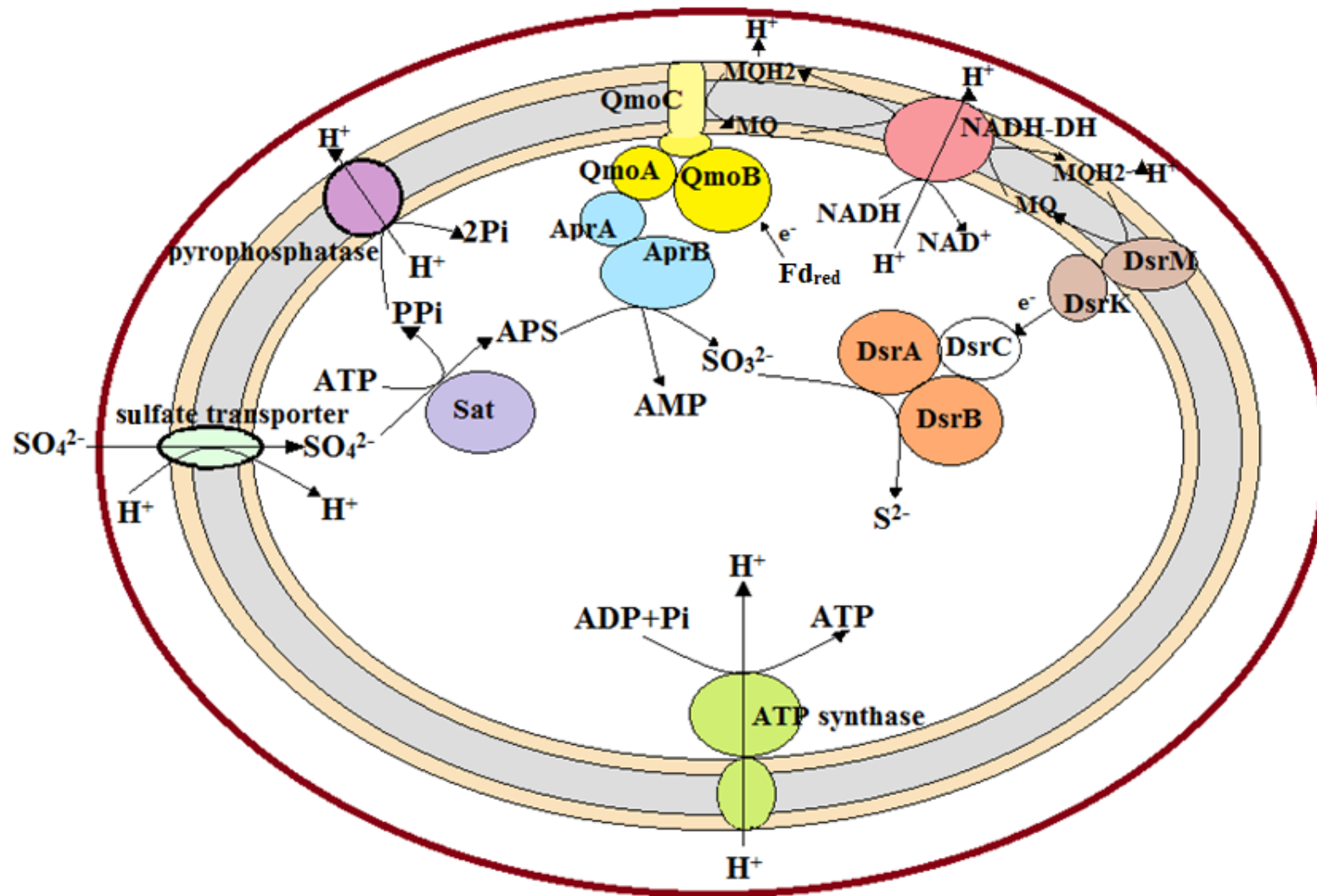
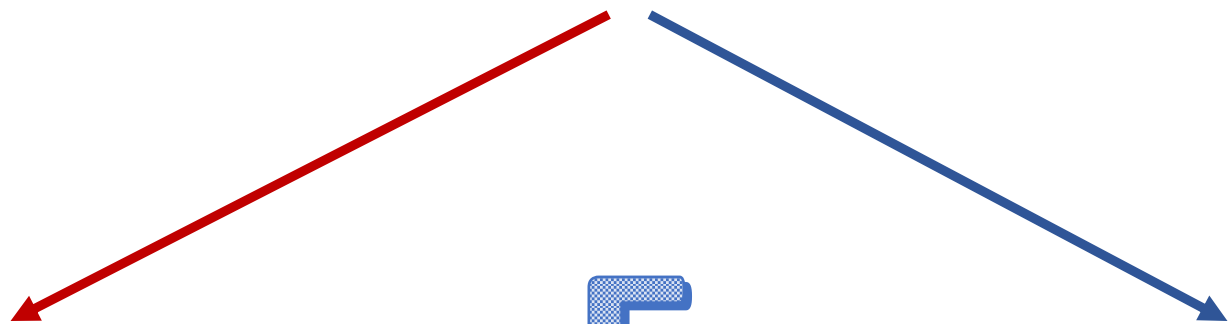


Лекция 6

Биохимические процессы в клетках микроорганизмов



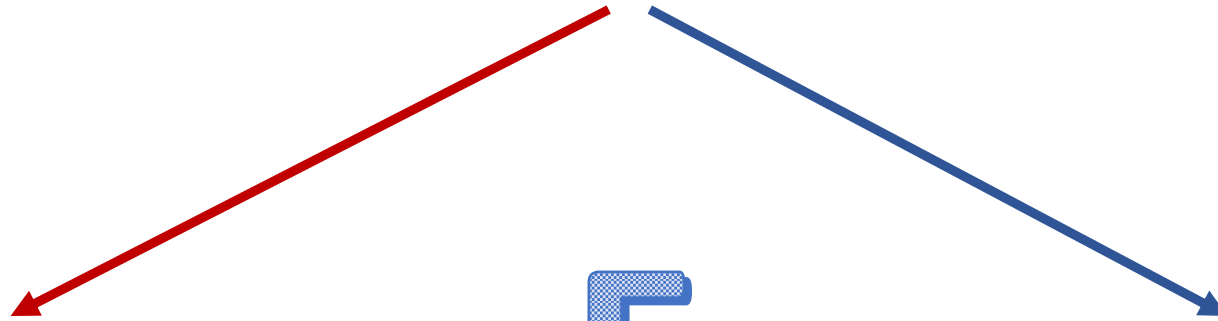
Метаболизм – совокупность химических реакций, протекающих в живых организмах и возникающих для поддержания жизни



