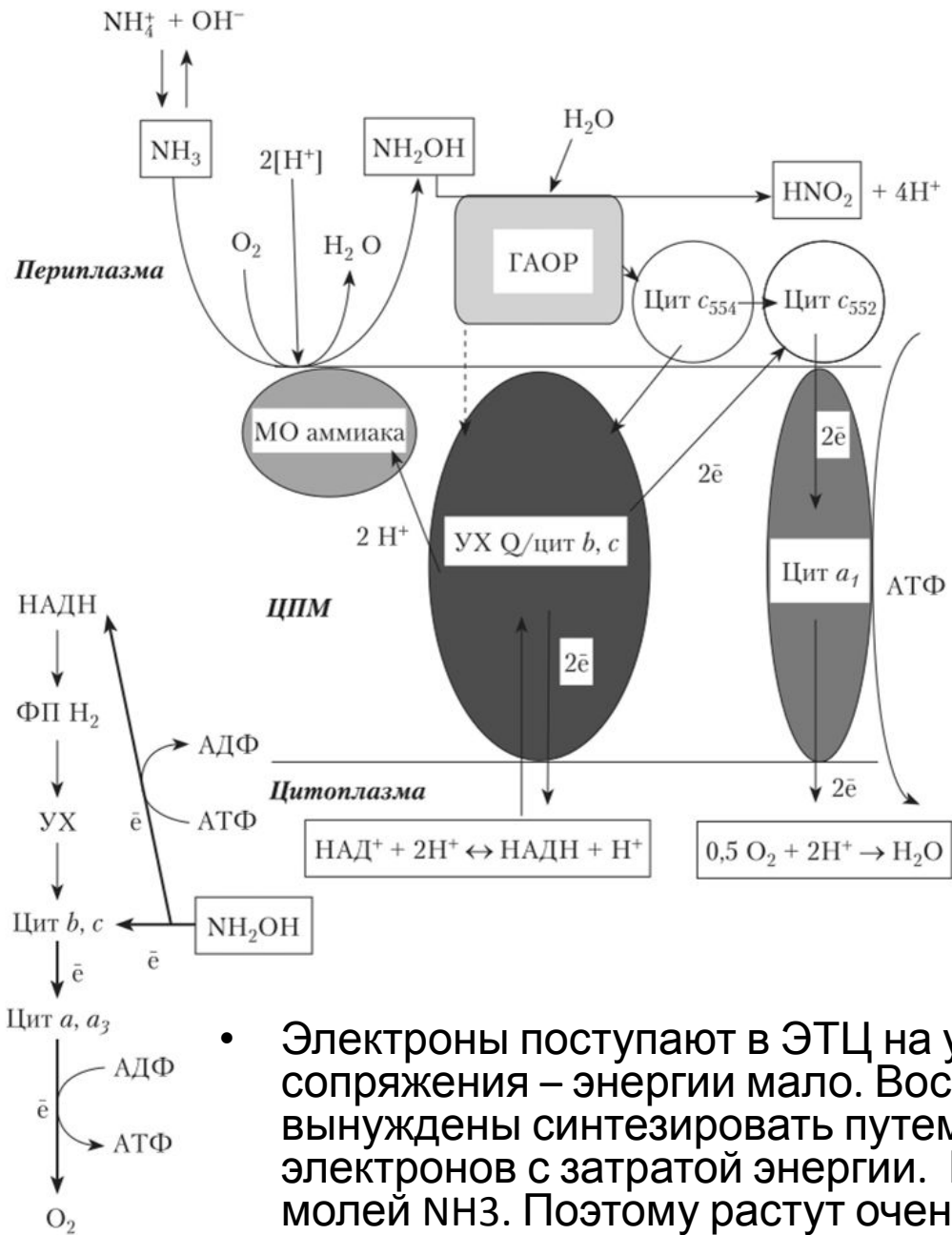


*Nitrosococcus*



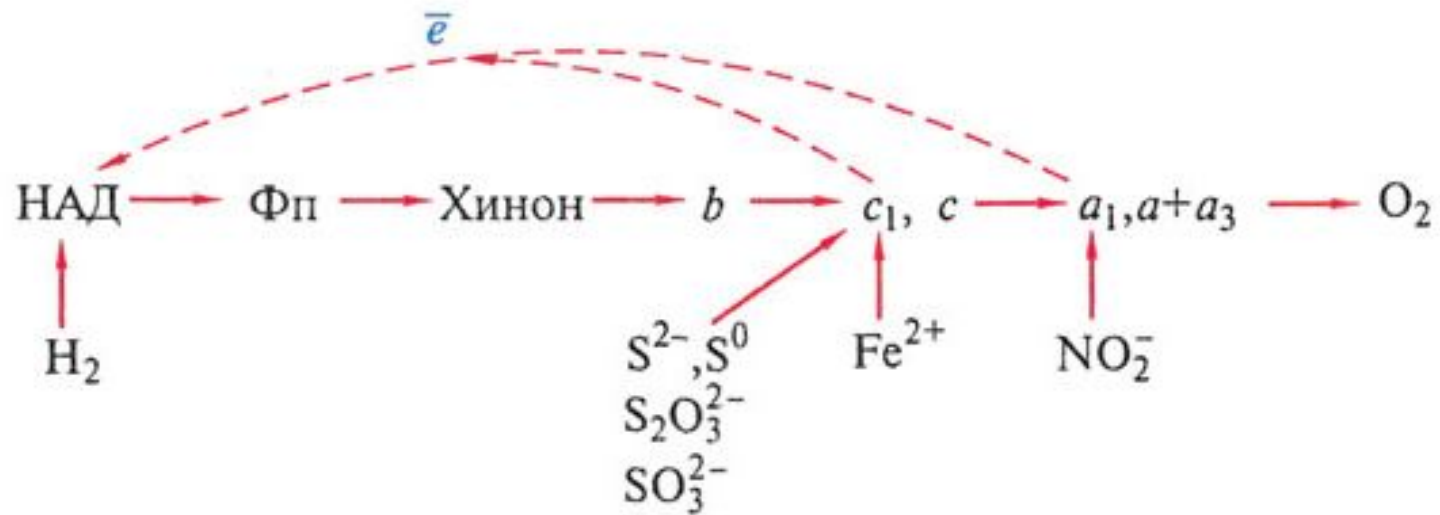
*Nitrobacter*





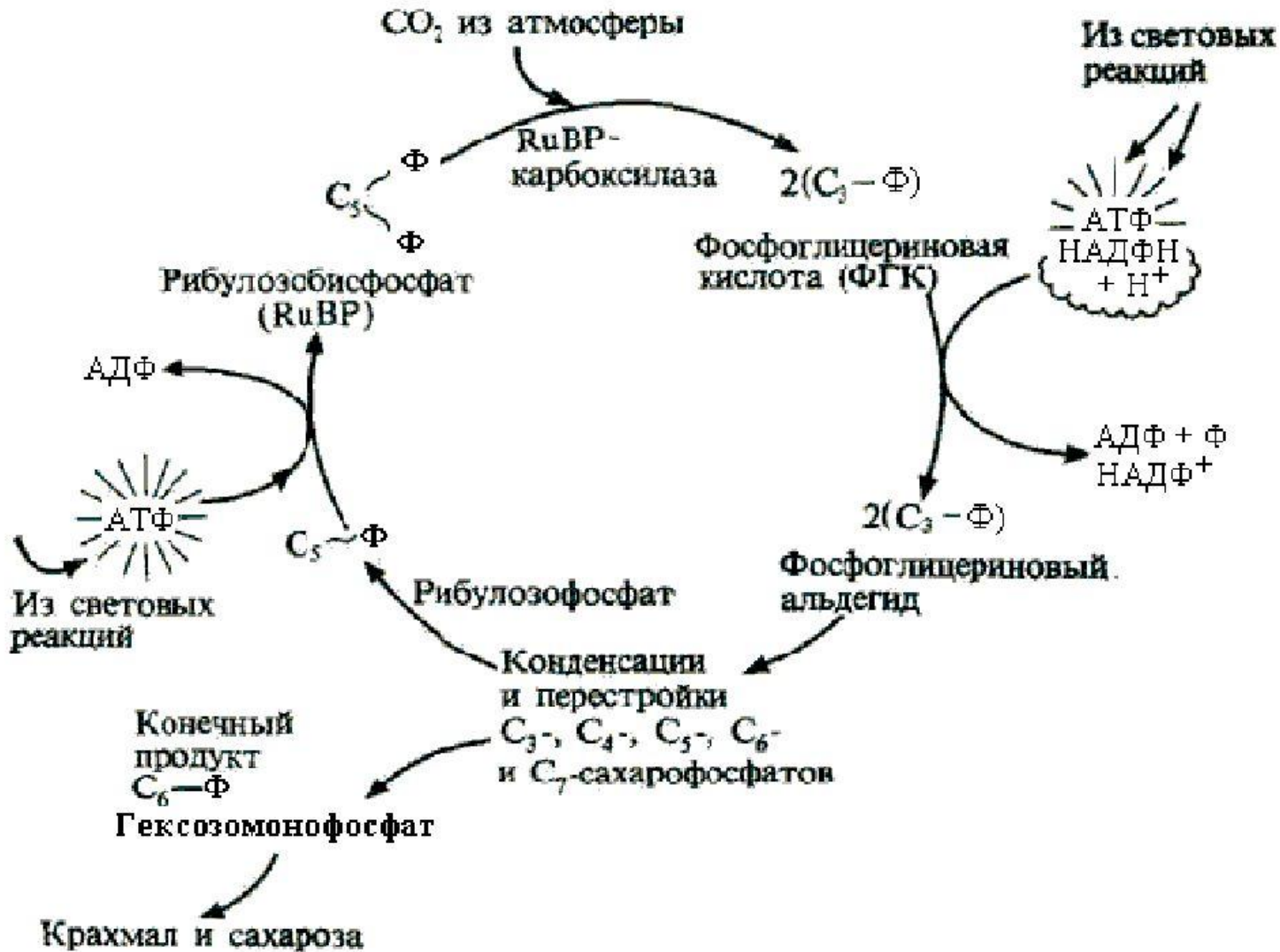
- Электроны поступают в ЭТЦ на уровне цитохромов – один пункт сопряжения – энергии мало. Восстановительные эквиваленты вынуждены синтезировать путем обратного переноса электронов с затратой энергии. На 1 моль НАДН необходимо 5 молей  $\text{NH}_3$ . Поэтому растут очень медленно!!!

