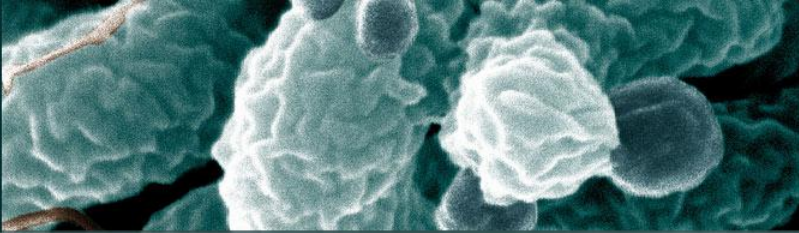


A scanning electron micrograph (SEM) showing a dense cluster of rod-shaped bacteria. The bacteria have a textured, somewhat wrinkled surface. Some bacteria are connected by thin, brownish filaments. There are also several spherical structures, possibly spores or other microbial components, scattered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

Микробиология

bacteria

Метаболизм
микроорганизмов

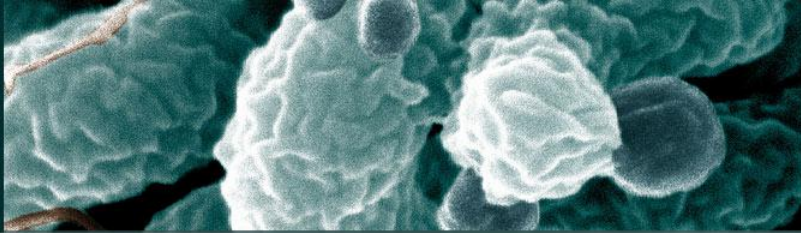


Метаболизм

- 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

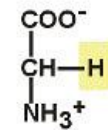
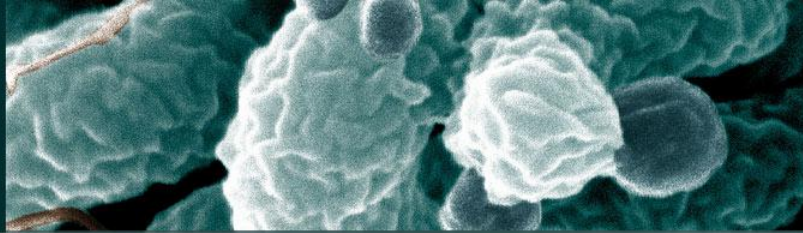
- Моносахариды
- Дисахариды
- Олигосахариды
- Полисахариды

Липиды

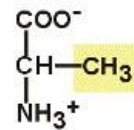
- Простые
- Сложные

Нуклеотиды

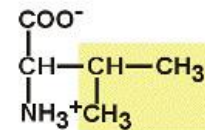
Мононуклеотиды
Олигонуклеотиды
Полинуклеотиды



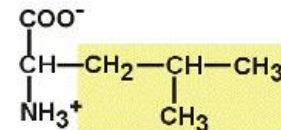
Глицин



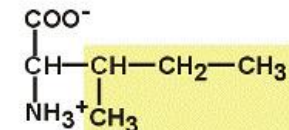
Аланин



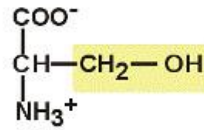
Валин



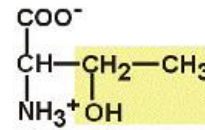
Лейцин



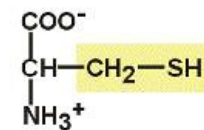
Изолейцин



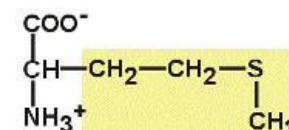
Серин



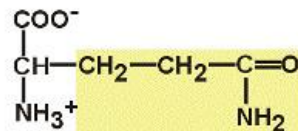
Треонин



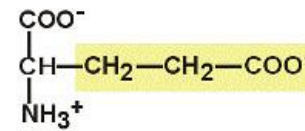
Цистеин



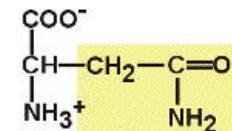
Метионин



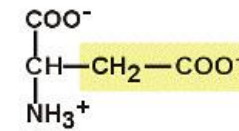
Глутамин



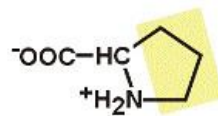
Глутаминовая кислота



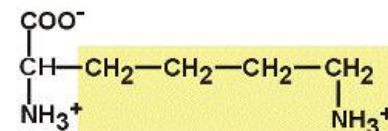
Аспарагин



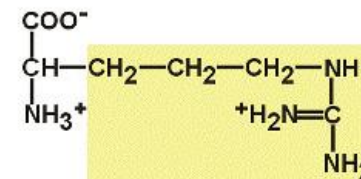
Аспарагиновая кислота



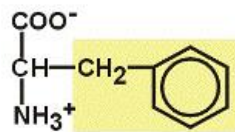
Пролин



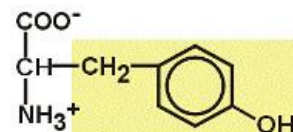
Лизин



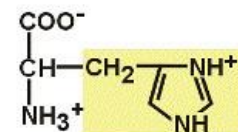
Аргинин



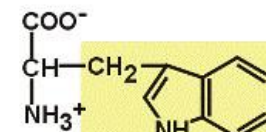
Фенилаланин



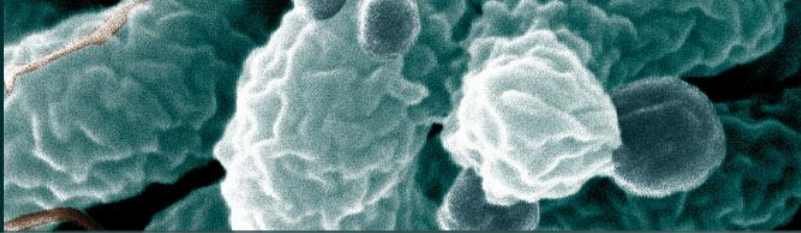
Тирозин



Гистидин

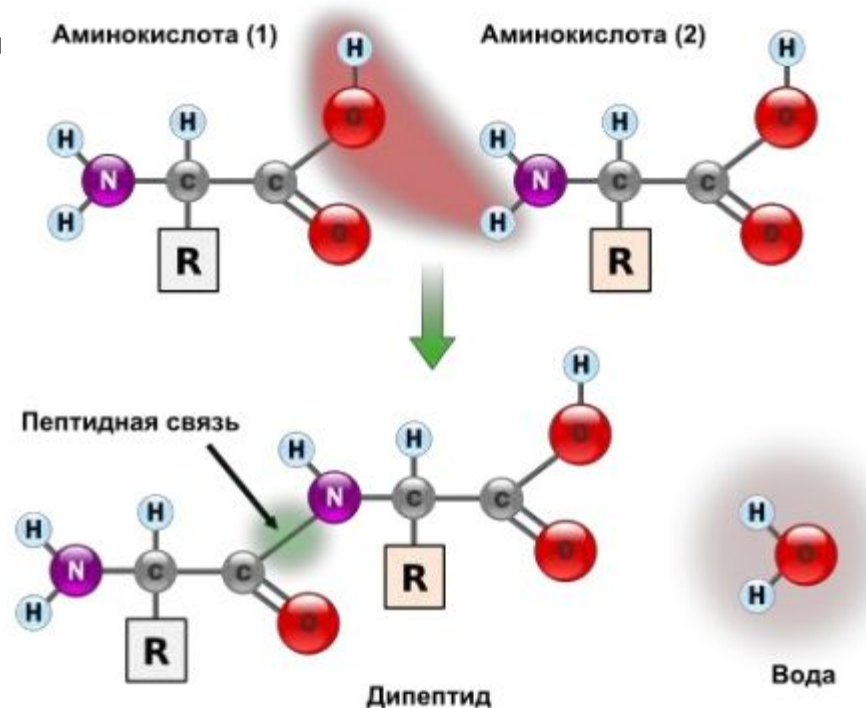


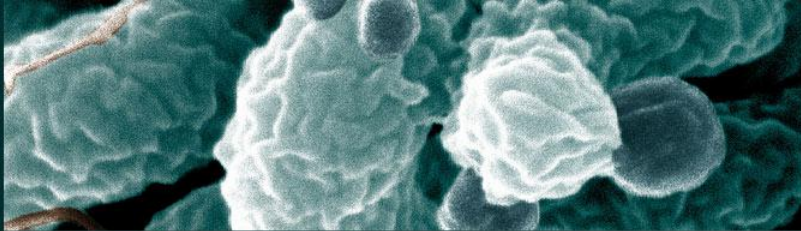
Триптофан



Пептидная связь

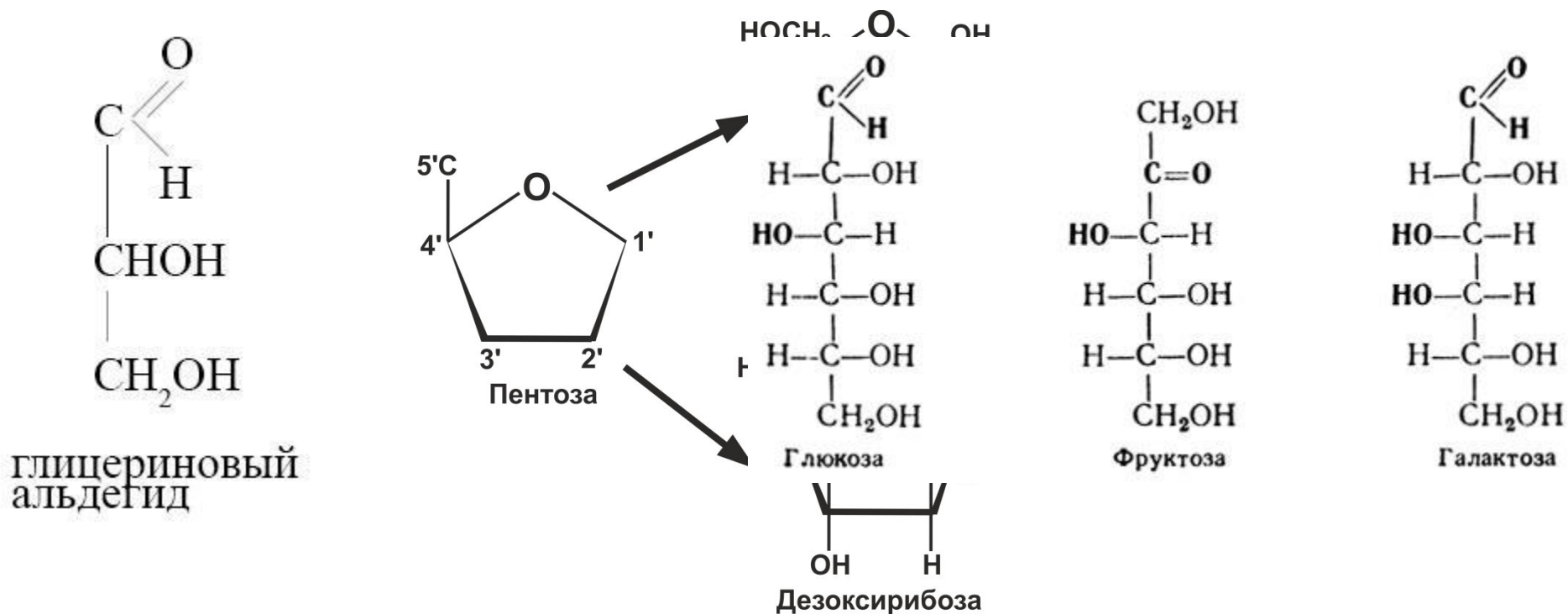
- Связь между аминогруппой одной АК и карбоксильной группой другой АК
- Образуется на рибосомах в процессе трансляции

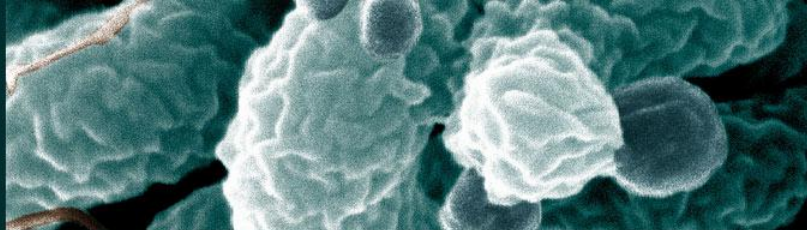




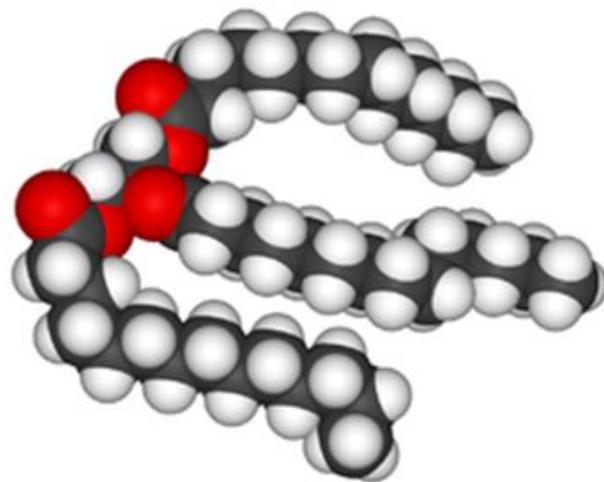
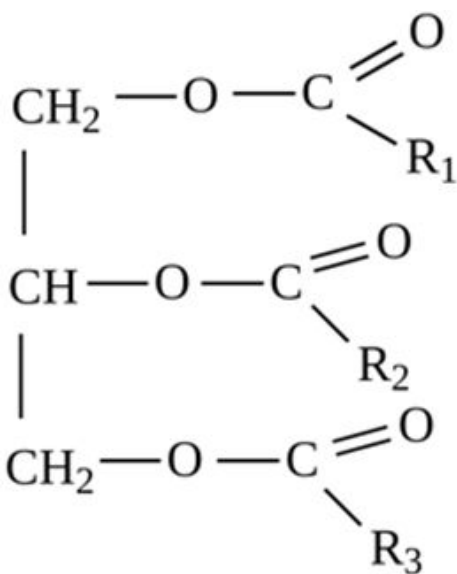
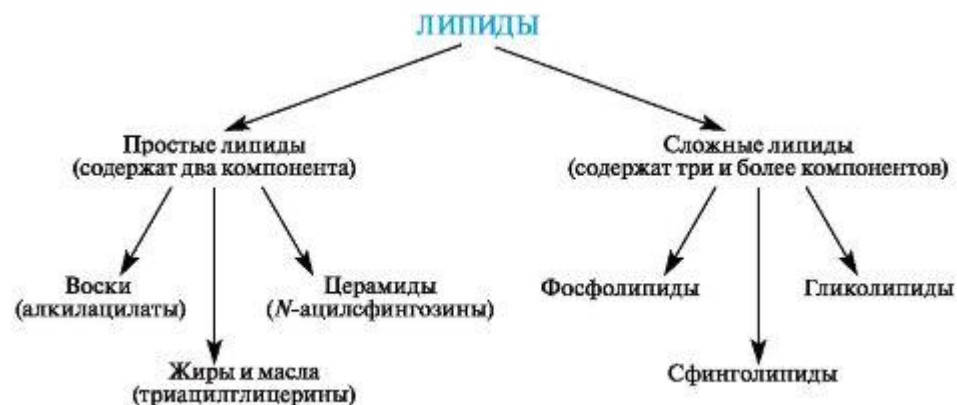
Углеводы

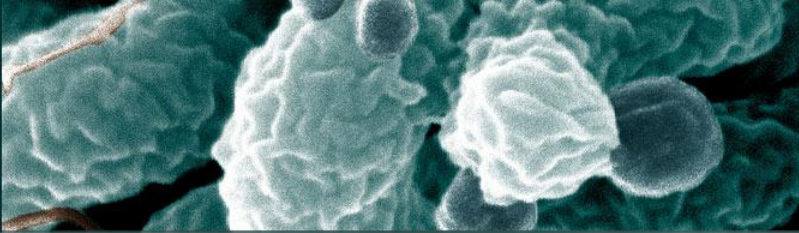
- Моносахариды – триозы, пентозы гексозы





