

**АЭРОБНОЕ И
АНАЭРОБНОЕ ДЫХАНИЕ
ПРОКАРИОТ**

Вопросы:

1. **Аэробное дыхание.**

2. **Хемосинтез. Группы аэробных хемолитотрофных бактерий.**

3. **Группы аэробных хеморганотрофных бактерий.**

4. **Анаэробное дыхание.**

Дыхание – это окислительно-восстановительный процесс, идущий с образованием АТФ.

**В качестве донора
электронов и протонов**

**прокариоты могут
использовать:**

- **органические вещества
(органотрофные бактерии)**
- **неорганические вещества
(литотрофные бактерии).**

Аэробное дыхание - ЭТО ТИП
дыхания, при котором
конечным акцептором
электронов является O_2

- **Анаэробное дыхание** - тип дыхания при котором конечным акцептором электронов могут служить:

✓ «связанный кислород» в форме нитратов, сульфатов, CO_2

✓ молекулярная сера

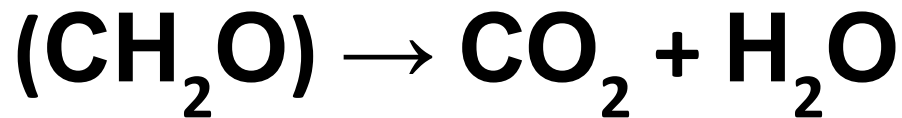
✓ Fe^{3+}

✓ органические соединения – фумаровая кислота

- Характерно только для

1. Аэробное дыхание

- Аэробное дыхание – это процесс, обратный «нормальному» фотосинтезу, т. е. органическое вещество (CH_2O) разлагается до CO_2 и H_2O :



Это полное окисление.

- Неполное окисление – осуществляют, например, уксуснокислые бактерии (р. *Acetobacter*). Они окисляют этанол до уксусной кислоты. Вредители

Аэробные организмы обладают особым аппаратом:

- **дыхательной (электронтранспортной) цепью**
- **ферментом АТФ-синтетазой.**
- **оба компонента у прокариот расположены в ЦПМ.**

Дыхательная цепь - это система переносчиков электронов и протонов от донора (окисляемого вещества) к акцептору (при аэробном дыхании - это O_2).

В состав дыхательной цепи входят:

- ✓ **Флавопротеиды** – вещества белковой природы – переносчики протонов.
- ✓ **Хиноны (у бактерий – убихинон)** – способны переносить, как протоны, так и электроны.
- ✓ **Цитохромы** – белки (содержащие геммы), переносчики электронов.
- ✓ **Железо-серные белки** – переносчики электронов.

- Протоны и электроны, извлеченные при окислении субстрата (при помощи дегидрогеназ), акцептируются НАД или ФАД (это переносчики электронов) и переносятся в дыхательную цепь.
- Транспорт электронов по цепи сопряжен с переносом протонов из цитоплазмы через мембрану.

- Вследствие чего возникает трансмембранный электрохимический протонный градиент, который создает протондвижущую силу.
- Протоны возвращаются, «перетекают», обратно с наружной стороны мембраны на внутреннюю по электрохимическому градиенту.

- Синтез АТФ осуществляется при помощи мембранного фермента АТФ-синтетазы путем конверсии энергии трансмембранного электрохимического градиента протонов в химическую форму энергии.