# Электронтранспортная цепь хемолитоавтотрофов

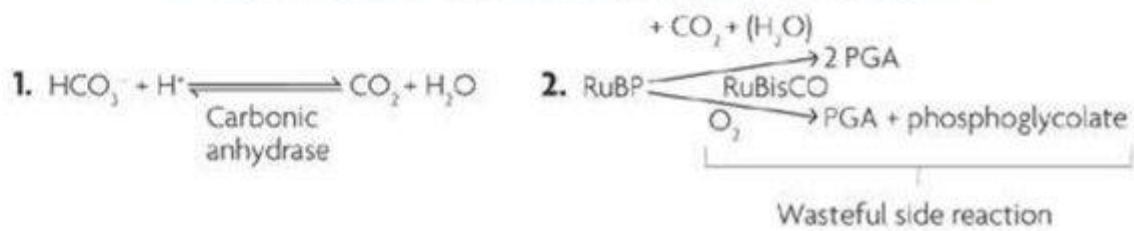
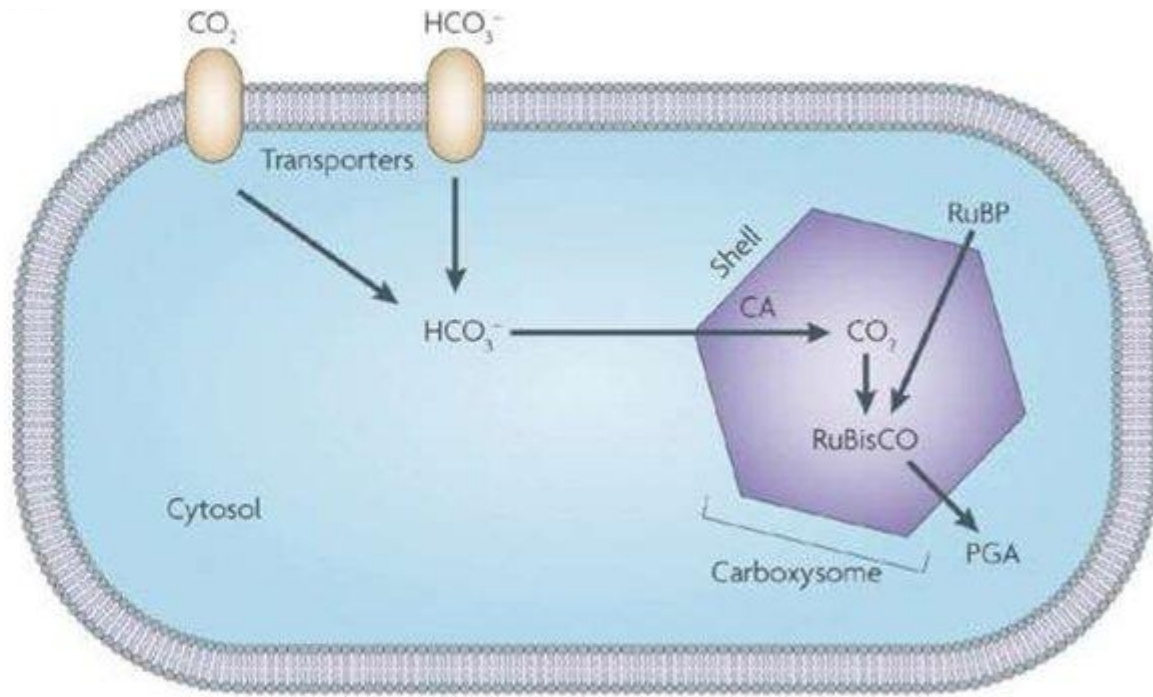




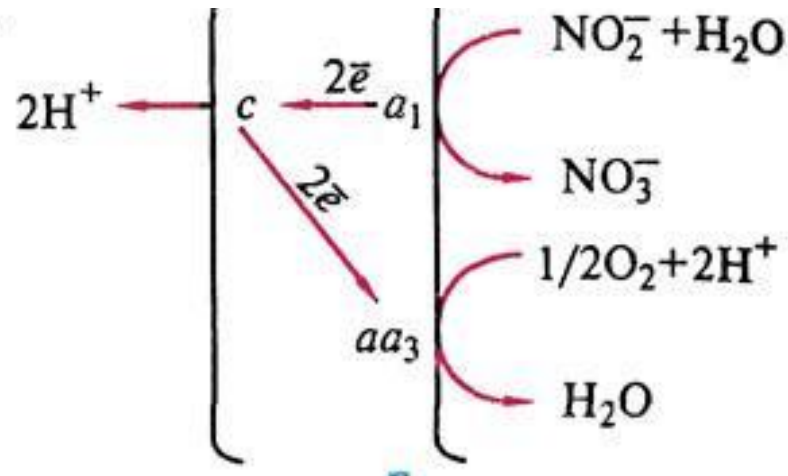
Для фиксации  $\text{CO}_2$  используют цикл Кальвина. В клетках образуются карбоксисомы.