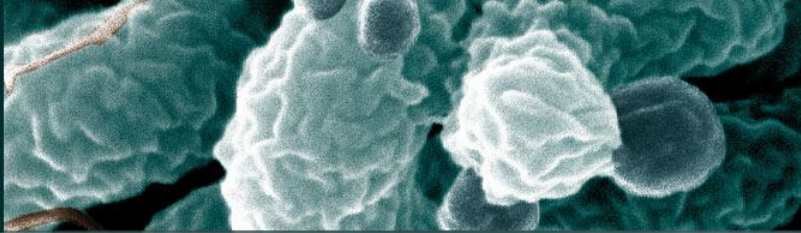
Липиды



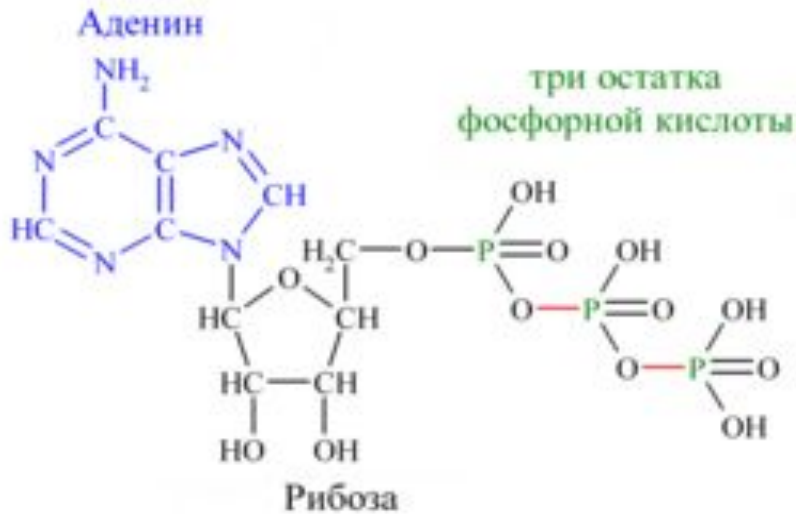


Нуклеотиды

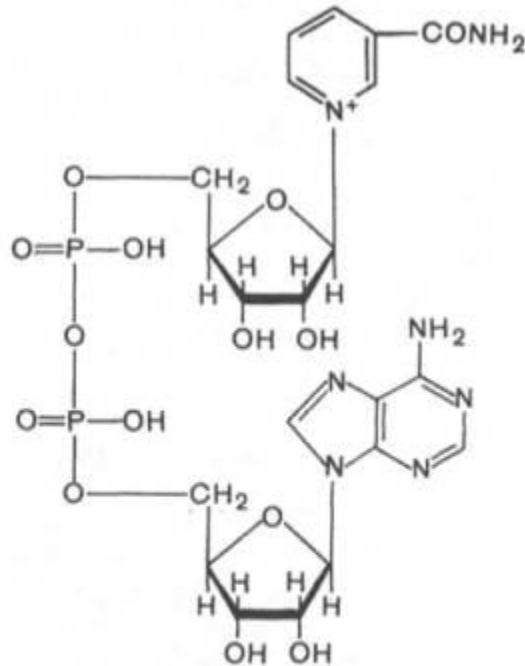
- Азотистые основания – пуриновые и пиримидиновые – гетероциклические молекулы
- Азотистое основание + пентоза = нуклеозИД
- Азотистое основание + пентоза + фосфатная группа = нуклеоТИД



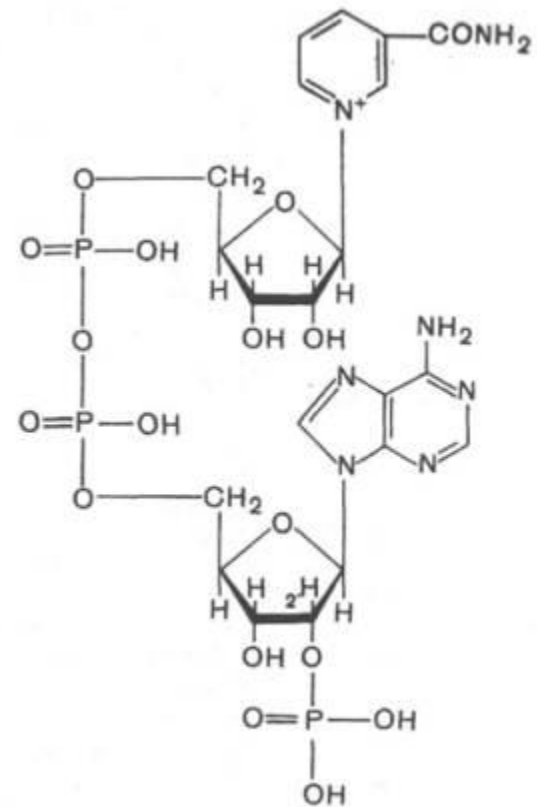
Нуклеотиды



Мононуклеотид - АТФ

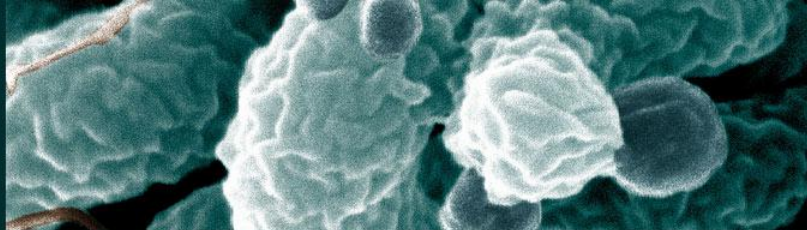


Никотинамидадениндинуклеотид (НАД⁺)

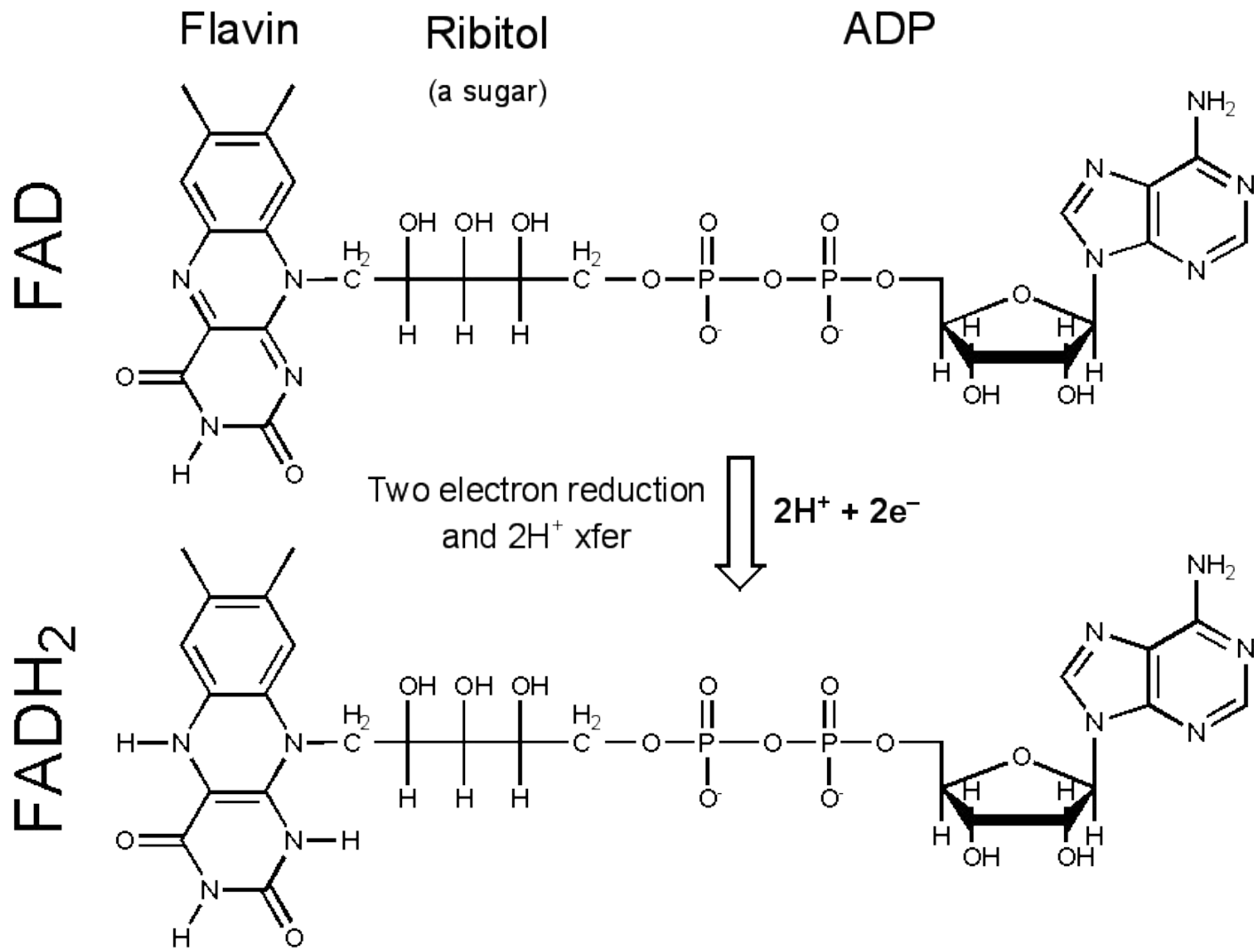


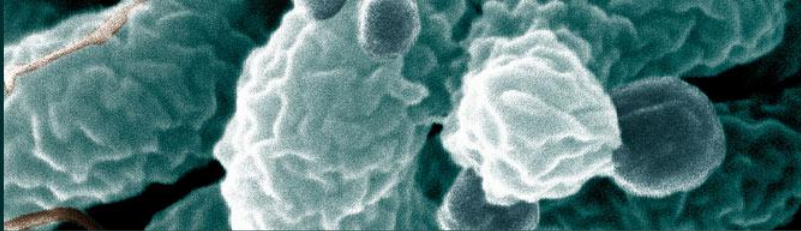
Никотинамидадениндинуклеотид-фосфат (НАДФ⁺)

Динуклеотид - НАД



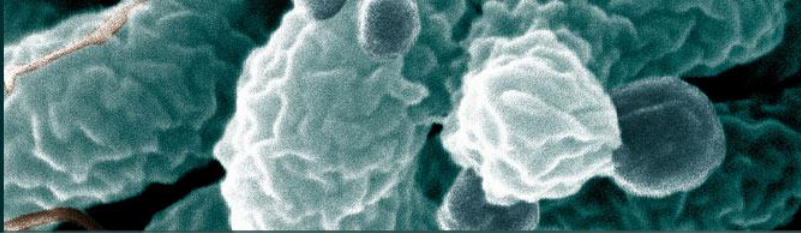
Нуклеотиды





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 ₂	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