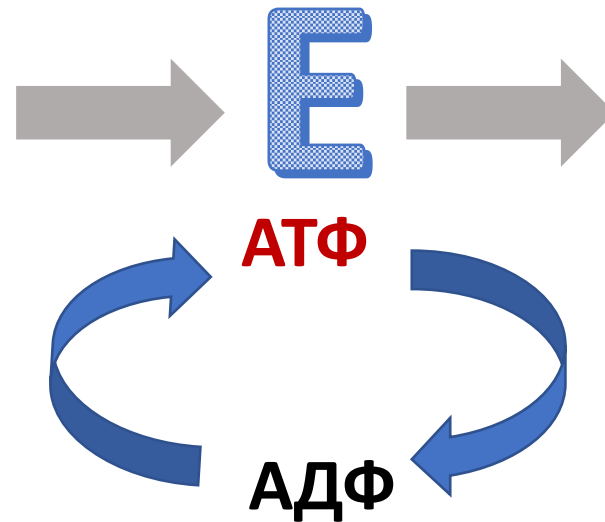
Катаболизм – совокупность метаболических реакций, **обеспечивающих клетку энергией**, и, как правило, связанных с упрощением структуры химических соединений

Анаболизм – это совокупность **энергозатратных** метаболических процессов, приводящих к усложнению структуры химических соединений

Метаболизм – совокупность химических реакций, протекающих в живых организмах и возникающих для поддержания жизни



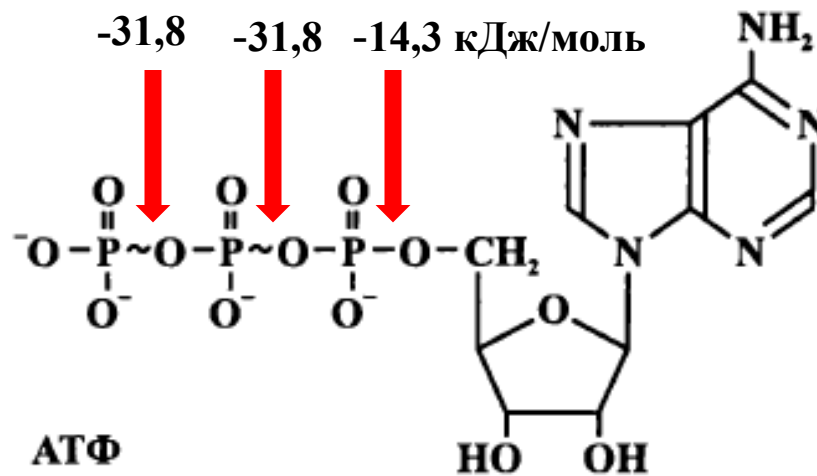
Катаболизм – совокупность метаболических реакций, **обеспечивающих клетку энергией**, и, как правило, связанных с упрощением структуры химических соединений



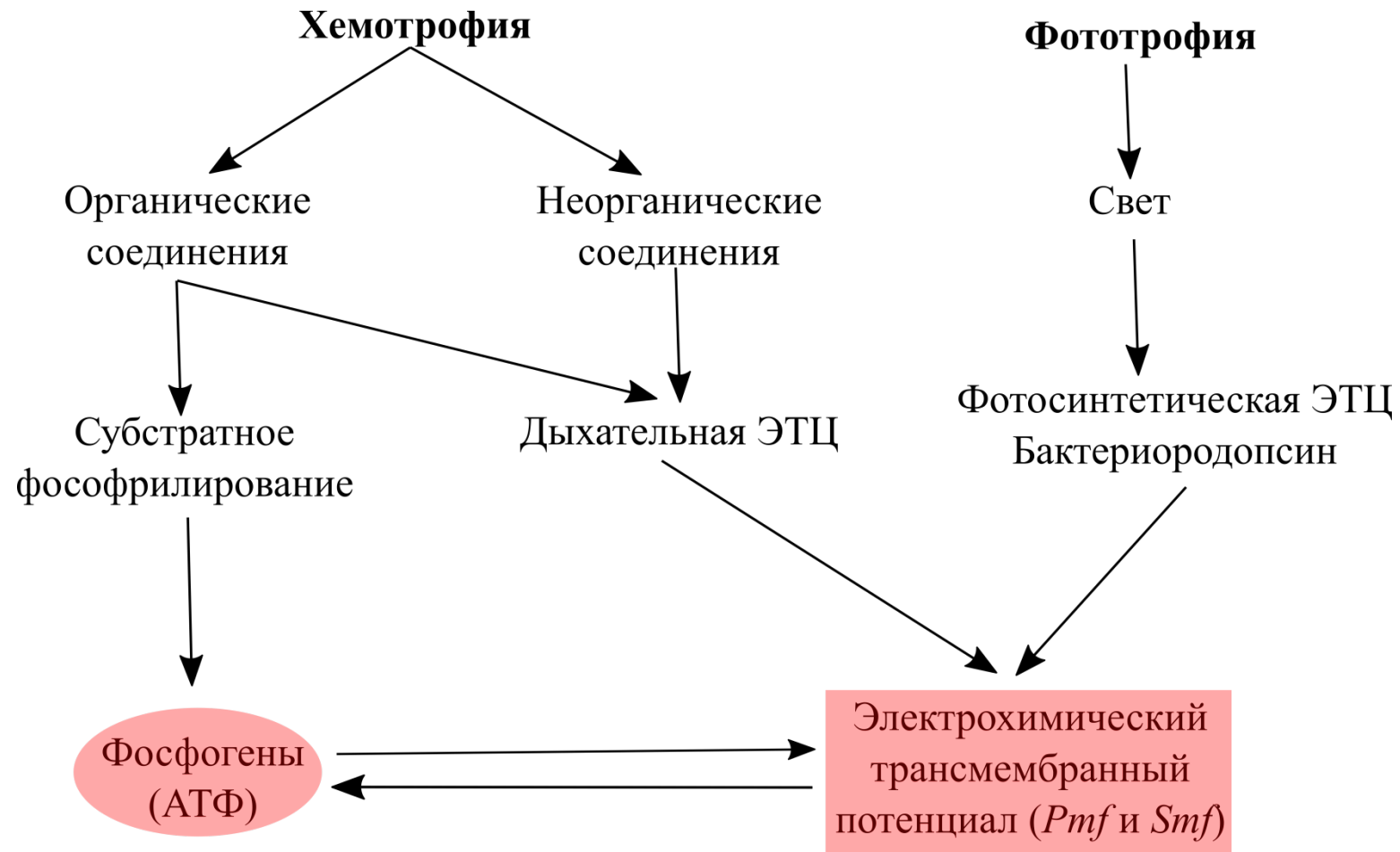
Анаболизм – это совокупность **энергозатратных** метаболических процессов, приводящих к усложнению структуры химических соединений