# Карбоксиомы



- Нитрификаторы 2 фазы автотрофы, но встречаются и миксотрофы.
- $\text{NO}^{-2} + \text{H}_2\text{O} \text{-----} \text{NO}^{3-} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$



- Некоторые бактерии и плесневые грибы способны к гетеротрофному окислению аммиака, но без запасания энергии

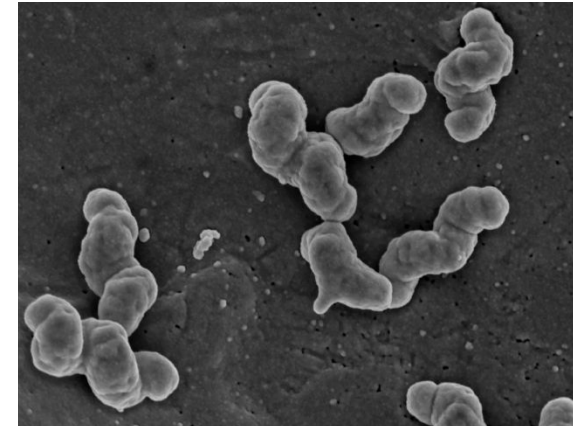
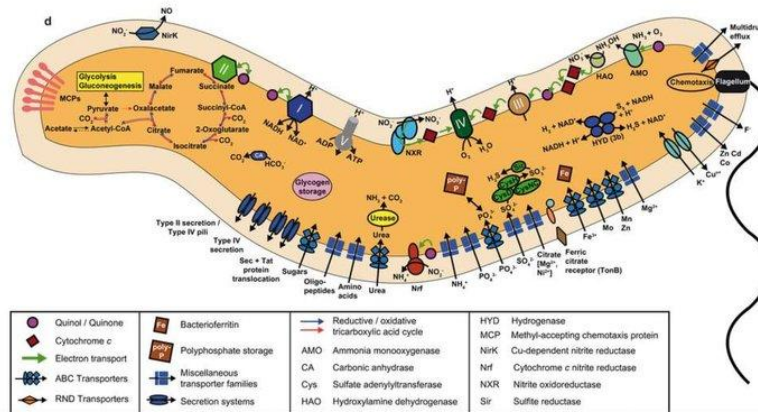
- Нитрификаторы присутствуют в водоемах и почве, везде, где образуется аммоний и присутствует кислород. Длительное применение аммонийных удобрений приводит к значительному обогащению обрабатываемых земель автотрофными нитрификаторами. В водоемах нитрификаторы особенно активно развиваются, как и многие хемолитотрофы, на границах аэробной и анаэробной зон.

+ подкисление почвы улучшает растворимость и, следовательно, доступность некоторых жизненно необходимых элементов, в первую очередь фосфора и железа.

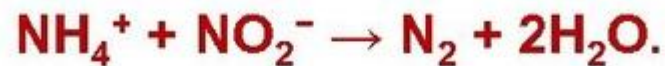
- Нитрифицирующие бактерии косвенно участвуют в разрушении разного рода сооружений