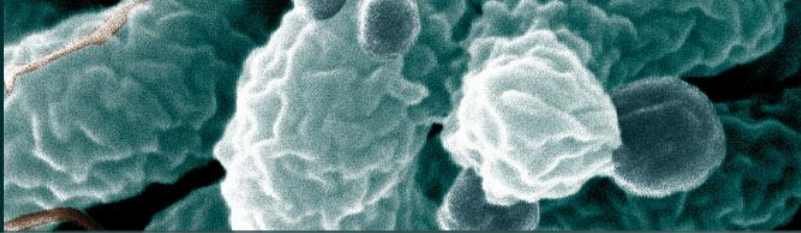
Электронно-транспортная цепь

$ADP + P_i$

H^+

АТФ

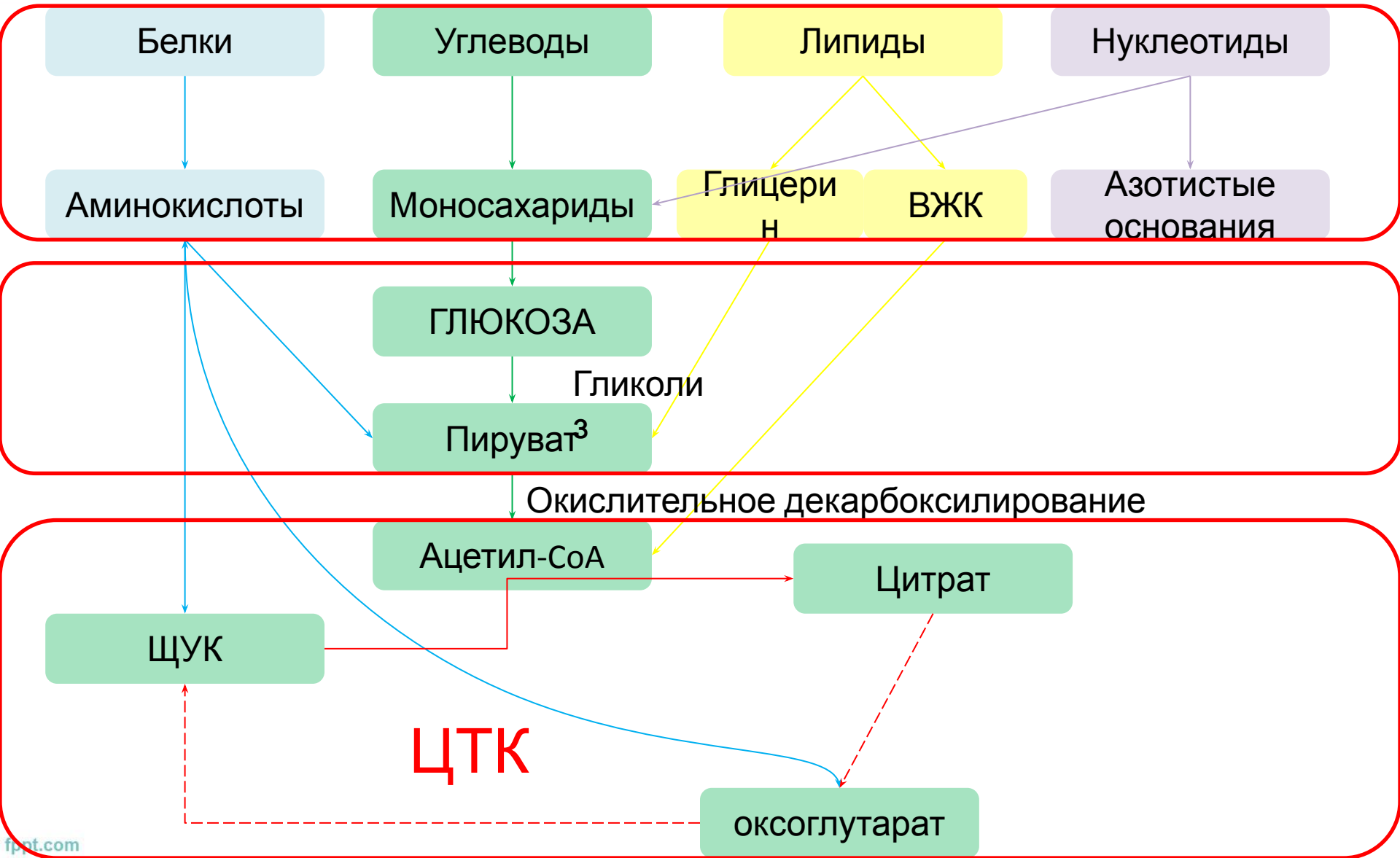
Низкая концентрация H^+

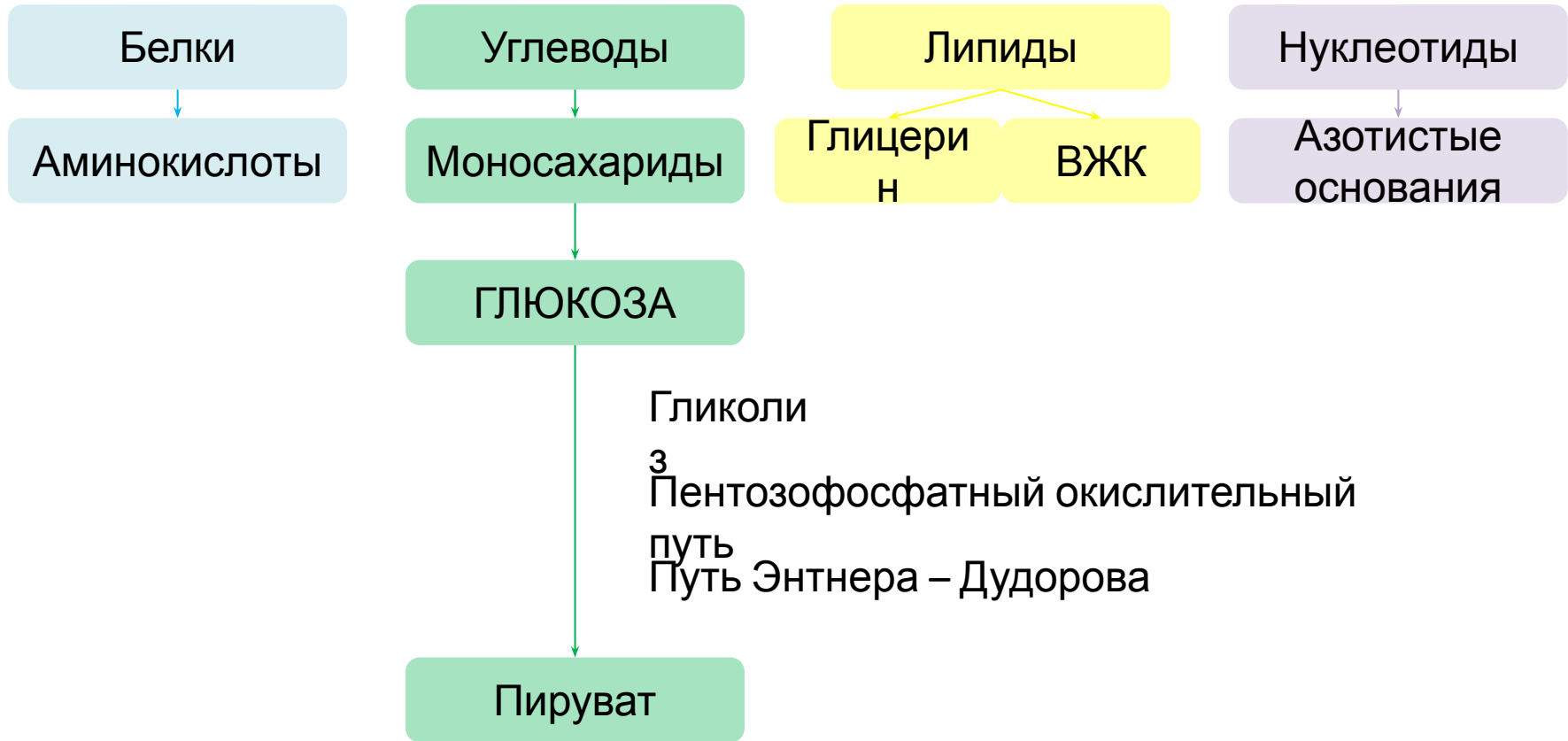
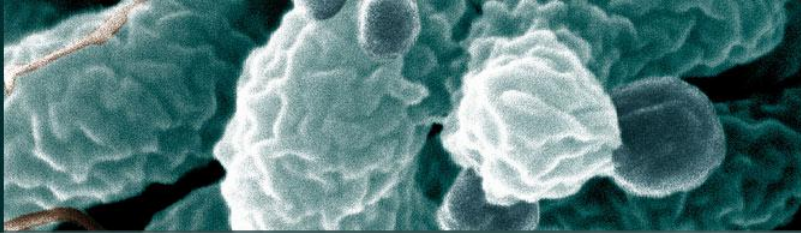


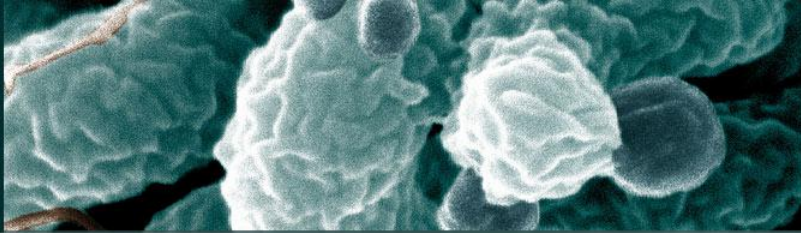
Основные этапы катаболизма

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



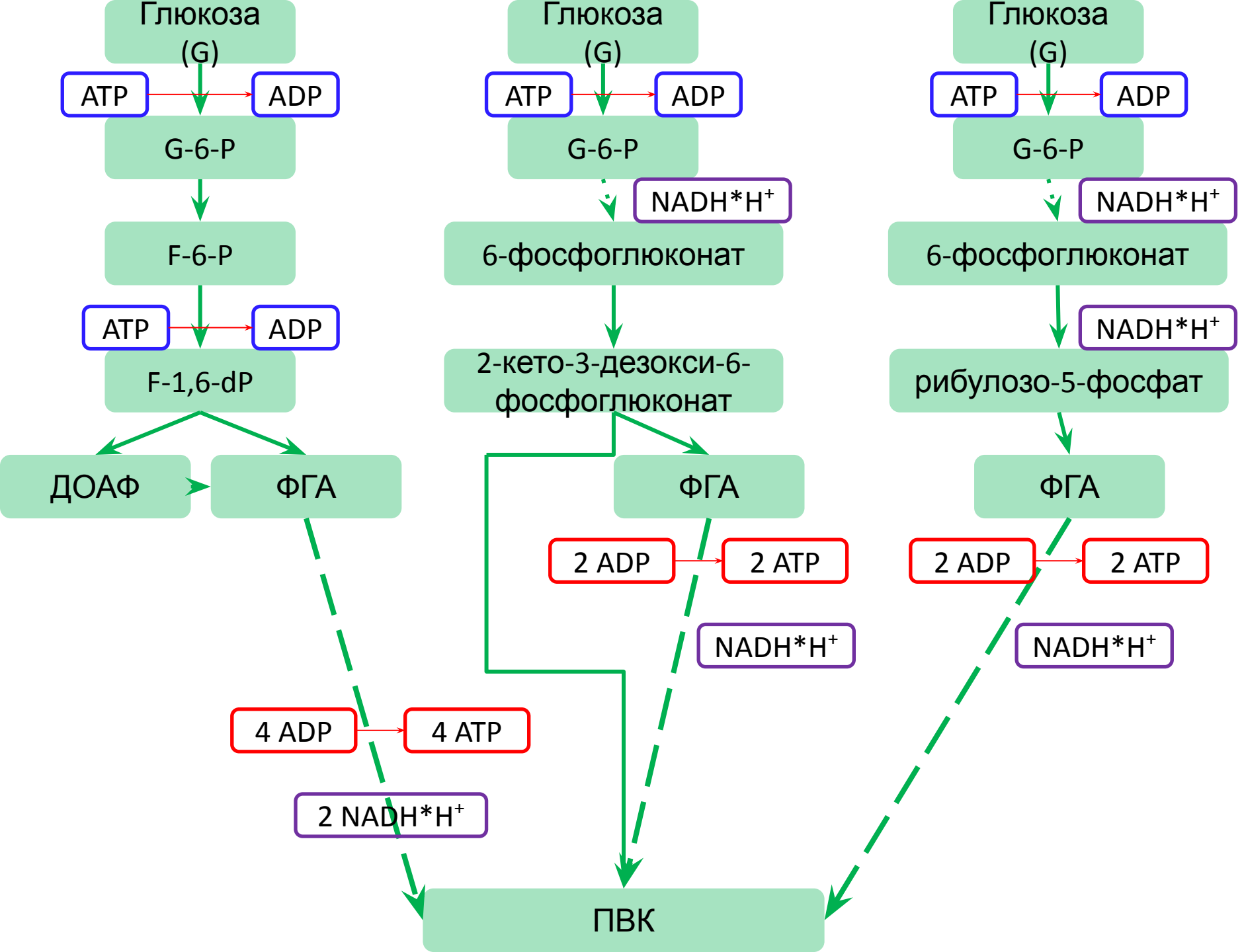




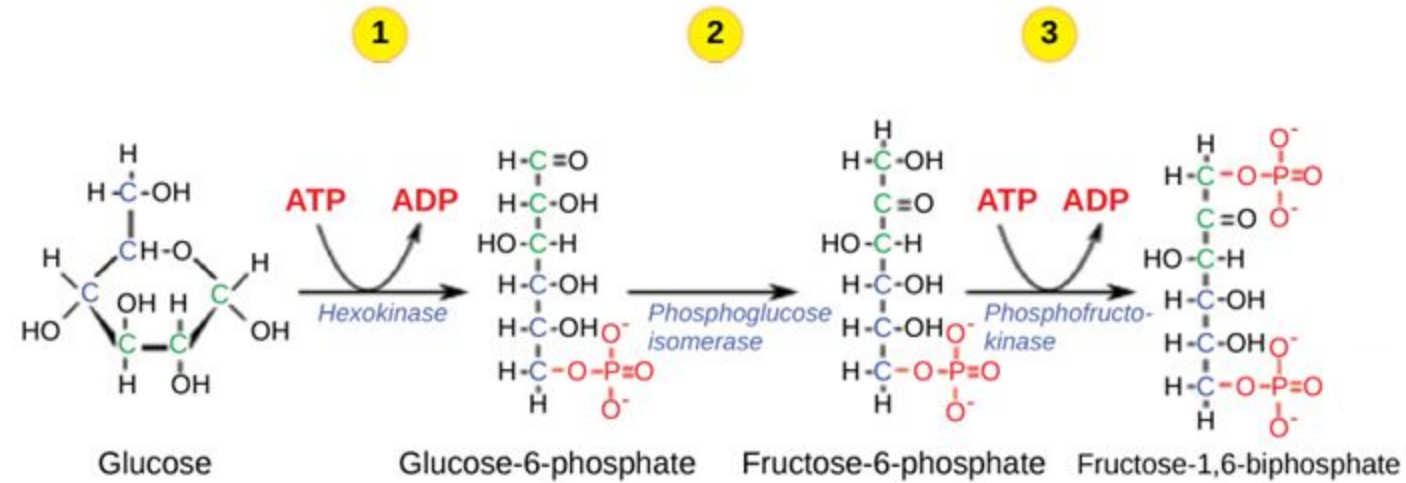
Катаболизм

Три пути ассимиляции глюкозы:

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

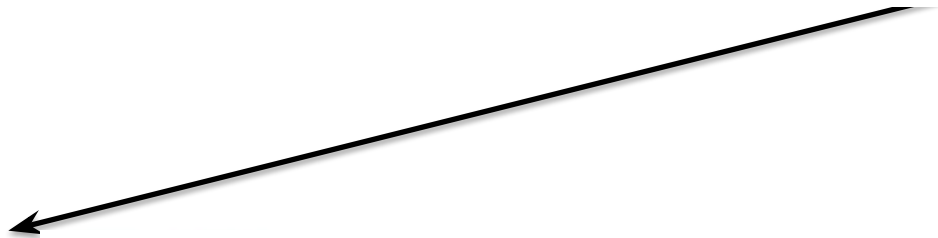
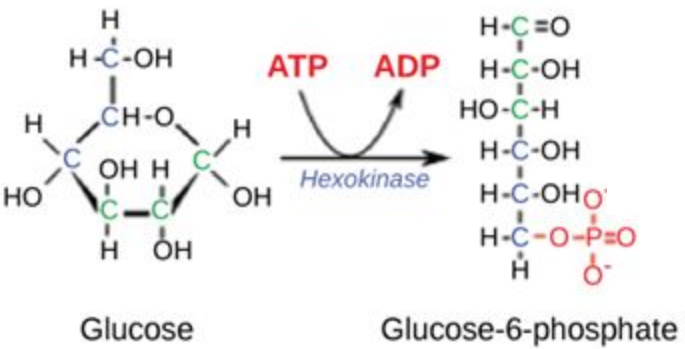


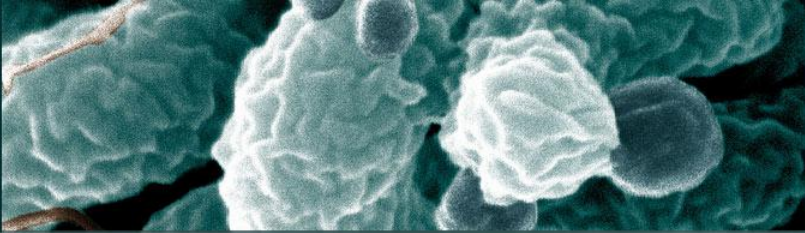
Гликолиз



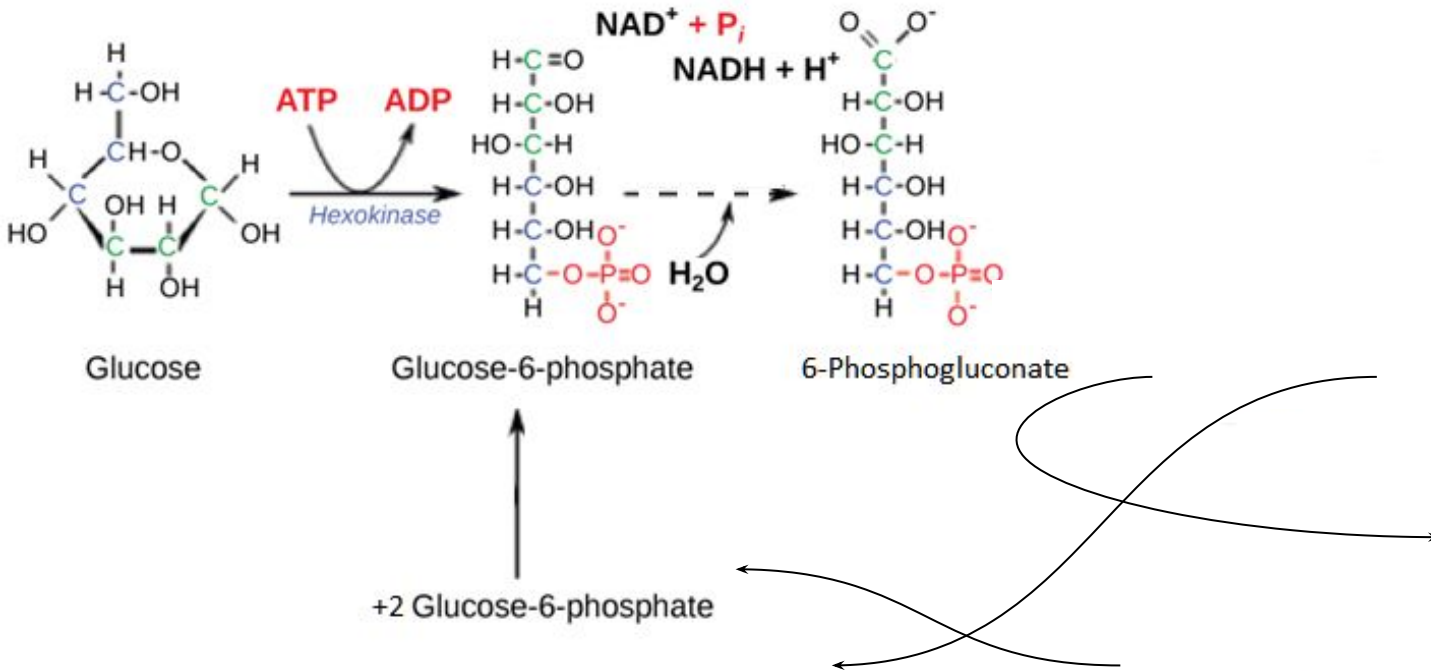
КДФГ-путь

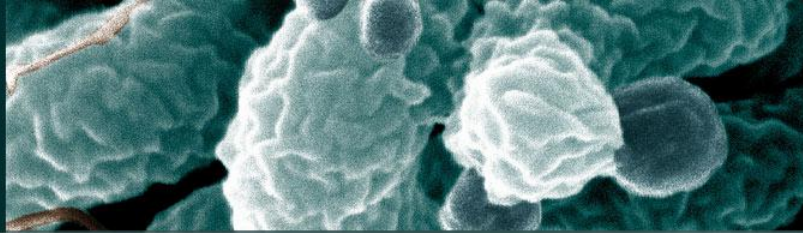
1





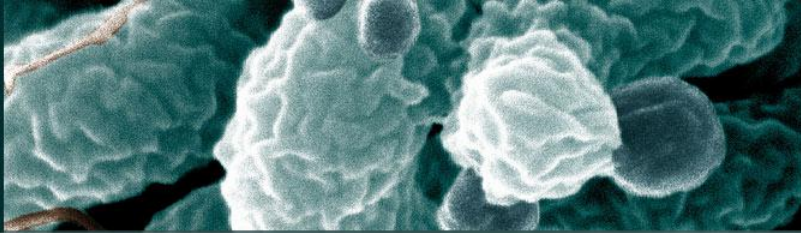
ΠΦΠ





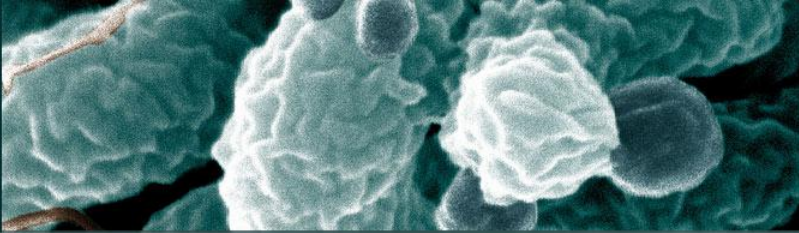
Сравнение путей окисления глюкозы

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



Основные этапы катаболизма

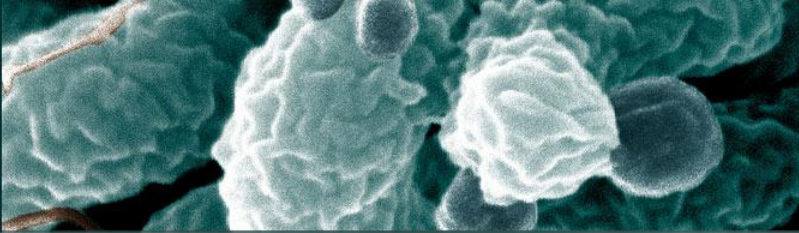
1. Разложение полимеров на мономеры
2. Окисление глюкозы до пирувата (ПВК):
 1. Гликолиз
 2. Пентозофосфатный окислительный путь
 3. КДФГ-путь
3. Дальнейшее окисление пирувата
 1. Брожения
 2. Аэробное дыхание
 3. Анаэробное дыхание