Фосфагены или макроэргические вещества

- 1) Нуклеозидтрифосфаты (АТФ, ГТФ, ТТФ, УТФ и ЦТФ);
- 2) Пирофосфат и конденсированные неорганические фосфаты, или полифосфаты;
- 3) Фосфоенолпируват;
- 4) О-ацилфосфаты (1,3-бисфосфоглицерат, ацетилфофат, бутирилфосфат, β -аспартилфосфат и карбомоилфосфат);
- 5) N-ацилфосфаты (креатинфосфат и аргининфосфат).

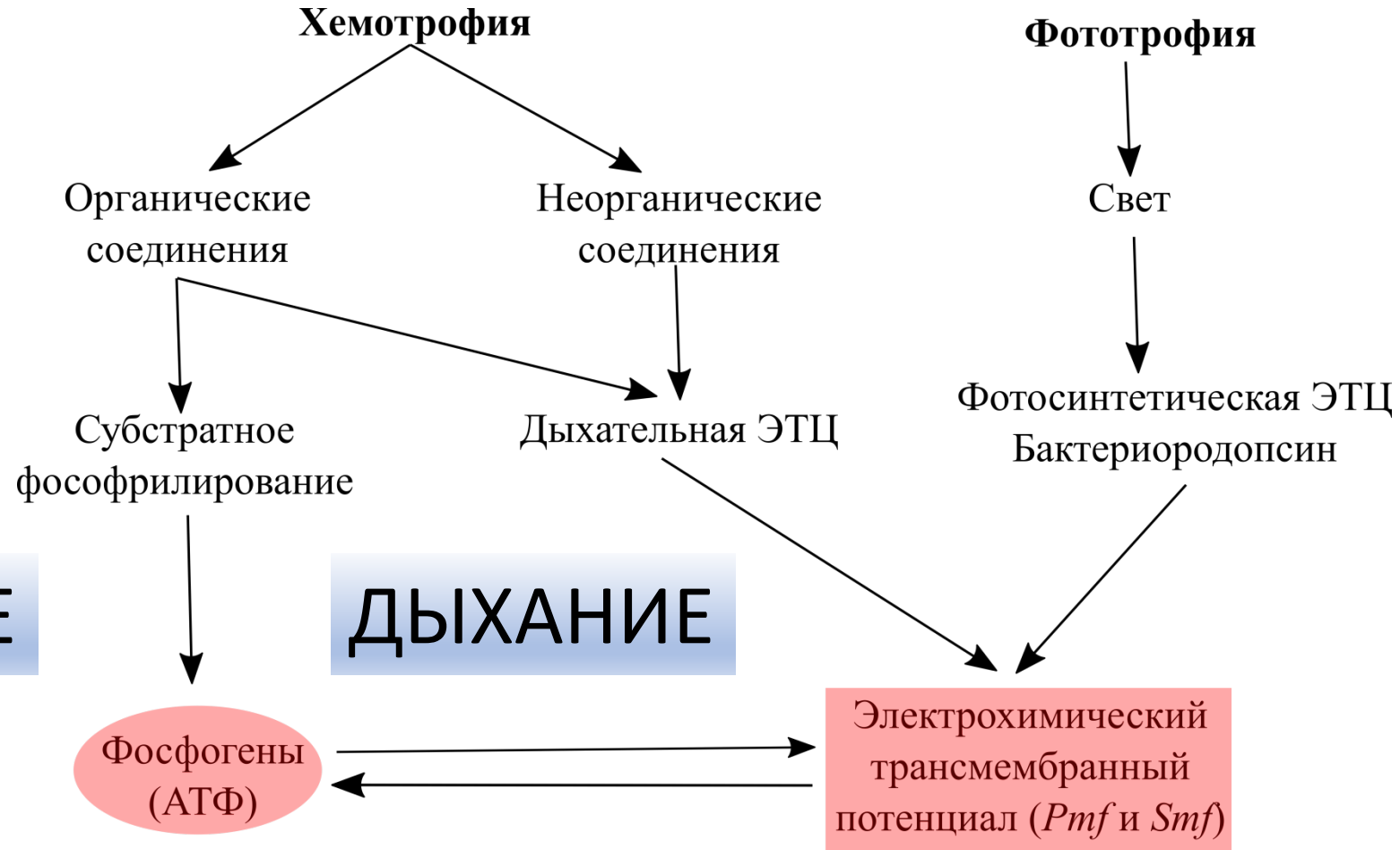


Катаболизм



ГЛИКОЛИЗ

БРОЖЕНИЕ

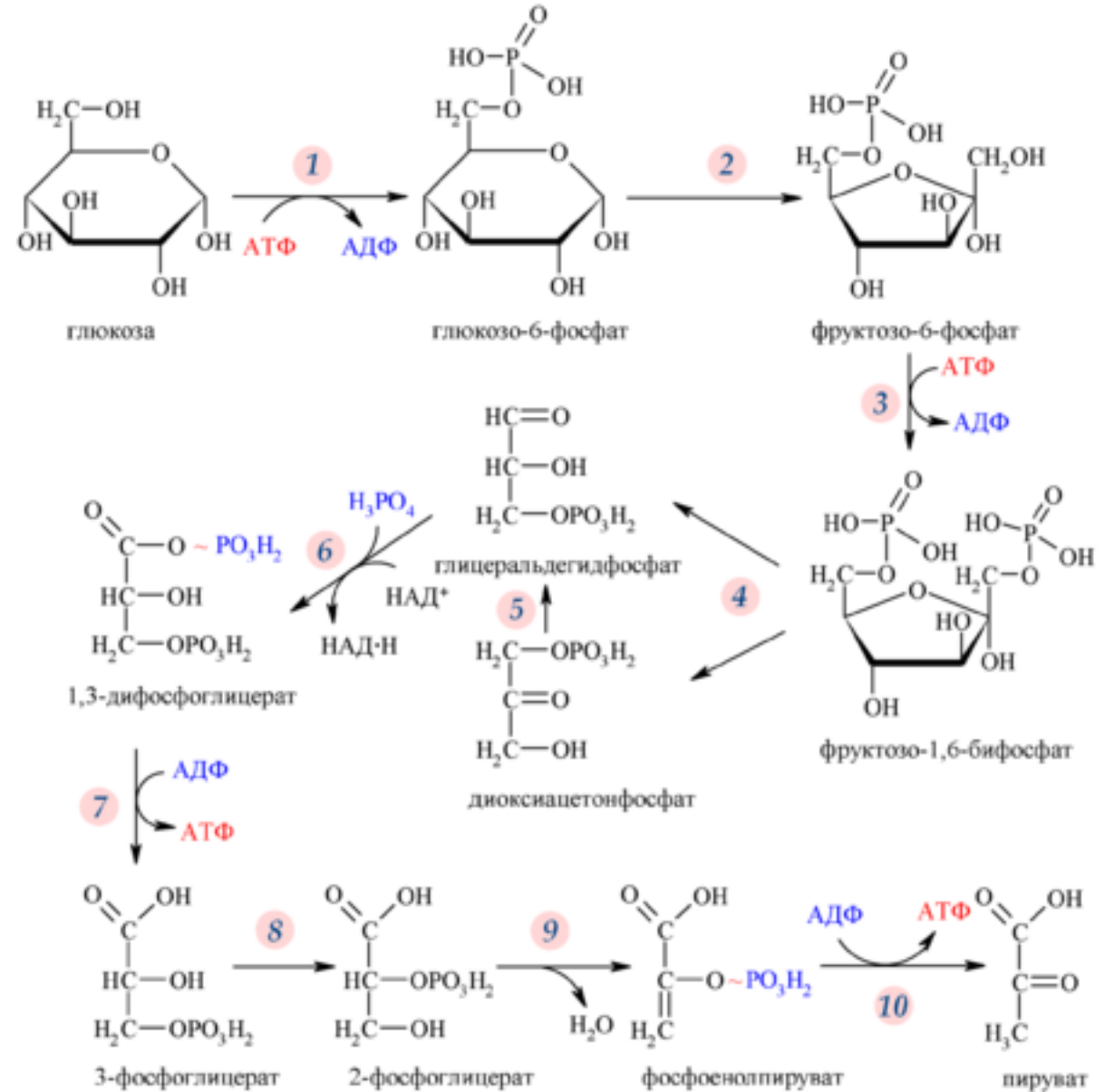


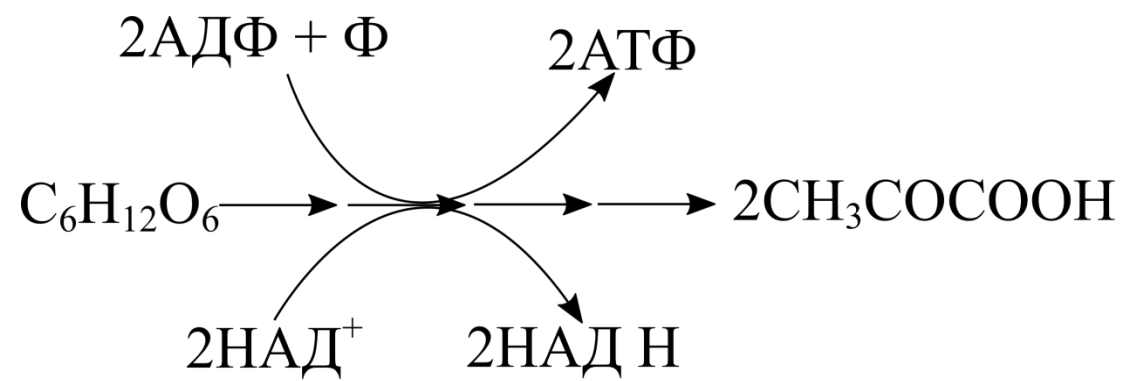
ГЛИКОЛИЗ

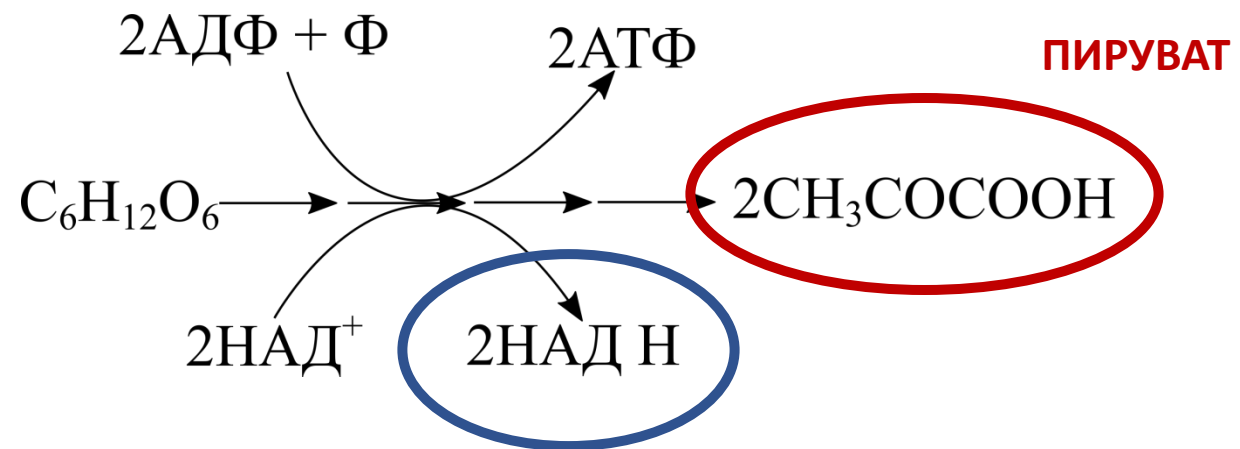
Расходуется 2 молекулы АТФ

Образуется 4 молекулы АТФ

Образуется 2 молекулы НАД Н







БРОЖЕНИЕ

- ✓ Процессы идут в цитоплазме
- ✓ Энергия первично ассимилируется в форме АТФ
