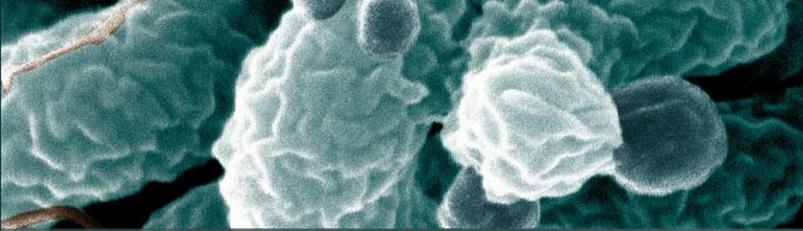
A scanning electron micrograph (SEM) showing a dense cluster of rod-shaped bacteria. The bacteria have a textured, somewhat wrinkled surface. Some bacteria are connected by thin, brownish filaments. There are also several small, spherical structures scattered among the rods. The background is dark, making the light-colored bacteria stand out.

Микробиология

bacteria

Метаболизм  
микроорганизмов

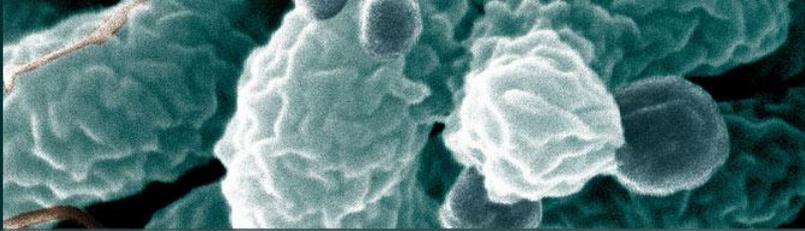


# Метаболизм

- Совокупность химических процессов любой клетки, протекающих с помощью ферментов и обеспечивающих существование клетки

Подразделяется на катаболизм и анаболизм

- **Катаболизм** – энергетический обмен – разложение (чаще всего окисление) веществ с выделением энергии
- **Анаболизм** – пластический обмен – синтез необходимых живой системе веществ с затратой энергии



# Основные классы веществ в биохимии

## Белки

## Углеводы

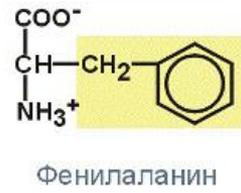
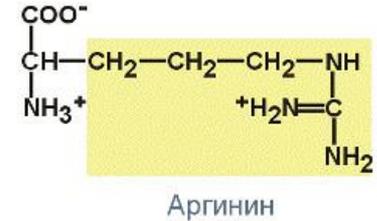
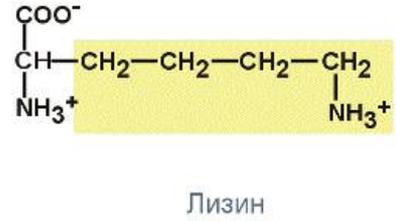
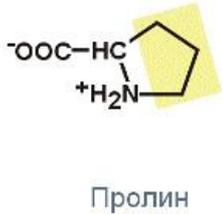
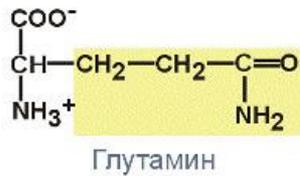
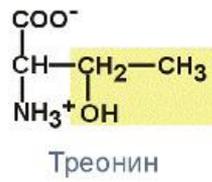
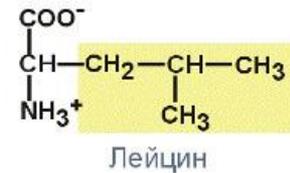
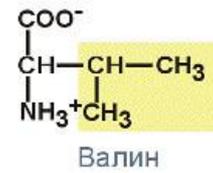
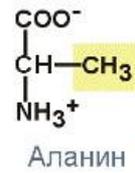
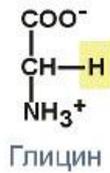
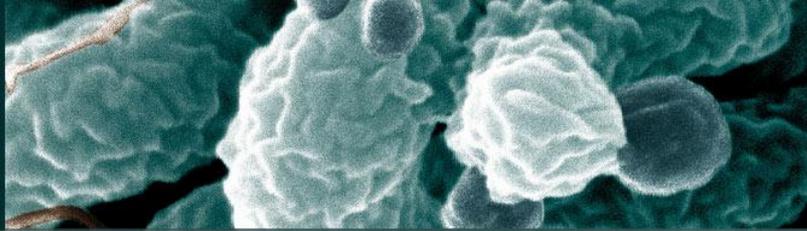
- Моносахариды
- Дисахариды
- Олигосахариды
- Полисахариды

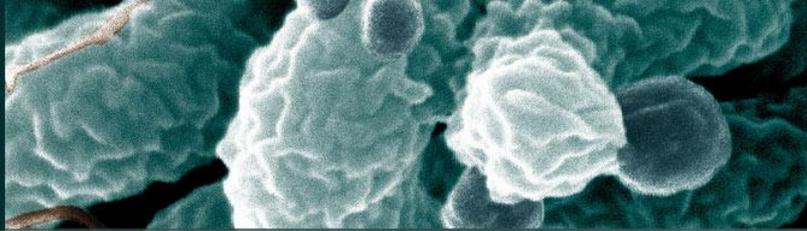
## Липиды

- Простые
- Сложные

## Нуклеотиды

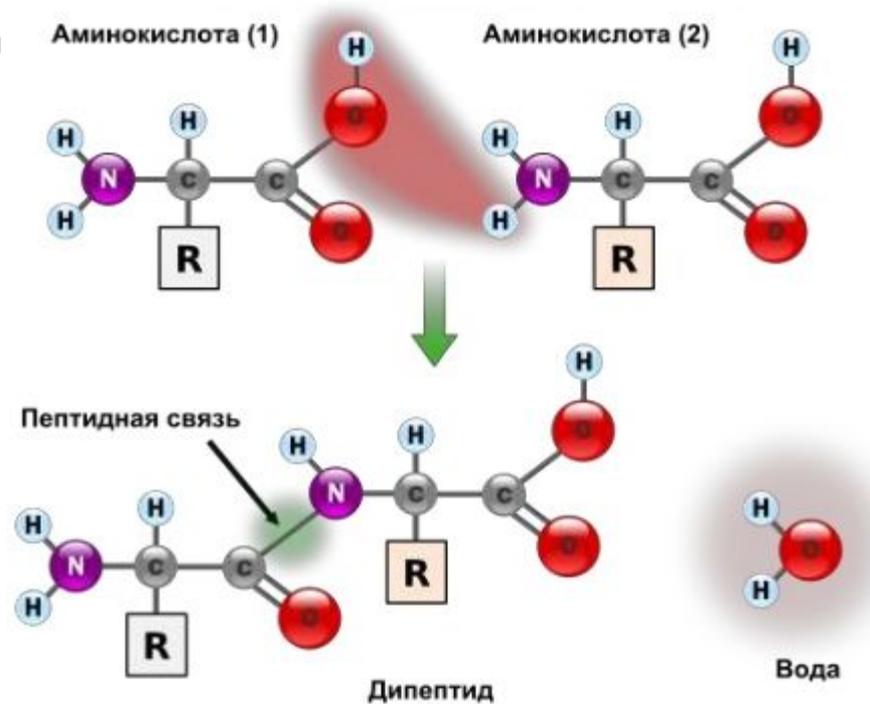
Мононуклеотиды  
Олигонуклеотиды  
Полинуклеотиды

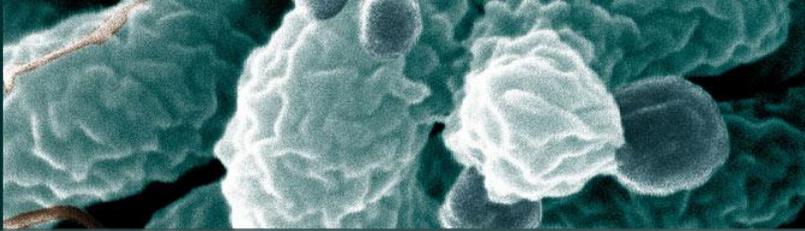




## Пептидная связь

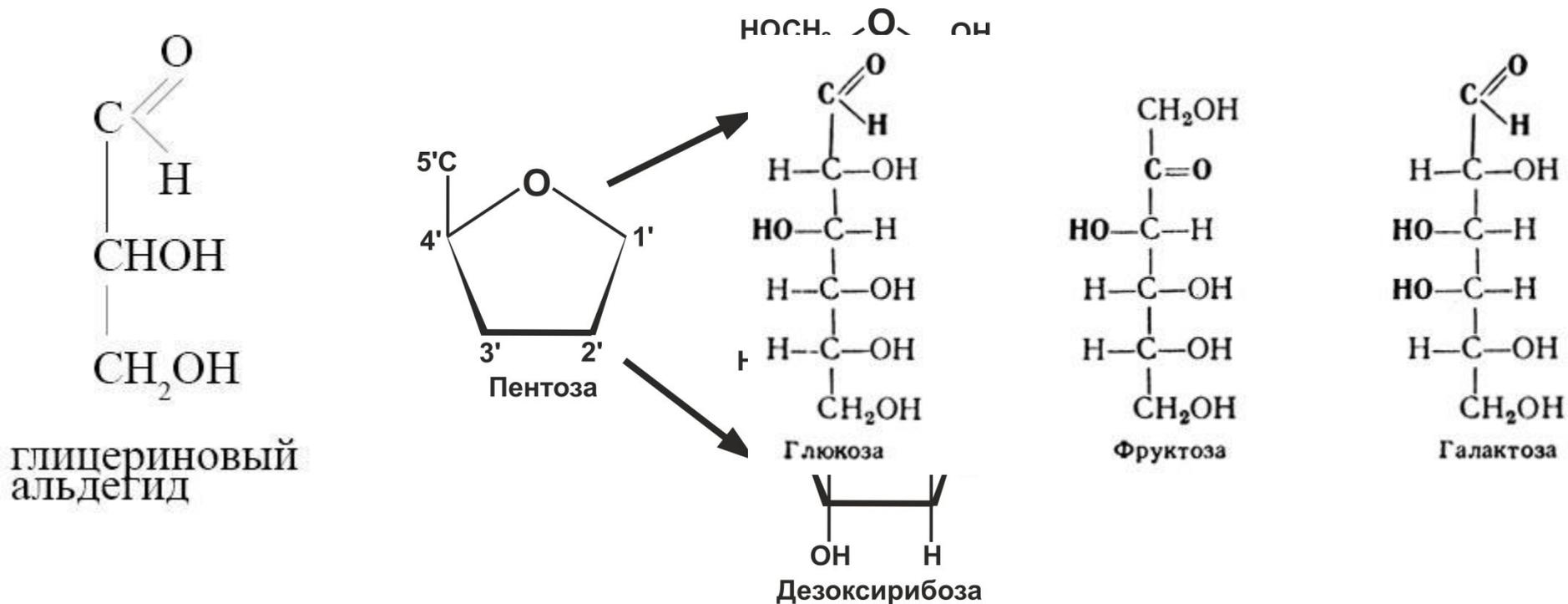
- Связь между аминогруппой одной АК и карбоксильной группой другой АК
- Образуется на рибосомах в процессе трансляц

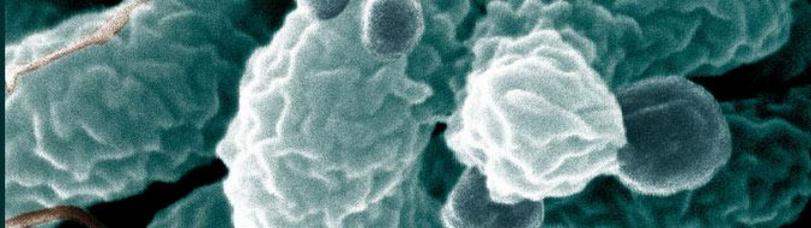




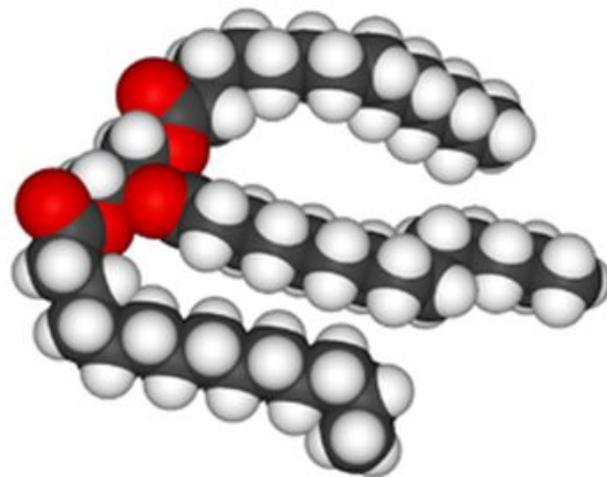
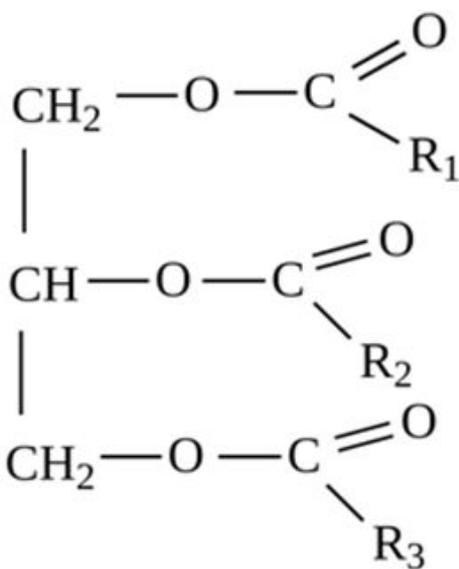
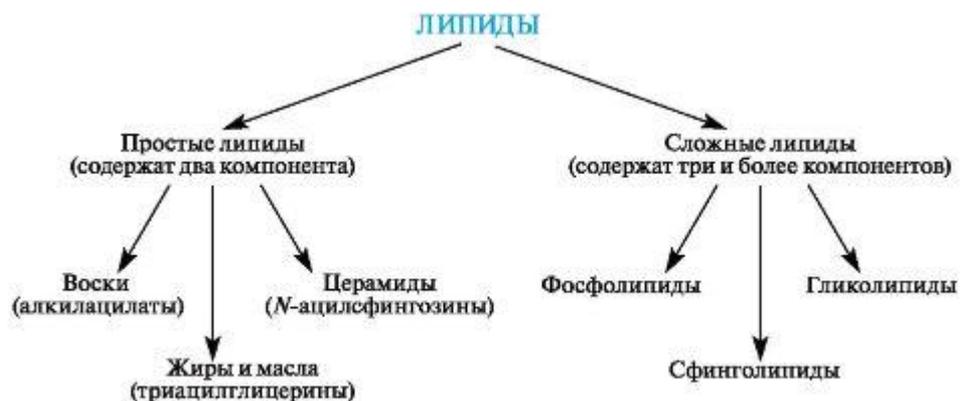
# Углеводы

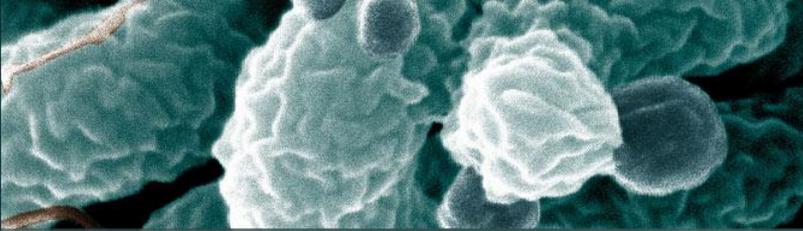
- Моносахариды – триозы, пентозы гексозы





