

Тема. Процессы жизнедеятельности прокариот

Цель: изучить способы получения энергии прокариотами.

Вопросы для рассмотрения:

1. Процессы катаболизма и анаболизма.
2. Типы питания прокариот.
3. Типы брожения прокариот.
4. Аэробное и анаэробное дыхание прокариот.
5. Бактериальный фотосинтез и его отличие от фотосинтеза растений.
6. Биосинтезы органических соединений.

Метаболизм – это совокупность биохимических процессов, протекающих в клетке и обеспечивающих ее жизнедеятельность.

энергетического метаболизма (катаболизма)

- это совокупность реакций окисления различных органических и неорганических веществ, сопровождающихся выделением энергии, аккумулируемой клеткой в форме фосфатных связей

конструктивного метаболизма (анаболизма)

- совокупность реакций биосинтеза, в результате которых, за счет веществ, поступающих извне, и промежуточных продуктов, образующихся при катаболизме (амфиболитов) синтезируется вещество клеток. Связан с потреблением энергии.

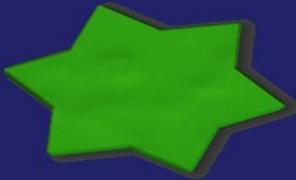
Совокупность последовательных ферментативных реакций метаболизма можно разделить на 3 этапа:



периферический этап (метаболизм) – ферментативное превращение веществ исходного субстрата, а ферменты, осуществляющие данные превращения – периферические



промежуточный этап – объединяет ферментативные реакции, сопровождающиеся образованием промежуточных продуктов, нередко одинаковых для процессов катаболизма и анаболизма.



конечный этап – характеризуется образованием конечных продуктов анаболизма, идущих на построение структурных элементов клетки, и конечных продуктов катаболизма, выделяемых клеткой в среду.

Процессы метаболизма отличаются удивительным многообразием так как:

- Способны использовать в качестве источников энергии и исходных веществ биосинтеза практически безграничный набор органических и неорганических соединений;
- наличие в их клетке разнообразных ферментов, утилизирующих любой исходный субстрат:
 - экзоферментов (периферических) – ферменты класса гидролаз и
 - эндоферменты (промежуточные) – относятся ко всем известным классам – оксидоредуктазы, трансферазы, гидролазы, лиазы, лигазы, изомеразы;

Набор ферментов в клетке может изменяться в зависимости от условий (конститутивные и индуцибельные).

Ферменты

```
graph TD; A[Ферменты] --> B[Конститутивные]; A --> C[Индукцибельные];
```

Конститутивные

- синтезируются в клетке постоянно, независимо от веществ субстрата (ДНК-полимераза)

Индукцибельные

- синтезируются в ответ на появление в среде субстрата-индуктора. К индукцибельным ферментам относятся большинство гидролаз.
- Обуславливает быструю приспособляемость бактерий к различным условиям.

Питание – включение в метаболические реакции любого характера тех или иных соединений среды.



- **Питательным веществом** следует считать любое химическое вещество, которое призвано удовлетворять энергетические потребности, либо анаболические функции, либо тем и другим.

**Макроэлементы (10):
C, O, H, N, S, P, K, Ca, Mg, Fe**

- Микроэлементы: Mn, Mo, Zn, Cu, Co, Ni, Ba, B, Cr, Na, Se, Si, W и др.**

Факторы роста – соединения (аминок-ты, витамины, азотистые соединения), без присутствия к-ых в питательной среде микроорганизмы расти не могут

ауксотрофные

- Микроорганизмы, нуждающиеся в таких факторах роста
(молочнокислые бактерии, зависимые почти по всем аминокислотам и витаминам)

прототрофные

- синтезируют все необходимые для них соединения

Классификация типов питания:

- ❖ По способу поступления питательных веществ в клетку: осмотрофы и фаготрофы.
- ❖ По источникам углерода все микроорганизмы делятся на автотрофов и гетеротрофов.
- ❖ По источнику энергии прокариоты, использующие свет, называются фототрофами, а получающие энергию за счет о.в.р. – хемотрофами.
- ❖ По донору электронов подразделяются на литотрофы, обладающие способностью использовать неорг. доноры электронов (H_2 , NH_3 , H_2S , Fe^{2+} , CO и т.д.) и органотрофы – использующие в качестве доноров электронов орг. соединения

Типы питания бактерий

Тип питания	Источник энергии	Донор электронов	Источник углерода	Представители
Хемолитоавтотрофия	окислительно-восстановительные реакции	неорганические вещества	CO ₂	нитрифицирующие, тионовые, водородные бактерии, железобактерии
Хемолитогетеротрофия	- // - - // -	- // - - // -	органические вещества	метанобразующие, сульфатредуцирующие бактерии
Хемоорганавтотрофия	- // - - // -	органические вещества	CO ₂	факультативные метилотрофные бактерии
Хемоорганогетеротрофия	- // - - // -	- // - - // -	органические вещества	большинство бактерий (энтеробактерии, молочнокислые бактерии, маслянокислые бактерии и др.)
Фотолитоавтотрофия	солнечный свет	неорганические вещества	CO ₂	некоторые виды пурпурных и зелёных бактерий, цианобактерий
Фотолитогетеротрофия	- // - - // -	- // - - // -	органические вещества	некоторые виды пурпурных и зелёных бактерий
Фотоорганавтотрофия	- // - - // -	органические вещества	CO ₂	некоторые виды пурпурных бактерий
Фотоорганогетеротрофия	- // - - // -	- // - - // -	органические вещества	некоторые виды пурпурных и зелёных бактерий, цианобактерий, галобактерий

По отношению к молекулярному кислороду:

- 1) **облигатные аэробы** – бактерии, способные получать энергию только в ходе дыхания и поэтому нуждающиеся в постоянном притоке O_2 . Здесь можно выделить микроаэрофилы – бактерии, которые нуждаются O_2 в для получения энергии, но растут только при низком его содержании в среде (2-5 %, в атмосфере – 21%).
- 2) **факультативные анаэробы** – бактерии, способные расти как в присутствии так и в отсутствии O_2 . Они могут переключать свой энергетический метаболизм с аэробного на брожение и анаэробное дыхание.
- 3) **облигатные анаэробы** – могут расти только в бескислородной среде, так O_2 для них токсичен.

Образование молекул АТФ из АДФ может происходить двумя путями:

- ❑ **фосфорилирование в дыхательной или фотосинтетической ЭТЦ.** Этот процесс связан с мембранами и их производными и его называют **мембранное фосфорилирование**. Синтез АТФ в данном случае происходит с помощью фермента **АТФ-синтазы**.
- ❑ **- фосфорилирование на уровне субстрата (субстратное фосфорилирование)**. При этом фосфатная группа переносится от вещества (субстрата), более богатого энергией, чем АТФ.
$$R\sim\Phi + \text{АДФ} \rightarrow \text{АТФ} + R.$$
Ферменты субстратного фосфорилирования (промежуточного метаболизма) не связаны с мембранами.

Генерация АТФ (хемотрофы)

- Донорами электронов могут быть органические и неорганические вещества.
- Акцепторами называются молекулы, способные воспринимать электроны и при этом восстанавливаться.
- Донором электронов не может быть предельно окисленное вещество, а акцептором – восстановленное.
- При биологическом окислении чаще всего происходит одновременный перенос двух электронов и двух протонов. Такое окисление субстрата называется дегидрированием.
- !!!!Поэтому термины донор электрона и донор протона употребляются как синонимы.

Все о.в.р. энергетического метаболизма можно разделить на три типа:

- аэробное дыхание,
- анаэробное дыхание;
- брожение.

Аэробное дыхание

- основной процесс энергетического метаболизма многих прокариот, при котором донором H^+ и e^- могут служить органические (реже неорганические) вещества, а конечным акцептором является молекулярный кислород. Основное количество энергии образуется при мембранном фосфорилировании в ЭТЦ!!!!

Анаэробное дыхание

- цепь о.в. реакций, которые сводятся к окислению орг. или неорг. субстрата с использованием конечного акцептора электронов не молекулярного O_2 , а других неорг. веществ (нитрата, нитрита, сульфата, сульфита, CO_2 и др.), а также орг. веществ (фумарата и др.).
- АТФ образуется также в ЭТЦ при мембранном фосфорилировании, но в количестве меньшем, чем при аэробном дыхании.

Брожение

- совокупность анаэробных о.в. реакций, при которых орг. соединения служат как донорами так и акцепторами электронов, образующиеся из одного и того же субстрата при брожении (главным образом углеводы, но могут быть различные субстраты).
- АТФ синтезируется в результате **субстратного фосфорилирования.**

У бактерий возможны три пути катаболизма глюкозы:

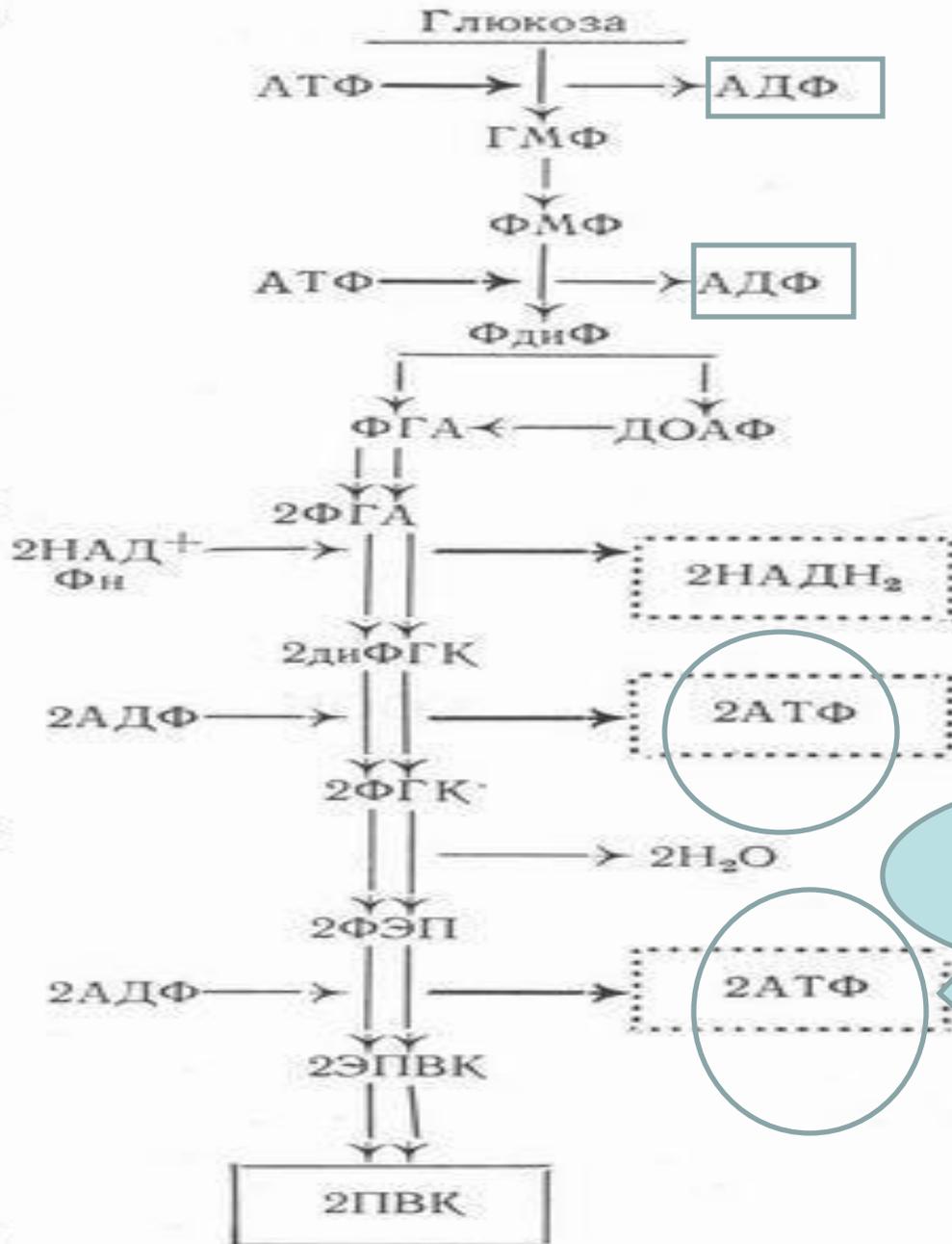
- гликолиз или фруктозодифосфатный путь или Эмбдена-Мейергофа-Парнаса;
- окислительный пентозофосфатный путь или гексозомонофосфатный путь или путь Варбурга-Диккенса-Хореккера;
- 2-кето-3-дезоксиглюконоатный путь (КДФГ-путь) или путь Энтнера-Дудорова.

Все виды катаболизма глюкозы могут протекать при разных типах энергетического метаболизма!!!!

Образование
триоз

Окисление
с образованием
ФГК

Дегидратация
и образование
ПВК



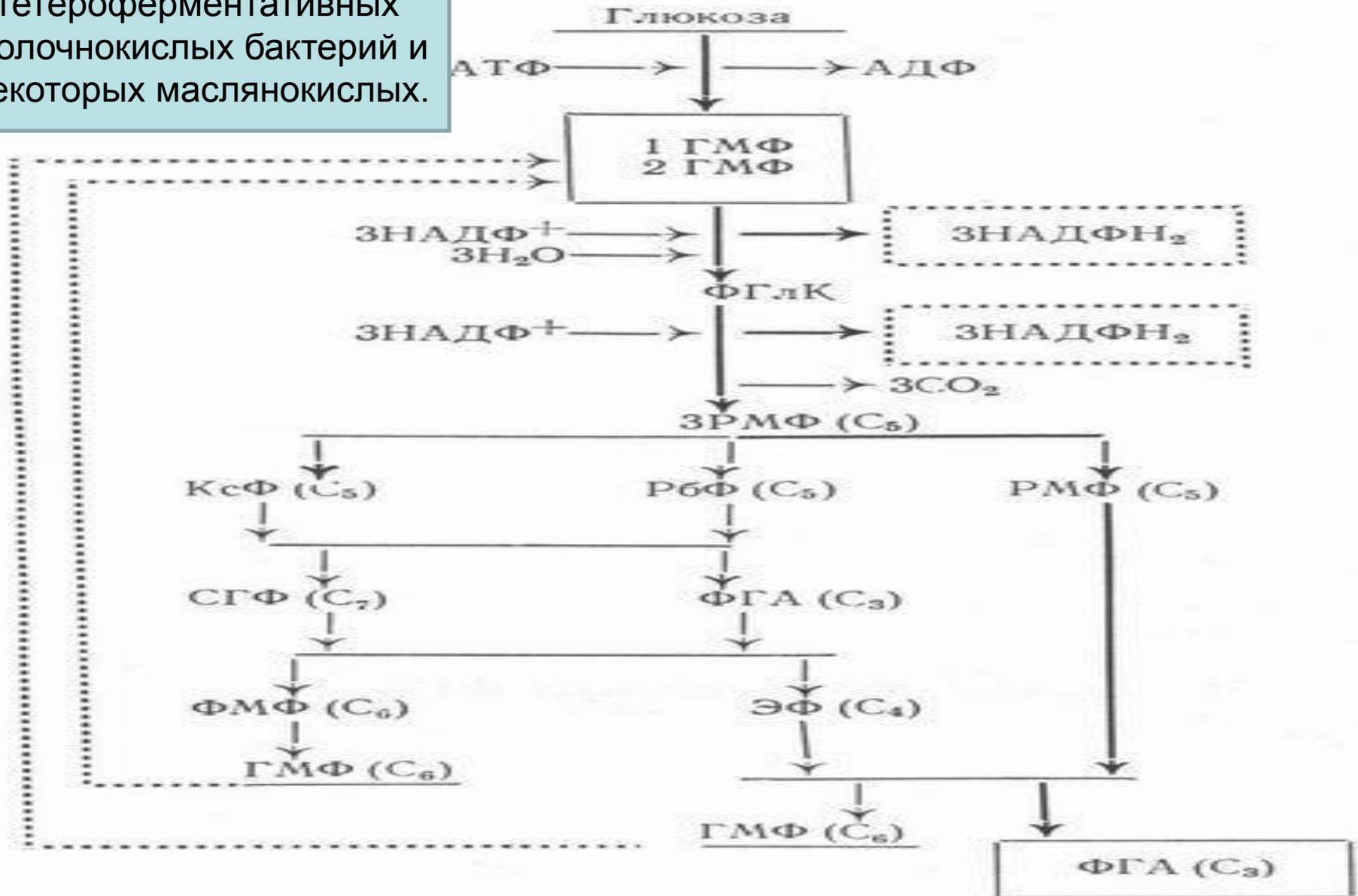
Субстратное
фосфорили
рование

Суммарное уравнение гликолиза:



Пентозофосфатный путь

Enterobacteriaceae,
гетероферментативных
молочнокислых бактерий и
некоторых маслянокислых.



Крахмал, целлюлоза

↓
Расщепление с участием
гидролитических ферментов

Глюкоза

Образуются:
ATP, NADH

↓
Гликолиз либо иной
катаболический путь

Подготовительный
этап

Аэробное дыхание

Анаэробное дыхание

2 Пируват ($\text{CH}_3 - \text{CO} - \text{COOH}$)

Образуются:
NAD⁺, редко - ATP

↓
Брожения
различного типа

Реакции собственно
брожения

Продукты брожения
(органические кислоты, спирты и др.)

По определению Л. Пастера



Брожение — это жизнь без кислорода!



В более узком смысле брожение может быть определено как бескислородные превращения ПВК, полученного в реакциях одного из путей преобразования сахаров (гликолиза, ПФП или КДФГ-пути)

НУ ЧЕГО ТЫ
ВСЁ БРОДИШЬ?