# Недавно обнаружен Котаттох

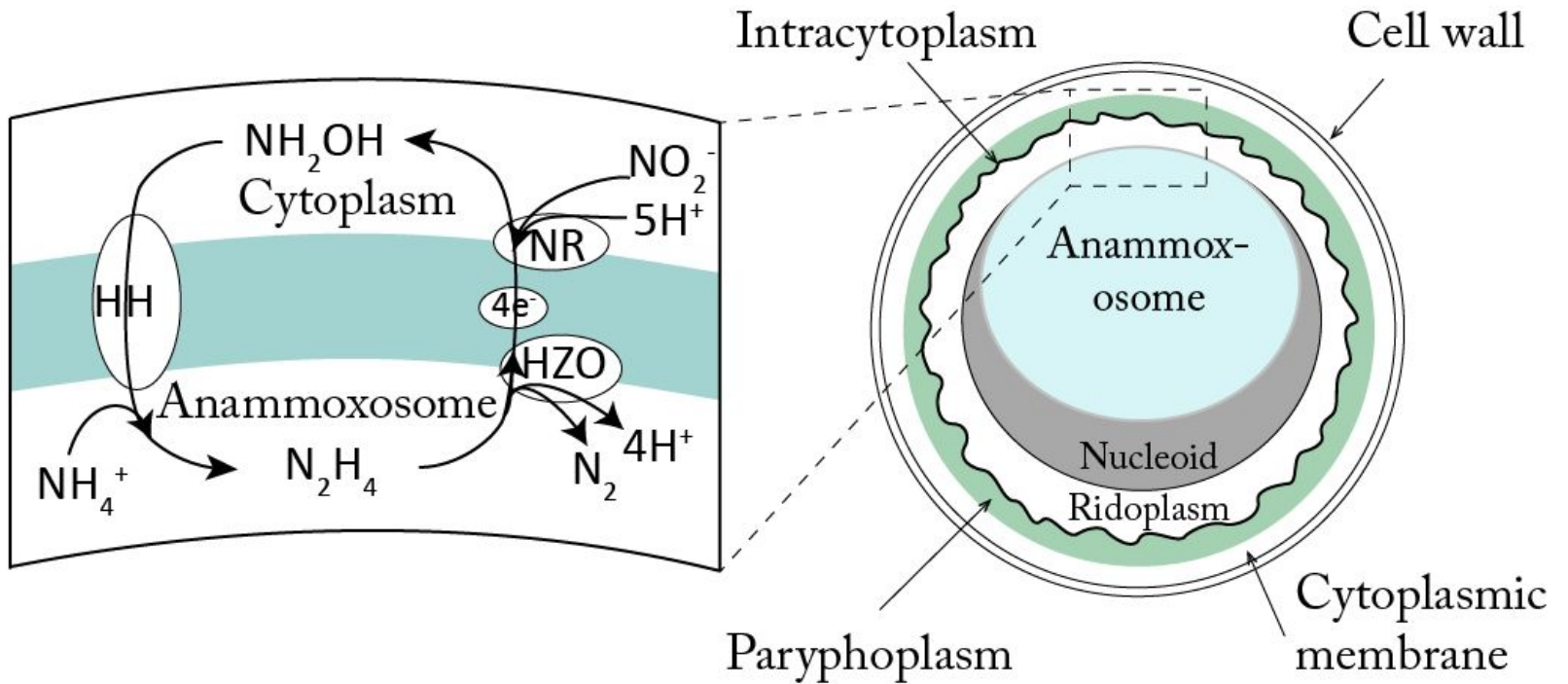
- Nitrospira – полное окисление аммиака до нитрата



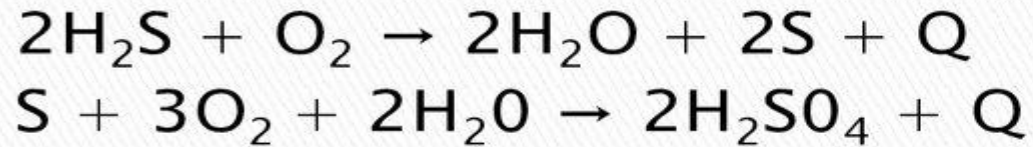
Апаттох – анаэробное окисление аммония планктомицетами



# Анаммокс бактерии



# Сероокисляющие



Способны окислять : сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ), тиосульфат ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ), сульфит ( $\text{SO}_3^{2-}$ ), тритионат ( $\text{S}_3\text{O}_6^{2-}$ ), тетратионат ( $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ ), тиоцианат ( $\text{CNS}^-$ ), диметилсульфид ( $\text{CH}_3\text{SCH}_3$ ), диметилдисульфид ( $\text{CH}_3\text{SSCH}_3$ ), а также сульфиды тяжелых металлов

- **Истинные тионовые бактерии**  
**серобактерии**

- **одноклеточные**  
(нитчатые)

- **неподвижные** **подвижные**

- **НЕ**

откладывают  
серу в  
цитоплазме  
гетеротрофы

- *Thiobacillus*, гетеротрофы

**Бесцветные**

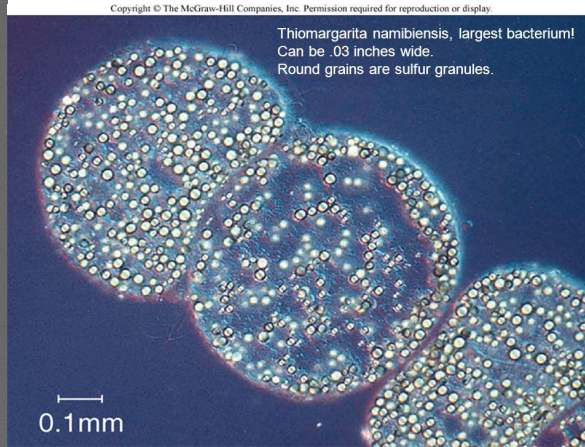
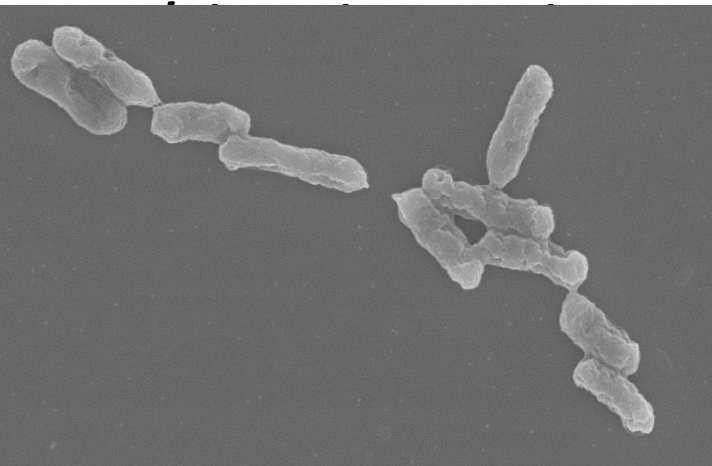
**многоклеточные**