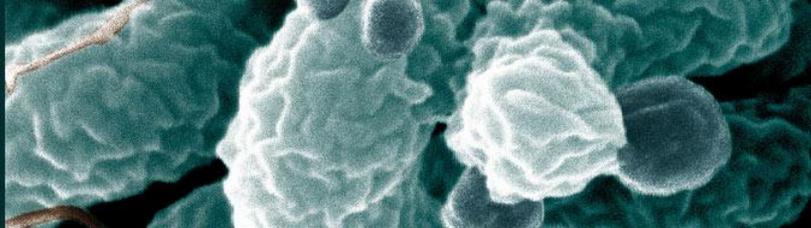
# Липиды



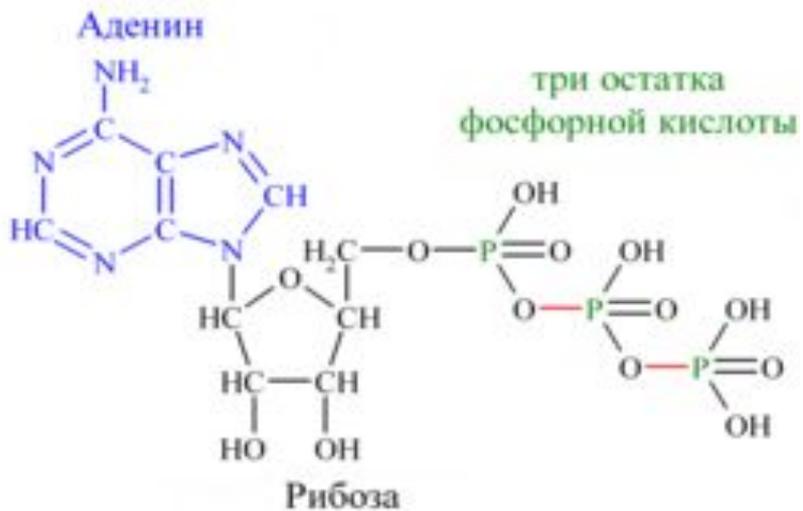


## Нуклеотиды

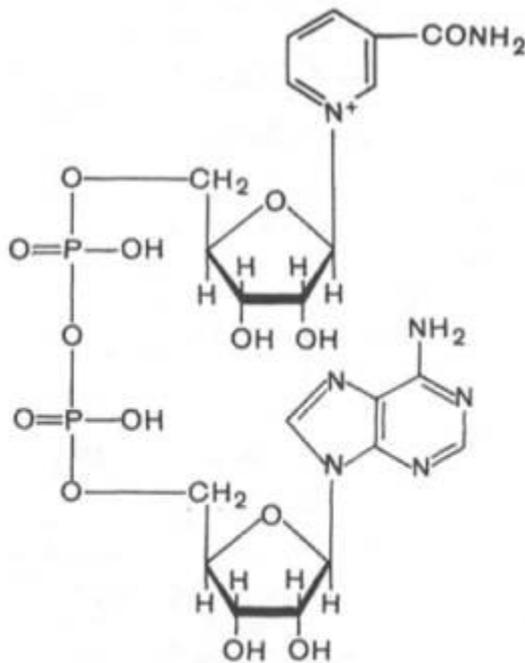
- Азотистые основания – пуриновые и пиримидиновые – гетероциклические молекулы
- Азотистое основание + пентоза = нуклеозИД
- Азотистое основание + пентоза + фосфатная группа = нуклеоТИД



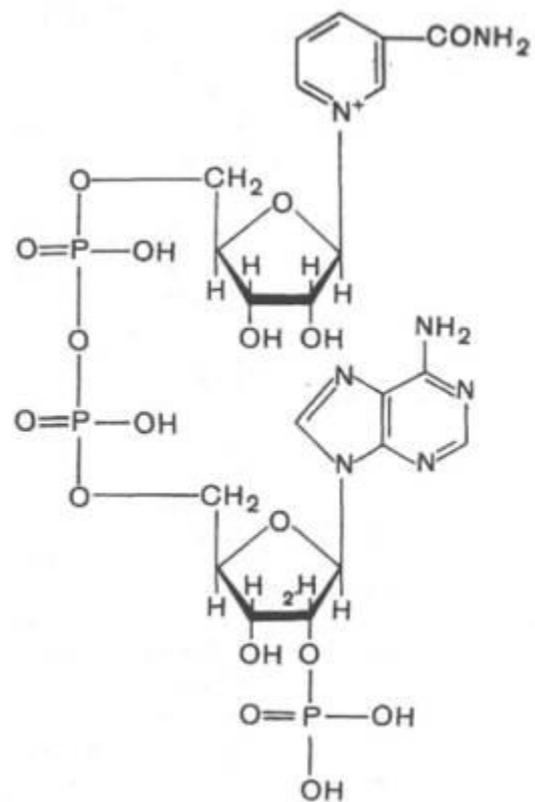
# Нуклеотиды



Мононуклеотид - АТФ

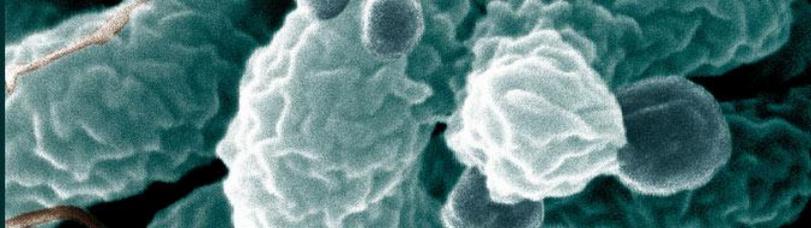


Никотинамидадениндинуклеотид (НАД<sup>+</sup>)

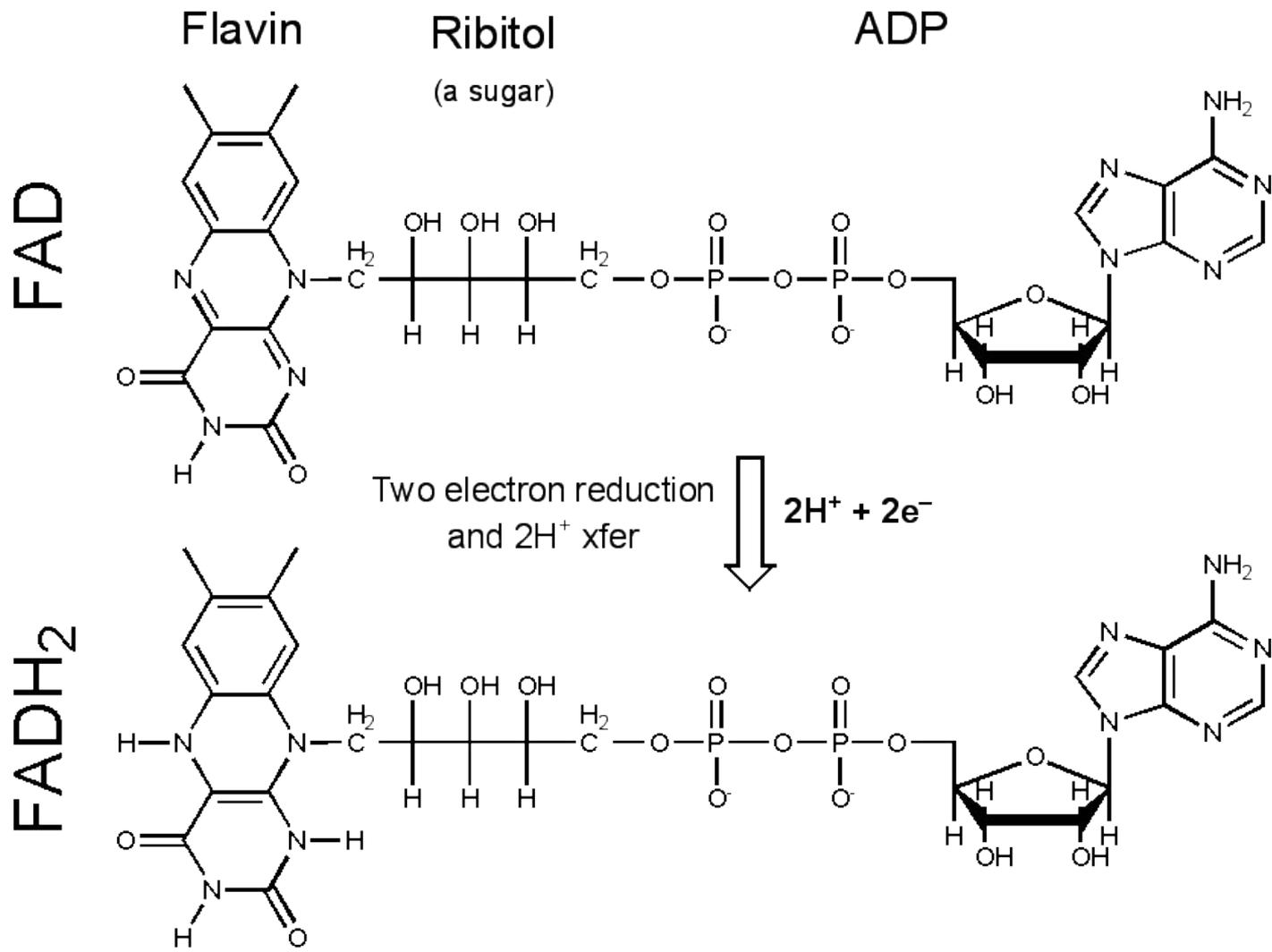


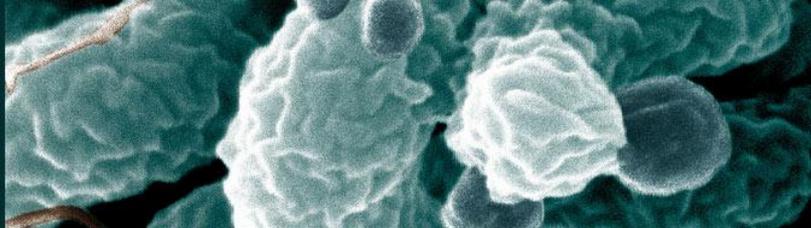
Никотинамидадениндинуклеотид-фосфат (НАДФ<sup>+</sup>)

Динуклеотид - НАД



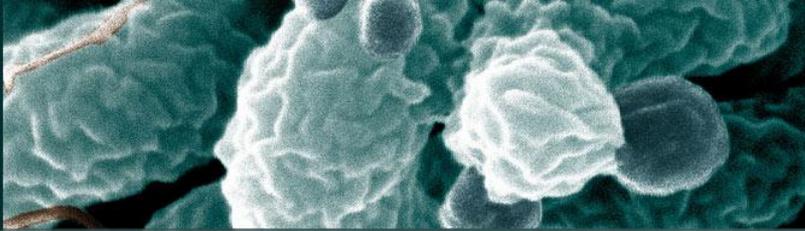
# Нуклеотиды





# Классификация бактерий по типу метаболизма

		Источник энергии			
		Свет		Энергия химических связей	
		Донор электронов			
		Неорган. в-ва	Орган. в-ва	Неорган. в-ва	Орган. в-ва
Источник углерода	CO <sub>2</sub>	Фотопито-автотрофы	Фотоорган-автотрофы	Хемолито-автотрофы	Хемоорган-автотрофы
	Органические соединения	Фотолито-гетеротрофы	Фотоорган-гетеротрофы	Хемолито-гетеротрофы	Хемоорган-гетеротрофы



# Общий принцип синтеза АТФ: при фотосинтезе и дыхании.

и форму

«Накачка»  $H^+$  с помощью энергии электрона

Высокая концентрация  $H^+$

Диффузия

- АТФ – универсальная молекула, служащая источником энергии для всех внутриклеточных процессов



Мембрана тилакоида хлоропласта или кристы митохондрии

АТФ-синтаза

- АТФ может синтезироваться в двух процессах субстратном фосфорилировании и фосфорилировании с помощью АТФ-синтазы