- ✓ Электроны передаются на органические акцепторы, цель – регенерация переносчиков

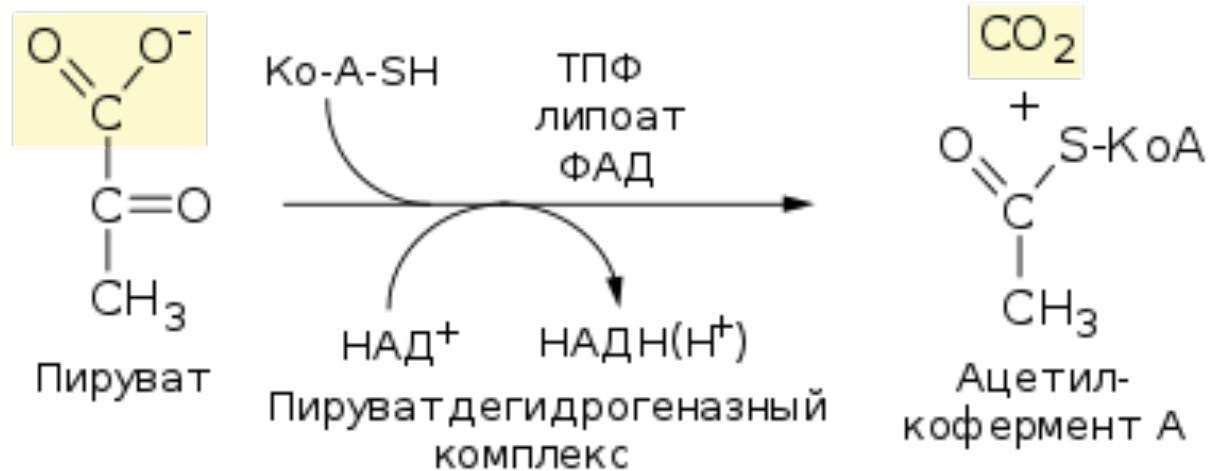
ДЫХАНИЕ

- ✓ Процессы идут на мембранах
- ✓ Энергия первично ассимилируется в форме энергизованного состояния мембраны
- ✓ Электроны передаются на неорганические акцепторы по ЭТЦ, цель – получение дополнительного количества энергии