- Образование АТФ в процессе дыхания называется

ОКИСЛИТЕЛЬНЫМ

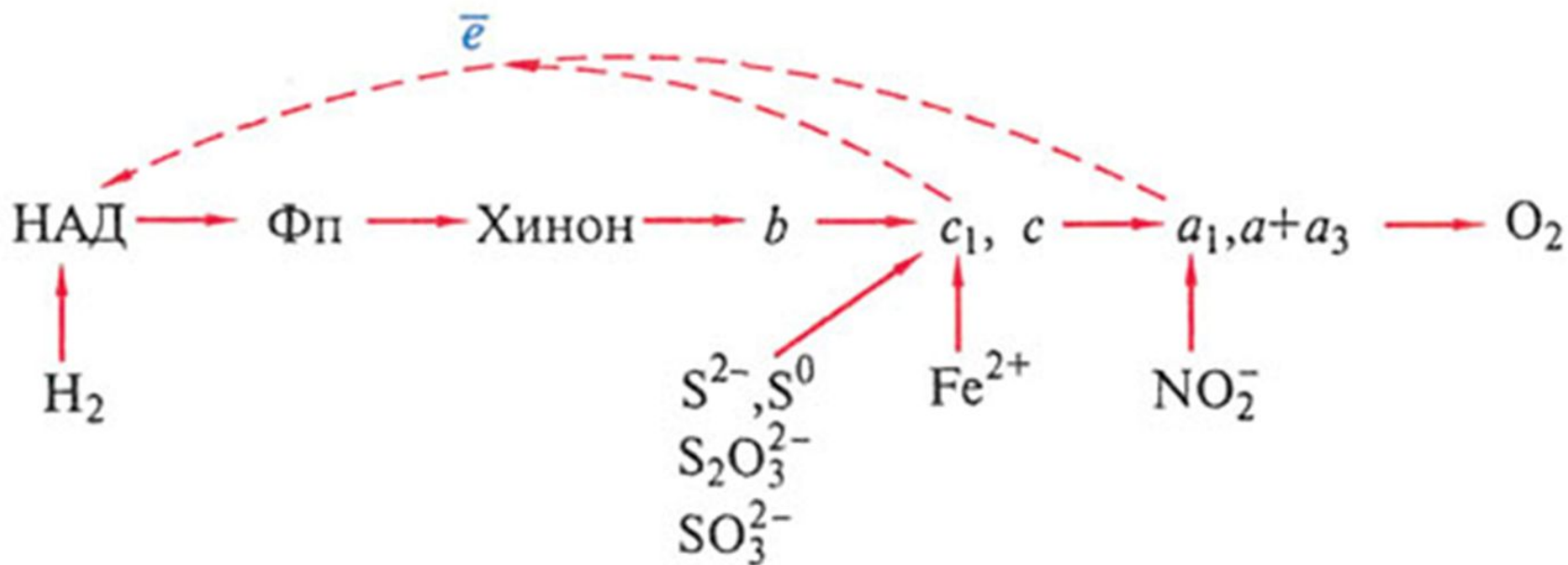
ФОСФОРИЛИРОВАНИЕМ.

2. Хемосинтез. Группы аэробных хемолитотрофных прокариот

- Хемосинтез – это способность некоторых прокариот синтезировать клеточные компоненты, используя в качестве источника углерода CO_2 за счет энергии, получаемой при окислении неорганических соединений.

- **Явление хемосинтеза было открыто С. Н. Виноградским в 1887-1890 гг.**
- **Хемосинтез осуществляют только прокариоты – хемолитоавтотрофные бактерии.**

Дыхательная цепь хемолитоавтотрофных бактерий



- В большинстве случаев включение электронов в дыхательную цепь при окислении неорганических субстратов (NH_4^+ , NO_2^- , H_2S , S , Fe^{2+}) происходит на уровне цитохромов.
- Только при окислении H_2 электроны поступают на уровне НАД, т.к. H_2 обладает высоким отрицательным значением E_0 (-420 мВ).
- Это приводит к тому, что функционирует только один генератор трансмембранного

- Для образования восстановителя НАД·Н₂ у таких бактерий работает система обратного переноса электронов, т. е. «лифт», поднимающий электроны в сторону более высокого отрицательного потенциала – до уровня НАД (у НАД $E_0 = -320\text{мВ}$).
- Этот процесс идет с затратой энергии, используется АТФ, синтезируемая в процессах окислительного фосфорилирования на концевом этапе дыхательной

Группы аэробных хемолитотрофных прокариот

Нитрифицирующие бактерии

- Аэробные Грам(-) бактерии различной морфологии.
- Окисляют восстановленные соединения азота (аммоний, азотистая кислота) до азотной кислоты.
- Процесс окисления аммония до азотной кислоты называется **нитрификацией**.

Процесс нитрификации идет в

два этапа:

1. Окисление аммония до нитрита:



Осуществляют бактерии родов:

Nitrosomonas, Nitrosococcus,

Nitrosolobus, Nitrospira,

Nitrovibrio.

2. Окисление нитрита (NO_2^-) до нитрата:



Осуществляют бактерии родов: *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*.

Источник углерода - CO_2 , фиксируют его в цикле Кальвина.