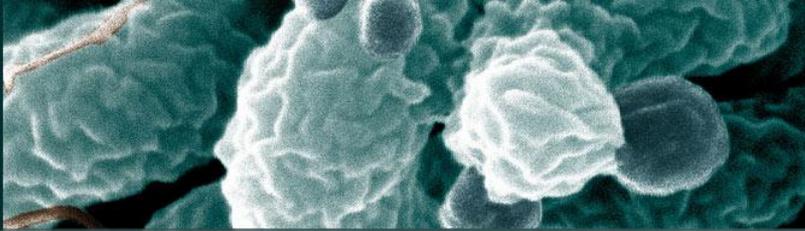
Электронно-транспортная цепь

$ADP + P_i$

$H^+$

АТФ

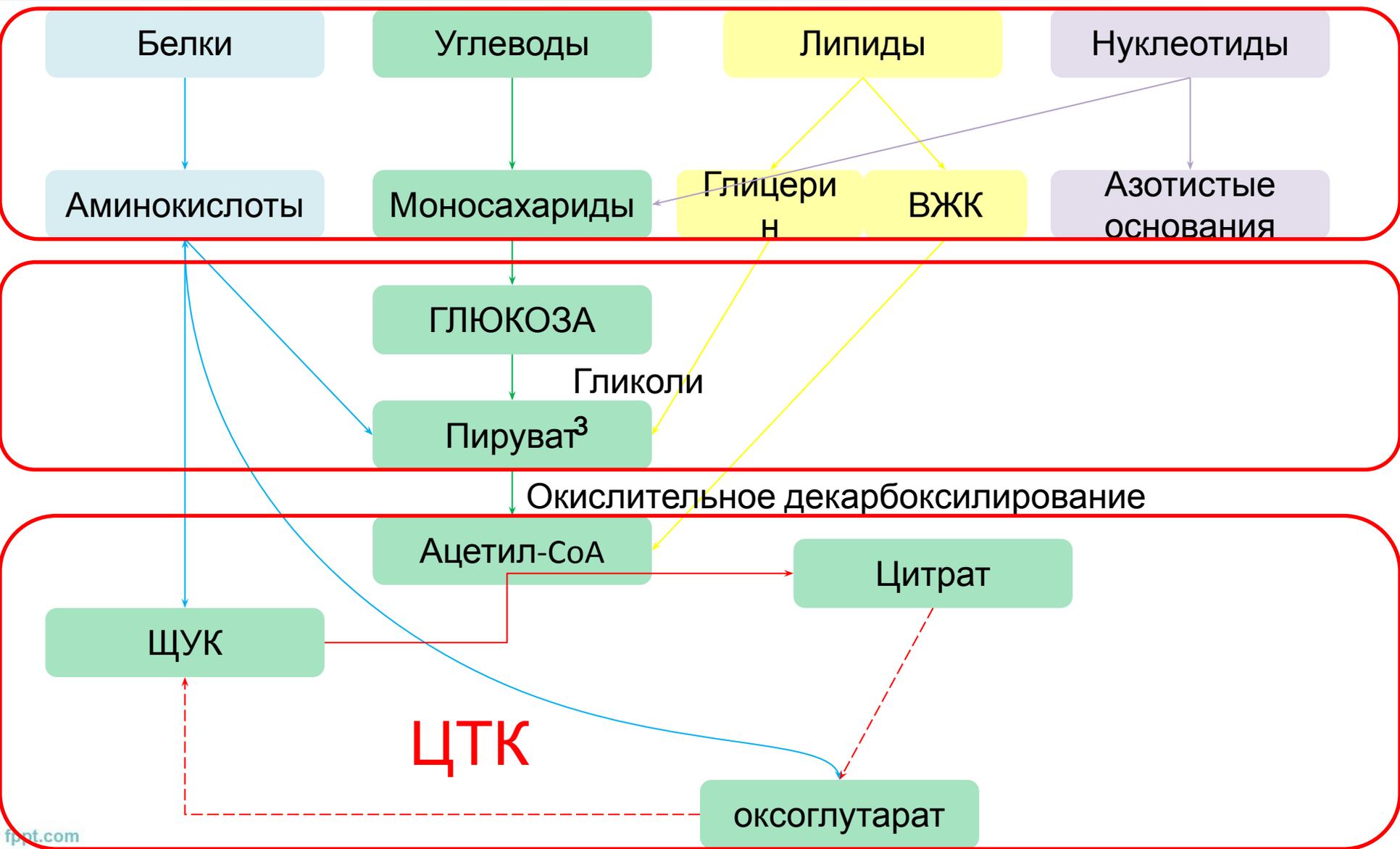
Низкая концентрация  $H^+$

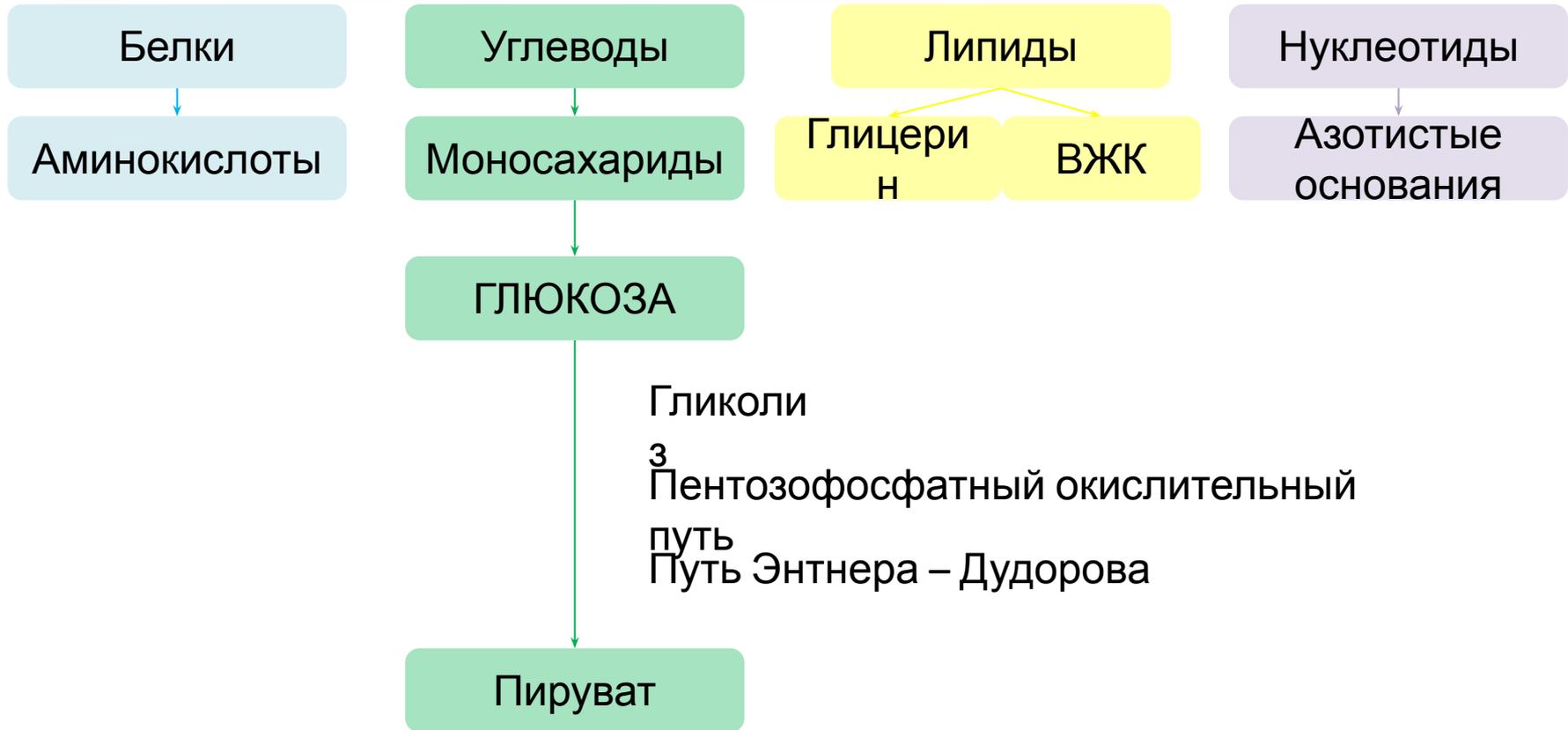
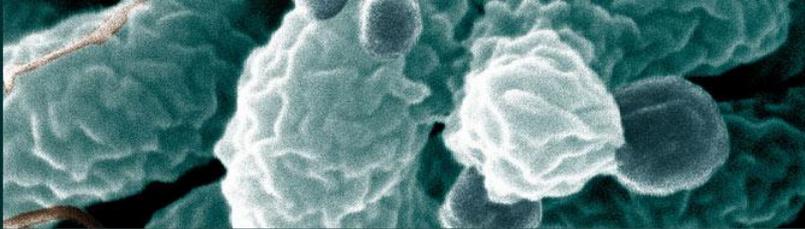


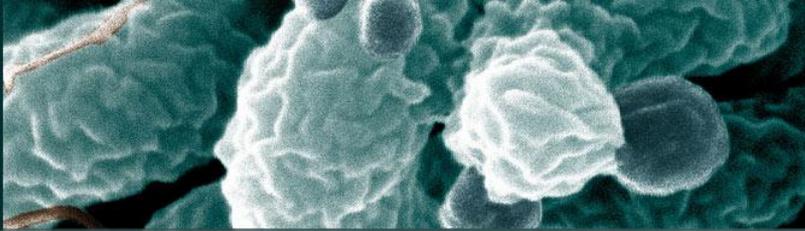
## Основные этапы катаболизма

1. Разложение полимеров на мономеры
2. Окисление глюкозы до пирувата (ПВК):
  1. Гликолиз
  2. Пентозофосфатный окислительный путь
  3. КДФГ-путь
3. Дальнейшее окисление пирувата
  1. Брожения
  2. Аэробное дыхание
  3. Анаэробное дыхание

# Этапы катаболизма



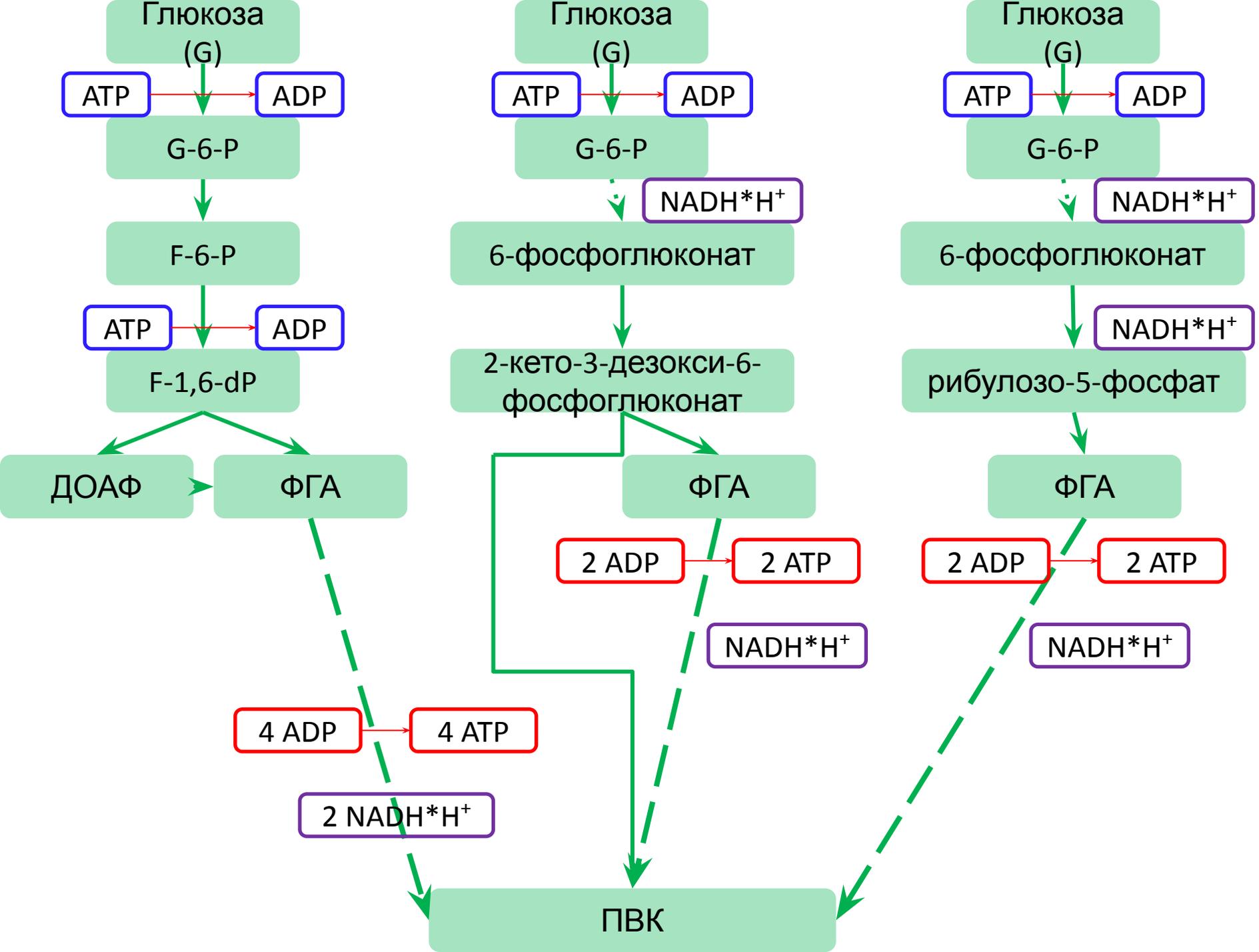




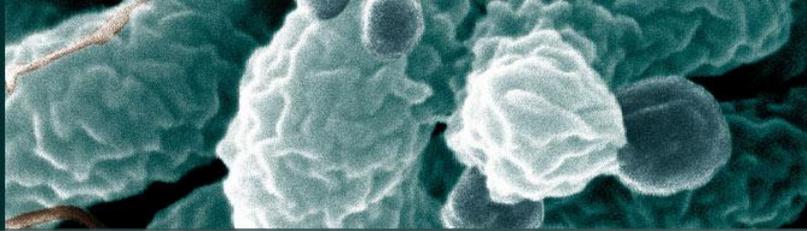
# Катаболизм

Три пути ассимиляции глюкозы:

1. Гликолиз (путь Эмбдена — Мейергофа — Парнаса)
1. Пентозофосфатный окислительный путь (путь Варбурга — Диккенса — Хорекера)
1. КДФГ-путь (Путь Энтнера — Дудорова)



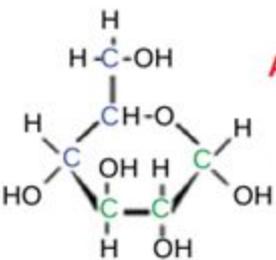
# Гликолиз



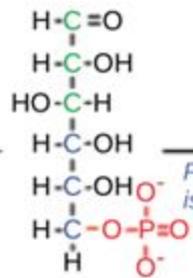
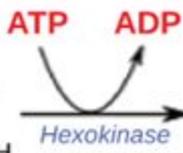
1

2

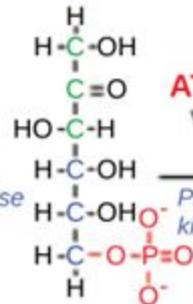
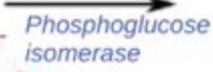
3



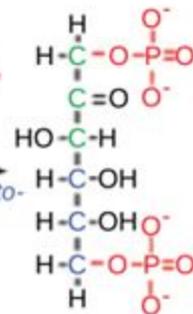
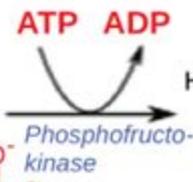
Glucose



Glucose-6-phosphate



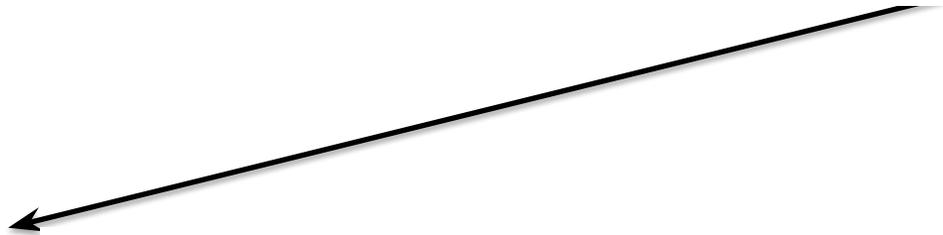
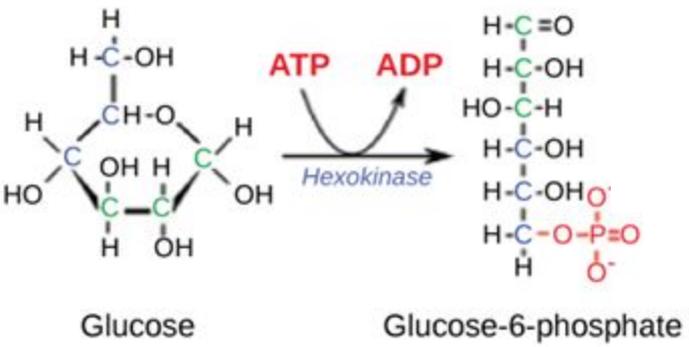
Fructose-6-phosphate

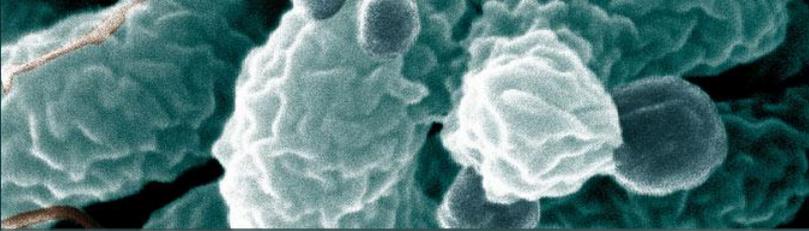


Fructose-1,6-biphosphate

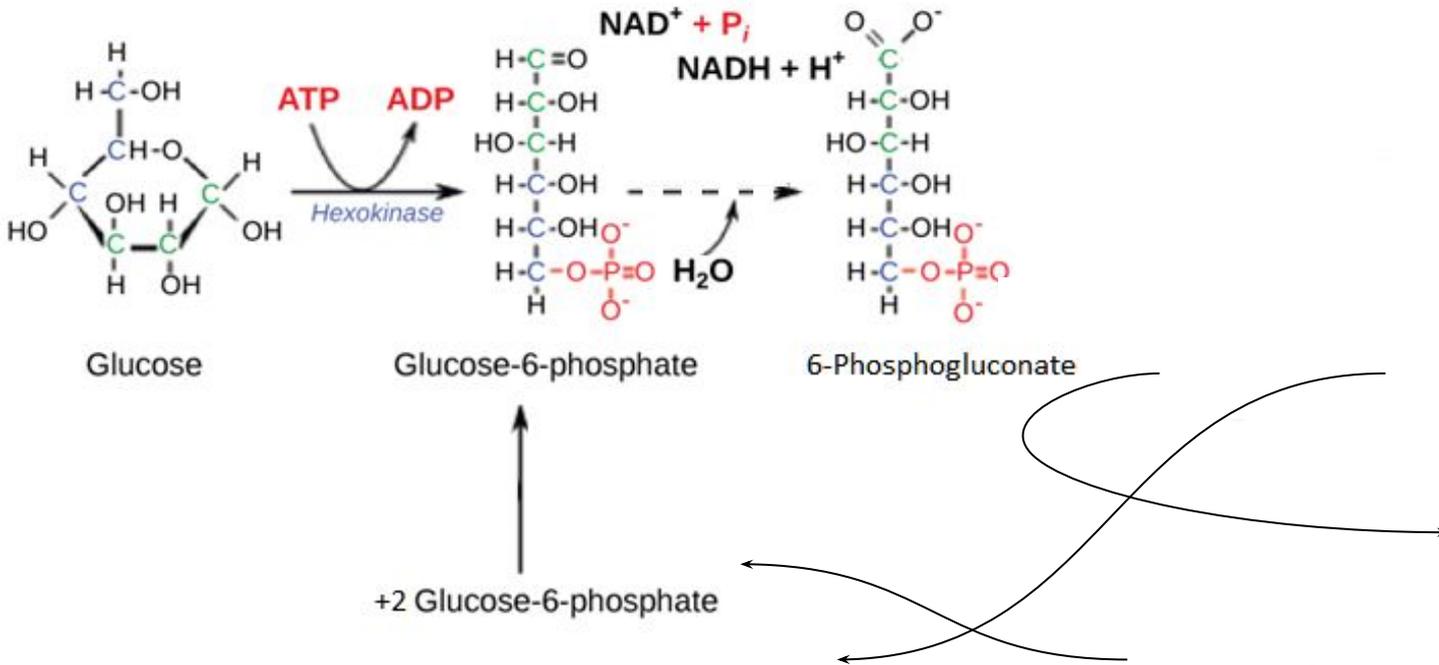
# КДФГ-путь

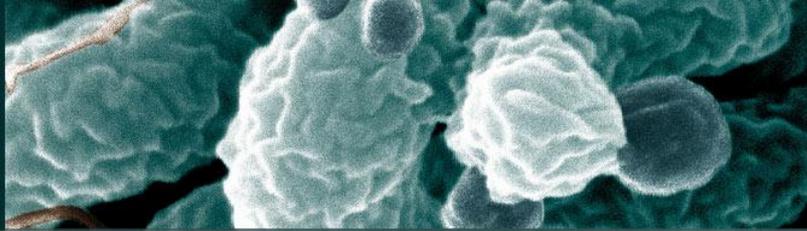
1





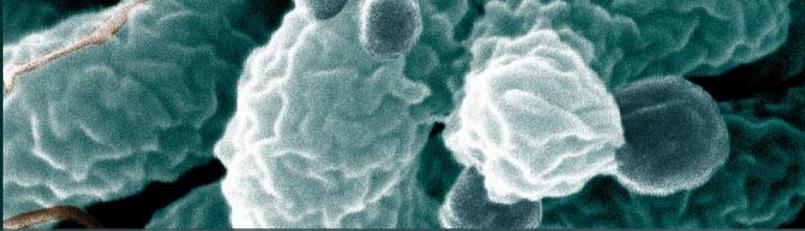
# ΠΦΠ





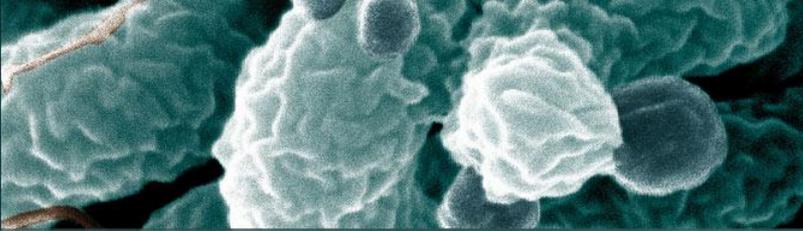
## Сравнение путей окисления глюкозы

	Гликолиз	КДФГ-путь	ПФП
АТФ (субстр.)	2	1	1
NADH+H <sup>+</sup>	2	2	3
Особенности	Наиболее энергетически выгодный путь	Наименее распространен	Источник пентоз для синтеза нуклеотидов  Усвоение избытка NAD <sup>+</sup>