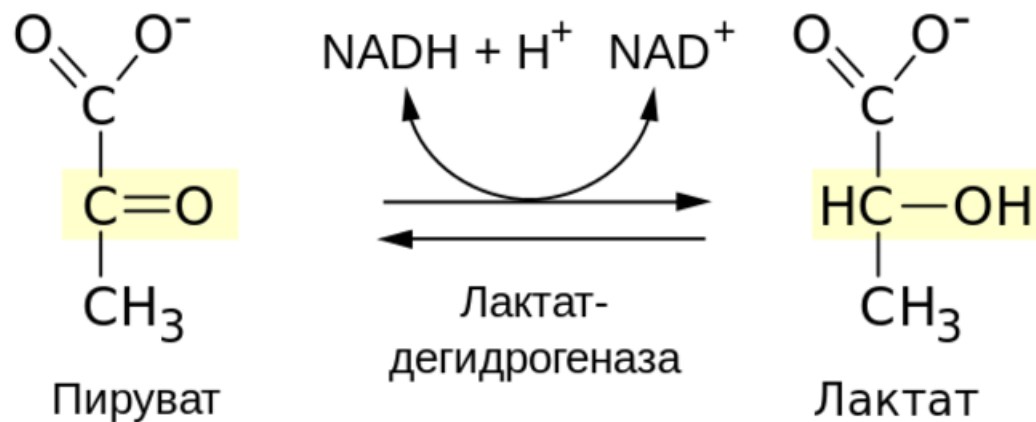
БРОЖЕНИЕ

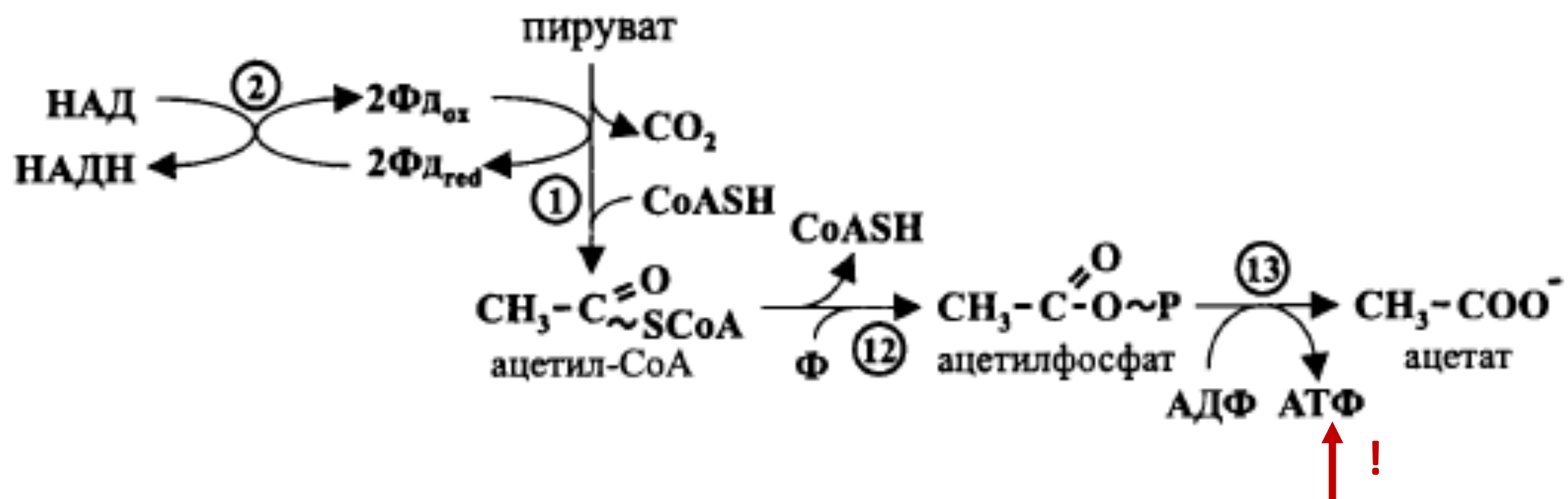
СУДЬБА ПИРУВАТА

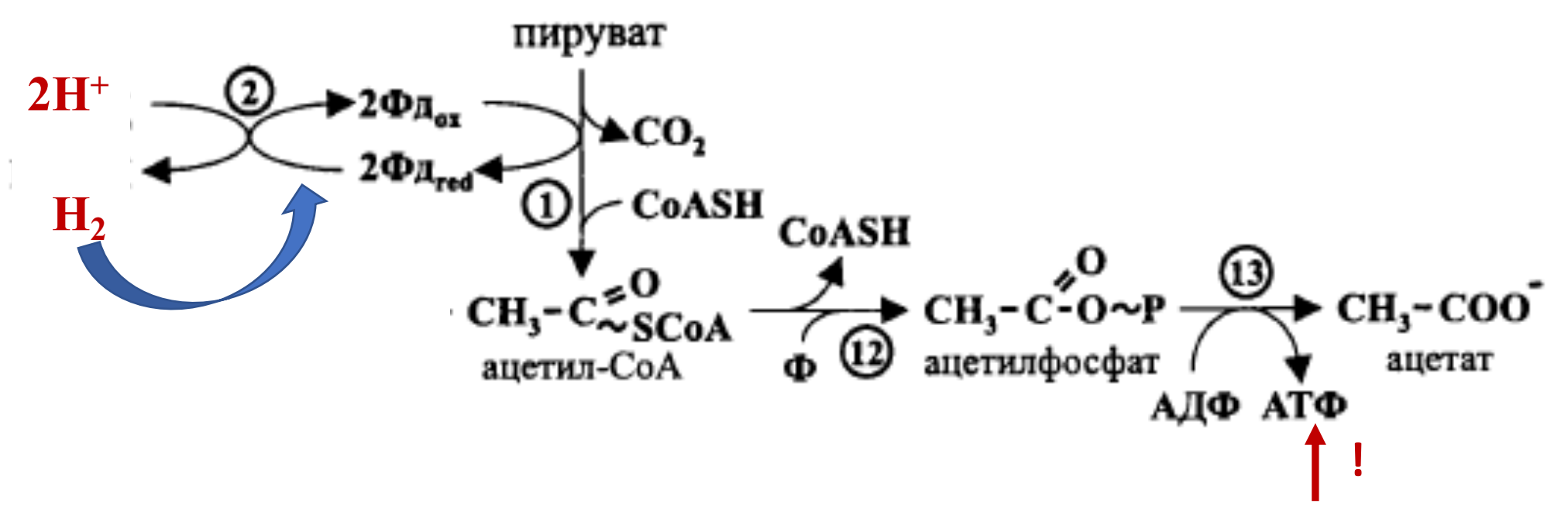
Окислительное декарбоксилирование



Восстановление в лактат







БРОЖЕНИЕ

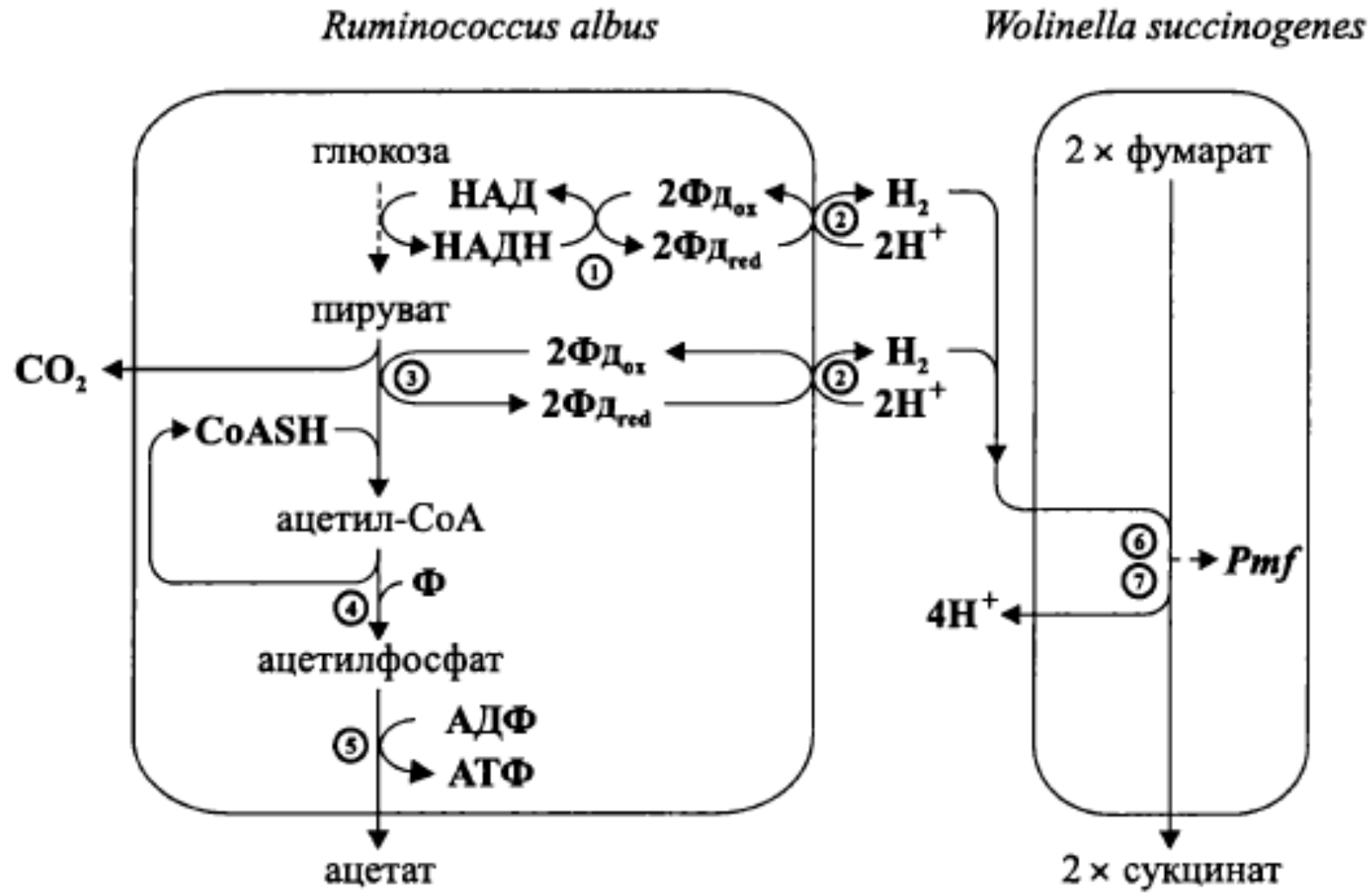
В процессе брожений образуется дополнительное количество АТФ при превращении ацетил-коэнзима А через ацетил фосфат в ацетат