БРОЖЕНИЕ, ПСЕВДОМОН,
ПОЗВОЛЯЕТ МНЕ ЗАПАСАТЬ
ЭНЕРГИЮ В ОТСУТСТВИЕ O_2



Схема процесса гликолиза и спиртового брожения

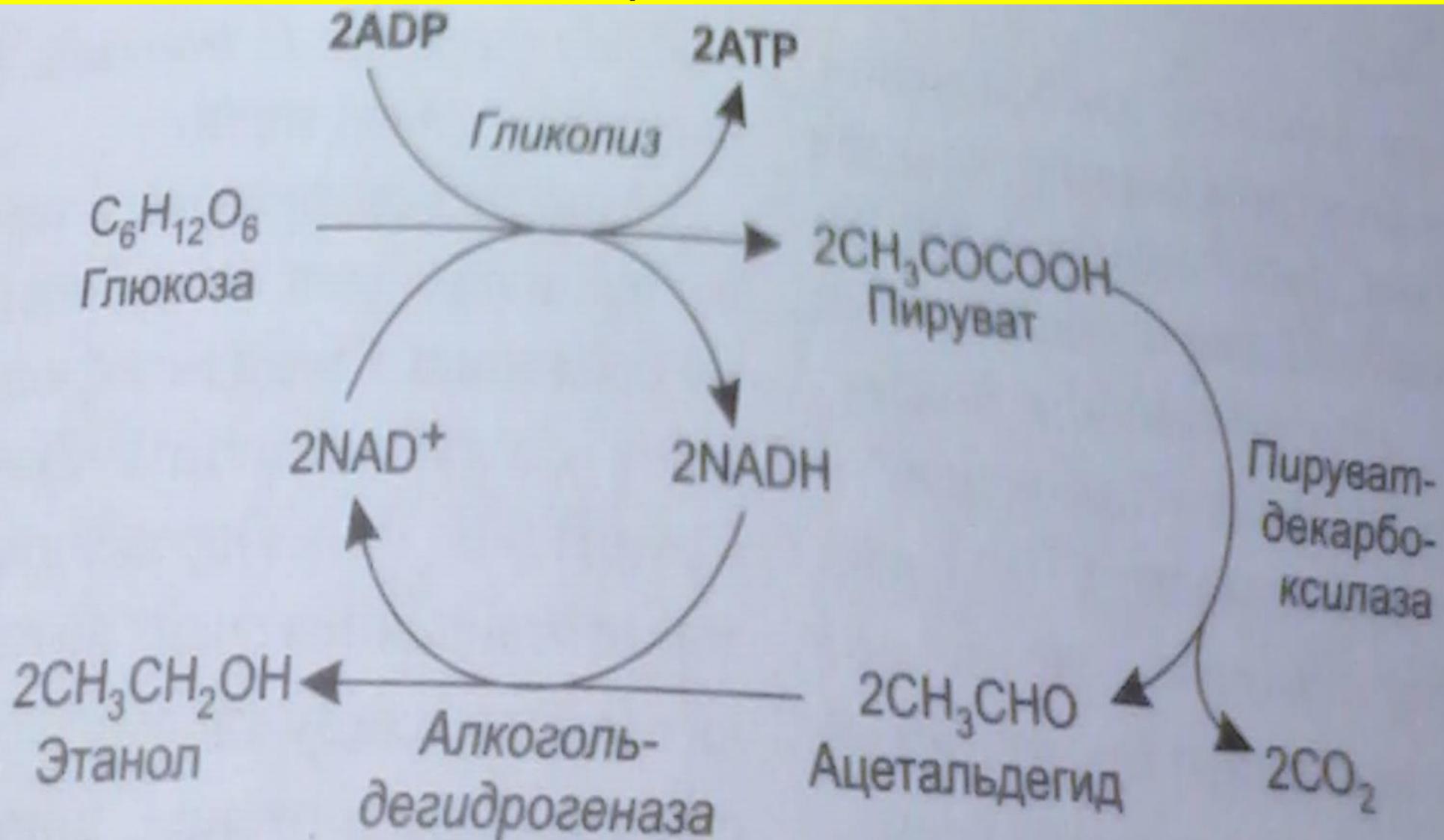


Схема спиртового брожения

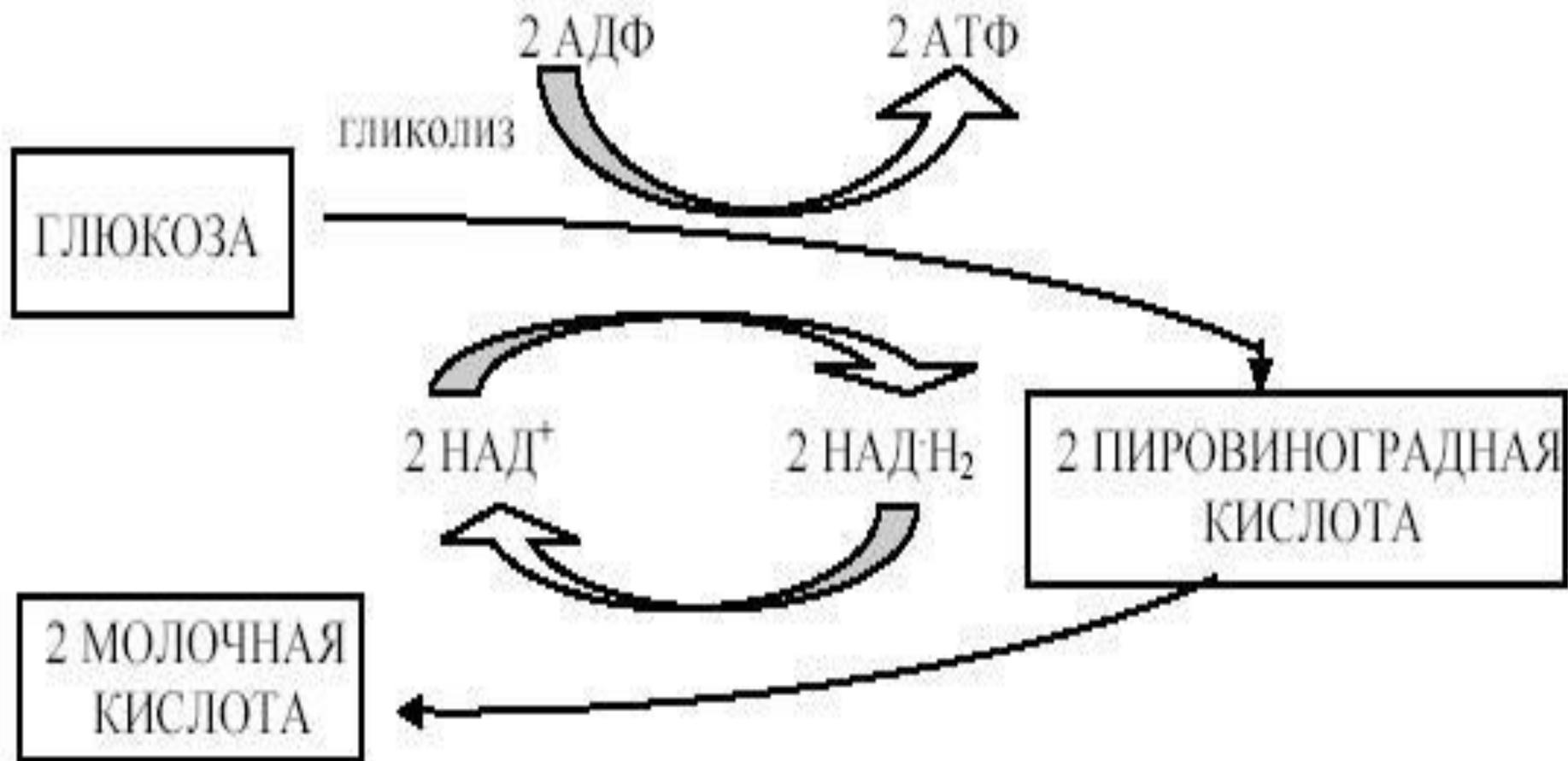


Главными возбудителями спиртового брожения являются некоторые виды дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*, *S.uvarum*, *Schizosaccharomyces pombe* и др.) и бактерий (*Erwinia amylovora*, *Sarcina ventriculi*, *Zymomonas mobilis*). Кроме этого, этанол образуют такие мезофильные бактерии, как *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactococcus lactis*, *Clostridium sporogenes*, *Spirochaeta aurantia*, а также термофильные бактерии: *Thermoanaerobacter ethanolicus*, *Clostridium thermohydrosulfuricum*, *C.thermocellum*.



Лежит в основе виноделия, получения спирта, пивоварения и хлебопечения

Схема гомоферментативного молочнокислого брожения



Процесс гомоферментного молочнокислого брожения



Эффективность
запасания энергии
в АТФ — 40 %.

- Энергетический выход —
2 АТФ на 1 молекулу сброженной
глюкозы

По Гр (+), спор не
образуют, неподвижны

Сбраживают
до 85-95%
сахара

Представители родов
Streptococcus, Pediococcus и
Lactobacillus

Гетероферментативное молочнокислое брожение



- $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH} + \text{CH}_3\text{COOH} +$
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{CH}_2\text{OHCHOHCH}_2\text{OH} +$
- $\text{CO}_2 \uparrow$
- К этой группе относят бактерии родов *Lactobacillus*, *Leuconostoc* и *Bifidobacterium*

Зн. для изготовления кисломолочных продуктов, сырокопченых колбас, квашения овощей, фруктов, хлебопечении, для силосования кормов, биологической выделки кожи.

Для произ-ва молочных продуктов

На севере (для простокваши)

Streptococcus lactis,

S. cremoris

- Пр-во ацидофилина –
- Забвашивание чист. культурой Lactobacillus acidophilus

На юге (для простокваши)

Lactobacillus bulgaricus

- Для закваски кефира, кумыса, йогурта — кефирные зерна, содержащие Streptococcus lactis, Lactobacillus caucasicus, а также дрожжи Saccharomycetes kefir.

Схема маслянокислого брожения (облигатно-анаэробных бактерий рода **Clostridium**)



По типу использования углеродсодержащих В-В

Сахаролитические виды

- *Cl. butyricum*, *Cl. pasterianum*
- Сбраживают пектин, целлюлозу, крахмал, хитин и др.

Протеолитические виды

- *Cl. putrificum*,
- *Cl. sporogenes*
- Сбраживают белки, аминок-ты, пурины, пиримидины.



шащих м...