## Основные этапы катаболизма

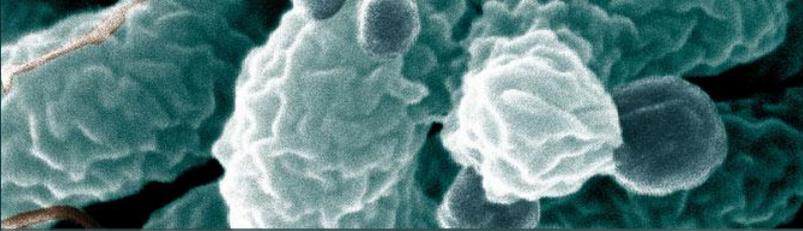
1. Разложение полимеров на мономеры
2. Окисление глюкозы до пирувата (ПВК):
  1. Гликолиз
  2. Пентозофосфатный окислительный путь
  3. КДФГ-путь
3. Дальнейшее окисление пирувата
  1. Брожения
  2. Аэробное дыхание
  3. Анаэробное дыхание



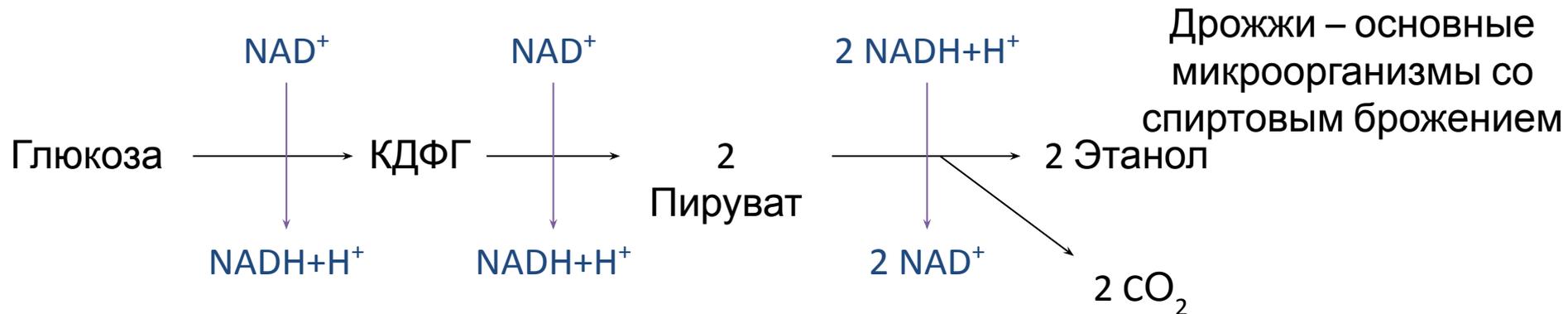
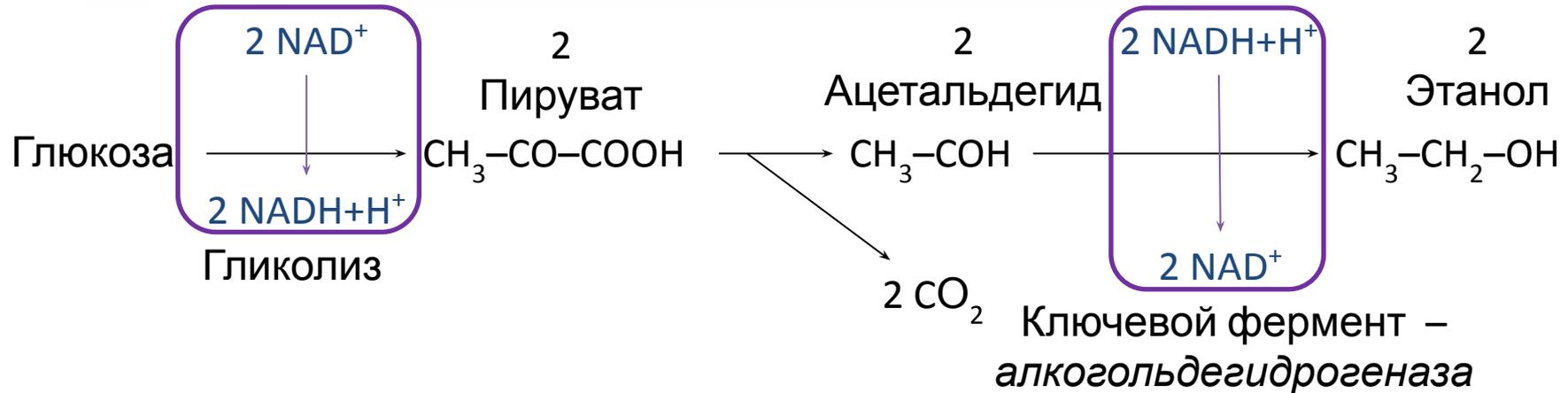
# Брожения

Способ получения энергии при окислении ПВК в отсутствие кислорода

- Спиртовое (конечный продукт - этанол)
- Молочно-кислое (лактат)
- Смешанное (смесь различных продуктов)
- Масляно-кислое и ацетобутиратное брожение
- Пропионовокислое брожение (пропионовая кислота)
- Гомоацетатное (ТОЛЬКО ацетат)

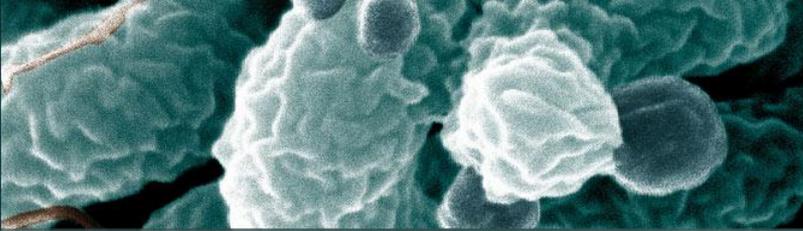


# Спиртовое брожение



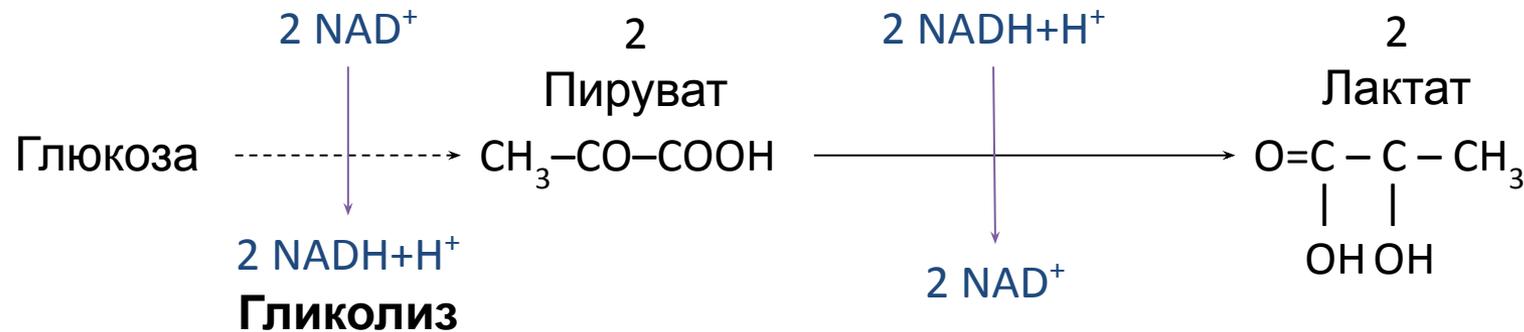
Спиртовое брожение бактерий *Zygotomonas mobilis* идет после образования пирувата в КДФГ-пути

Некоторые бактерии (*Sarcina*, *Enterobacteriaceae*, *Clostridium*) могут проводить некую форму спиртового брожения с образованием смеси продуктов



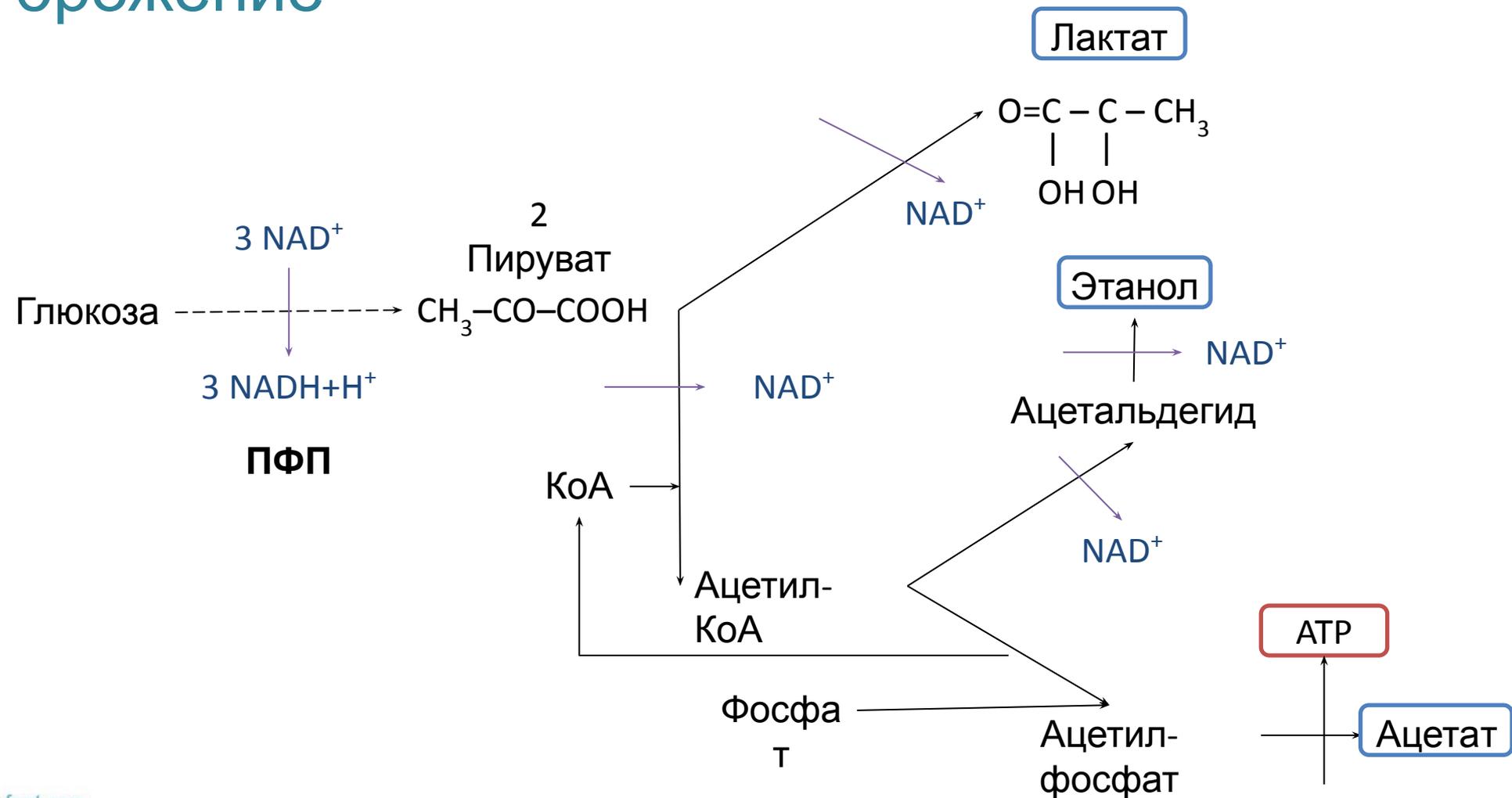
# Молочнокислое брожение

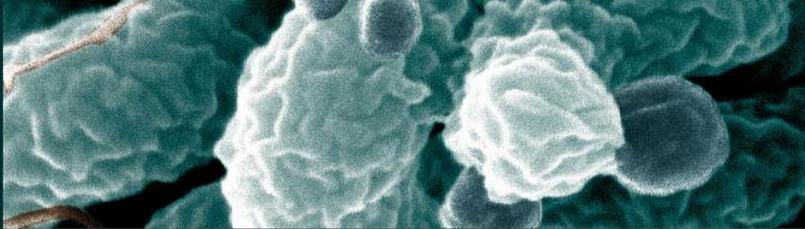
## Гомоферментативное молочнокислое брожение



# Молочнокислое брожение

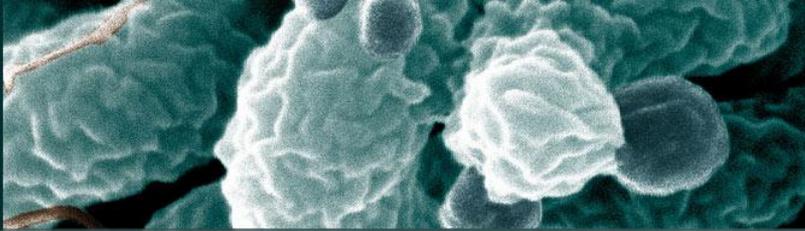
## Гетероферментативное молочнокислое брожение





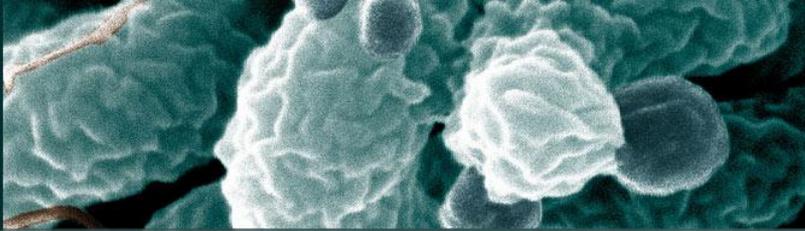
# Домашняя работа

Брожение	МО	Конечные продукты	Энергетический выход	Практическое значение
Спиртовое				
Молочно-кислое				