- **Откладывают**

серу в  
цитоплазме

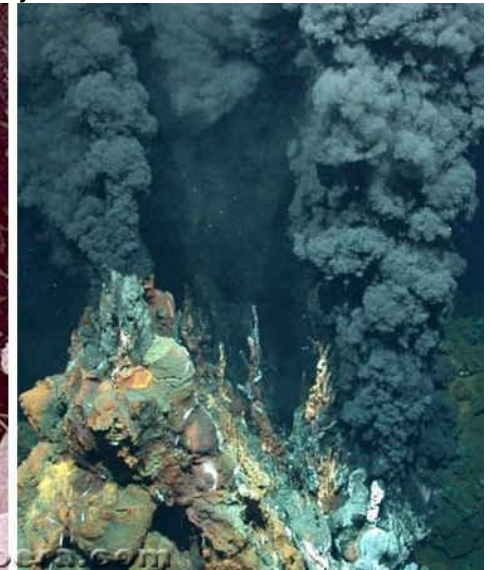
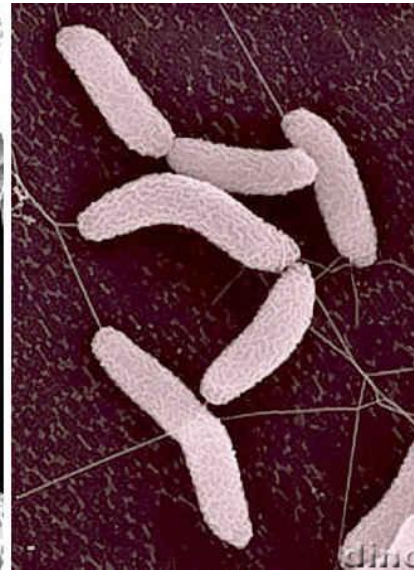
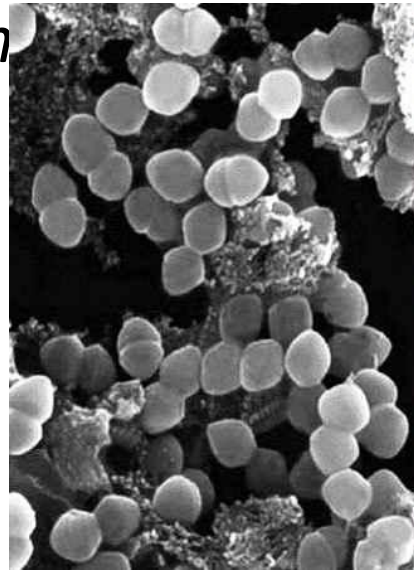
гетеротрофы

*Beggiat*





- У большинства серных бактерий электроны поступают в электрон-транспортную цепь на уровне цитохрома с
- Поскольку большинство серных бактерий образует как конечный продукт окисления соединений серы серную кислоту, многие из них относятся к ацидофилам, либо устойчивы к низким значениям pH. Нейтрофильные тиобациллы способны выживать при pH до 3 - 4, для ацидофила *Thiobacillus thiooxidans* этот уровень кислотности оптимален, *Thiobacillus ferrooxidans*



Хемолитотрофы, окисляющие серу, обитают в морских и пресных водоемах, содержащих  $O_2$ , в аэробных слоях почв разного типа. Представителей этой группы можно встретить в кислых горячих серных источниках, кислых шахтных водах.

Окисление восстановленных соединений серы до сульфатов, осуществляемое этими бактериями, приводит к подкислению окружающей среды, что может иметь положительные и отрицательные последствия.

+ переводит некоторые соединения в растворимую форму, что делает их доступными для растений; (серный цвет – агротехнологический прием)

– накопление серной кислоты приводит к порче и разрушению различных сооружений.