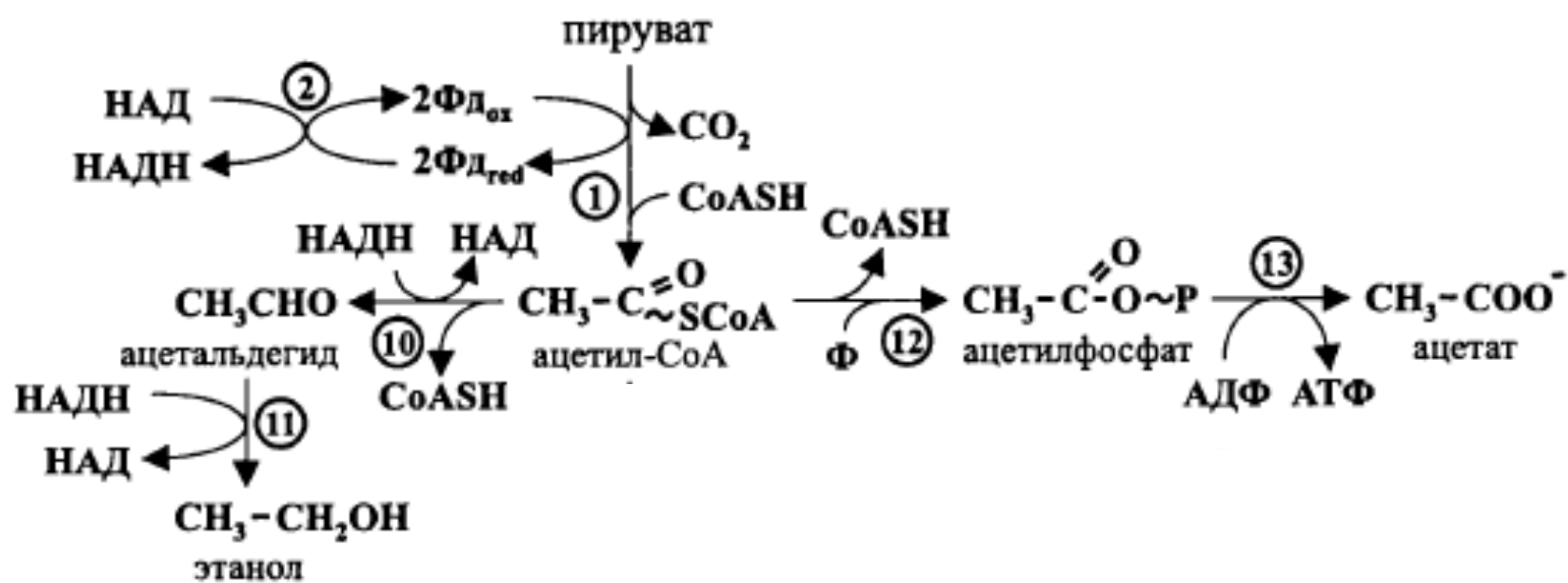
Но: образование водорода в больших количествах невозможно, так как будет ингибироваться весь процесс брожения

Выход: (1) образование более восстановленных, чем ацетат, продуктов

(2) потребление водорода другими микроорганизмами (межвидовой перенос водорода)