- Между двумя группами нитрифицирующих бактерий особый тип симбиоза – **метабиоз** – взаимоотношения, когда один вид использует продукты жизнедеятельности другого, как субстрат для развития.
- **Распространены** в почвах, в водоемах, в иловых отложениях, в морских осадках, на очистных сооружениях, в горных породах, на поверхности каменных исторических

• **Значение:**

- ✓ **Участвуют в круговороте азота, осуществляя нитрификацию.**
- ✓ **В хорошо аэрируемых почвах могут приводить к подкислению почвы.**
- ✓ **Участвуют в разрушении зданий (разрушают известь, камень) за счет выделения**

Тионовые бактерии

- К ним относятся бактерии родов: *Thiobacillus*, *Thiomicrospora*, *Thiosphaera*, *Thermothrix* и др.
- Окисляют восстановленные соединения серы: H_2S , S , сульфит - SO_3^{2-} , тиосульфат - $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ и др.
- H_2S окисляют до H_2SO_4 через ряд промежуточных продуктов:



- **Встречаются** в водоемах при наличии H_2S и S , в серных источниках, в сульфидных и серных месторождениях, в почвах, на очистных сооружениях. Симбионты некоторых морских беспозвоночных (у глубоководных погонофор, моллюсков).
- **Значение.** Участвуют в

Железобактерии

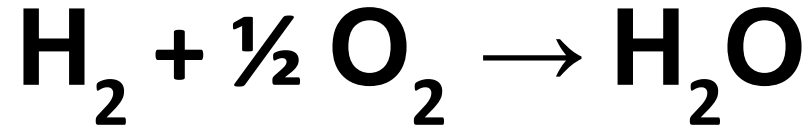
- Истинные железобактерии (*Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*) окисляют Fe^{2+} до Fe^{3+} с целью получения энергии.
- Окисление Fe^{2+} происходит на внешней стороне ЦПМ, в цитозоль ионы Fe^{2+} не проникает. Электроны с ионов железа акцептируются **рустицианином** (медьсодержащий белок), который переносит электроны в дыхательную цепь на

- **Железобактерии встречаются в кислых рудничных стоках, в подземных водах сульфидных месторождений, кислых железистых источниках и озерах.**
- **Практическое использование.** *T. ferrooxidans* используется в биогидрометаллургии.

Водородные бактерии

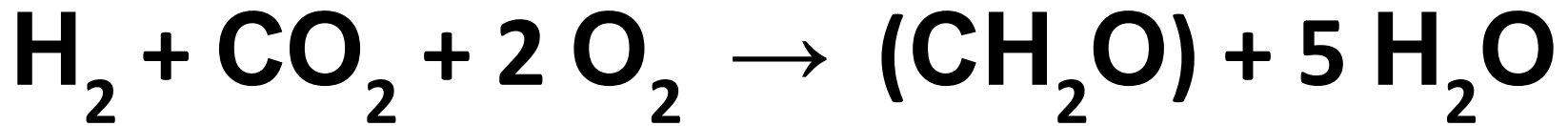
- Облигатные водородные бактерии входят в состав родов *Calderobacterium* и *Aquifex* (экстремальные термофилы, развивающиеся при t выше $+70^{\circ}\text{C}$)
- Факультативные водородные бактерии – некоторые виды р. *Pseudomonas* (*P. aeruginosa*), *Paracoccus*, *Bacillus*.

- Энергию получают при окислении водорода:



- Имеют гидрогеназы – ферменты, катализирующие реакцию: $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}$

- Водород также используют в биосинтетических процессах:

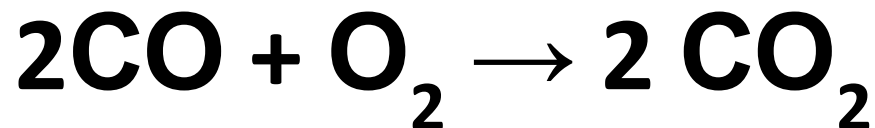


CH_2O – обобщенная формула орган. в-ва.

- Являются газотрофами.
- Значение: используют для

Карбоксидобактерии

- Род *Carboxydomonas*, некоторые представители р. *Pseudomonas*
- CO окисляют для получения энергии:



Фермент: СО-оксидаза

- При окислении CO используется особая, не чувствительная к CO цитохромоксидаза b_{563} .
- Образовавшийся CO_2 используют как источник углерода, CO_2 фиксируют в цикле Кальвина.