## Основные этапы катаболизма

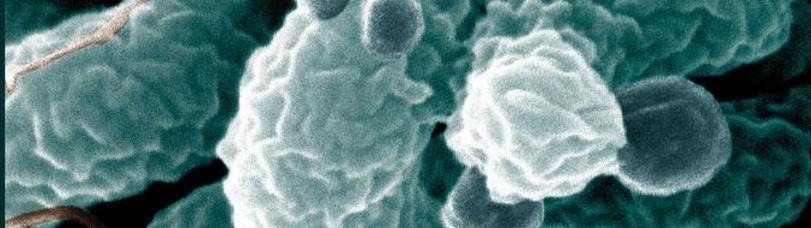
1. Разложение полимеров на мономеры
2. Окисление глюкозы до пирувата (ПВК):
  1. Гликолиз
  2. Пентозофосфатный окислительный путь
  3. КДФГ-путь
3. Дальнейшее окисление пирувата
  1. Брожения
  2. Аэробное дыхание
  3. Анаэробное дыхание



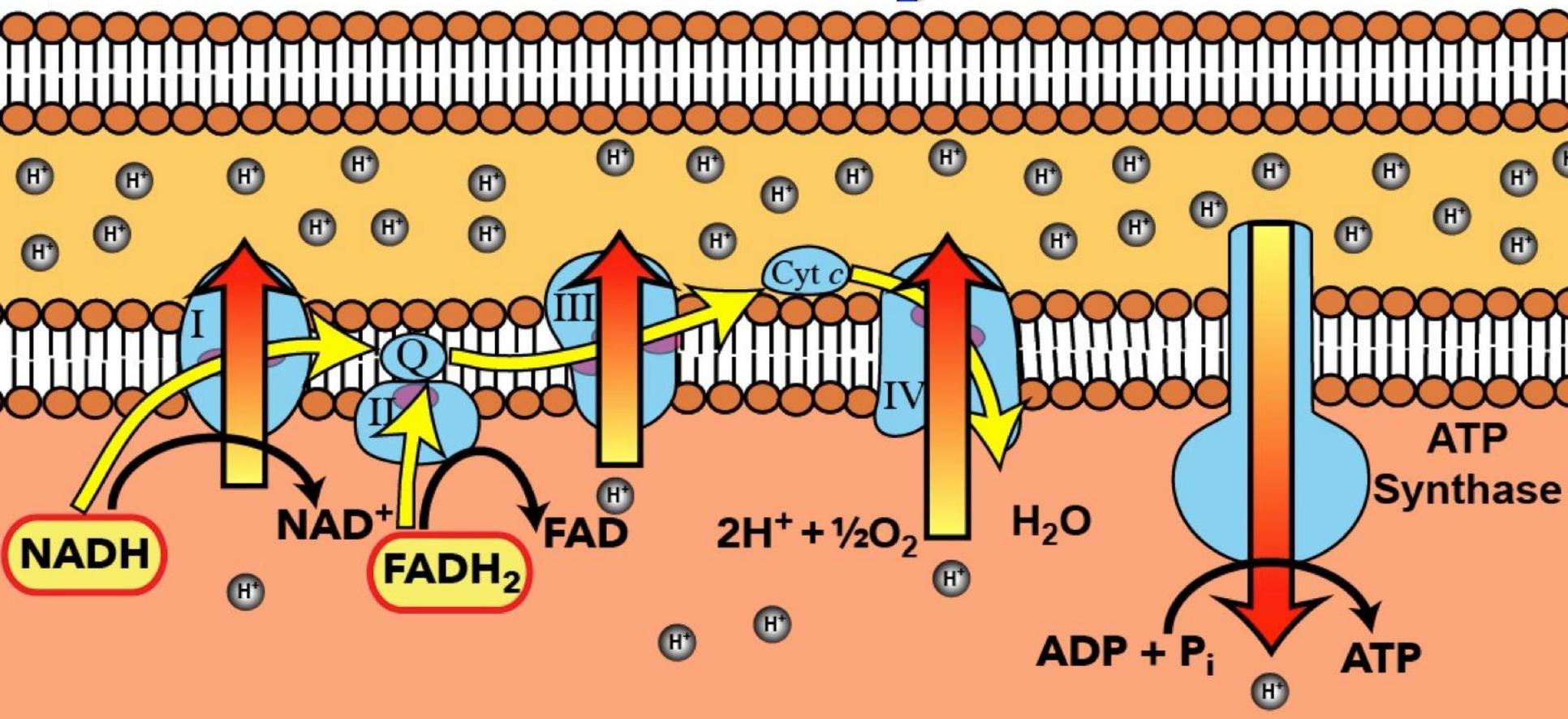
## Аэробное дыхание

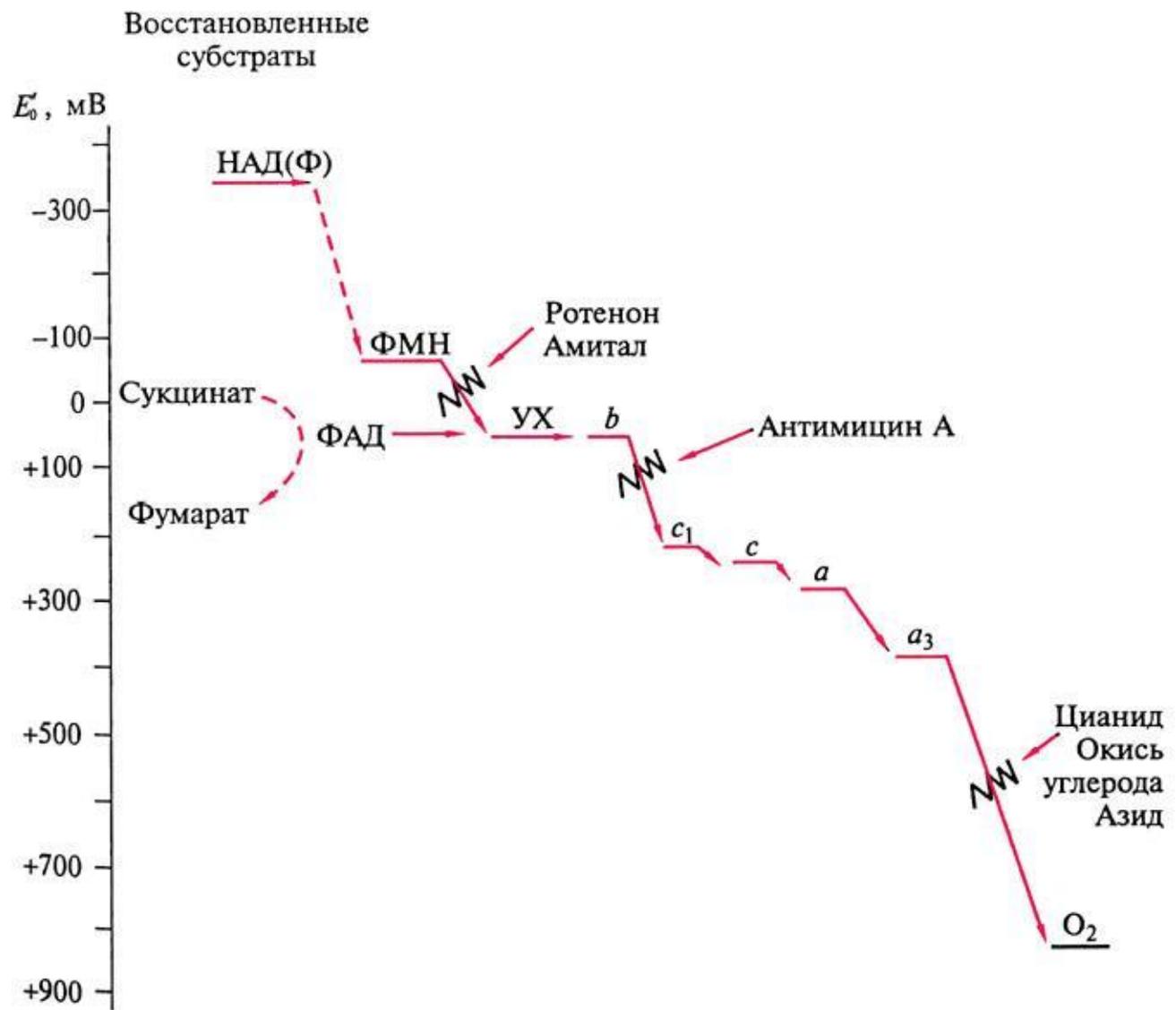
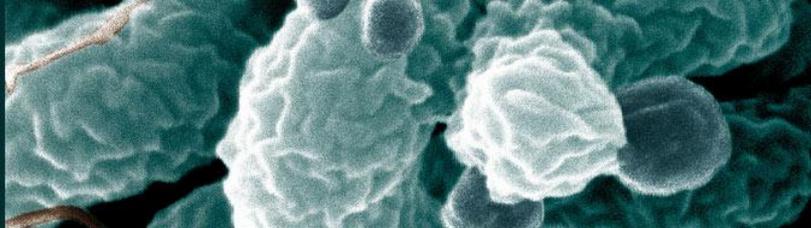
- При возможности аэробного окисления ПВК **декарбоксилируется** до ацетил-КоА в пируватдегидрогеназном комплексе
- Ацетил-КоА вступает в реакции цикла Кребса
- В цикле Кребса восстанавливаются NAD и FAD, которые впоследствии используются при окислительном фосфорилировании

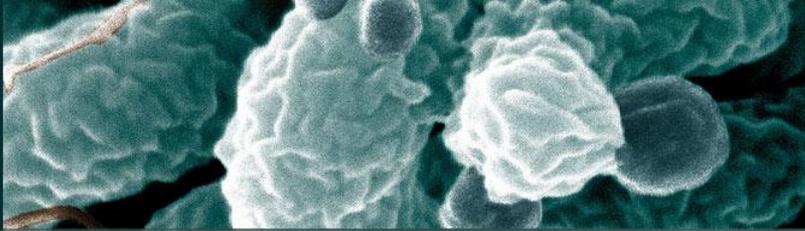




# Electron Transport Chain

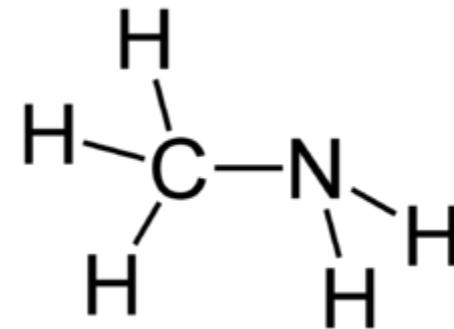
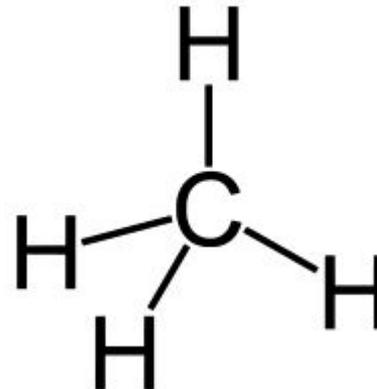
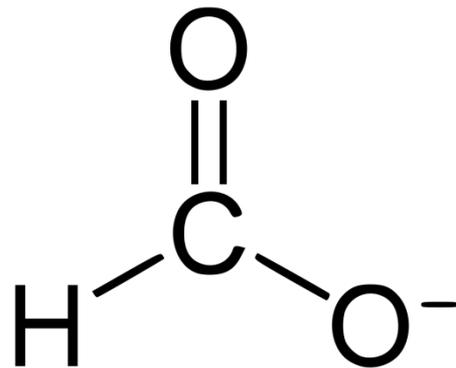
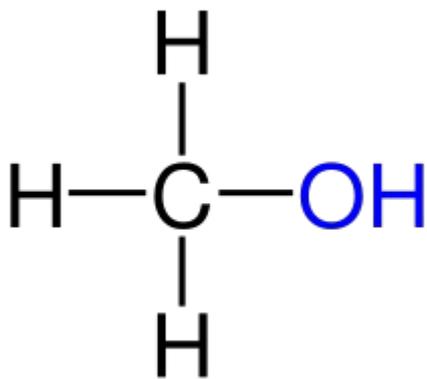


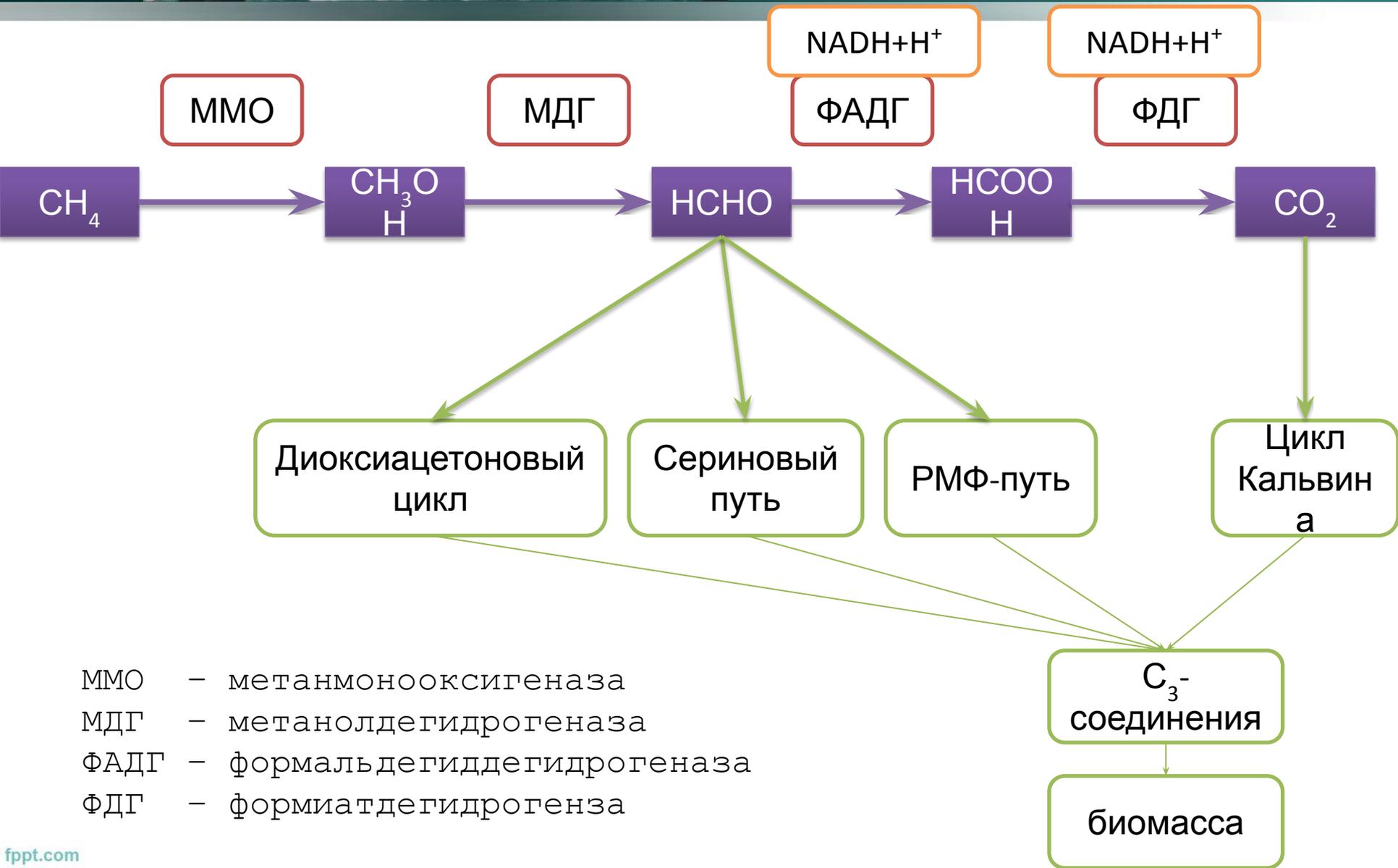
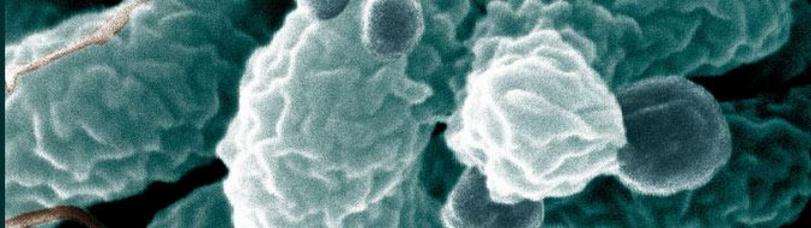