# Железоокисляющие

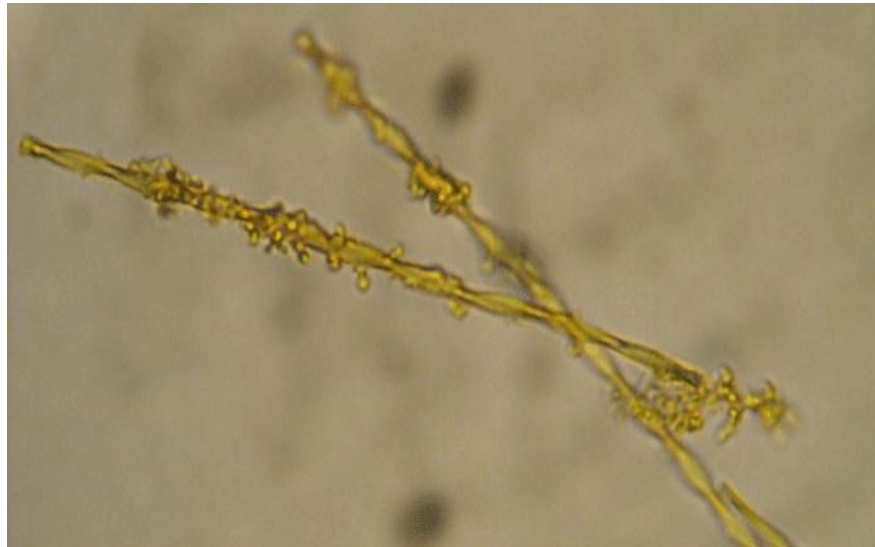
- Получение энергии окислением двухвалентного железа до трехвалентного:



- Энергии в таком процессе запасается мало, поэтому необходимо окислить большое количество железа (II)
- Клетки в слизистых чехлах, куда могут откладывать гидроксид железа (III)

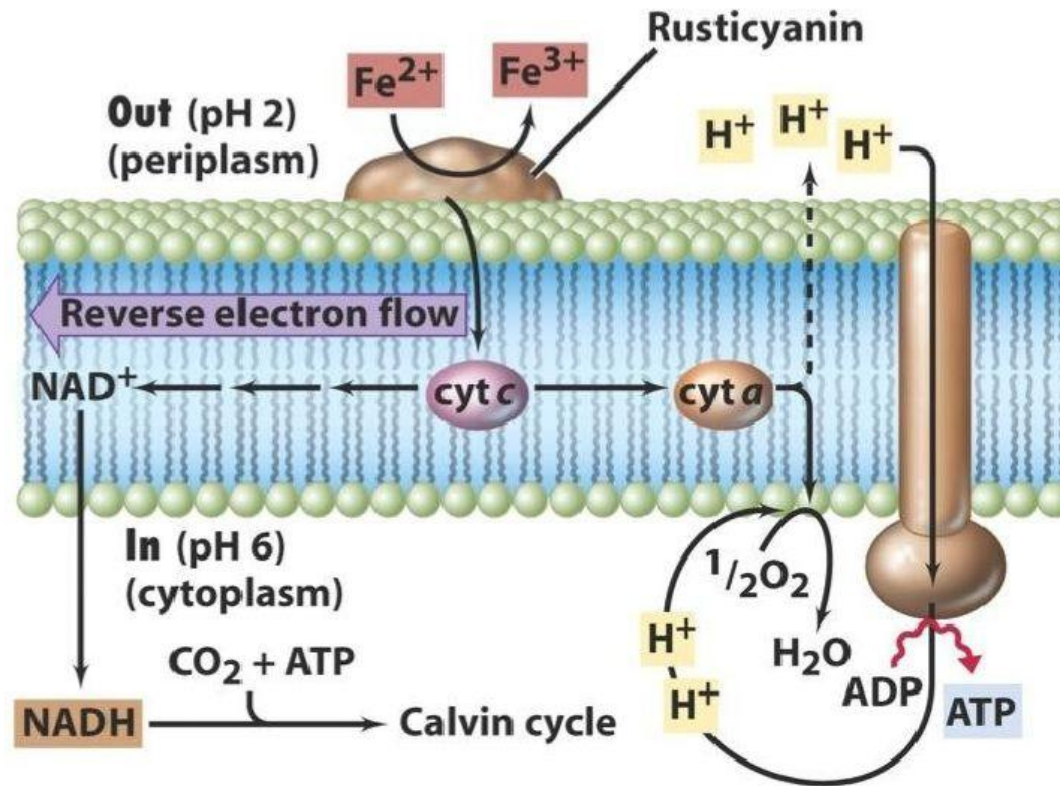
# Представители Aciditobacillus, Gallionella

- В местах с низкой конц кислорода ( $Fe^{2+}$ )



- Наиболее изученным представителем данных бактерий является *Thiobacillus ferrooxidans*.
- Они являются аэробными ацидофильными бактериями с оптимальным значением pH для роста ниже 4,5, что связывают с большей устойчивостью железа к окислению воздухом именно при низкой кислотности.





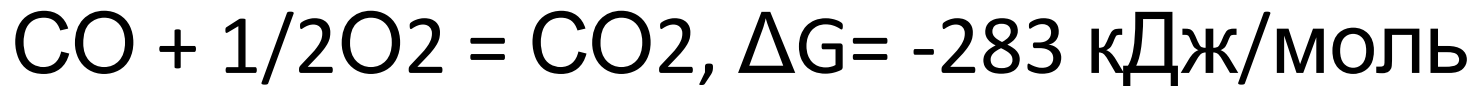
Дыхательная цепь этих бактерий содержит все типы переносчиков, но участок, связанный с получением энергии, очень короткий. Окисление Fe<sup>2+</sup> происходит на внешней стороне цитоплазматической мембраны; в цитоплазму через мембрану железо не проникает. Электроны с Fe<sup>2+</sup> акцептируются особым медьсодержащим растворимым белком – **рустицианином** (РЦ), локализованным в периплазматическом пространстве. Устойчив к низким pH. Затем с рустицианина они передаются на цитохром с, локализованный на внешней стороне цитоплазматической мембраны, а с него на цитохром а1, расположенный на внутренней стороне мембраны. Перенос электронов с цитохрома а1 на 1/2 O<sub>2</sub>, сопровождающийся поглощением из цитоплазмы двух протонов, приводит к восстановлению молекулярного кислорода до H<sub>2</sub>O