3. Аэробные

хемоорганотрофные бактерии

- Типичные хемоорганогетеротрофы - бактерии семейства *Enterobacteriaceae*, например, *Escherichia coli*.
- Энтеробактерии предпочитают использовать различные углеводы (глюкозу,

- **Окисление глюкозы происходит в гликолитическом или окислительном пентозофосфатном пути, в результате образуется ПВК, которая после окислительного декарбоксилирования, поступает в цикл трикарбоновых кислот в форме ацетил-КоА – $\text{CH}_3\text{-CO}\sim\text{S-CoA}$. В ЦТК происходит полное окисление субстрата, и**

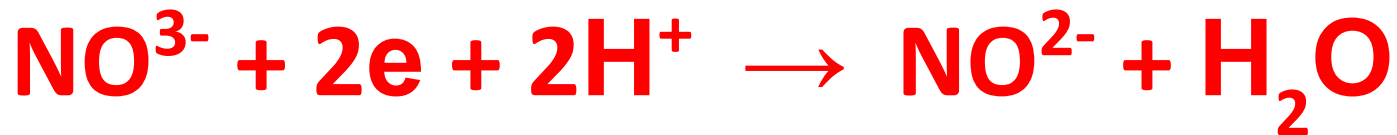
К хемоорганогетеротрофным бактериям также относятся узкоспециализированные группы:

- ✓ *Метанотрофы и метилотрофы* – окисляют метан CH_4 , метанол CH_3OH , метиламин CH_3NH_2 , формальдегид HCHO и муравьиную кислоту HCOOH .
- ✓ *Аммонифицирующие бактерии*
- ✓ *Целлюлозоразрушающие бактерии*
- ✓ *Углеводородокисляющие и др.*

4. Анаэробное дыхание

Нитратное дыхание

- Конечным акцептором электронов является нитрат NO^{3-} , который восстанавливается до нитрита NO^{2-} :



Реакцию катализирует фермент *нитратредуктаза*.

- Широко распространено среди прокариот. Например, характерно для *Pseudomonas fluorescens*, *Thiobacillus denitrificans*, *Paracoccus denitrificans*.

Сульфатное дыхание

- Конечным акцептором электронов является **сульфат SO_4^{2-}** , который восстанавливается через сульфит (SO_3^{2-}) до сероводорода:



- Сульфатное дыхание характерно для сульфатредуцирующих бактерий (р. *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfobacter*, *Desulfonema* и др.). Строгие анаэробы. Обитают в илах в водоемах, в почвах, пищеварительном тракте животных.

Серное дыхание

- В качестве конечного акцептора электронов используется молекулярная сера S, которая восстанавливается до сероводорода.
- Характерно для бактерий *Desulfuromonas acetoxidans*, обитающих в морской воде.

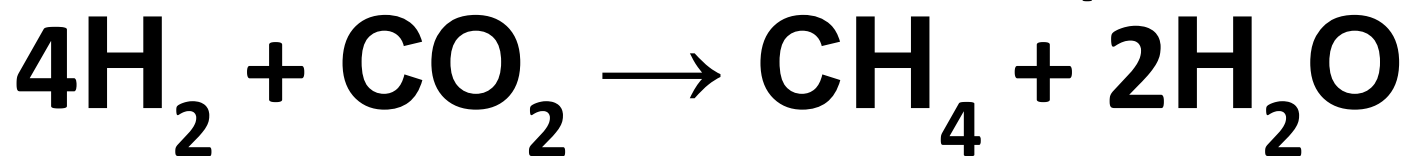
Карбонатное дыхание

- Конечным акцептором электронов является CO₂.
- Характерно для анаэробных ацетогенных бактерий (р. *Acetobacterium* и др.), которые образуют уксусную кислоту, используя CO₂ и H₂:



• У метанобразующих бактерий

**в процессе карбонатного
дыхания при окислении H_2
образуется метан CH_4 :**



«Железное» дыхание

- Конечным акцептором электронов являются **ионы Fe^{3+}** , которые восстанавливаются до Fe^{2+} .
- Fe^{3+} как акцептор электронов используют бактерии родов *Geobacter*, *Shewanella*.
- Предполагают, что Fe^{3+} как неорганический акцептор электронов появился раньше, чем нитрат, сульфат или O_2 .