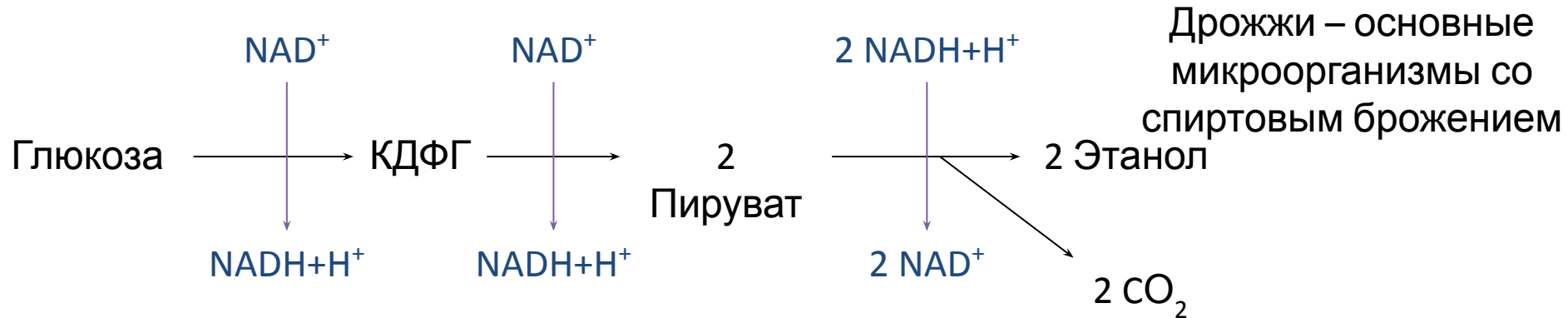
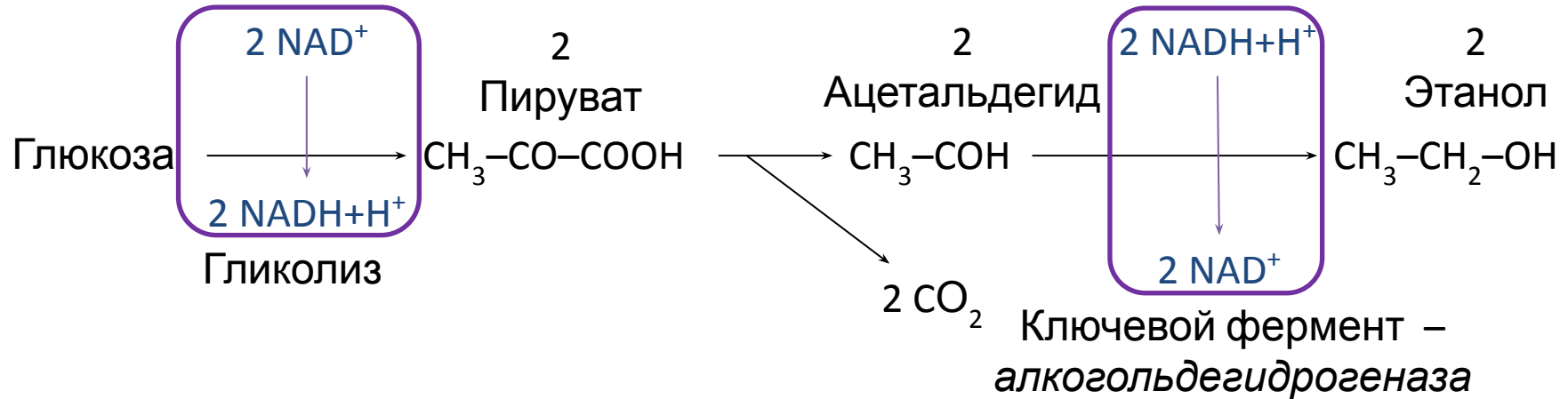
Брожения

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)

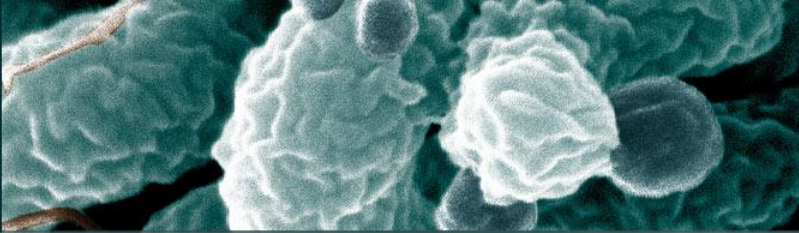


Спиртовое брожение



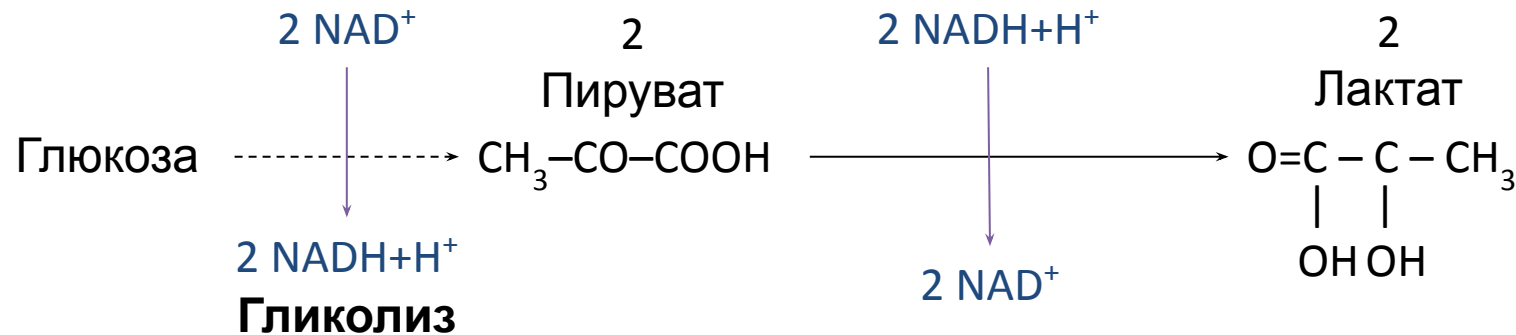
Спиртовое брожение бактерий *Zygotomonas mobilis* идет после образования пирувата в КДФГ-пути

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



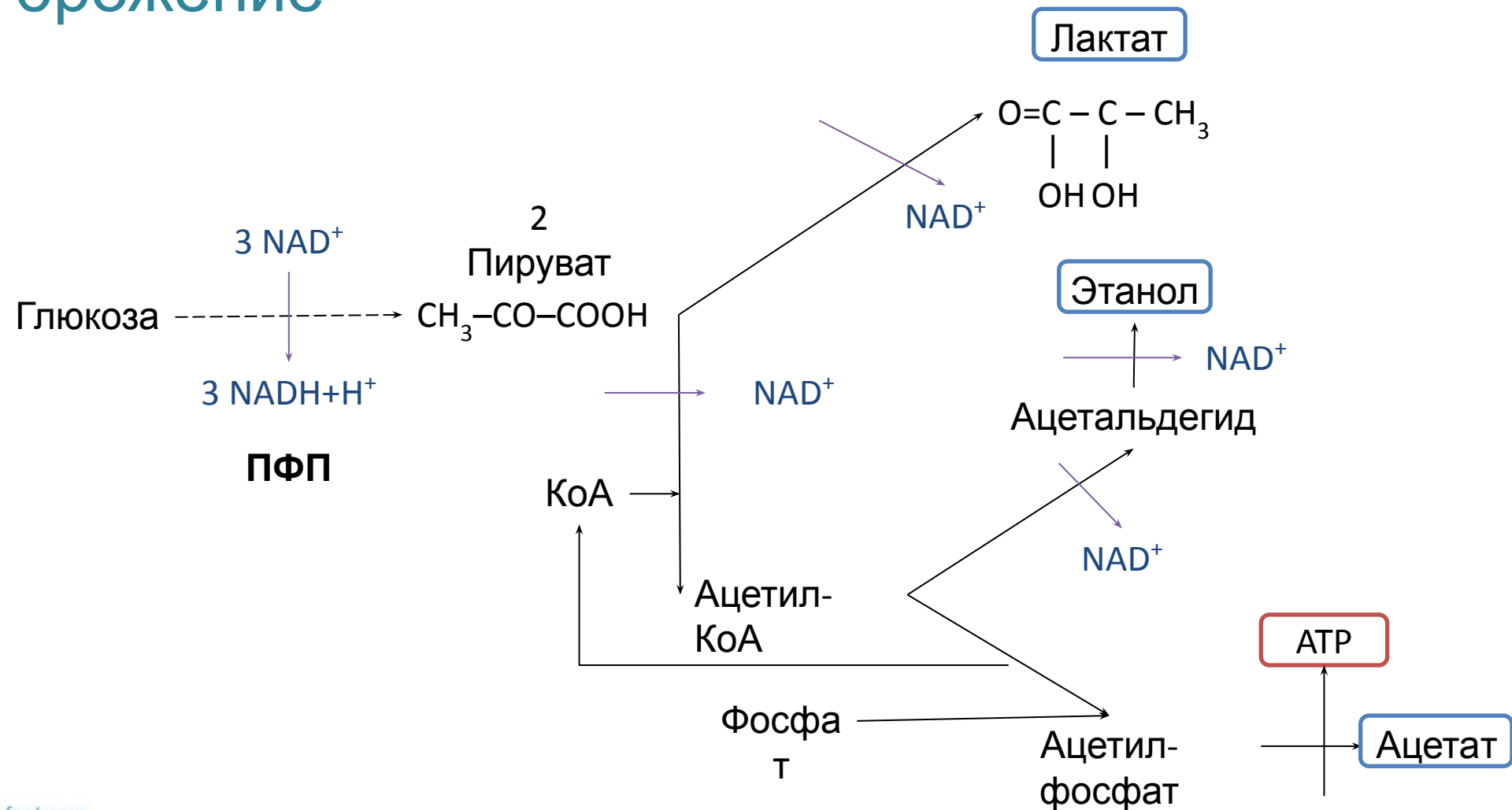
Молочнокислое брожение

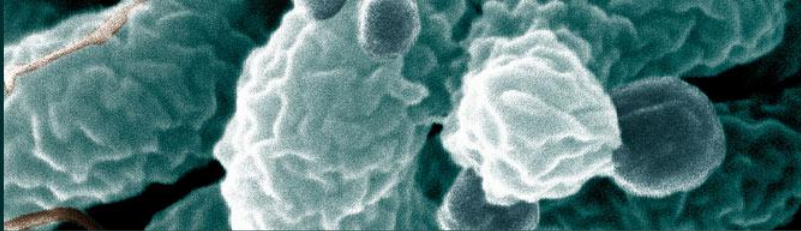
Гомоферментативное молочнокислое брожение



Молочнокислое брожение

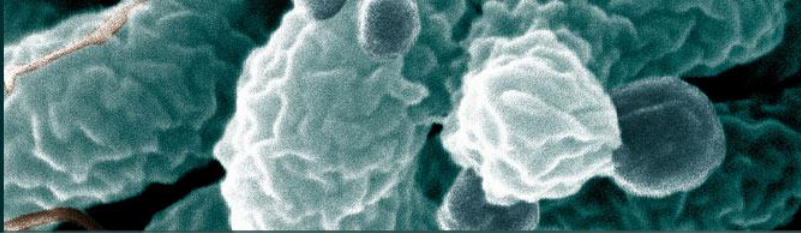
Гетероферментативное молочнокислое брожение





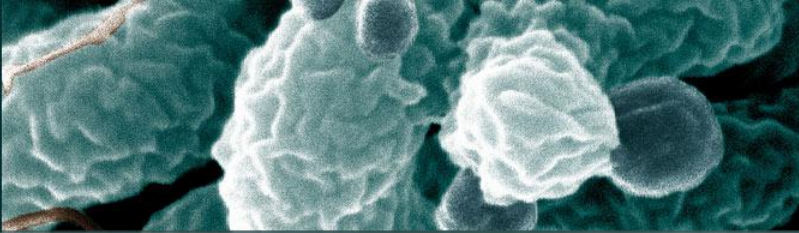
Домашняя работа

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



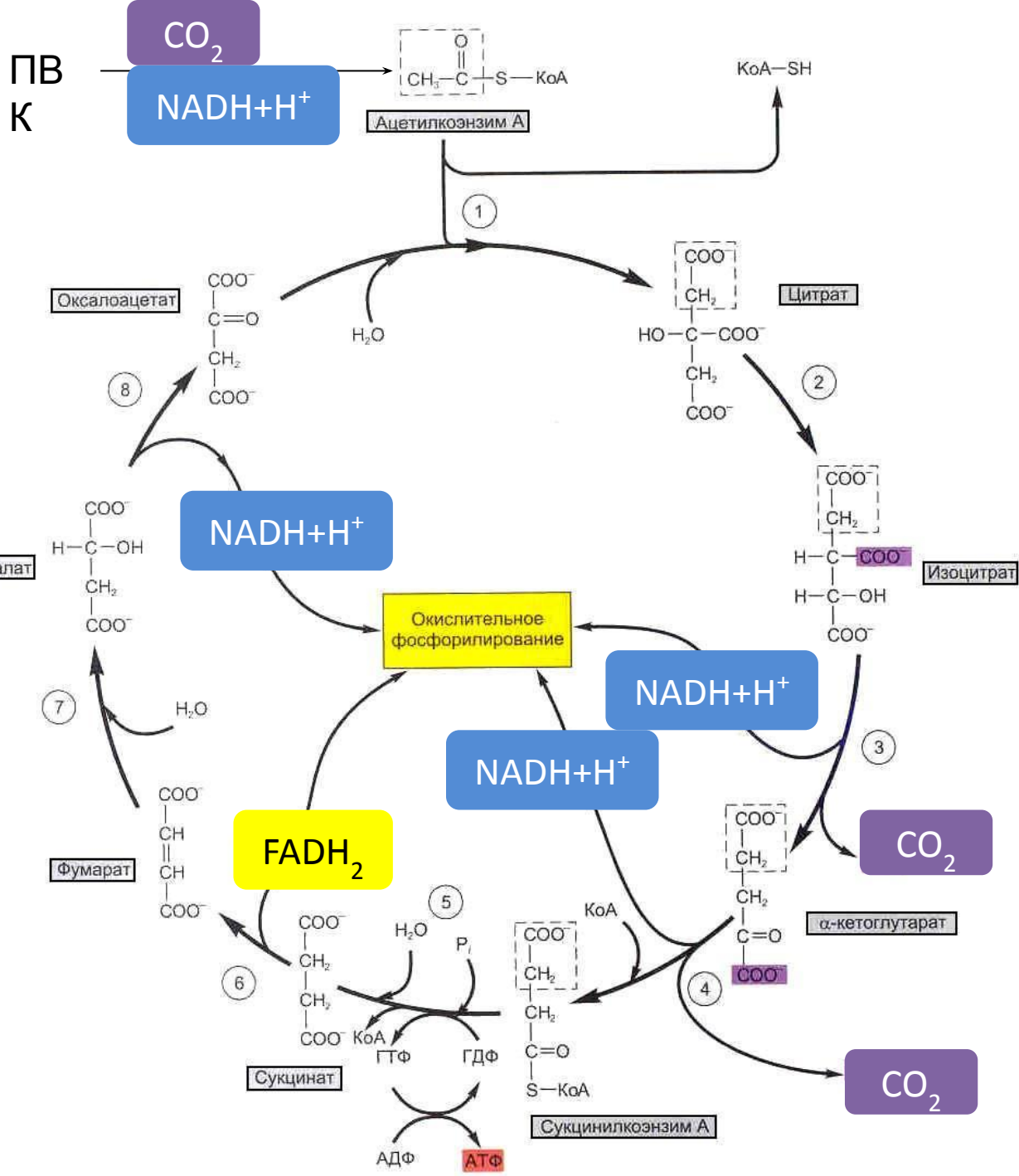
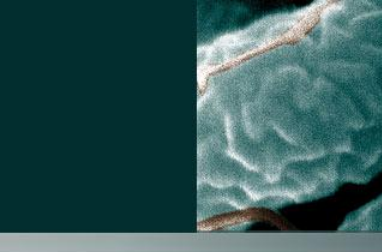
Основные этапы катаболизма