Крахмал, целлюлоза

Расщепление с участием гидролитических ферментов

Глюкоза

Гликолиз, либо иной катаболический путь

2 Пируват ($\text{CH}_3 - \text{CO} - \text{COOH}$)

Окислительное декарбоксилирование

2 Ацетил-CoA ($\text{CH}_3 - \text{CO} - \text{CoA}$)

ЦТК

2CO_2

АТФ

3NADH ,
 FADH_2

Промежуточные вещества

Окисление в дыхательной цепи

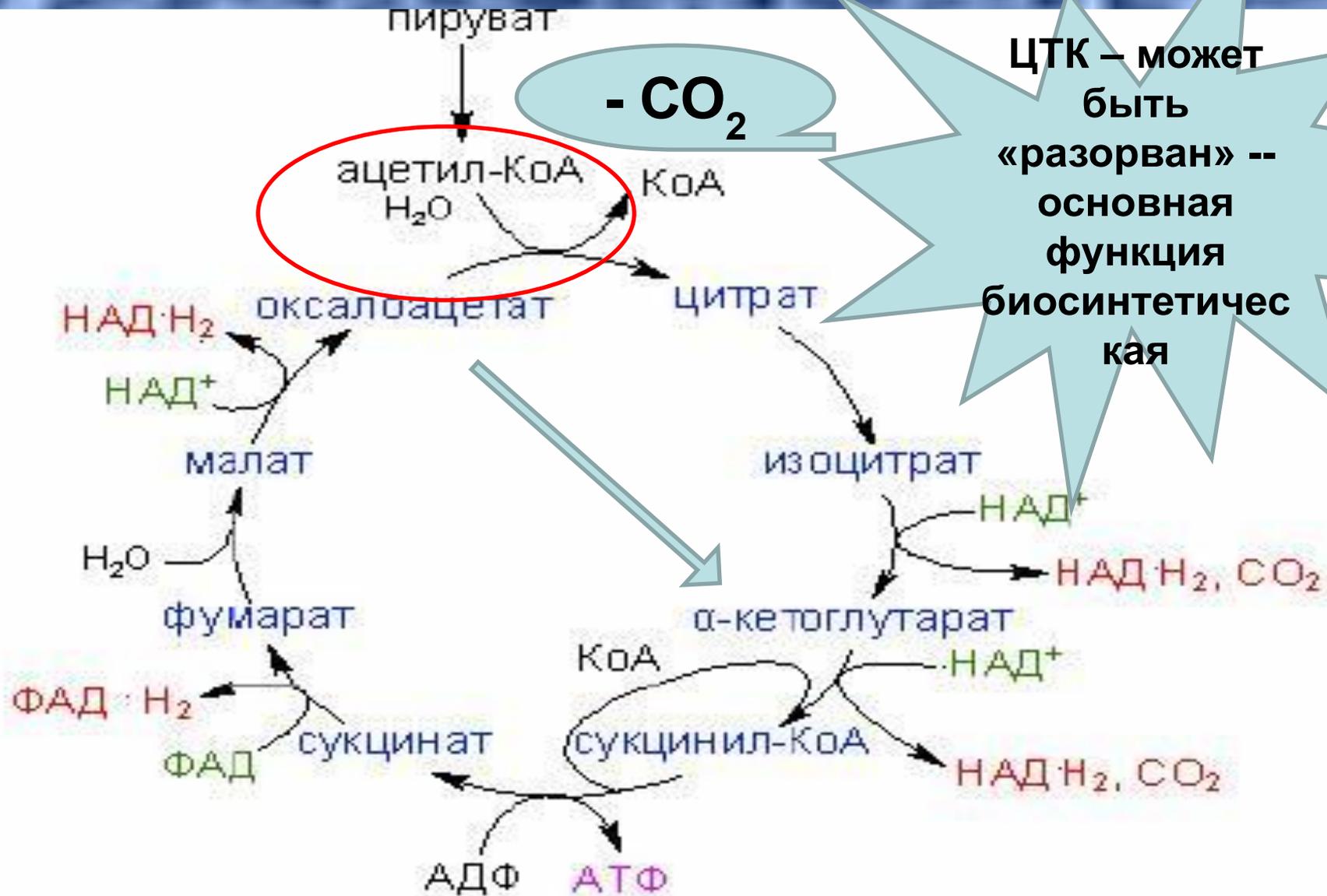
3NAD^+ , FAD ,
 11АТФ

Биосинтез клеточных соединений

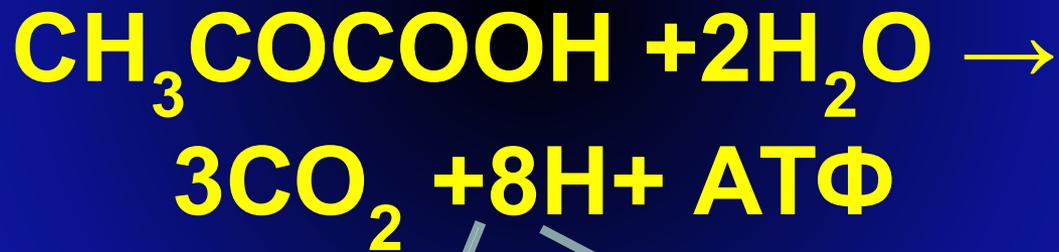
Дыхание —

- Это сопровождающийся выделением энергии процесс, в котором донором восстановительных эквивалентов являются органические и восстановленные неорганические соединения, а акцепторами — неорганические вещества.
- $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$

Цикл Кребса



**Суммарно цикл Кребса можно
выразить следующим
уравнением:**



3НАДН

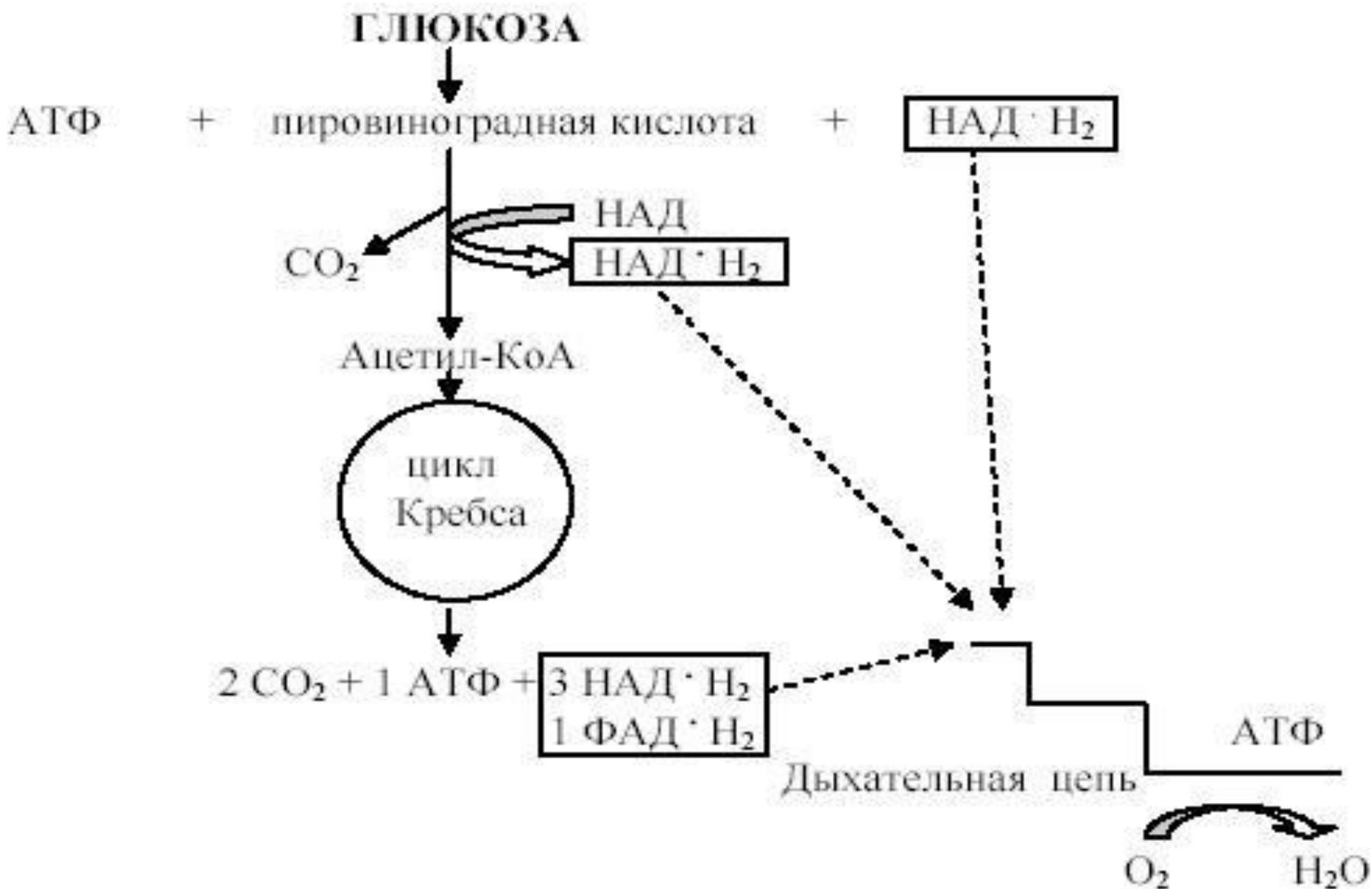
ФАДН₂

ЦТК —

Замкнутая система реакций, в которой происходит окончательное окисление (до CO_2 и H_2O) углерода органических молекул.