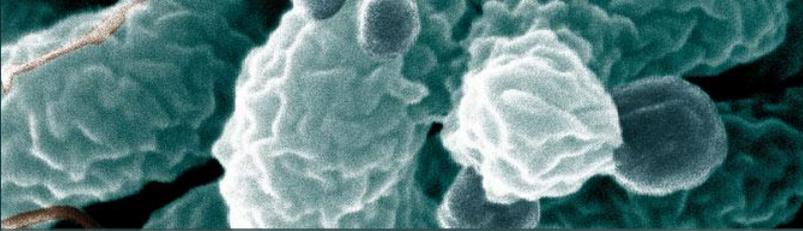
## Аэробное дыхание с использованием C1-соединений

- Метилотрофия
- Одноуглеродные соединения – метанол, формиат, метан, метиламины



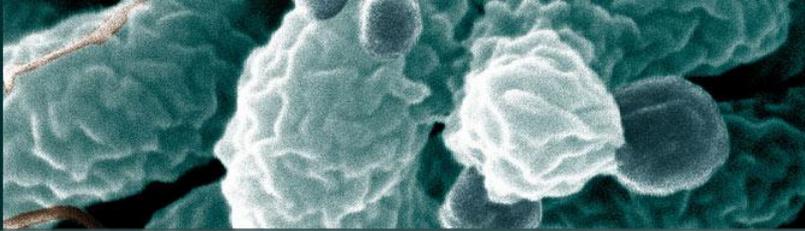


- ММО – метанмонооксигеназа
- МДГ – метанолдегидрогеназа
- ФАДГ – формальдегиддегидрогеназа
- ФДГ – формиатдегидрогеназа



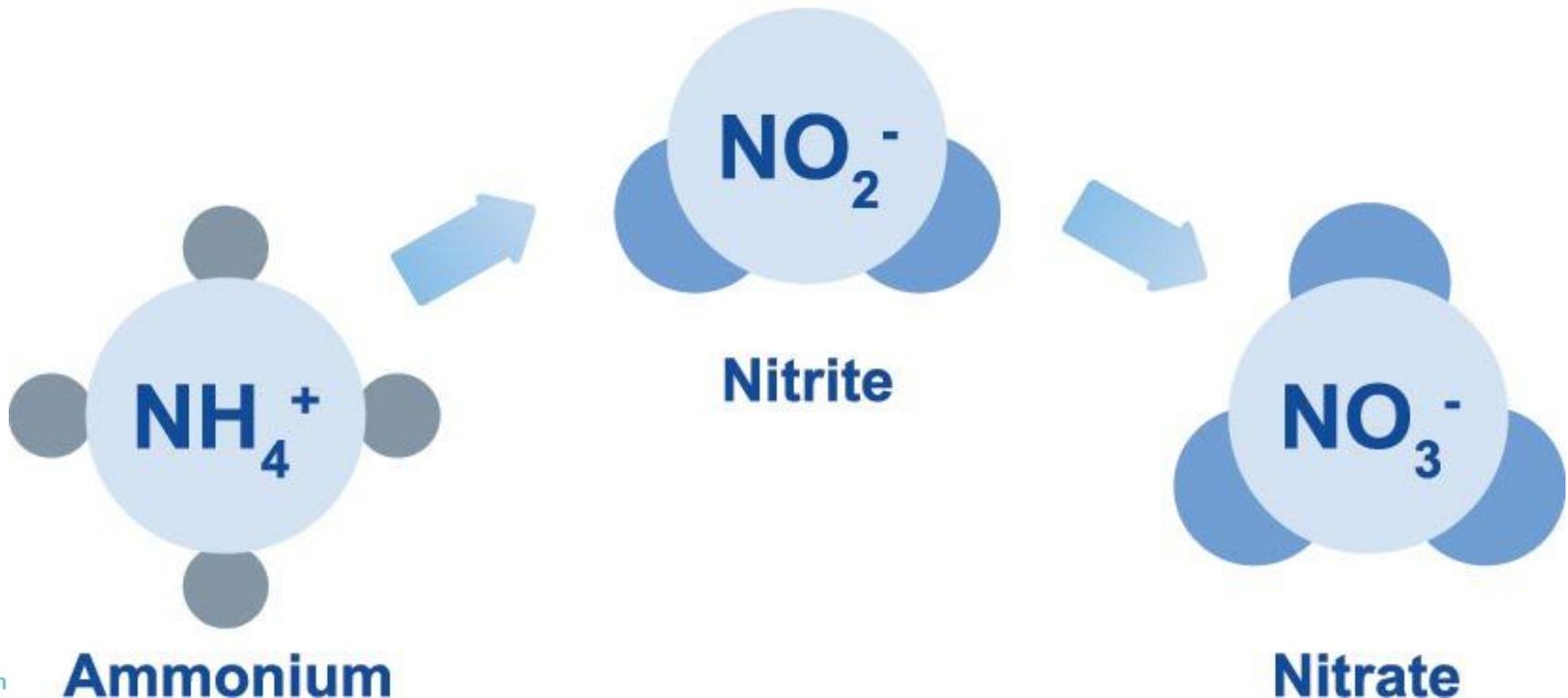
## Аэробное дыхание с использованием неорганики

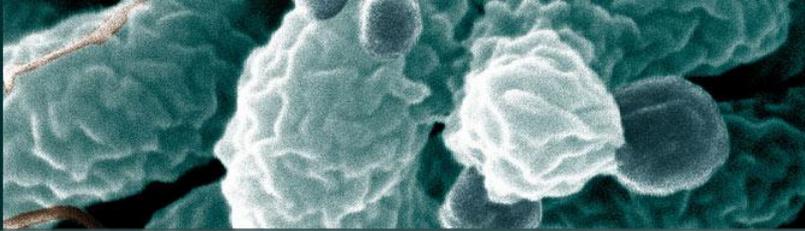
- Хемолитоавтотрофия – тип питания, при котором источником энергии для синтеза органических в-в из углекислого газа служат реакции окисления неорганических соединений
- В зависимости от неорганического соединения используемого бактериями можно выделить железобактерий, серобактерий, нитрификаторов, тионовых бактерий, водородных бактерий, карбоксибактерий



# Хемолитоавтотрофия - нитрификация

## Nitrification





# Нитрификаторы

- Нитрификаторы I фазы: *Нитрозные бактерии:*



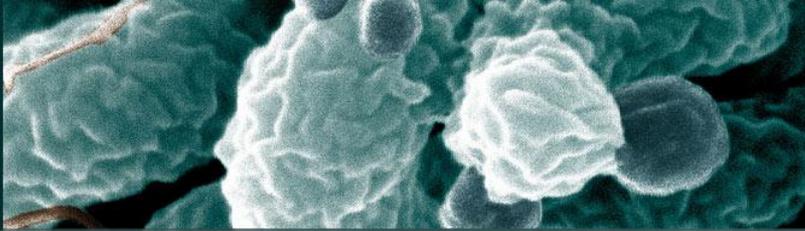
*Nitrosococcus*  
*Nitrosomonas*  
*Nitrospira*

- Нитрификаторы II фазы:



*Нитратные бактерии:*  
*Nitrobacter*  
*Nitrospira*  
*Nitrococcus*  
*Nitrospina*

- Для фиксации  $\text{CO}_2$  используют цикл Кальвина
- Таксономически разнородные группы



## Хемолитоавтотрофия - железобактерии

- 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)

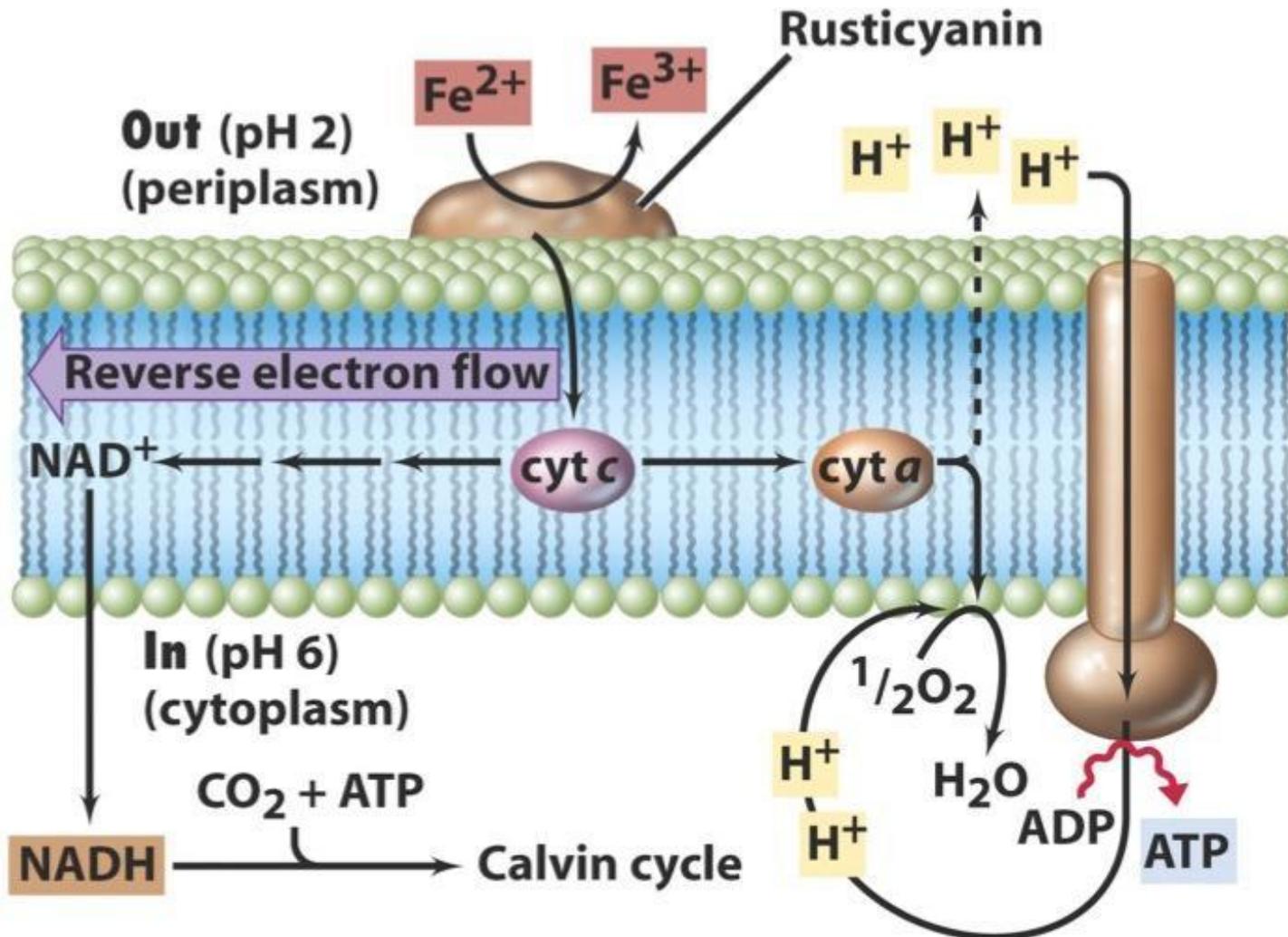
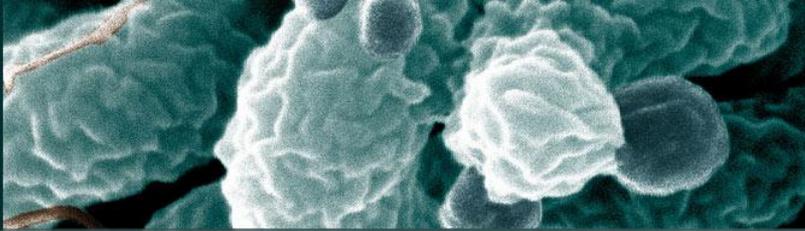
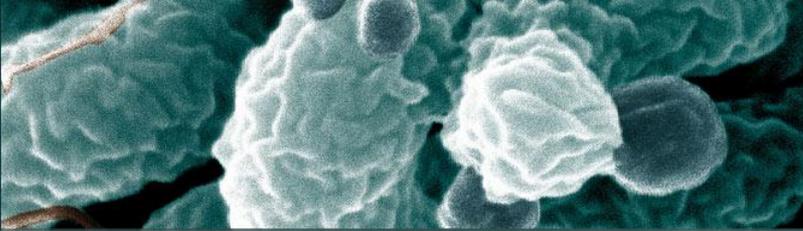
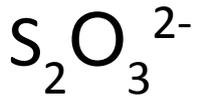


Figure 17.20 Rust Pathogen of Maize Leaves (17/1)

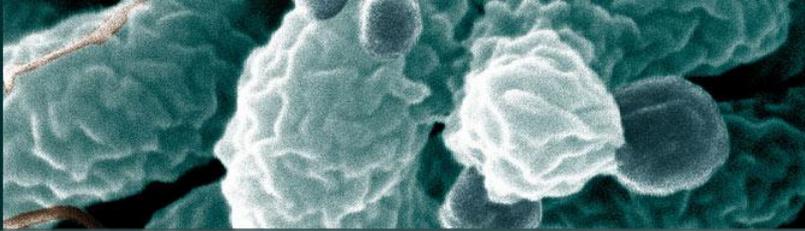


# Окисление восстановленных соединений серы

- Соединения серы, которые могут служить субстратами:

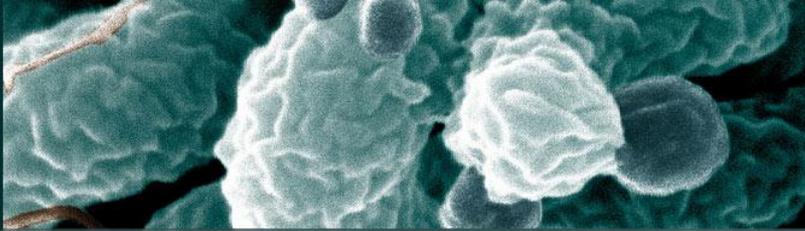


- Конечный продукт всегда  $SO_4^{2-}$
- Используется цикл Кальвина для фиксации  $CO_2$
- ЭТЦ практически не отличается от ЭТЦ митохондрий



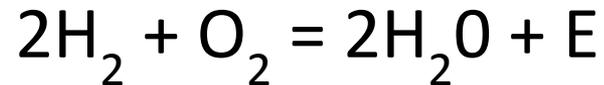
## Бактерии, окисляющие серу

- Фотосинтезирующие пурпурные и зеленые бактерии, использующие  $\text{H}_2\text{S}$  как донор электронов
- Тионовые бактерии окисляют  $\text{H}_2\text{S}$  и используют эту энергию на ассимиляцию  $\text{CO}_2$
- Есть представители, способные окислять органику с помощью гликолиза/оПФП/КДФГ-пути, а также ЦТК

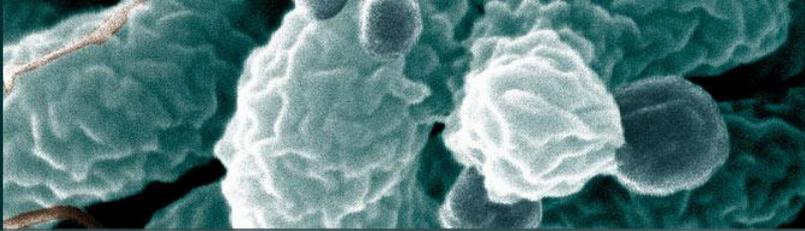


## Водородные бактерии

- Окисляют молекулярный водород с участием O<sub>2</sub>
- Ключевые ферменты – гидрогеназы, катализирующие реакцию:

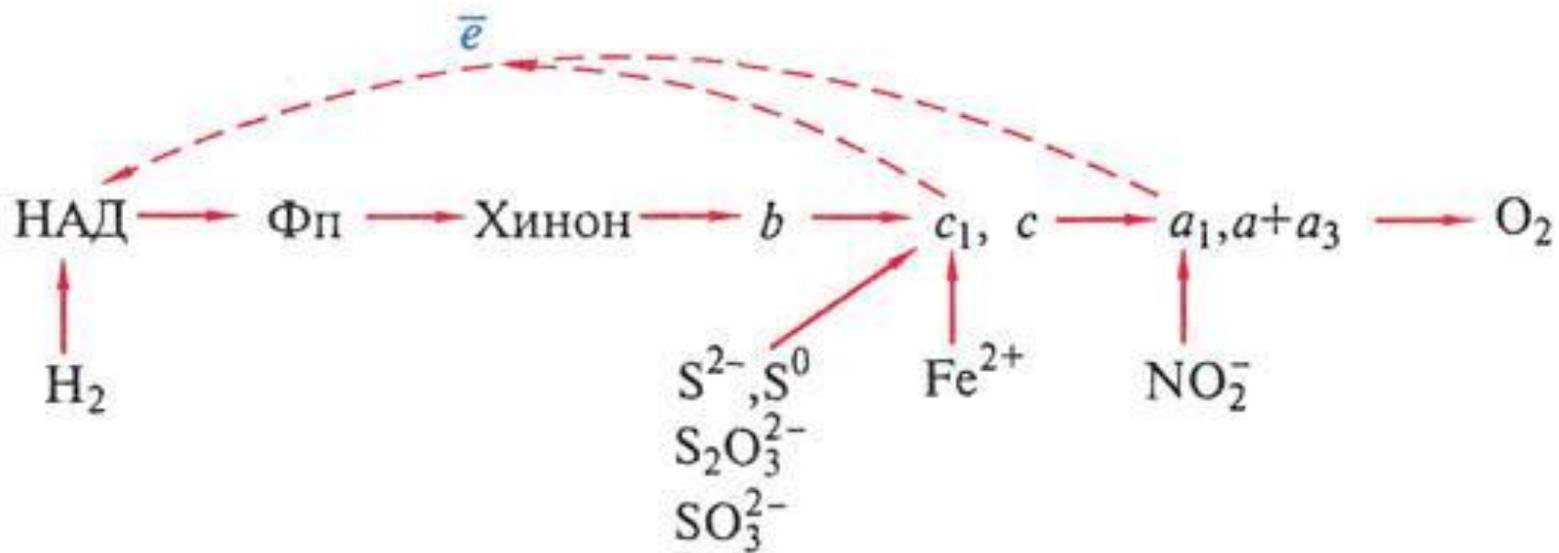
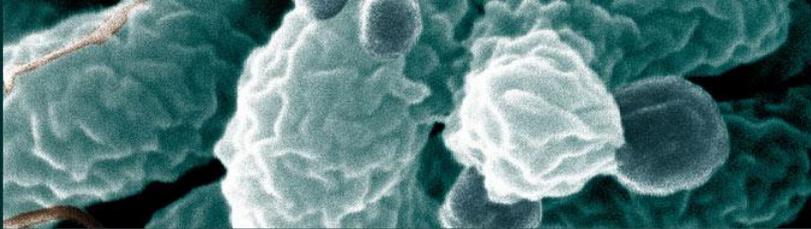


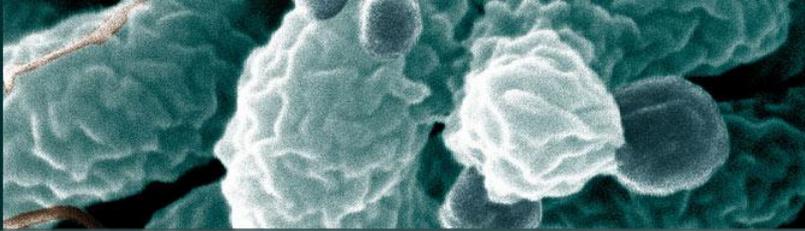
- Частично используют полученную энергию для фиксации CO<sub>2</sub>
- 20 родов различной морфологии



## Гидрогеназы

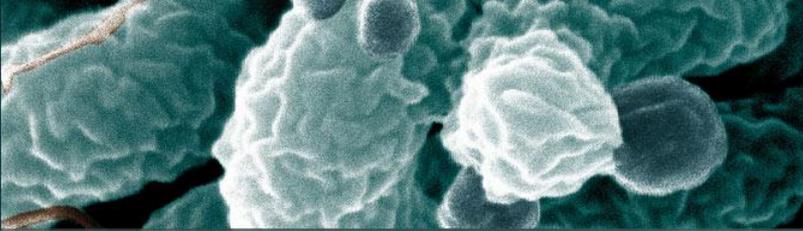
- Мембранная гидрогеназа передает электроны на ЭТЦ на уровне флавопротеинов
- Растворимая гидрогеназа передает электроны на  $\text{NAD}^+$ , который затем идет на синтез биомассы





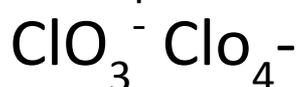
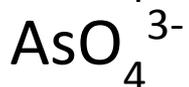
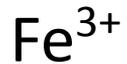
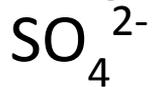
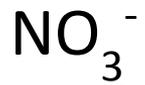
## Основные этапы катаболизма

1. Разложение полимеров на мономеры
2. Окисление глюкозы до пирувата (ПВК):
  1. Гликолиз
  2. Пентозофосфатный окислительный путь
  3. КДФГ-путь
3. Дальнейшее окисление пирувата
  1. Брожения
  2. Аэробное дыхание
  3. Анаэробное дыхание

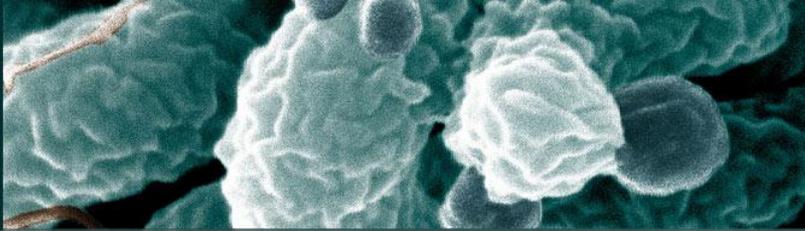


# Анаэробное дыхание

- Конечный акцептор электронов в ЭТЦ НЕ кислород



Фумарат



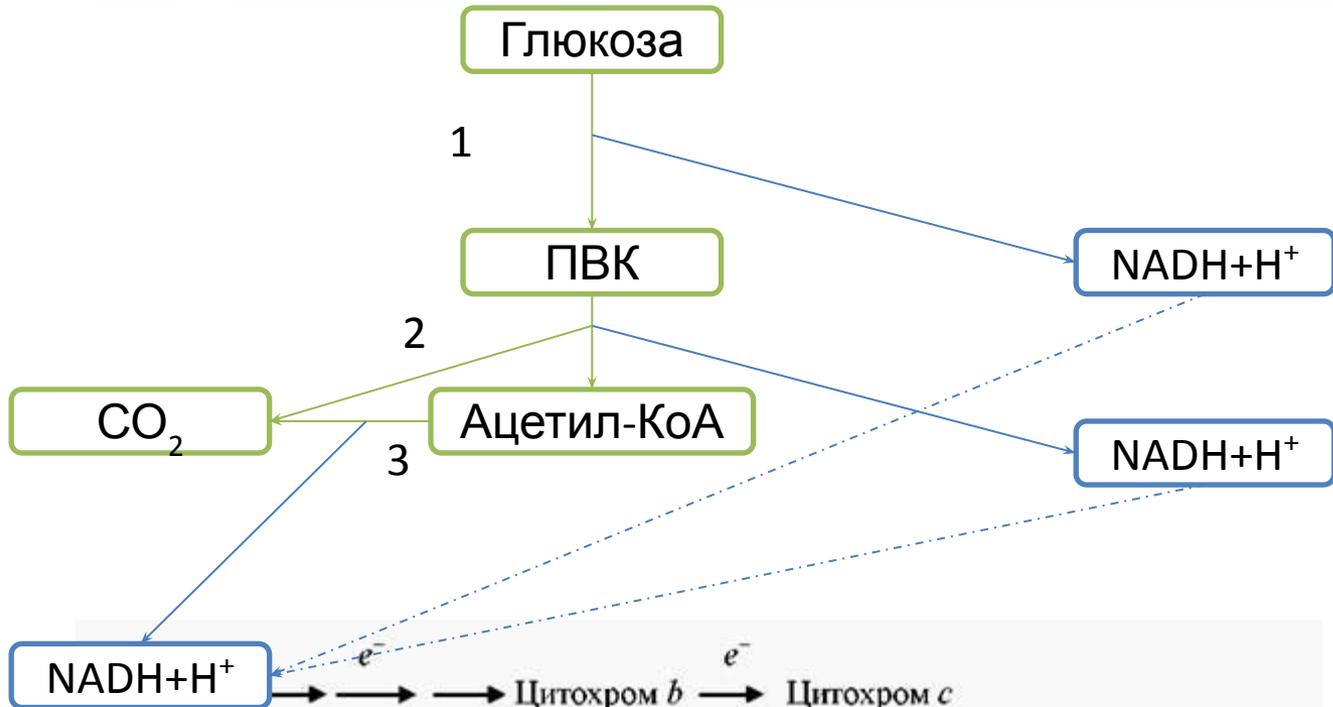
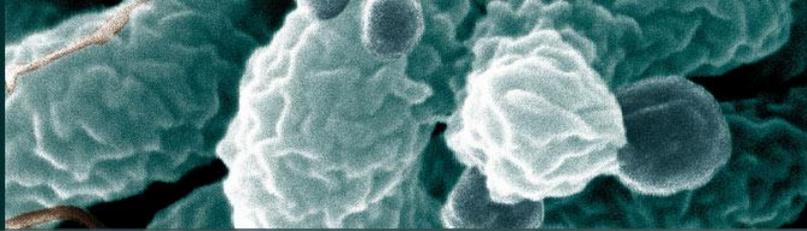
## Нитратное дыхание

Диссимиляционная нитратредукция

Денитрификация

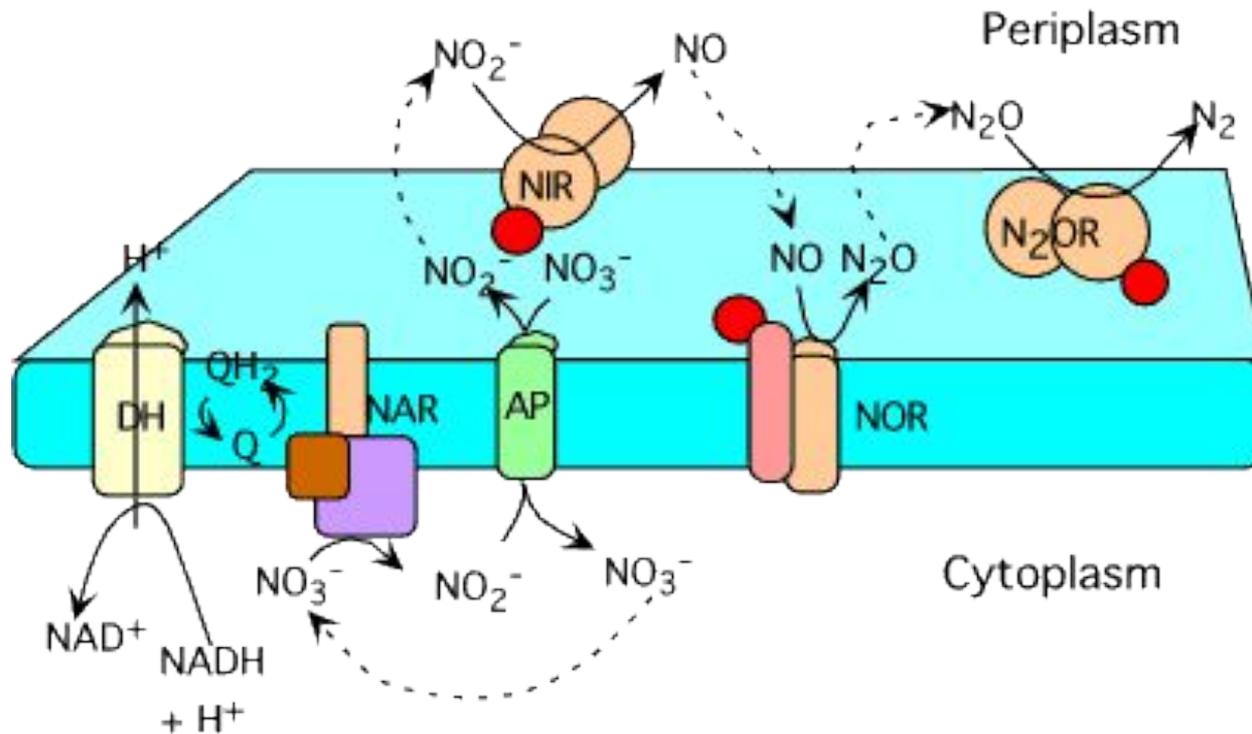
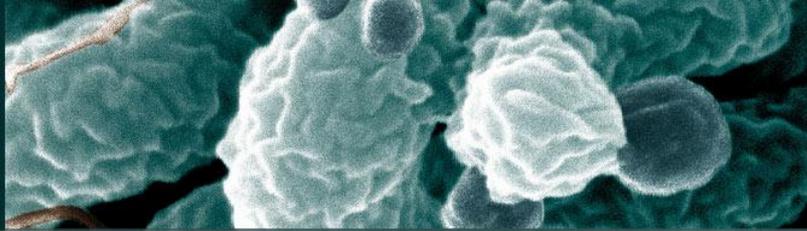
- Конечные акцепторы в ЭТЦ – нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ) или нитриты ( $\text{NO}_2^-$ )
- Результат процесса – газообразные формы азота ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ )
- Процесс проходит в несколько стадий, строго анаэробно
- Огромное значение для цикла азота
- Осуществляется разнородной группой денитрифицирующих бактерий

# Нитратное дыхание



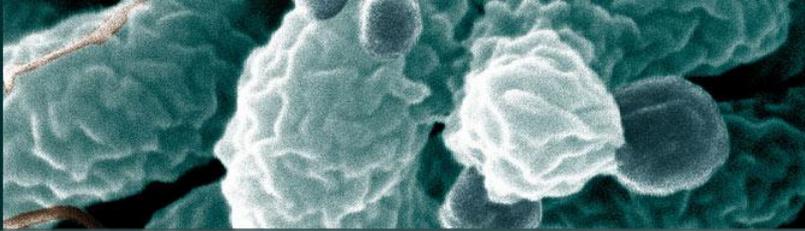
- 1 – гликолиз  
ПФП  
КДФГ-путь
- 2 – окислительное  
декарбоксилирование
- 3 – ЦТК





ЭТЦ содержит лишь два генератора  $\delta\mu H^+$ , в отличие от аэробной ЭТЦ с тремя.