- Большое значение имеет, в частности *Thiobacillus ferrooxidans*, окислять разнообразные нерастворимые в воде сульфидные минералы: сурьмы, меди, цинка, ртути, свинца, никеля, молибдена, кобальта. При этом образуются растворимые сульфаты, что имеет значение для плодородия почв, а также используется на практике при выщелачивании металлов из бедных руд.
- Суть технологии выщелачивания состоит в том, что через измельченную руду пропускают воду, содержащую железобактерии, собирают содержащий сульфаты раствор, концентрируют его и осаждают металлы.

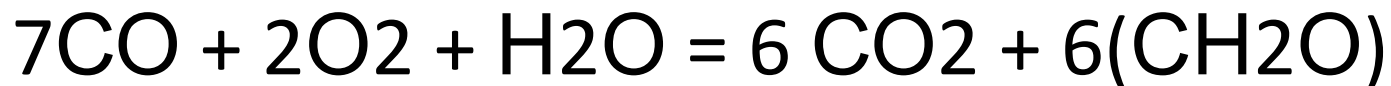


# Карбоксидобактерии

- Карбоксидобактерии – это аэробные эубактерии, способные расти, используя окись углерода (CO) в качестве единственного источника углерода и энергии, обладающие специфической ферментной системой окисления (CO) – оксидазой, широко распространены в природе и являются мощным агентом удаления (CO) из атмосферы.



Довольно высокие количество выделяемой энергии, что сопоставимо с энергией 4 АТФ. Карбиксидобактерии растут автотрофно, фиксируя далее CO<sub>2</sub> в цикле Кальвина:



- *Alcaligenes carboxidus, Carboxidium Shlegeli, Pseudomonas, Achromobacter, Comamonas, метаногены, метанотрофы*

- Окисление CO карбоксибактериями осуществляется с участием СО-дегидрогеназы. Электроны, освобождающиеся при этом, поступают в электронтранспортную цепь.
- Карбоксибактерии приносят существенную пользу, улучшая экологическую ситуацию благодаря своей способности очищать атмосферу от токсичного оксида углерода, который в больших количествах присутствует в выхлопных газах, выбросах многих промышленных предприятий.

# Водородные бактерии

К водородным бактериям относятся прокариоты, способные получать энергию путем окисления молекулярного водорода с участием  $O_2$ , а все вещества клетки строить из углерода  $CO_2$ . Это хемолитоавтотрофы, растущие при окислении  $H_2$  в аэробных условиях:

Представители:

рода *Alcaligenes*, *Pseudomonas*, *Aquaspirillum*, *Xanthobacter*, *Paracoccus*, *Rhizobium*, *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Bacillus*.

Большинство водородных бактерий относится к облигатным аэробам. Однако среди них преобладают виды, тяготеющие к низким концентрациям O<sub>2</sub> в среде. Это объясняется инактивирующим действием молекулярного кислорода на гидрогеназу и нитрогеназу – ключевые ферменты метаболизма H<sub>2</sub> и фиксации N<sub>2</sub>.

- Наиболее изученным микроорганизмом является *Alcaligenes eutrophus*, был выделен в лаборатории Г. Шлегеля. Этот организм является типичным представителем водородных бактерий — аэроб, растет на полностью минеральных средах, в газовую фазу которых входит CO<sub>2</sub>, водород и кислород.

# Две гидрогеназы: растворимая и мембрансвязанная

- Связанный с мембранами фермент, катализирующий реакцию поглощения  $H_2$ , передает электроны в дыхательную цепь и, таким образом, имеет непосредственное отношение к энергетическим процессам.
- Растворимая гидрогеназа, переносит электроны на молекулы НАД<sup>+</sup>, которые участвуют далее в различных биосинтетических реакциях.

# Использован

- Водородные бактерии <sup>ие</sup> играют незаменимую роль в природе, участвуя в круговороте водорода.
- Они также рассматриваются как перспективные объекты биотехнологии, поскольку способны на дешевых минеральных субстратах с высокой эффективностью образовывать биомассу. Например:  
Электролиз воды + CO<sub>2</sub> электростанций
- Космические станции
- Подводные лодки
- Белки водородных бактерий полноценны по аминокислотному составу и легко усваиваются животными.
- Представители рода *Alcaligenes*, кроме того, способны синтезировать из CO<sub>2</sub> и накапливать в клетках большие количества поли-β-гидроксибутирата – пластичного природного полимера