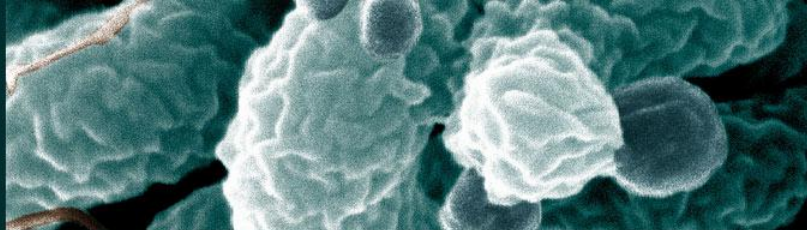
1. Разложение полимеров на мономеры
2. Окисление глюкозы до пирувата (ПВК):
 1. Гликолиз
 2. Пентозофосфатный окислительный путь
 3. КДФГ-путь
3. Дальнейшее окисление пирувата
 1. Брожения
 2. **Аэробное дыхание**
 3. Анаэробное дыхание



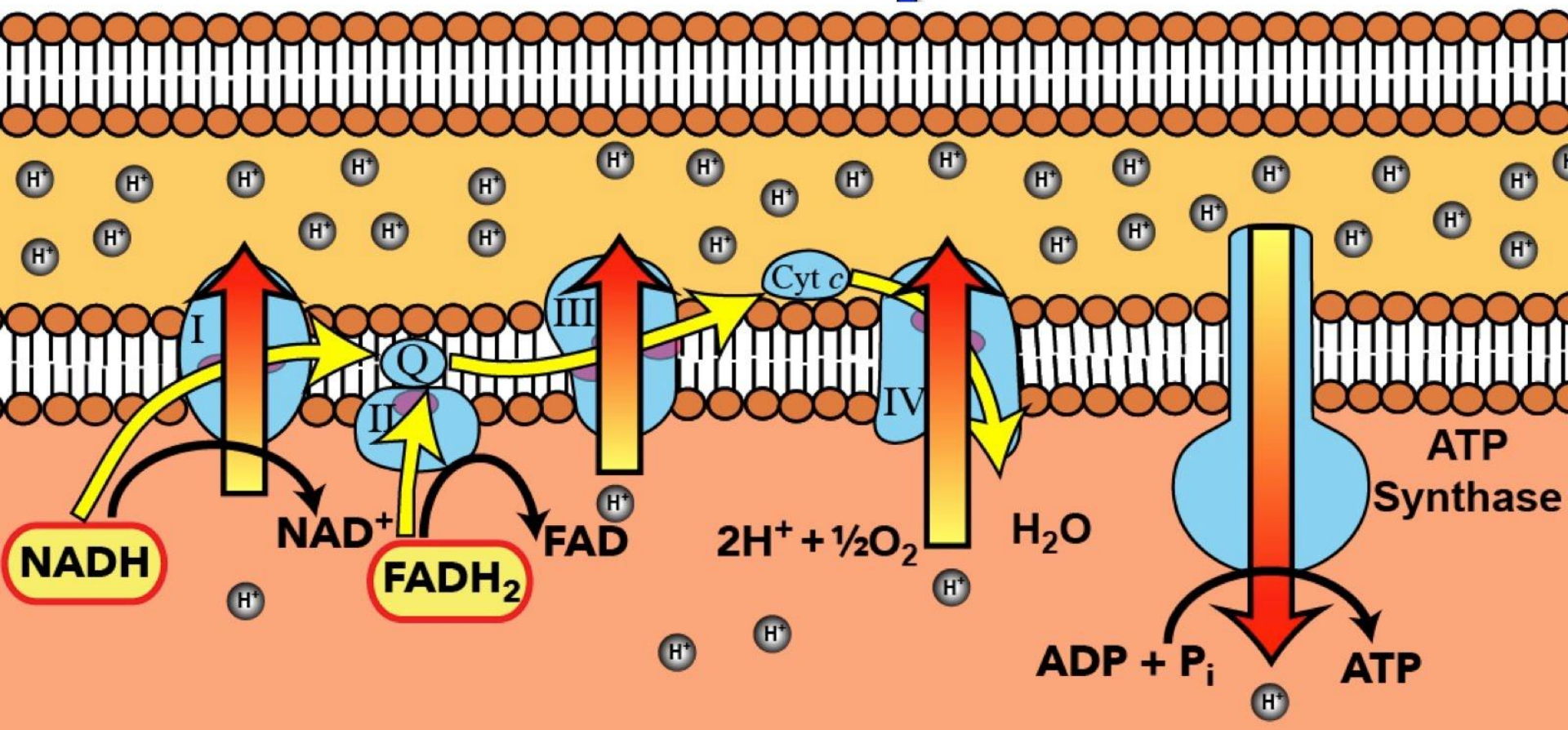
Аэробное дыхание

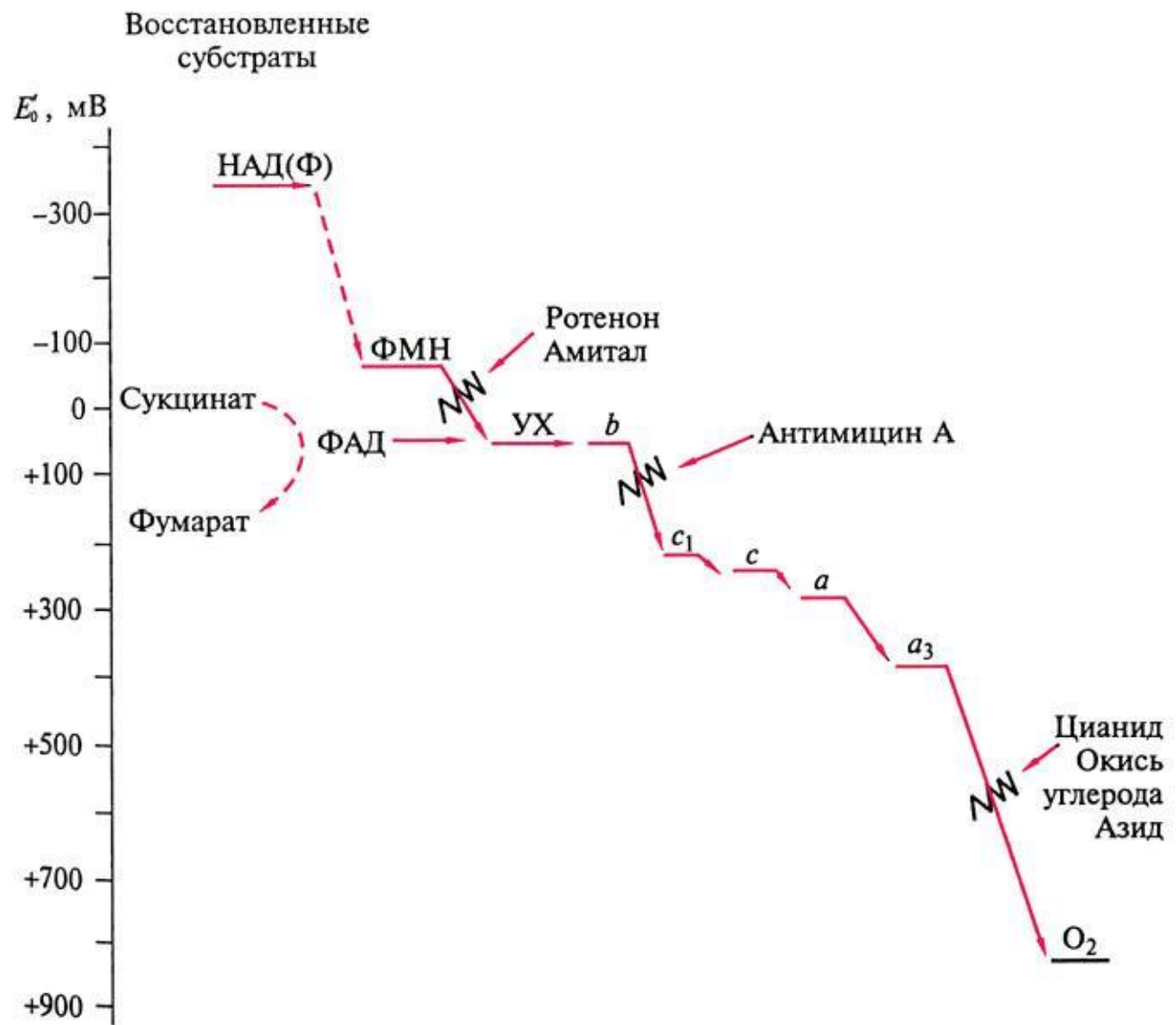
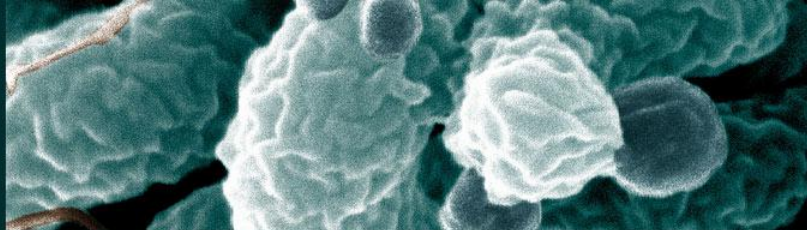
- При возможности аэробного окисления ПВК **декарбоксилируется** до ацетил-КоА в пируватдегидрогеназном комплексе
- Ацетил-КоА вступает в реакции цикла Кребса
- В цикле Кребса восстанавливаются NAD и FAD, которые впоследствии используются при окислительном фосфорилировании

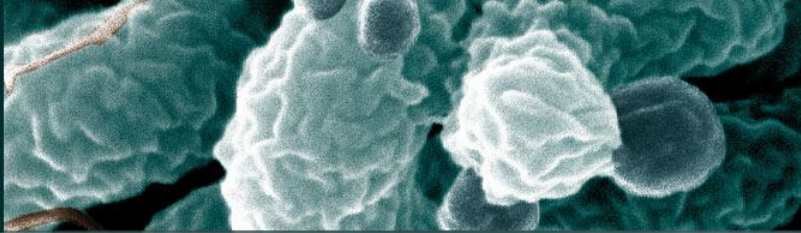




Electron Transport Chain

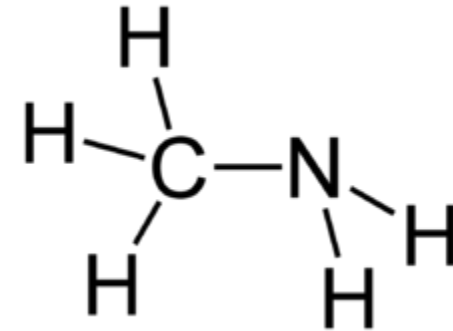
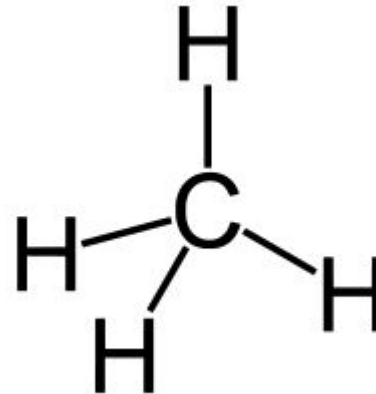
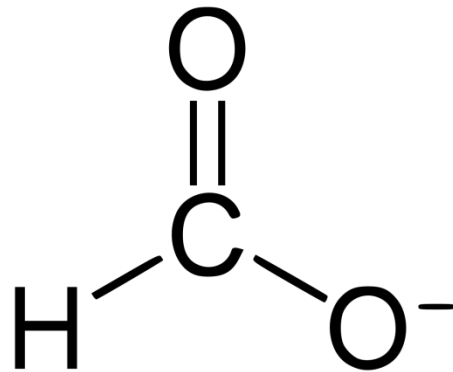
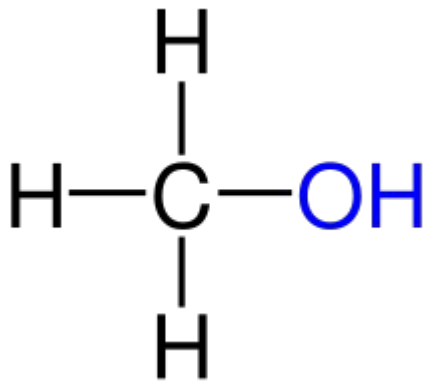