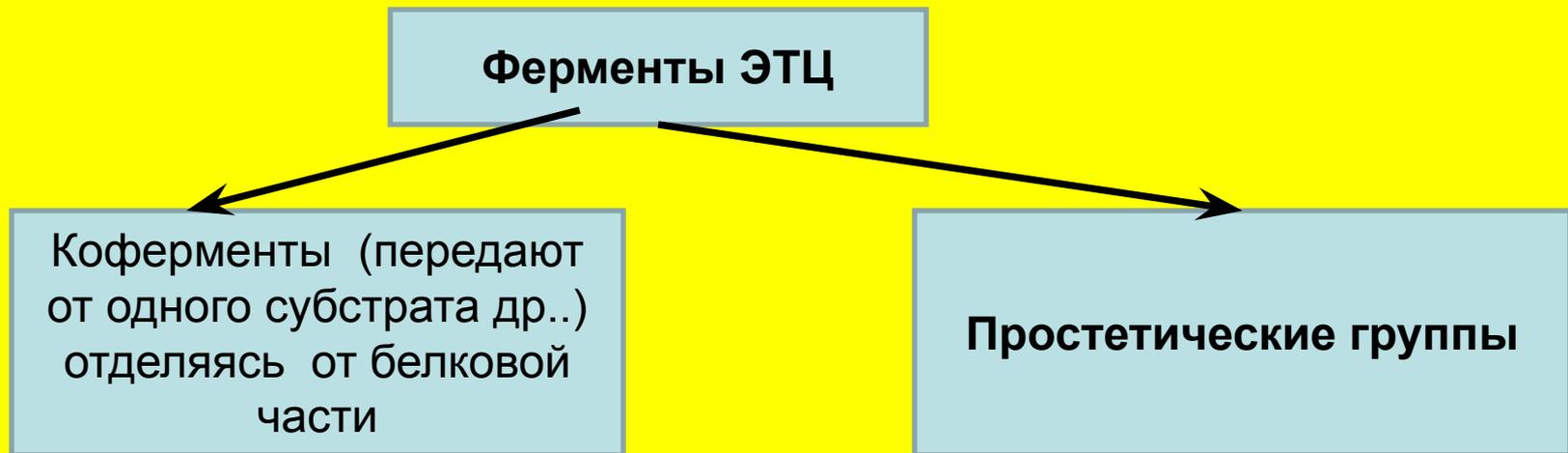
Выделяется небольшое количество энергии (АТФ) и формируются промежуточные соединения (клетка их может использовать в качестве субстратов для биосинтеза).

Схема аэробного дыхания

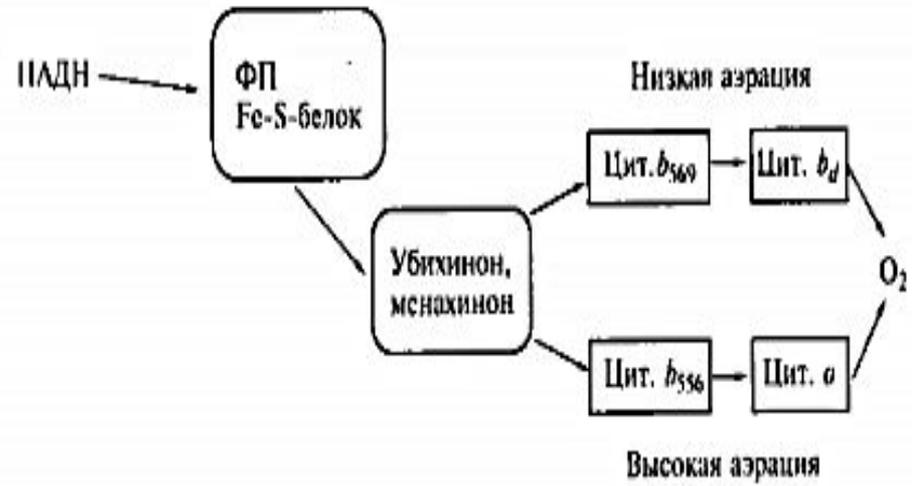
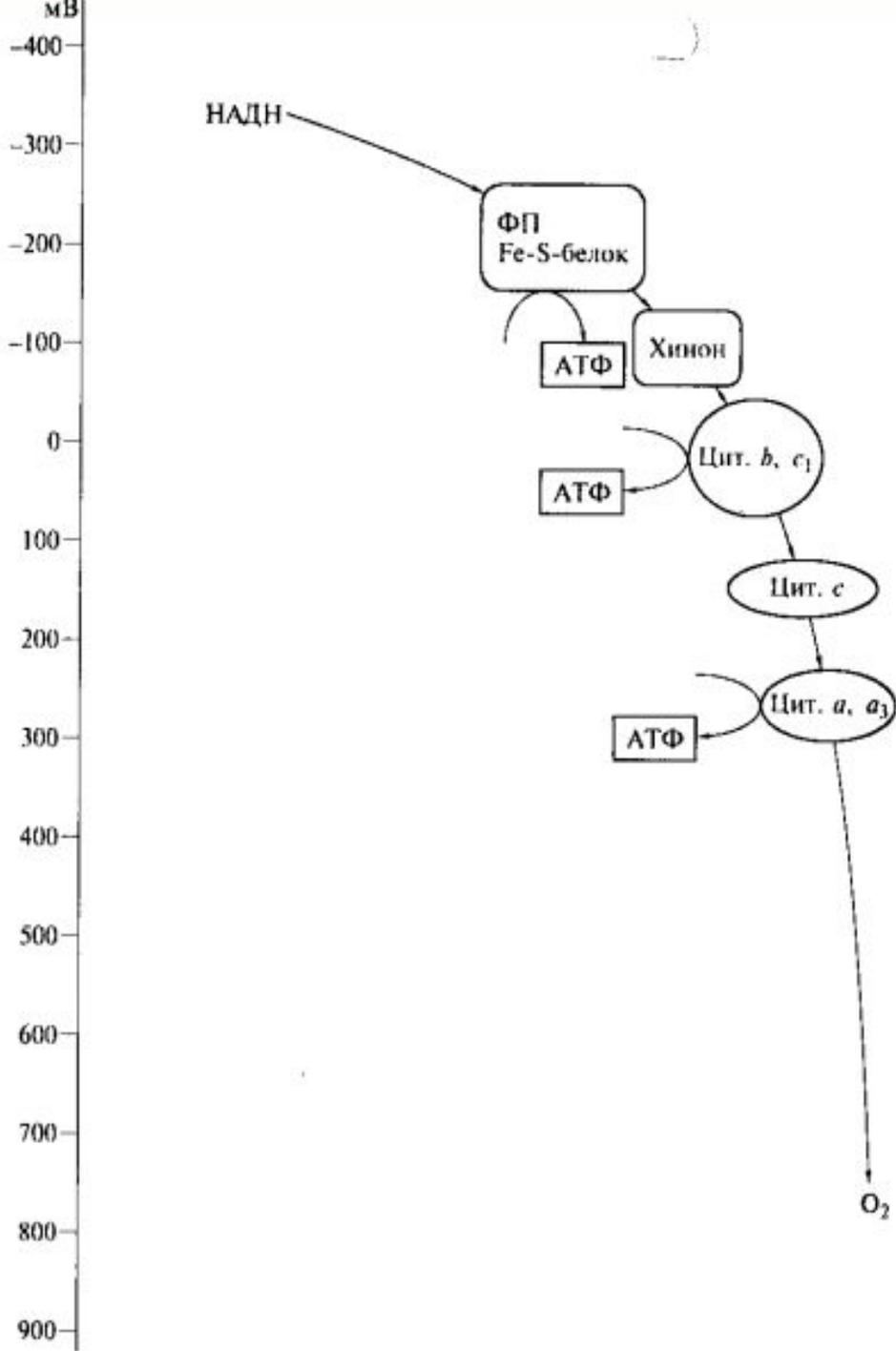


ЭТЦ аэробная

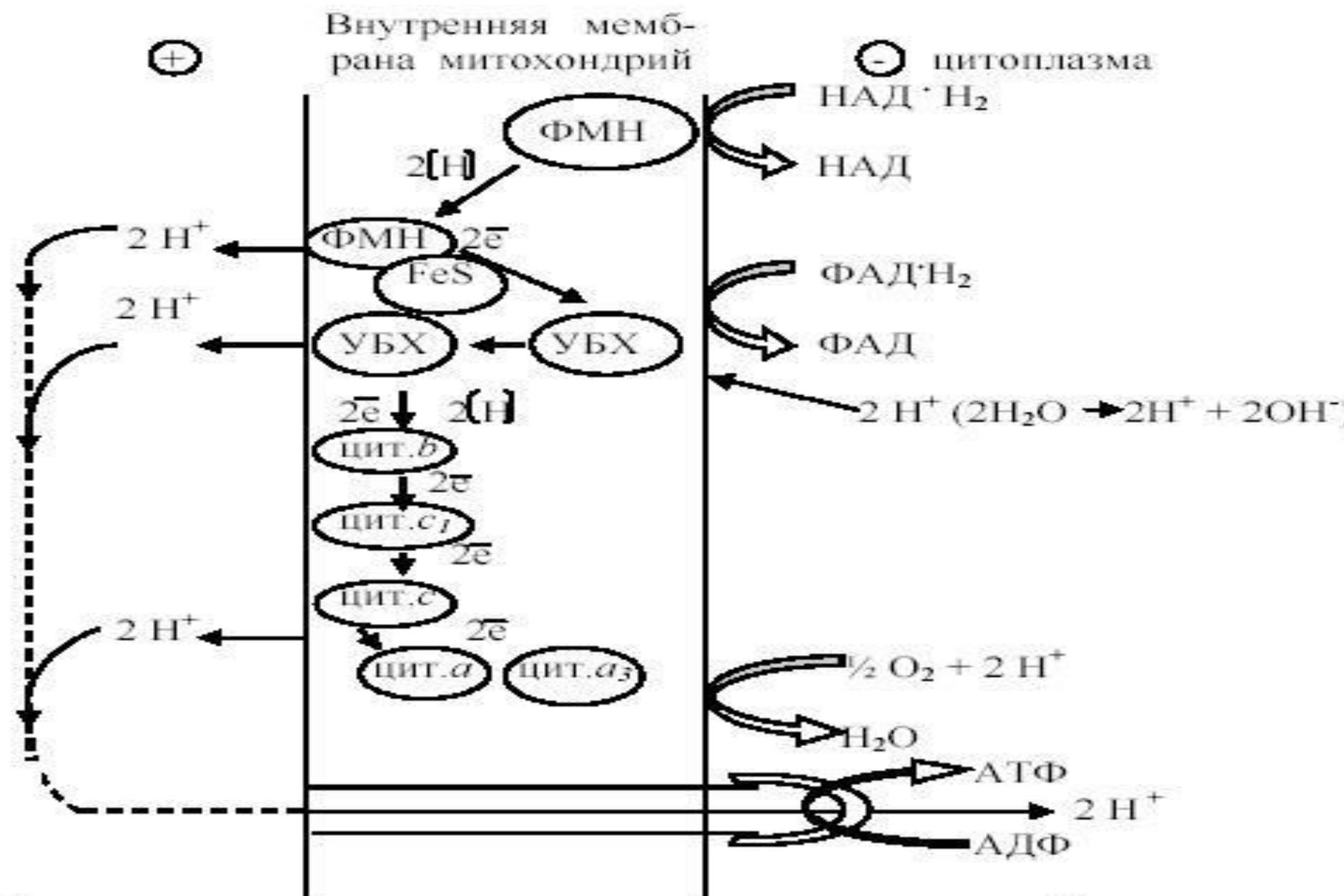
- Ассиметричное расположение переносчиков от более «-» к более «+» о.в. потенциалу.