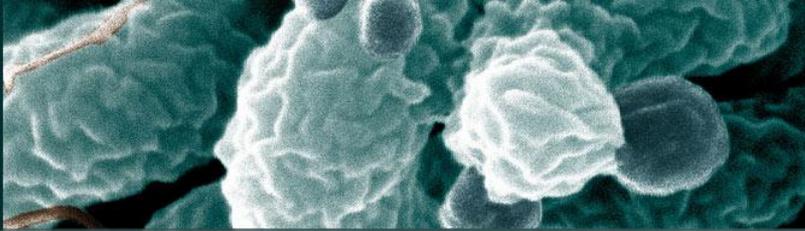
Поэтому энергетический выход составляет 70% по сравнению с аэробным дыханием



## Денитрифицирующие бактерии

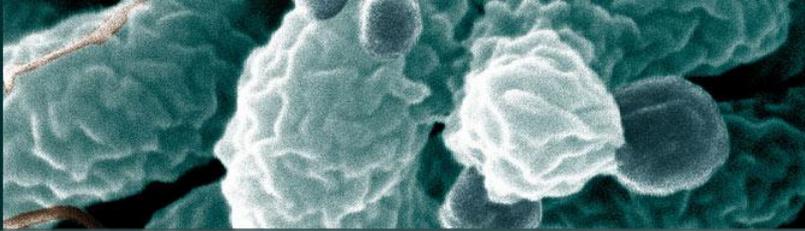
- Представители семейства *Enterobacteriaceae*, родов *Pseudomonas*, *Bacillus* и т. д.
- Факультативные/облигатные анаэробы
- Обитатели пресных и морских водоемов, почв
- Служат источником атмосферного азота

Отрицательно влияют на почвы, так как уменьшают концентрацию нитратов в ней, что может привести к азотному голоданию

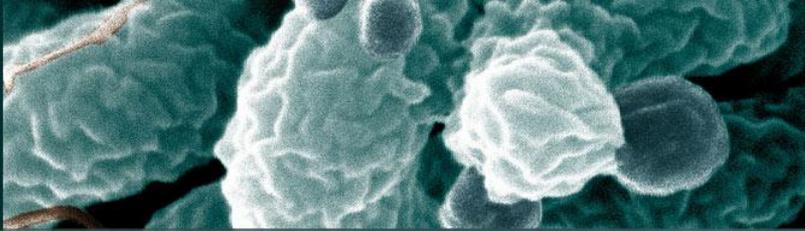


## Ассимиляционная нитратредукция

- Осуществляется и прокариотами, и эукариотами
- Как в аэробных, так и в анаэробных условиях
- Нитраты также превращаются в нитриты
- Нитриты переходят в форму иона аммония, который идет на синтез аминокислот



Признак	Ассимиляционная нитратредукция	Диссимиляционная нитратредукция
Локализация в клетке	в цитоплазме	в мембранах
Отношение к энергетическому метаболизму	не связана с получением клеточной энергии	связана с синтезом АТФ
Отношение к $O_2$	нечувствительна к $O_2$	$O_2$ ингибирует активность и репрессировывает синтез $NO_5^-$ -и $NO_2^-$ -редуктаз
Отношение к $NH_3$	репрессировывает синтез ферментов	не влияет
Судьба конечного продукта	входит в состав азотсодержащих клеточных компонентов	выделяется из клетки



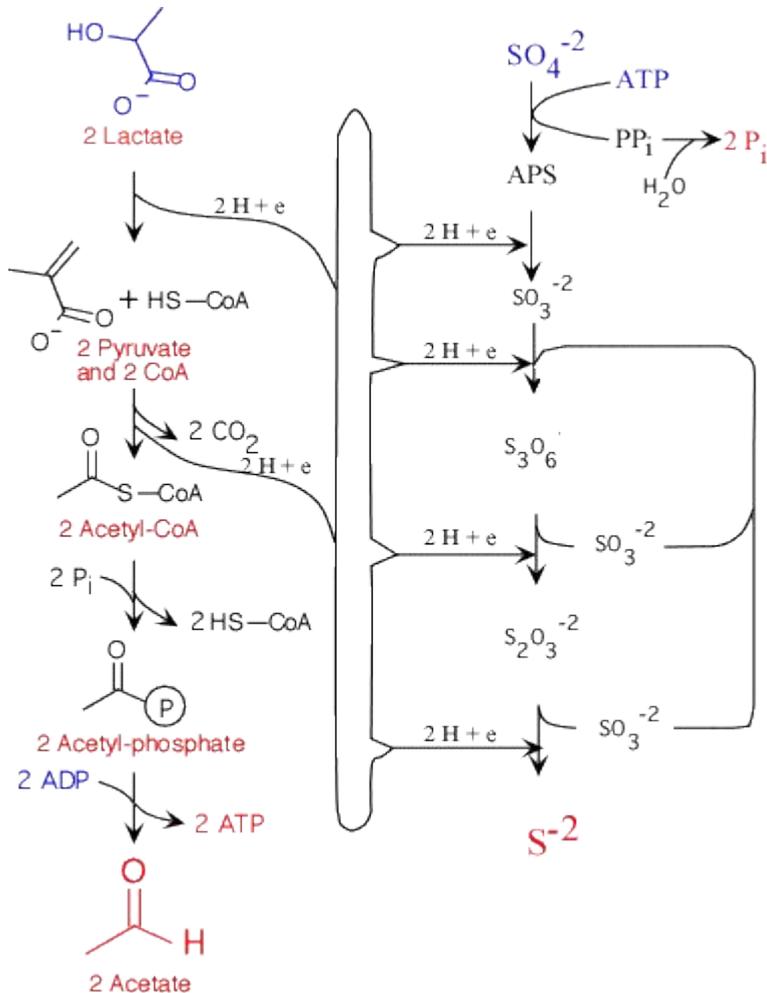
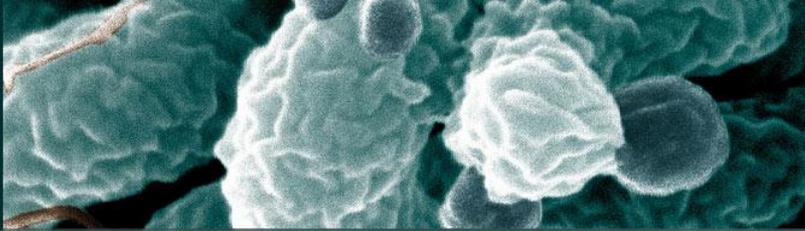
## Сульфатное дыхание

- Донор  $e^-$  – формиат, ацетат, лактат, этанол, ВЖК
- Конечный акцептор  $e^-$  – сульфат ( $SO_4^{2-}$ )
- Результат процесса –  $H_2S$

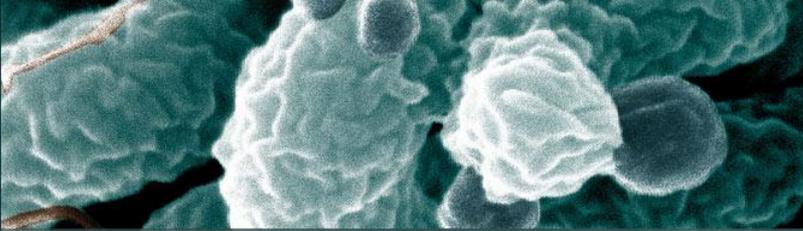


Процесс проходит в три этапа:

- отрыв электрона от субстрата (молекулярный водород, пируват, ВЖК, этанол, лактат)
- перенос электронов по дыхательной цепи (переносчики – Fe-S-белки, хиноны, цитохромы b c)

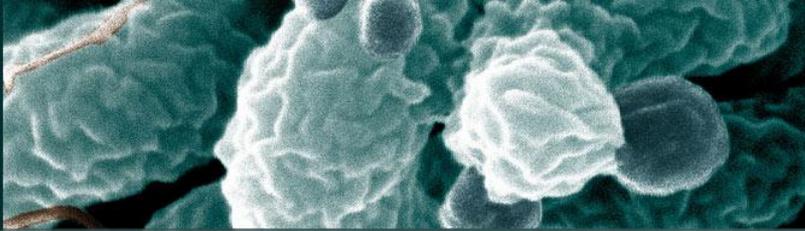


- Могут полностью окислять субстрат до  $\text{CO}_2$  и воды
- А могут окислить субстраты лишь до ацетата



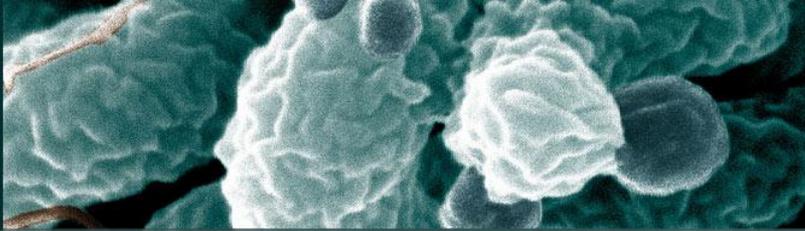
## Сульфатредукторы

- Анаэробы
- Разнородная в таксономическом смысле группа
- Обитатели донных отложений
- Одна группа – хемоОРГАНОтрофы – источники энергии
  - брожение или окисление органических субстратов в процессе сульфатного дыхания
- Другая группа – хемоЛИТОтрофы – источник энергии - анаэробное окисление  $H_2$  с акцептированием электронов на  $SO_4^-$  в сочетании с конструктивным метаболизмом



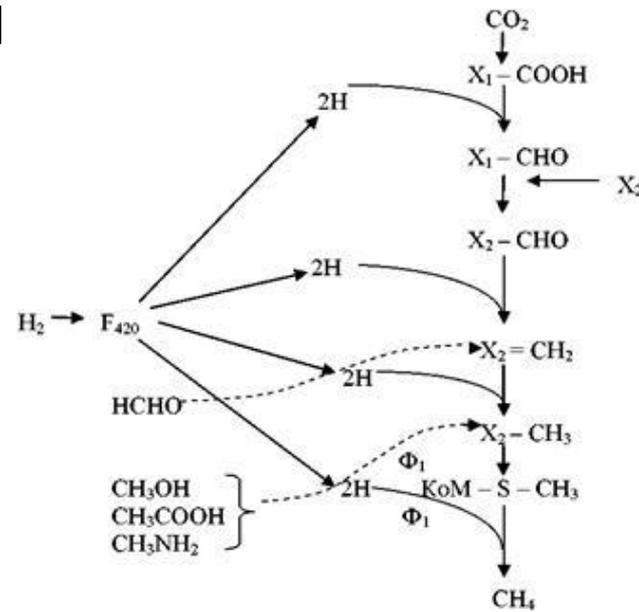
## Ассимиляционная сульфатредукция

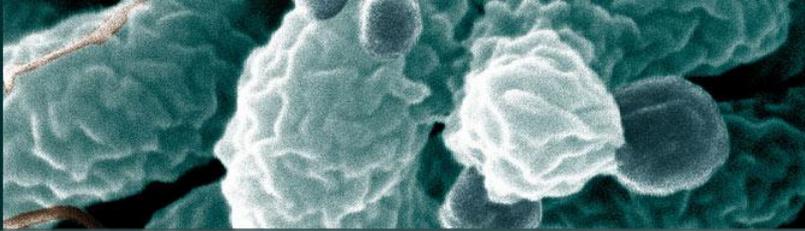
- Осуществляется и бактериями, и некоторыми эукариотами
- Суть не в извлечении энергии, а в получении сульфид-иона и использовании его в конструктивном метаболизме
- Встраивание в серусодержащие АК и белки



## Карбонатное дыхание

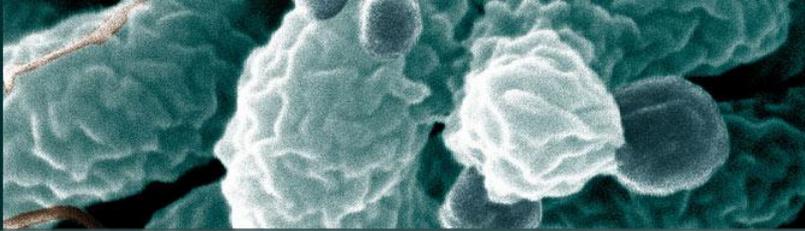
- Конечный акцептор электронов – CO
- Результат процесса – метан, осуществляют этот процесс археи-метаногены
- Фиксация CO<sub>2</sub> происходит в нескольких циклах, вариаций очень





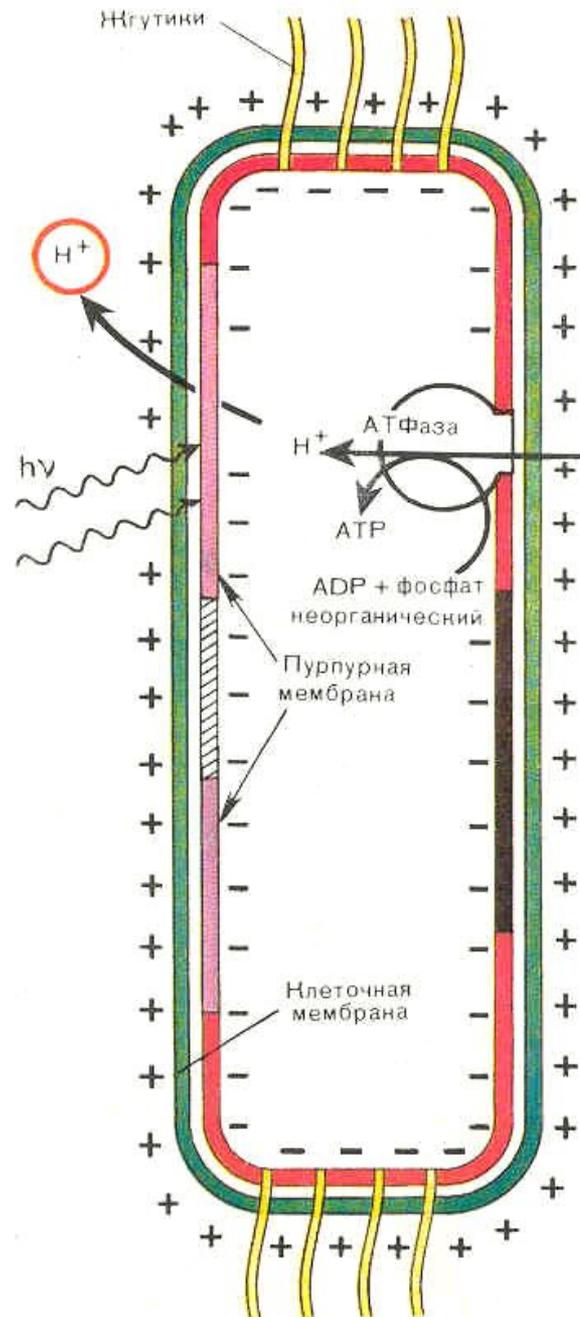
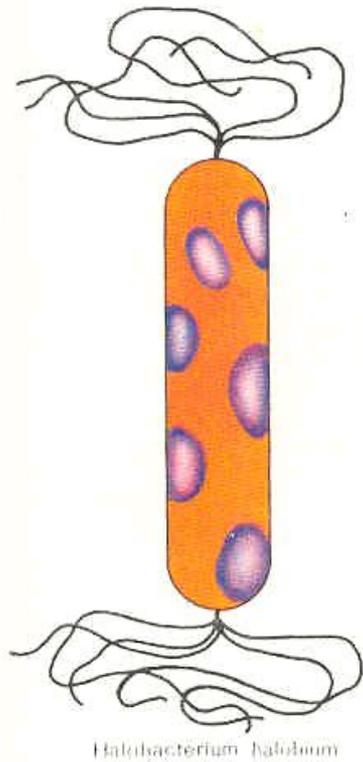
## Фотосинтез

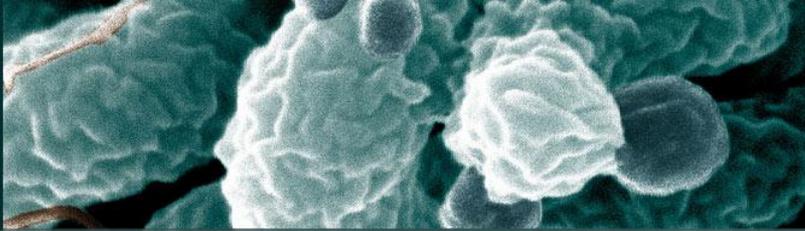
- Использование энергии, заключенной в квантах света для синтеза АТФ
- Подразделяется на темновую и световую стадии
  
- Свет
- Антенны в виде систем пигментов
- Источник электронов и протонов
- Система мембран с переносчиками
- Ферменты темновой стадии



## Бесхлорофильный фотосинтез

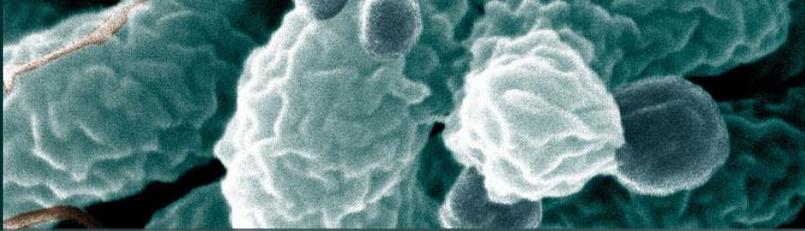
- Наипростейший вариант фотосинтеза
- Отсутствие электронтранспортной цепи
- Два фермента – светозависимая протонная помпа и АТФ-синтаза
- **Галоархеи** – уникальнейшие археи, умеющие существовать в среде с концентрацией соли до 30%





## Аноксигенный фотосинтез

- Тип фотосинтеза, при котором источником электронов и протонов выступает НЕ вода, а  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ , органика
- Отсутствует выделение кислорода
- Осуществляется **пурпурными, зелеными** бактериями, а также **гелиобактериями**
- ТОЛЬКО ОДНА фотосистема, поток  $e^-$  циклический
- В качестве пигментов выступают различные бактериохлорофиллы с длинами волн 830-890



## Оксигенный фотосинтез

- Осуществляется цианобактериями и всеми эукариотическими растениями
- Антенны включают в себя хлорофилл
- Вода – источник электронов и протонов
- Две фотосистемы
- ЭТЦ располагается на мембранах тилакоидов