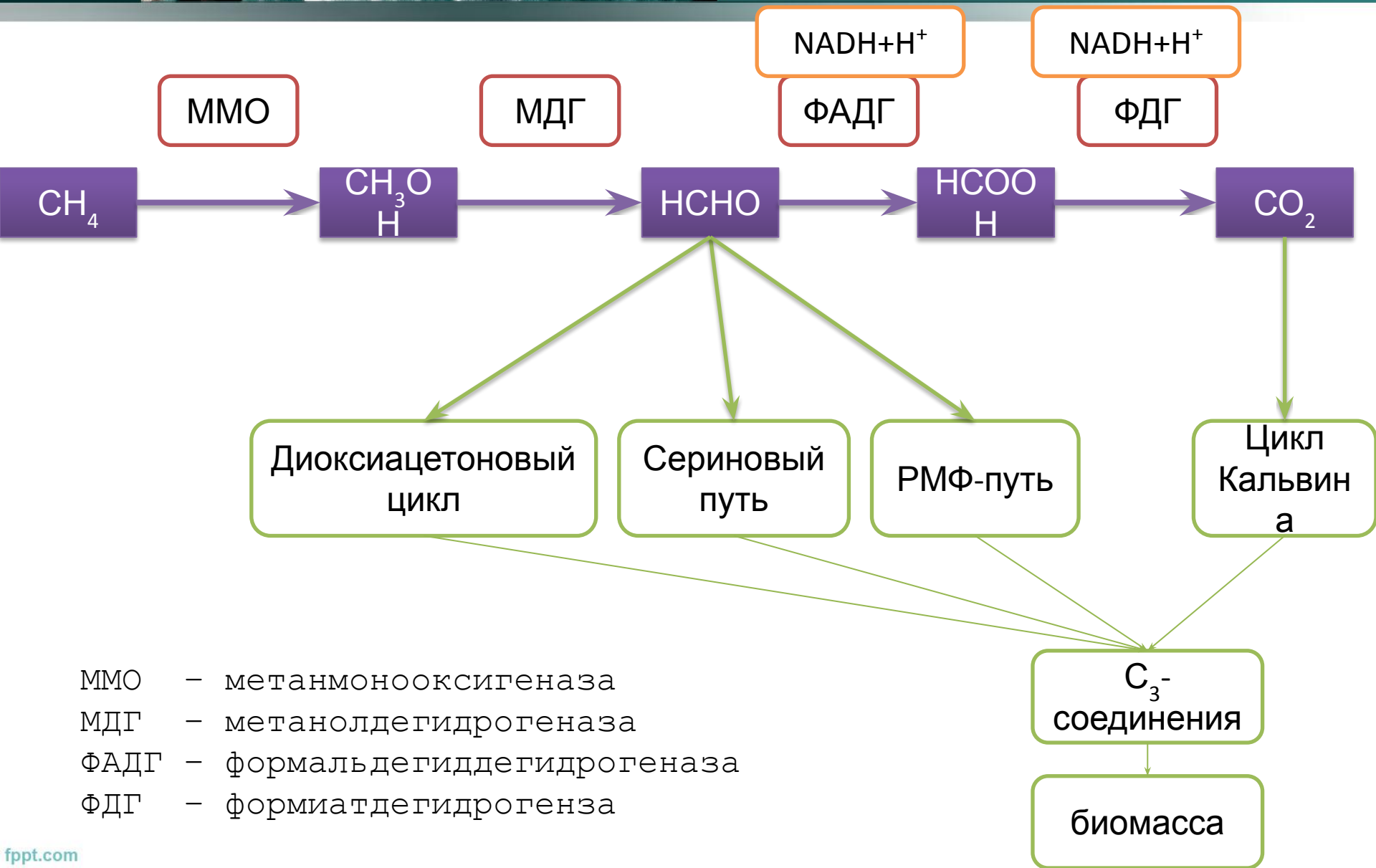
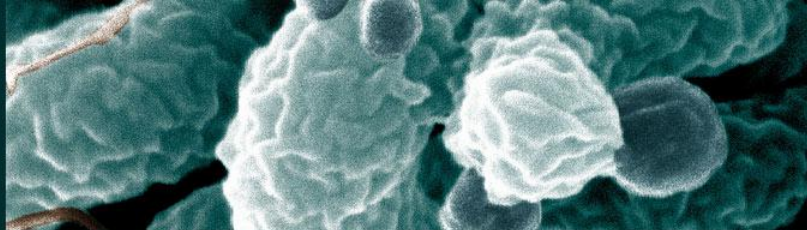




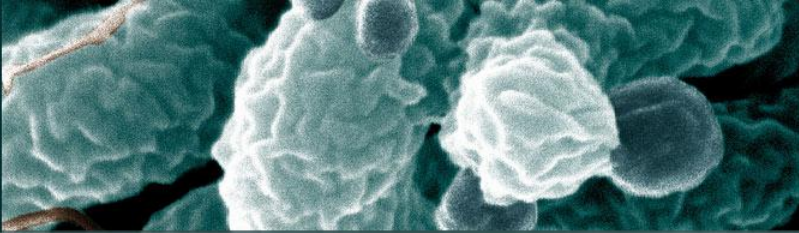
Аэробное дыхание с использованием C1-соединений

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



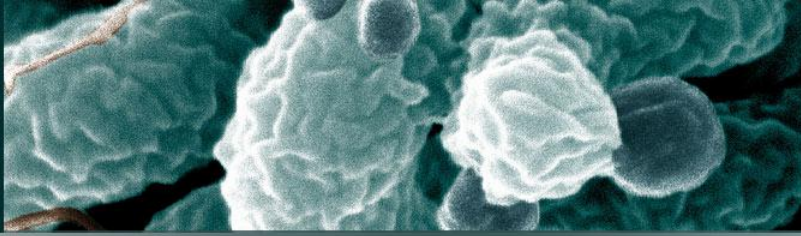


- ММО – метанмонооксигеназа
- МДГ – метанолдегидрогеназа
- ФАДГ – формальдегиддегидрогеназа
- ФДГ – формиатдегидрогеназа



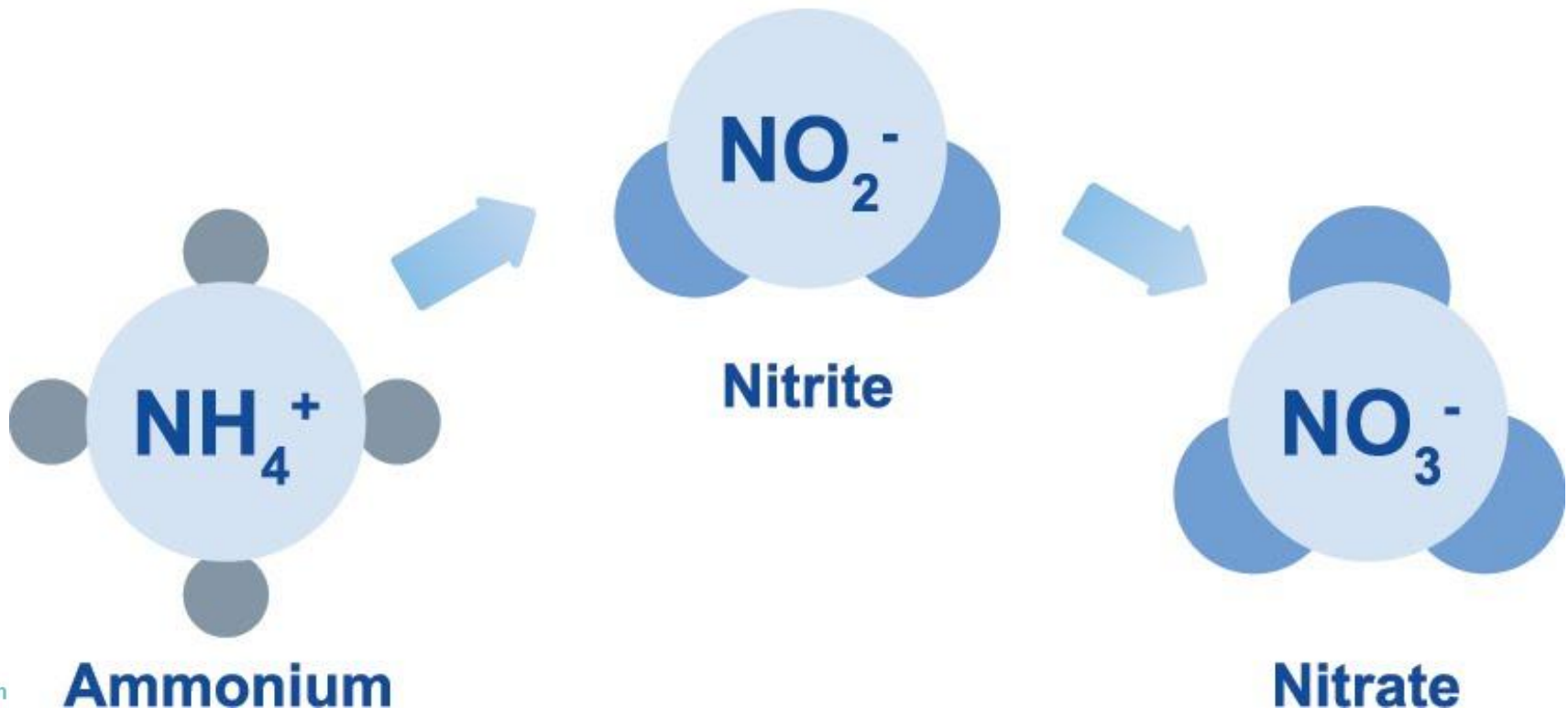
Аэробное дыхание с использованием неорганики

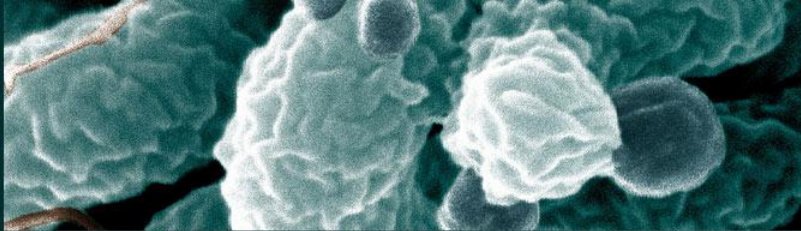
- Хемолитоавтотрофия – тип питания, при котором источником энергии для синтеза органических в-в из углекислого газа служат реакции окисления неорганических соединений
- В зависимости от неорганического соединения используемого бактериями можно выделить железобактерий, серобактерий, нитрификаторов, тионовых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



Хемолитоавтотрофия - нитрификация

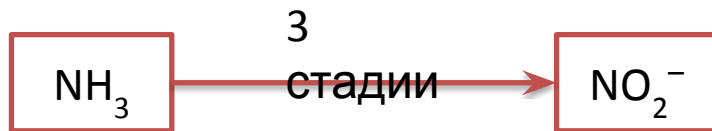
Nitrification





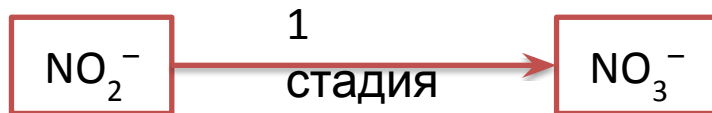
Нитрификаторы

- Нитрификаторы I фазы: *Нитрозные бактерии:*



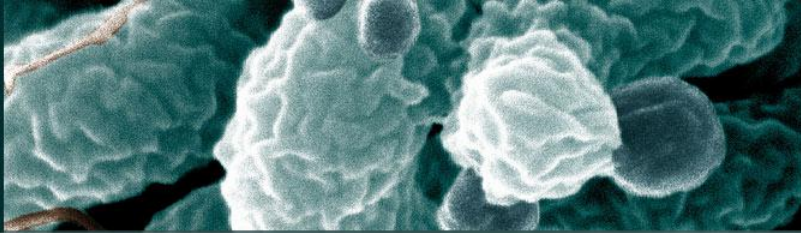
Nitrosococcus
Nitrosomonas
Nitrospira

- Нитрификаторы II фазы:



Нитратные бактерии:
Nitrobacter
Nitrospira
Nitrococcus
Nitrospina

- Для фиксации 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)

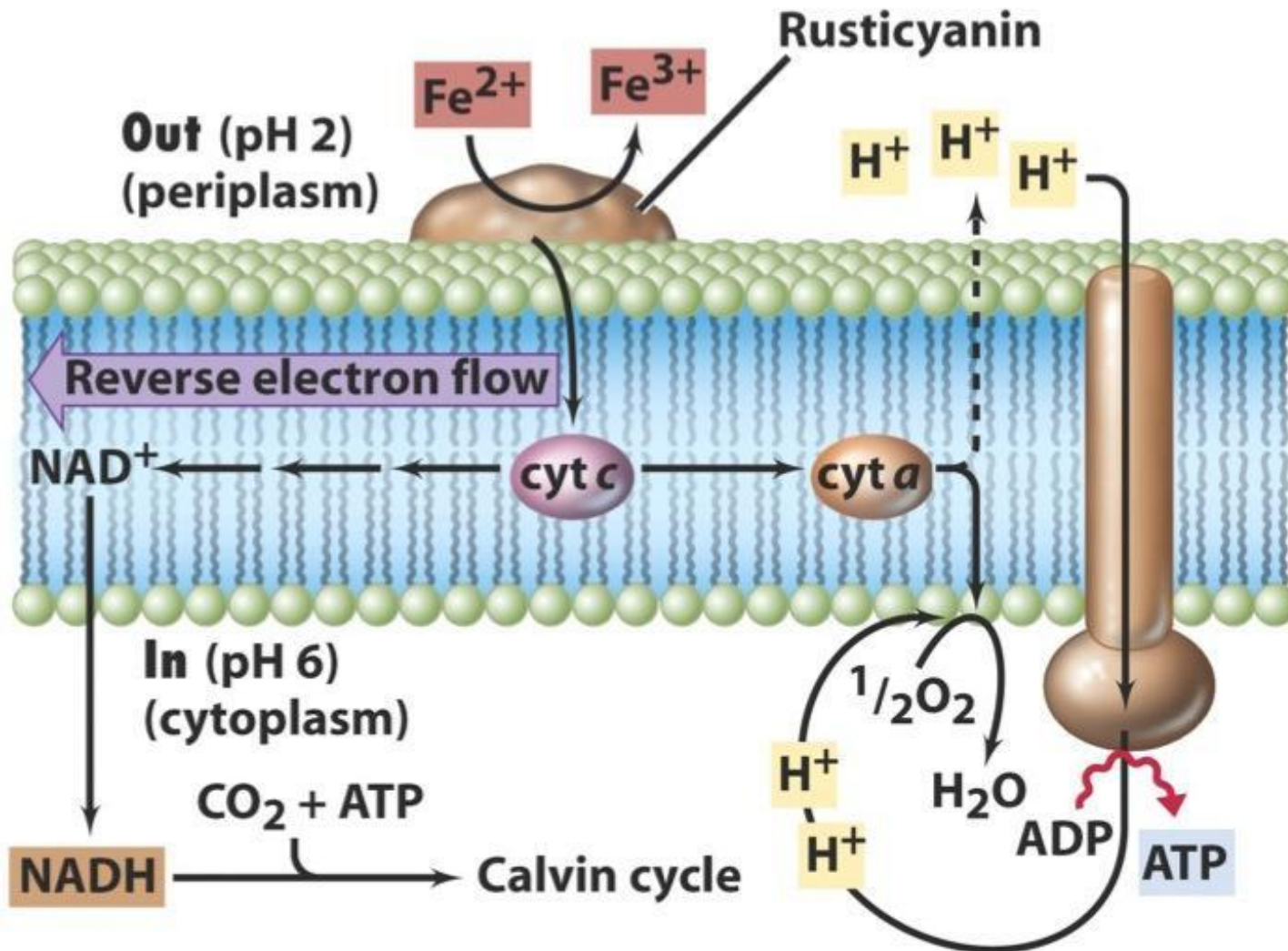
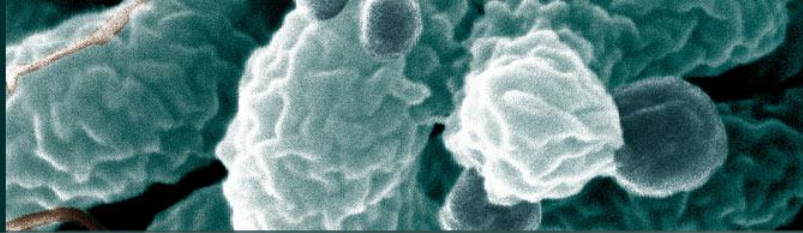
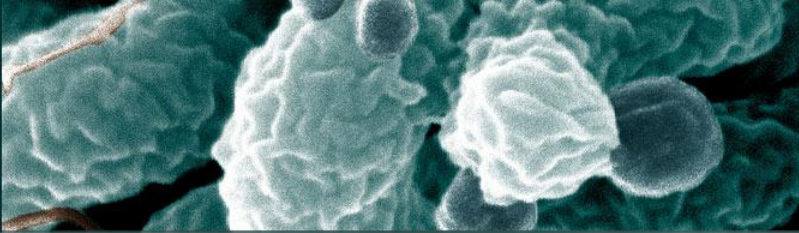
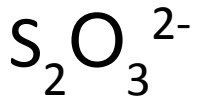


Figure 17.20 Rust: Biology of Microorganisms, 10/e

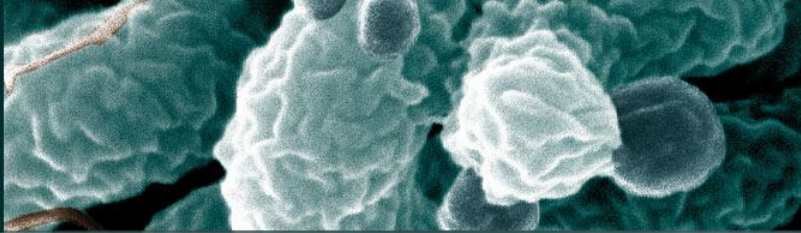


Окисление восстановленных соединений серы

- Соединения серы, которые могут служить субстратами:

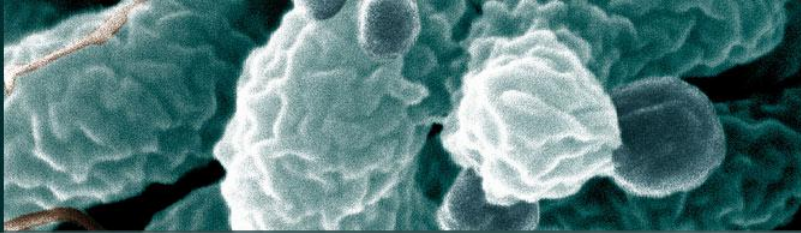


- Конечный продукт всегда SO_4^{2-}
- Используется цикл Кальвина для фиксации CO_2
- ЭТЦ практически не отличается от ЭТЦ митохондрий



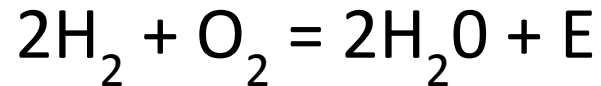
Бактерии, окисляющие серу

- Фотосинтезирующие пурпурные и зеленые бактерии, использующие H_2S как донор электронов
- Тионовые бактерии окисляют H_2S и используют эту энергию на ассимиляцию CO_2
- Есть представители, способные окислять органику с помощью гликолиза/оПФП/КДФГ-пути, а также ЦТК

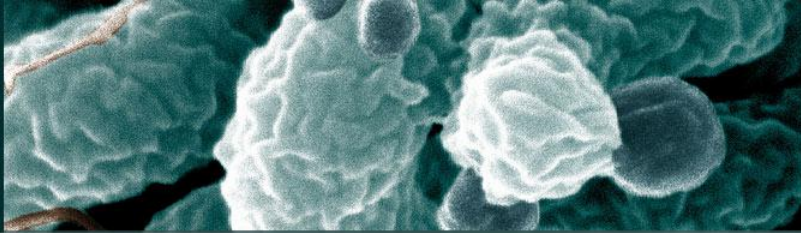


Водородные бактерии

- Окисляют молекулярный водород с участием O₂
- Ключевые ферменты – гидрогеназы, катализирующие реакцию:

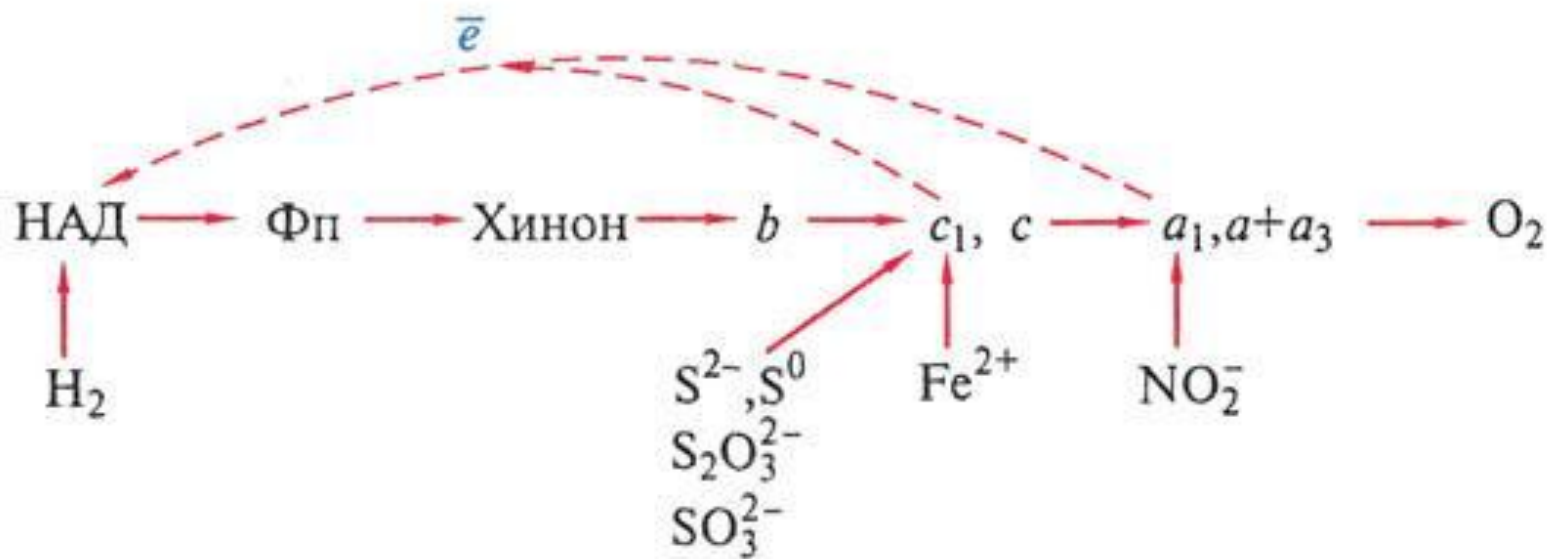
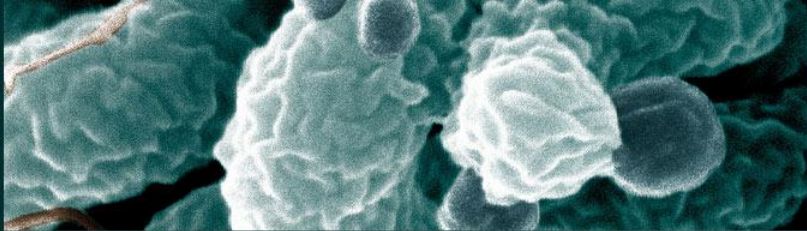


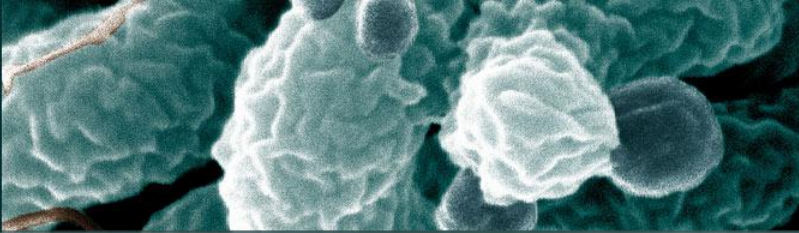
- Частично используют полученную энергию для фиксации CO₂
- 20 родов различной морфологии



Гидрогеназы

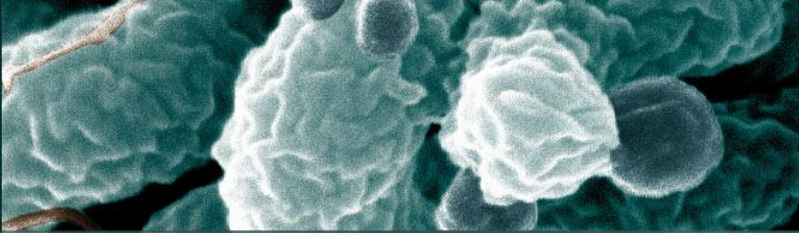
- Мембранная гидрогеназа передает электроны на ЭТЦ на уровне флавопротеинов
- Растворимая гидрогеназа передает электроны на NAD^+ , который затем идет на синтез биомассы





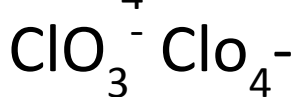
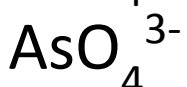
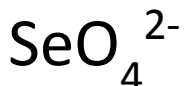
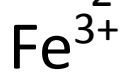
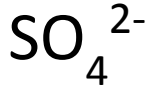
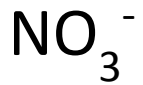
Основные этапы катаболизма

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

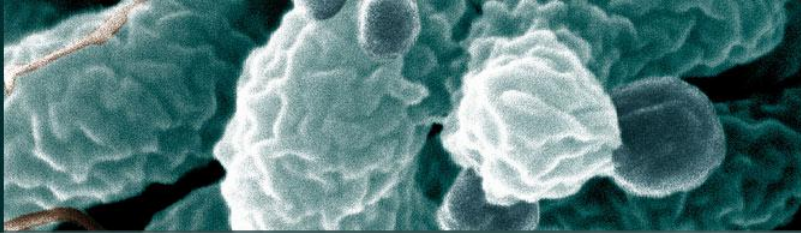


Анаэробное дыхание

- Конечный акцептор электронов в ЭТЦ НЕ кислород



Фумарат



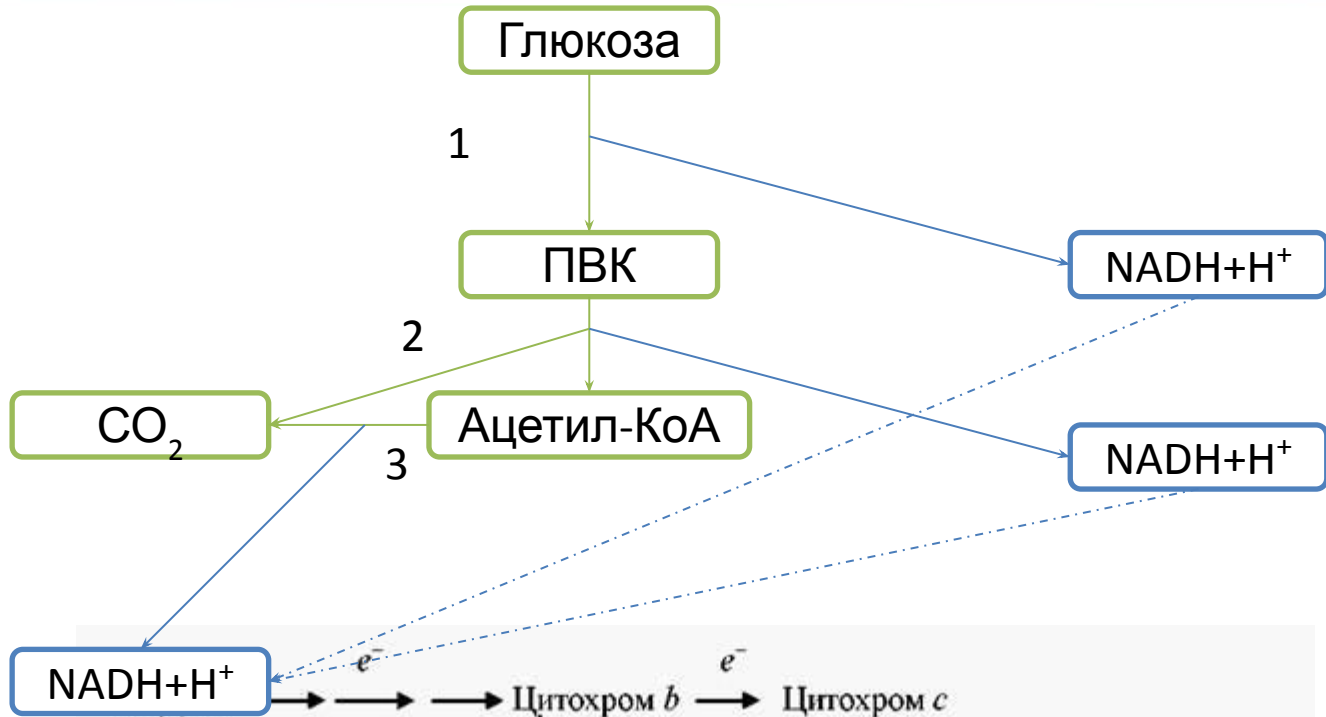
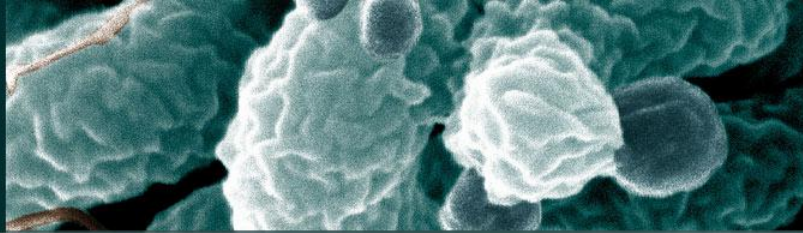
Нитратное дыхание

Диссимиляционная нитратредукция

Денитрификация

- Конечные акцепторы в ЭТЦ – нитраты (NO_3^-) или нитриты (NO_2^-)
- Результат процесса – газообразные формы азота (NO , N_2O , N_2)
- Процесс проходит в несколько стадий, строго анаэробно
- Огромное значение для цикла азота
- Осуществляется разнородной группой денитрифицирующих бактерий

Нитратное дыхание



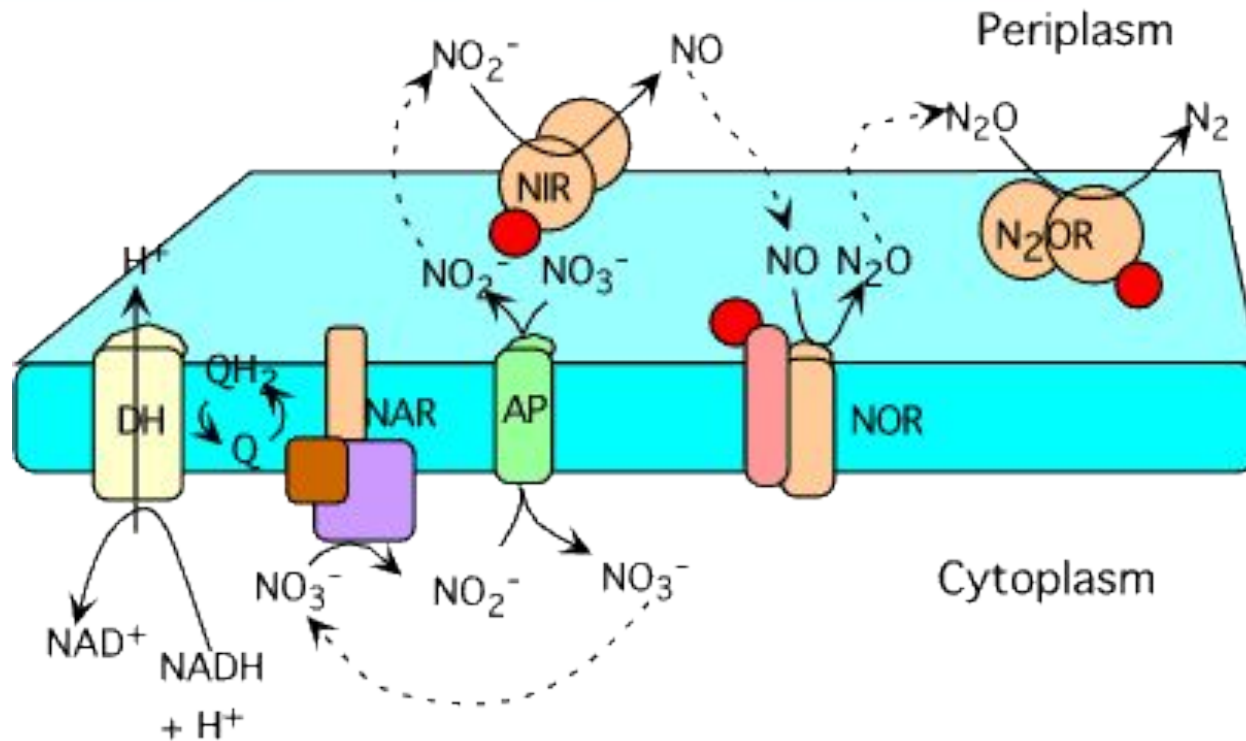
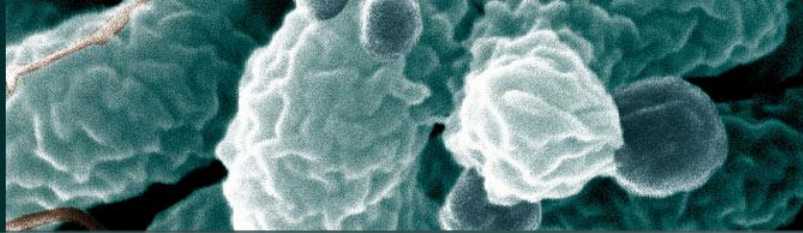
1 – гликолиз
ПФП
КДФГ-путь

2 – окислительное
декарбоксилирование

3 - ЦТК

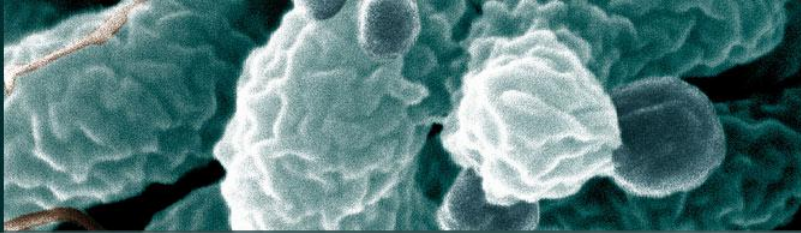
Два ключевых фермента:
нитратредуктаза и
нитритредуктаза