НАД⁺ → флавины → хиноны → цит. b → цит c → цит a(o) → O₂



**Разветвленная ЭТЦ у
 E.coli**

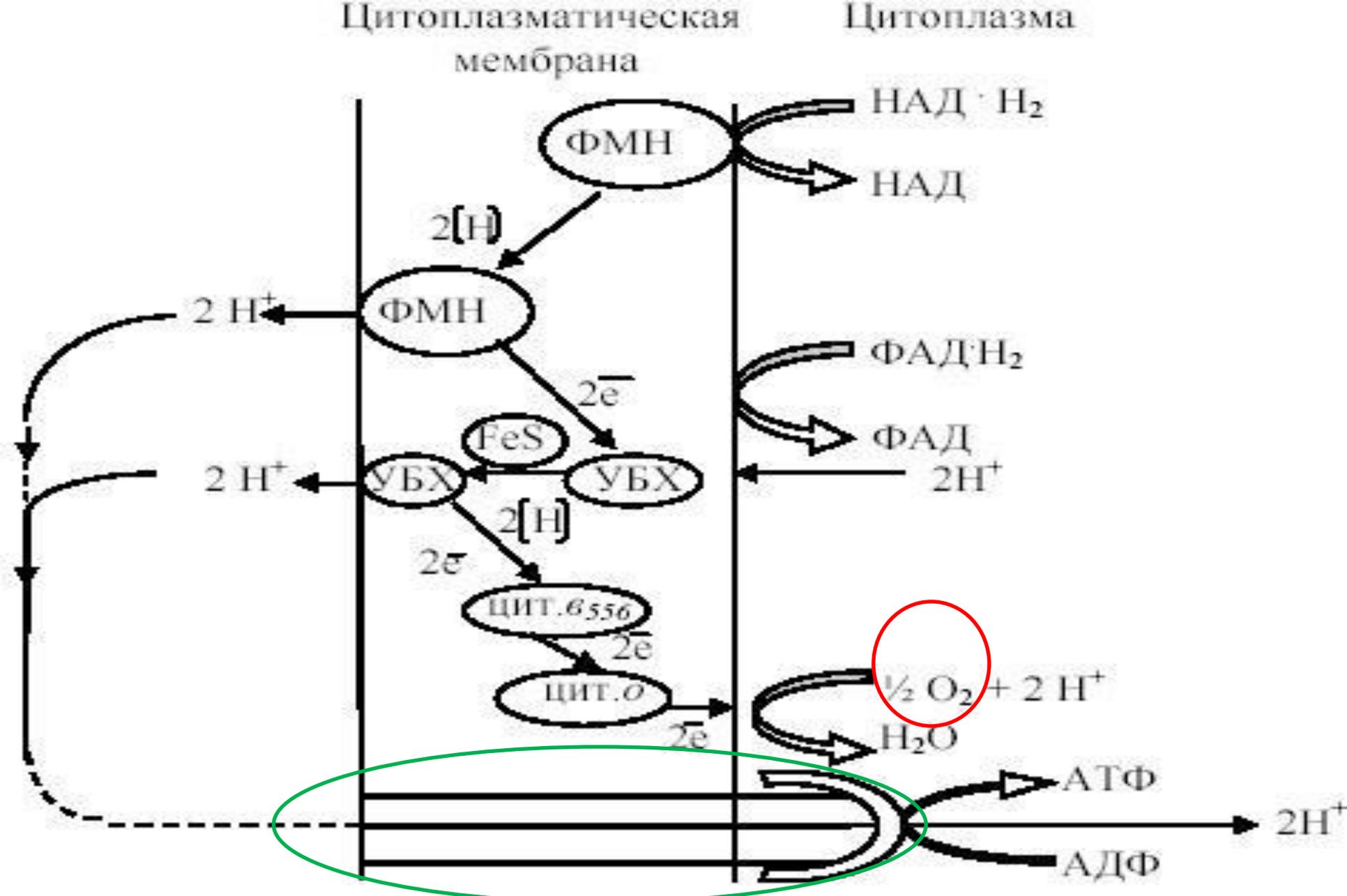


Функциональная организация компонентов дыхательной цепи митохондрий дрожжей: цит. – цитохром; УБХ – убихинон.

Энергетический выход при окислении 1 молекулы глюкозы при аэробной дыхании дрожжей

- 2 АТФ+ 2НАДН+2ПВК (гликолиз)
- 2НАДН (окислительное декарбоксилирование перед ЦТК)
- 2АТФ +6НАДН + 2ФАДН₂ (ЦТК)
- Итого: 4АТФ+ 10НАДН+2ФАДН₂ →

38 АТФ



с. 41. Функциональная организация компонентов дыхательной цепи бактерий *Escherichia coli*.

При аэробном дыхании у бактерий *E.coli* (по гликолитическому пути)

- 2 АТФ (гликолиз);
- 2 АТФ (ЦТК)
- 10 НАДН \rightarrow 20 АТФ
- 2 ФАДН₂ \rightarrow 2 АТФ
- Итого: 26 АТФ

Анаэробное дыхание

- Роль конечного акцептора электронов может играть одно из окисленных неорганических соединений: нитрат, нитрит, сульфат, карбонат, фумарат (единственный случай — орг. в-во) и др., но не ~~O₂~~.

Анаэробное дыхание

**Сульфатное
дыхание
(SO_4^{2-})**
Бактерии:
Сульфатвос-
становливающие
или
редуцирующие

**Нитратное
дыхание
или
денитрифик
ация (NO_3^- ,
 NO_2^-)**
Бактерии:
Денитрифи-
цирующие

**Карбонатное
дыхание
(CO_2)**
Бактерии:
**Метаноген-
ные**
(метанообра-
зующие)

**Фумаратное
дыхание**

**Укороченная ЭТЦ!!! Не функционирует ЦТК или разорван.
Это факультативные или облигатные анаэробы!!!!**

И ЧТО ТЫ
НАХОДИШЬ
В ЭТИХ
НИТРАТАХ?!



АКЦЕПТОРЫ
ЭЛЕКТРОНОВ



Процесс денитрификации:

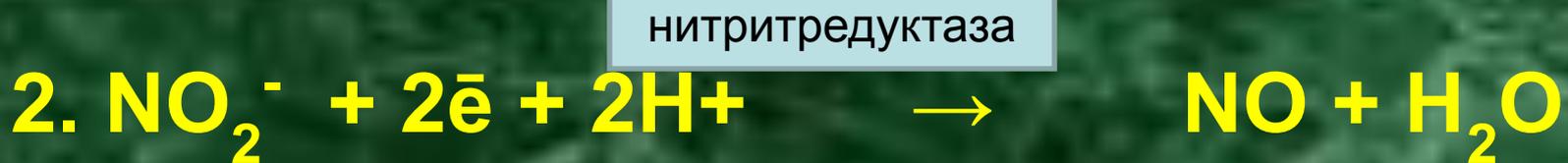
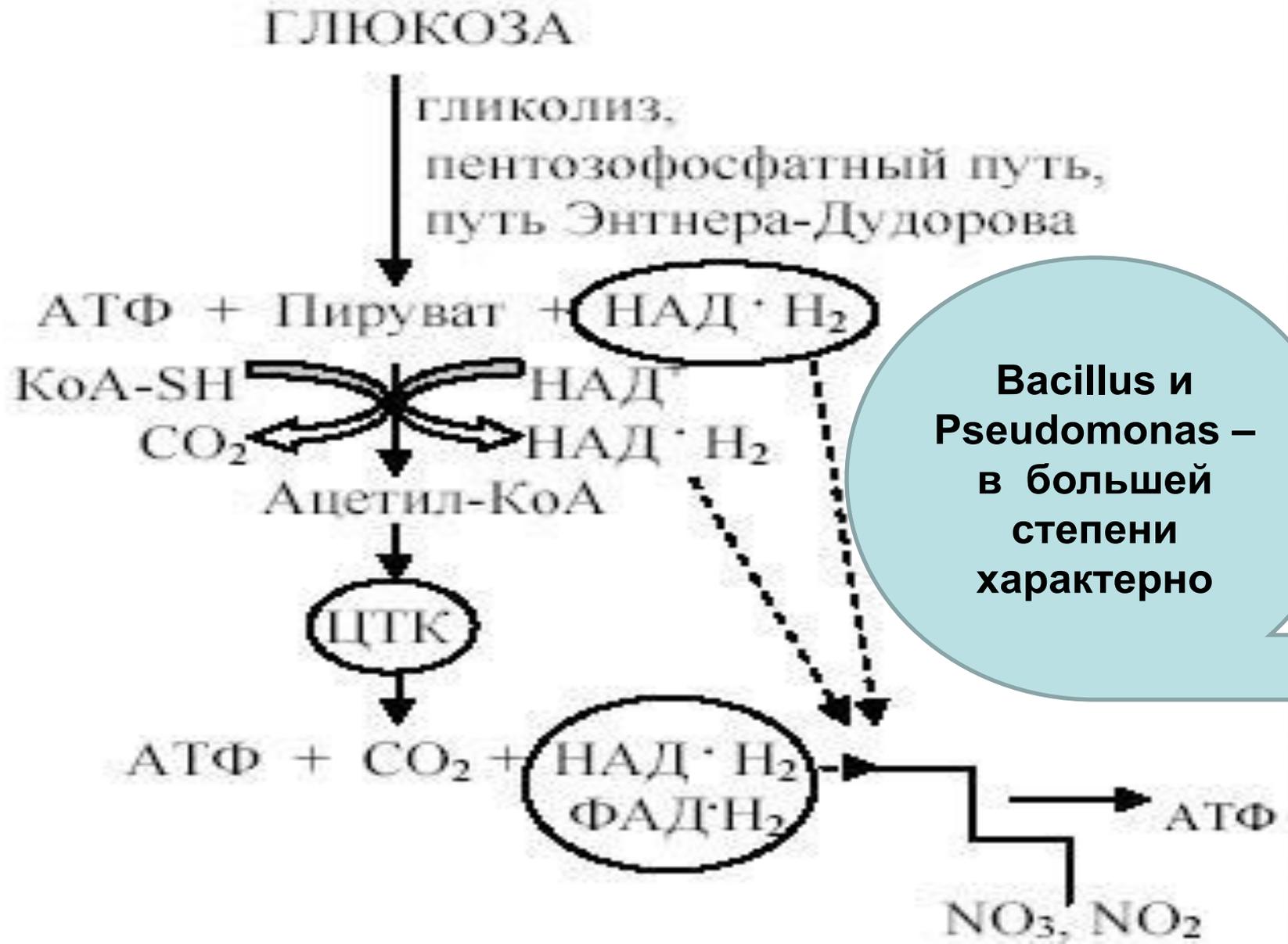


Схема нитратного дыхания



Сульфатное дыхание

Desulfotomaculum,
Desulfonema, Desulfovibrio,
Desulfomonas и др



Акцептор
электронов

Важное звено
круговорота S,
основной
источник H_2S
→ замор
рыбы,
коррозия
металлов

Строгие
анаэробы! За
исключением 2-
х родов
граммотрицате
льные!

Основной источник
энергии и углерода орг.
кислоты: ПВК, лактат,
сукцинат, фумарат, малат

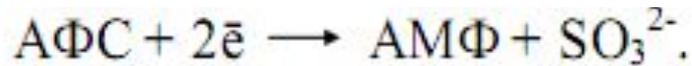
Отличие ЭТЦ:
Хиноны (менахиноны);
Высокое содержание цит. C_3
Окисление H_2 – на наружной
стороне мембраны. А
восстановление SO_4^{2-} - на
внутренней

Сульфатредукция

Ассимиляционная
сульфид → цистеин, цистин,
метионин

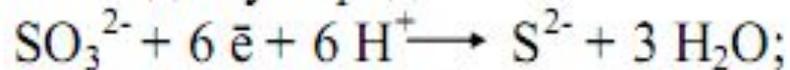
Диссимиляционная

АТФ-
сульфорилаза

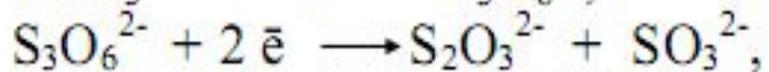
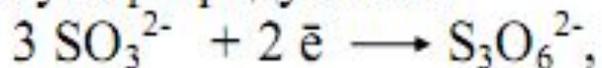


Восстановление сульфита (SO_3^{2-}) до сульфида (S^{2-}) происходит у разных видов бактерий по-разному:

- у одних сульфит с помощью сульфитредуктазы прямо восстанавливается до сульфида:



- второй механизм состоит в последовательном трехступенчатом восстановлении сульфита с образованием промежуточных продуктов, таких как тритионат и тиосульфат, при участии сульфит-, тритионат- и тиосульфатредуктазы:



Карбонатное дыхание (метаногенез) – конечный акцептор CO_2 !

- **Метаногенные бактерии (13 родов)**

Строгий анаэробизм

Способность образовывать метан



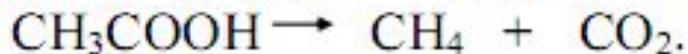
Кроме как из H_2 и CO_2 многие метанобразующие бактерии могут использовать для получения энергии формиат, метанол, ацетат, а также метилированные амины:



формиат



метанол



ацетат

Клеточные стенки метаногенных бактерий

Не содержат:

- ацетилмурамовой кислоты;
- D-аминок-т.

Кл. стенки трех типов:

- Состоят из пептидогликана особого строения – псевдомуреина;
- построенные из белковых глобул;
- кл. стенки гетерополисахаридной природы.



**Кл.
архебактерий!!!**

Процесс трансляции не чувствителен к антибиотикам!!!!

**Bacteroides,
Fibrobacter,
Wolinella**

Фумаратное дыхание

- Восстановление фумарата в ЭТЦ, что сопряжено запасанием энергии в ходе окислительного фосфорилирования с образованием продукта восстановления - сукцината
- 1. роль конечного акцептора выполняет орг. в-во;
- 2. этот способ запасания энергии не является самостоятельным.

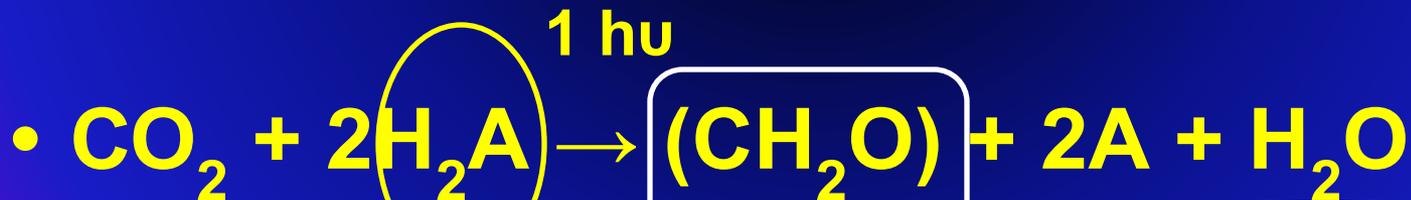
**Хемоорганотрофы!
Микроаэрофилы**

Фотосинтез у растений:

$4h\nu$



- Фотосинтез зеленых и пурпурных бактерий:

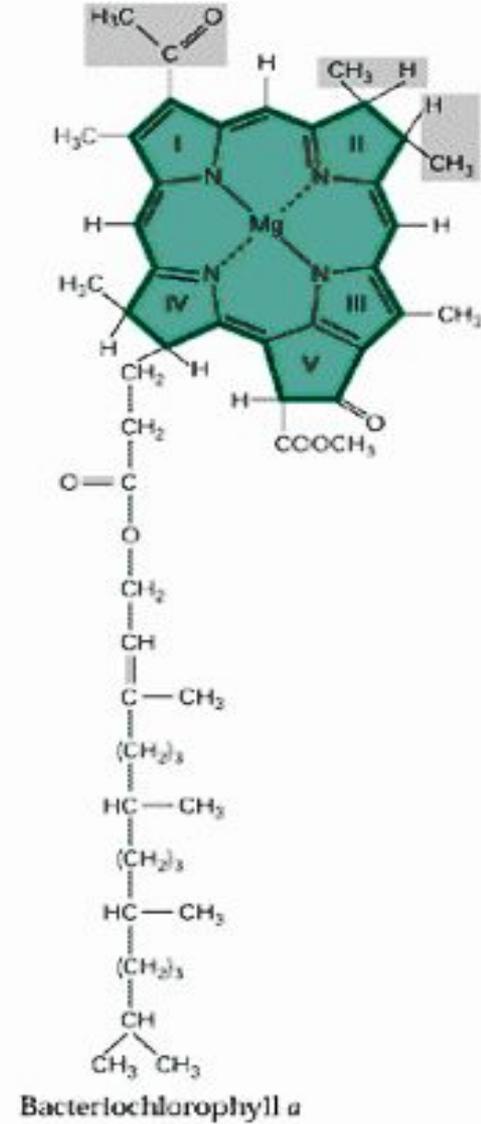
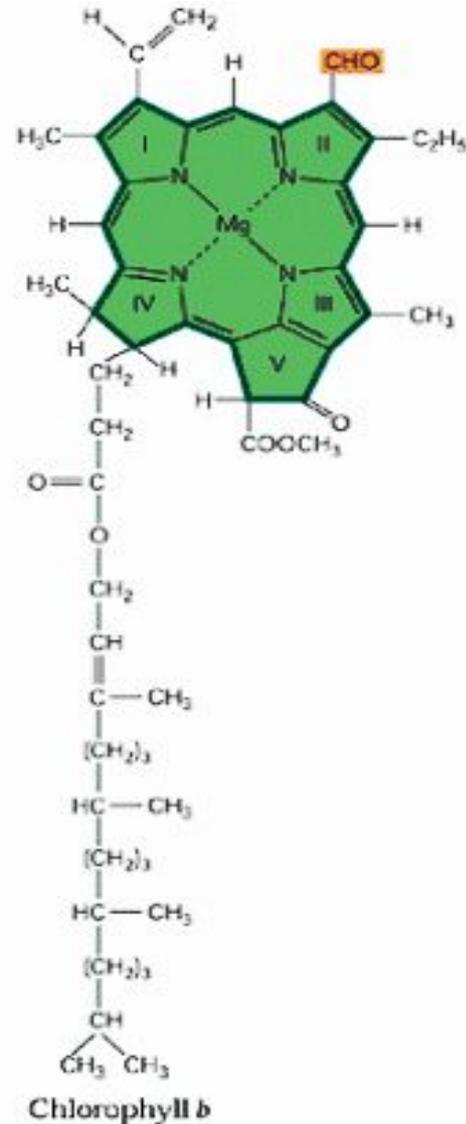
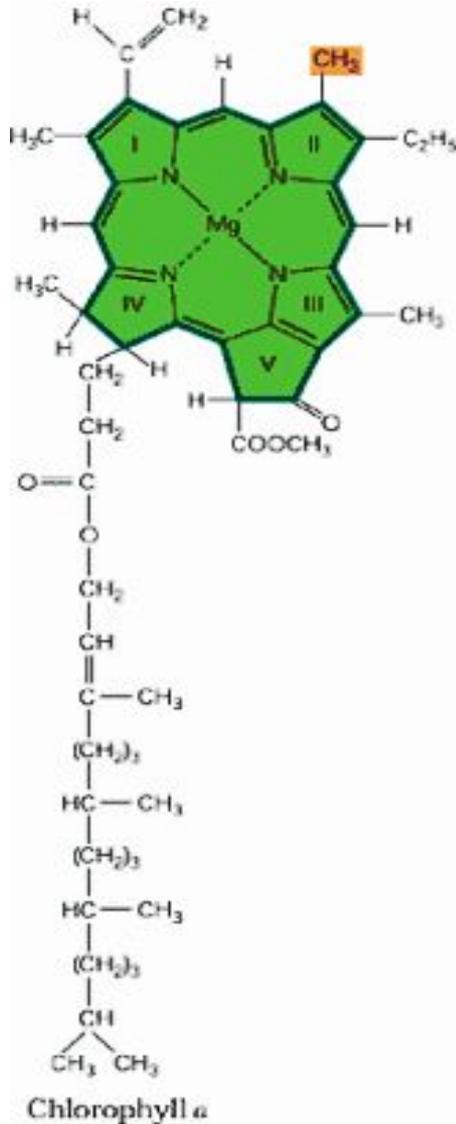