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

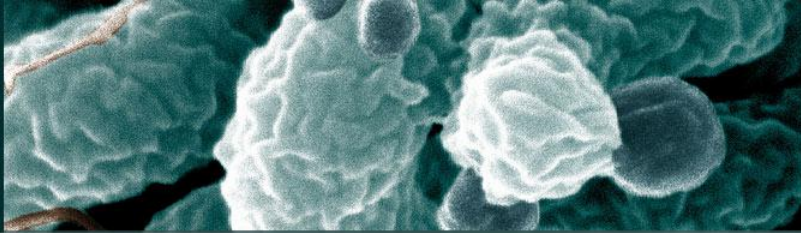
Поэтому энергетический выход составляет 70% по сравнению с аэробным дыханием



Денитрифицирующие бактерии

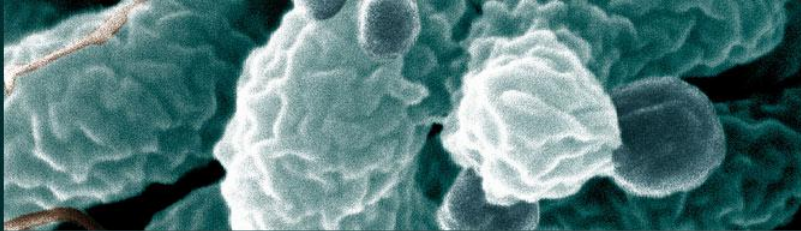
- Представители семейства *Enterobacteriaceae*, родов *Pseudomonas*, *Bacillus* и т. д.
- Факультативные/облигатные анаэробы
- Обитатели пресных и морских водоемов, почв
- Служат источником атмосферного азота

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

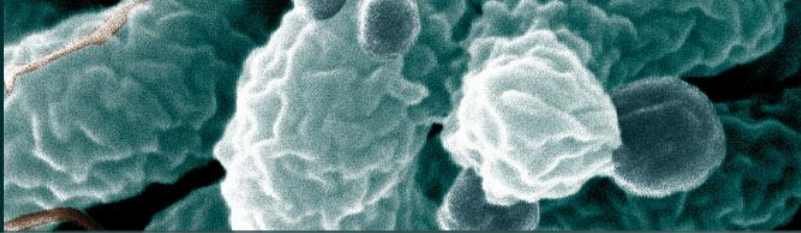


Ассимиляционная нитратредукция

- 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



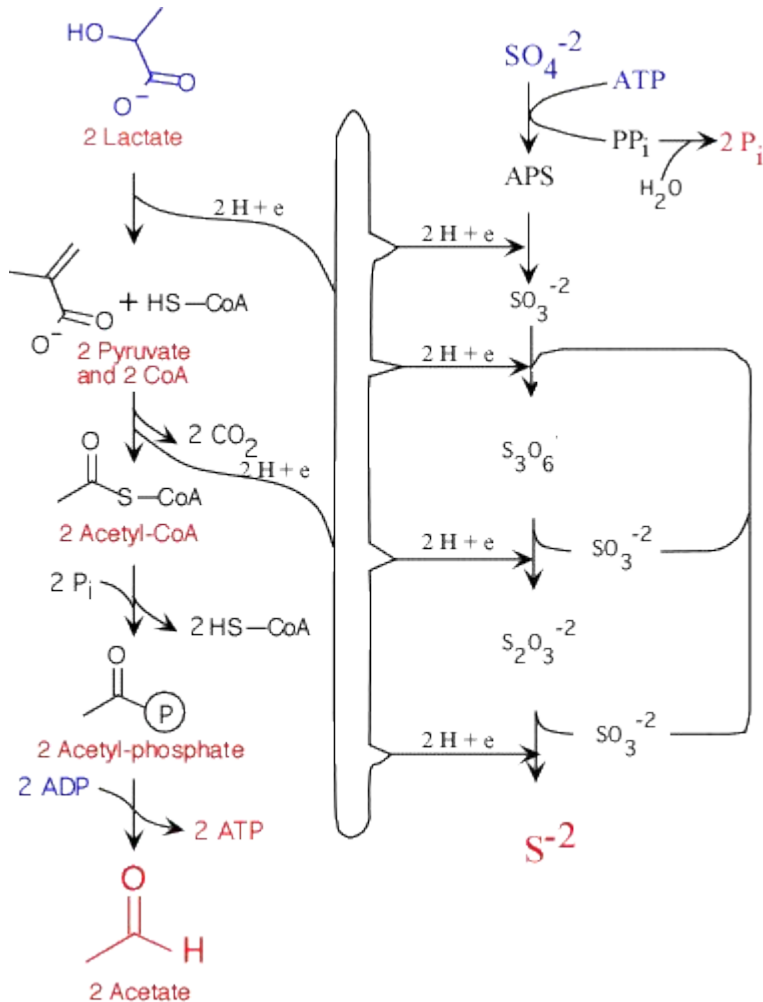
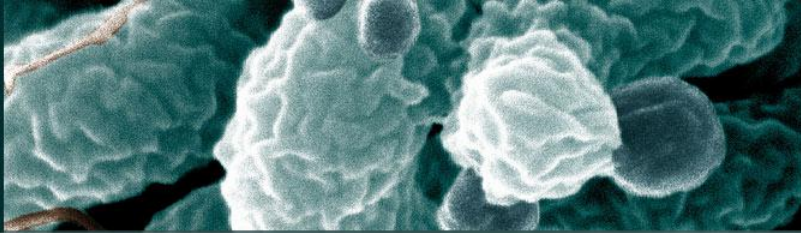
Сульфатное дыхание

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

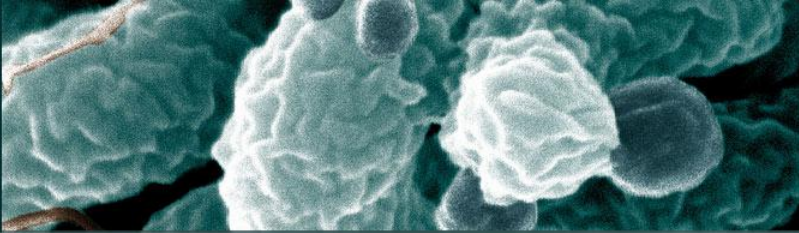


Процесс проходит в три этапа:

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

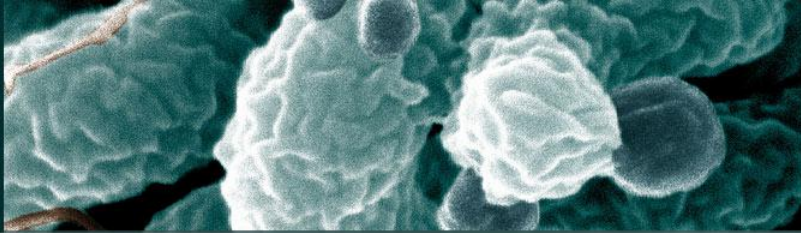


- Могут полностью окислять субстрат до CO_2 и воды
- А могут окислить субстраты лишь до ацетата



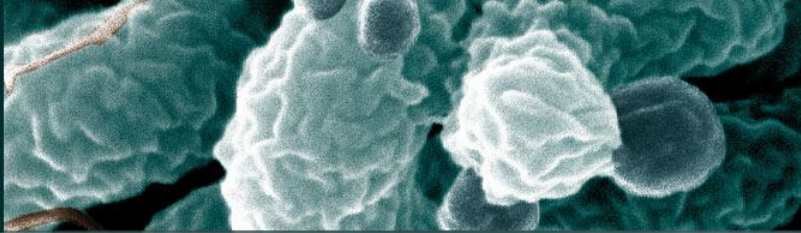
Сульфатредукторы

- 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



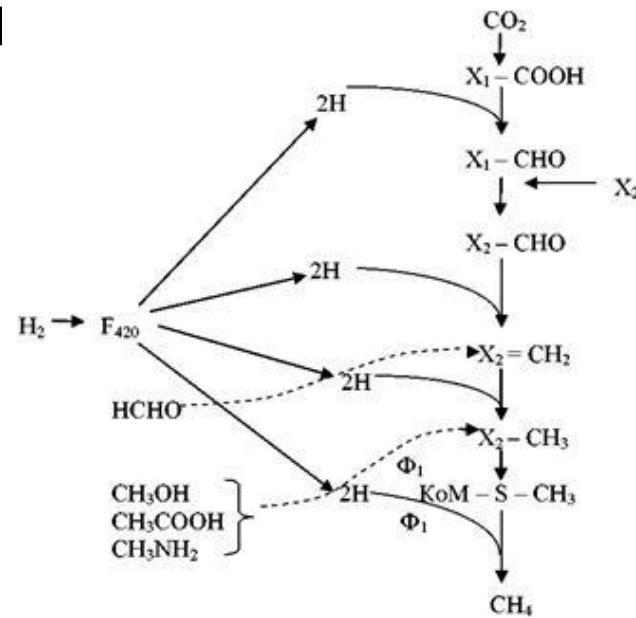
Ассимиляционная сульфатредукция

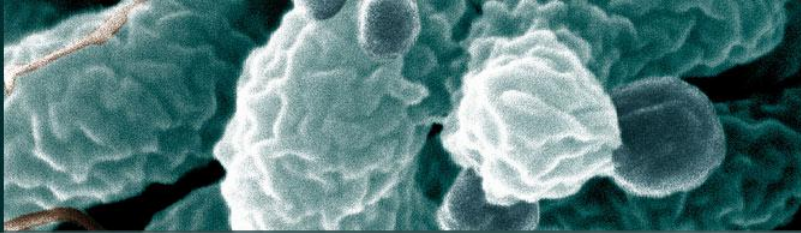
- Осуществляется и бактериями, и некоторыми эукариотами
- Суть не в извлечении энергии, а в получении сульфид-иона и использовании его в конструктивном метаболизме
- Встраивание в серусодержащие АК и белки



Карбонатное дыхание

- Конечный акцептор электронов – CO
- Результат процесса – метан, осуществляют этот процесс археи-метаногены
- Фиксация CO₂ происходит в нескольких циклах, вариаций очень

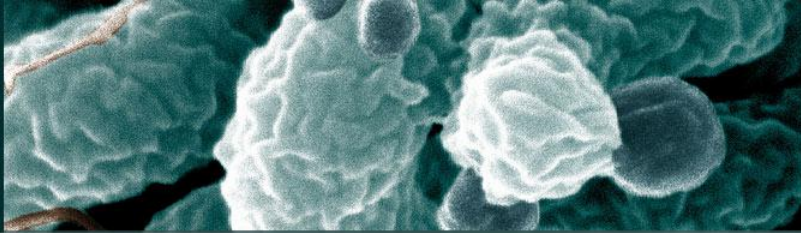




Фотосинтез

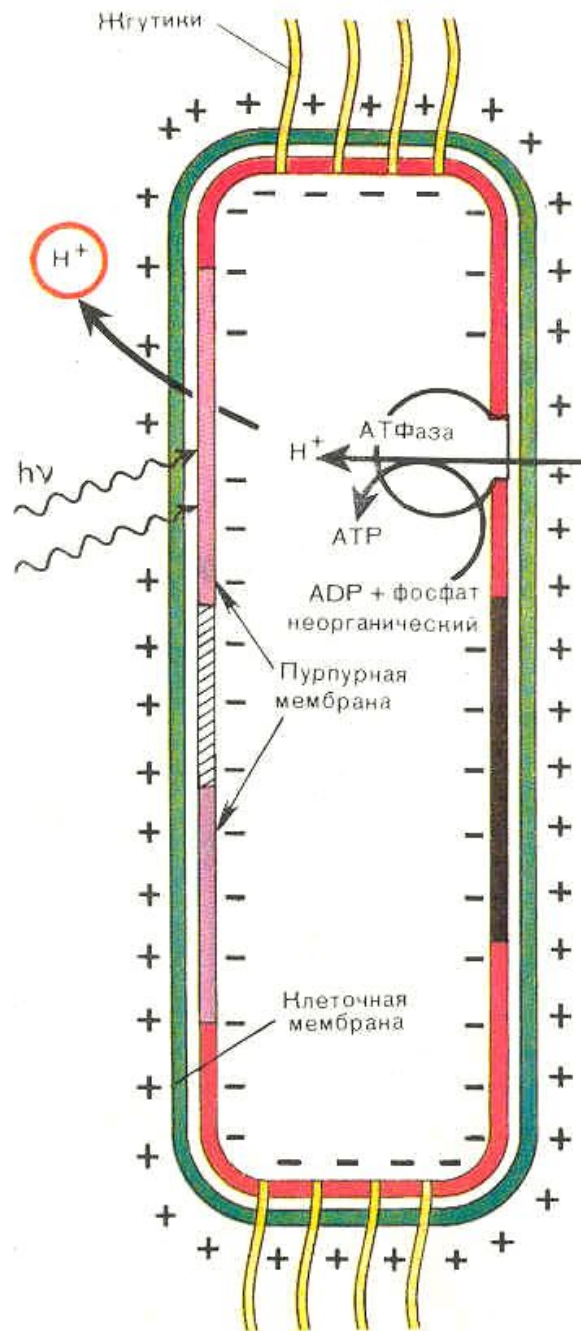
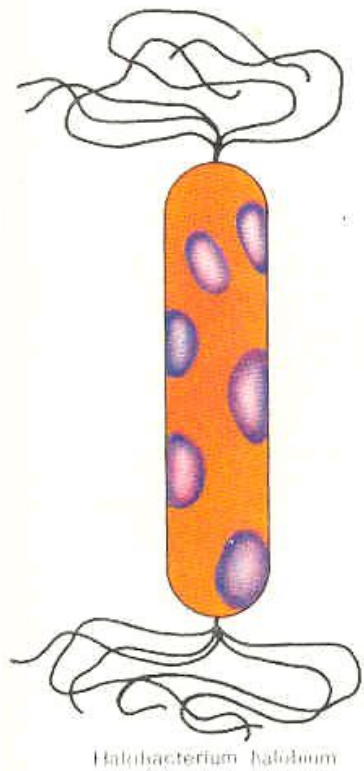
- Использование энергии, заключенной в квантах света для синтеза АТФ
- Подразделяется на темновую и световую стадии

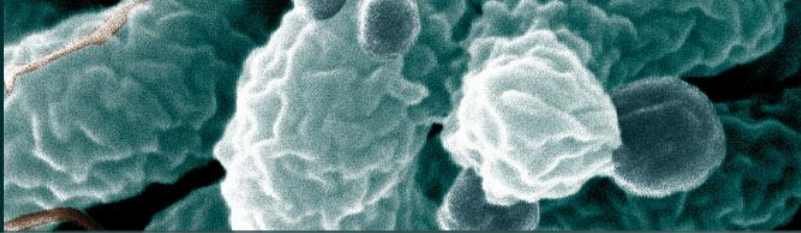
- Свет
- Антенны в виде систем пигментов
- Источник электронов и протонов
- Система мембран с переносчиками
- Ферменты темновой стадии



Бесхлорофильный фотосинтез

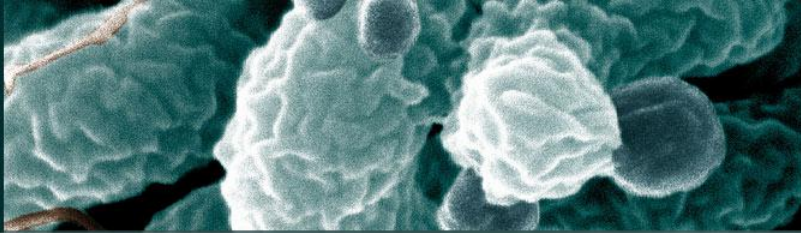
- Наипростейший вариант фотосинтеза
- Отсутствие электронтранспортной цепи
- Два фермента – светозависимая протонная помпа и АТФ-синтаза
- **Галоархеи** – уникальнейшие археи, умеющие существовать в среде с концентрацией соли до 30%





Аноксигенный фотосинтез

- Тип фотосинтеза, при котором источником электронов и протонов выступает НЕ вода, а H_2S , S , 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