Донор
водорода

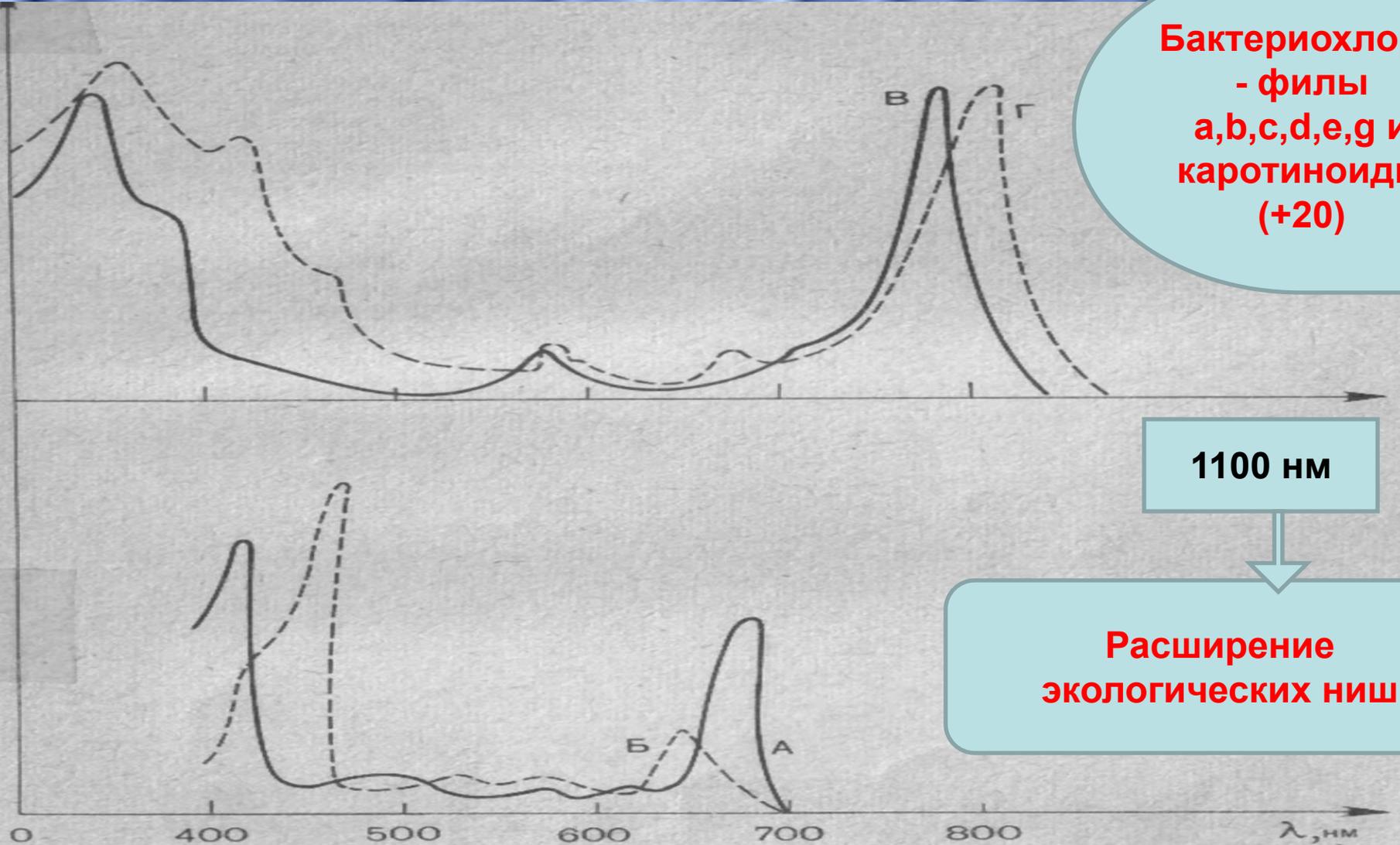
Аноксигенный
ф-з

Хлорофиллы

тетрапирролы,
образующие
циклическую
структуру
хлорофилла
(магний-
порфирины)



Спектры поглощения хлорофиллов



Бактериохлоро-
филлы
a,b,c,d,e,g и
каротиноиды
(+20)

1100 нм

Расширение
экологических ниш

Миграция энергии света у зеленой бактерии *Chloroflexus aurantiacus*

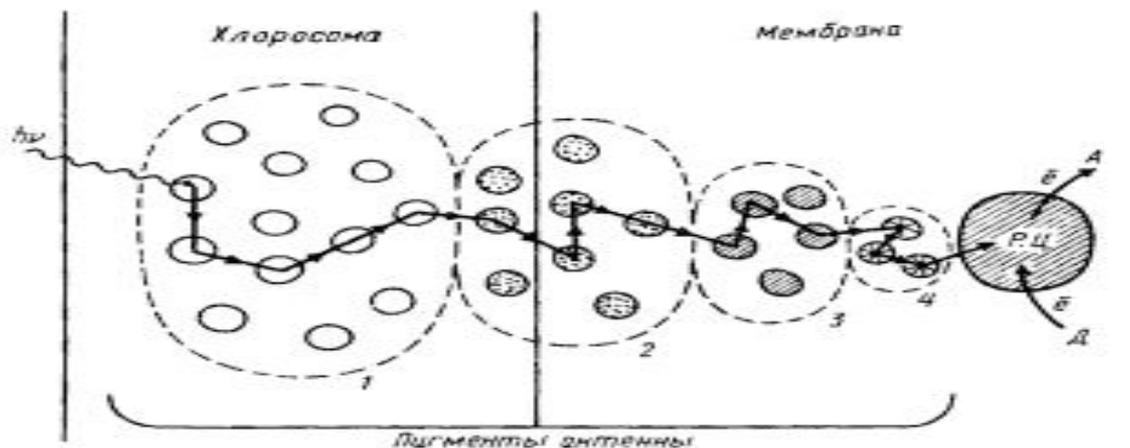


Рис. 74. Миграция энергии света у зеленой бактерии *Chloroflexus aurantiacus*: 1 — бактериохлорофилл с; 2-4 — разные формы бактериохлорофилла а; Д — первичный донор электрона; А — первичный акцептор электрона; Р. Ц. — реакционный центр

До 2000 ССК на РЦ

бхл с (742 нм) → бхла (792 нм) → бхла (805 нм) → бхла (865 нм) → бхла РЦ (865 нм)

Реакционные центры зубактерии

Группы фотосинтезирующих зубактерий		Состав реакционных центров	
		первичный донор электронов	первичный акцептор электроно
Пурпурные серные и несерные бактерии		бхл <i>a</i> (П ₈₇₀) бхл <i>b</i> (П ₉₆₀)	б/феоф <i>a</i> б/феоф <i>b</i>
Зеленые бактерии	нитчатые	бхл <i>a</i> (П ₈₆₅)	б/феоф <i>a</i>
	серные	бхл <i>a</i> (П ₈₄₀)	бхл <i>c</i> (П ₆₆₃)
Гелиобактерии		бхл <i>g</i> (П ₇₉₈)	бхл <i>g</i> (П ₆₇₀)
Цианобактерии	I ФС	хл <i>a</i> (П ₇₀₀)	хл <i>a</i>
	II ФС	хл <i>a</i> (П ₆₈₀)	феоф <i>a</i>
Прохлорофиты	I ФС	хл <i>a</i> (П ₇₀₀)	?
	II ФС	хл <i>a</i> (П ₆₈₀)	?

Согласно определителя Берги (1974)
фотосинтезирующие бактерии
представлены тремя семействами:

- ◆ зеленые бактерии (Chlorobacteriaceae),
- ◆ серные пурпурные бактерии (Chromatiaceae);
- ◆ несерные пурпурные бактерии (Rhodospirillaceae)

Анокси-
генный
Ф-3



...БИЗНЕС?

МЕНЯЮ
ВОДУ И
СО₂
НА
ГЛЮКОЗУ

НЕТ, ПРОСТО
ОБМЕН
ВЕЩЕСТВ

Общая схема путей биосинтеза клеточного материала из глюкозы