Уксуснокислое брожение





БРОЖЕНИЕ

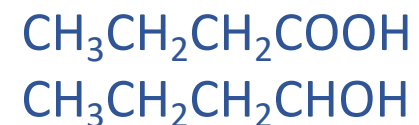
РЕГЕНЕРАЦИЯ ПЕРЕНОСЧИКОВ

Образование молекулярного водорода



Ацетонобутиловое брожение

Масляная кислота, бутанол



Уксуснокислое брожение

Ацетат



Молочнокислое брожение

Лактат



Спиртовое брожение

Этанол



Ацетоновое брожение

Ацетон



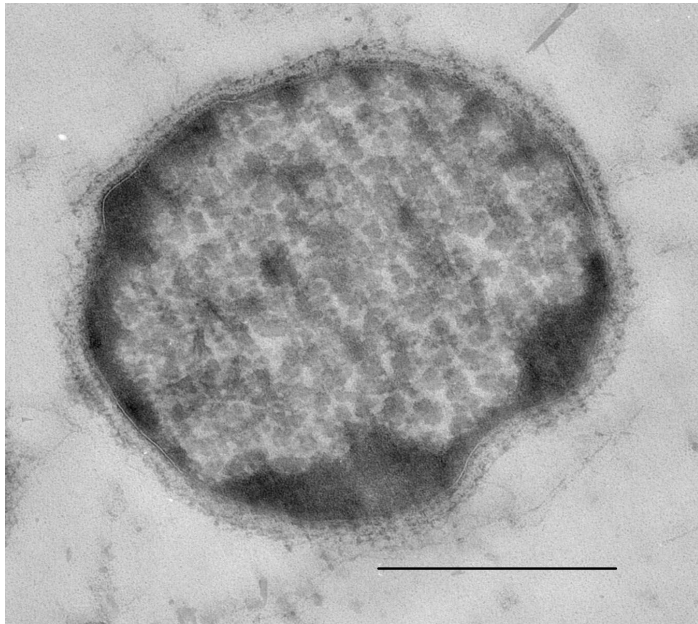
Пропионовое брожение

Пропионовая кислота



«Облегченное брожение»

Многие микроорганизмы способны избавляться от избытка электронов, сбрасывая их на неорганические акцепторы:
 Fe^{3+} , Mn^{4+} , S^0 , NO_2^-



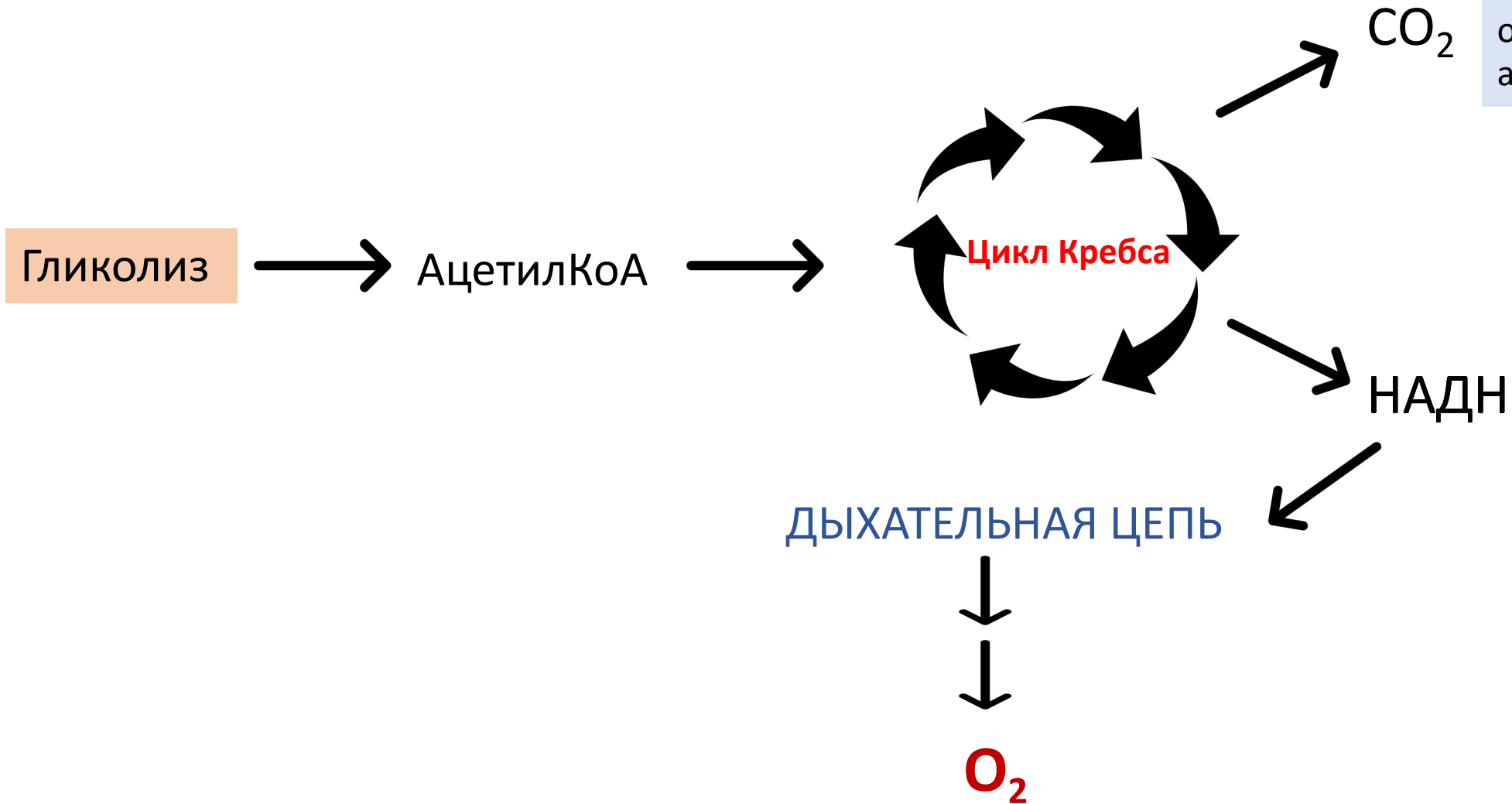
Гипертермофильная архея
Desulfurococcus kamchatkensis

Пептон → ацетат, изобутират, изовалерат, H_2

Пептон+S → ацетат, изобутират, изовалерат, H_2S

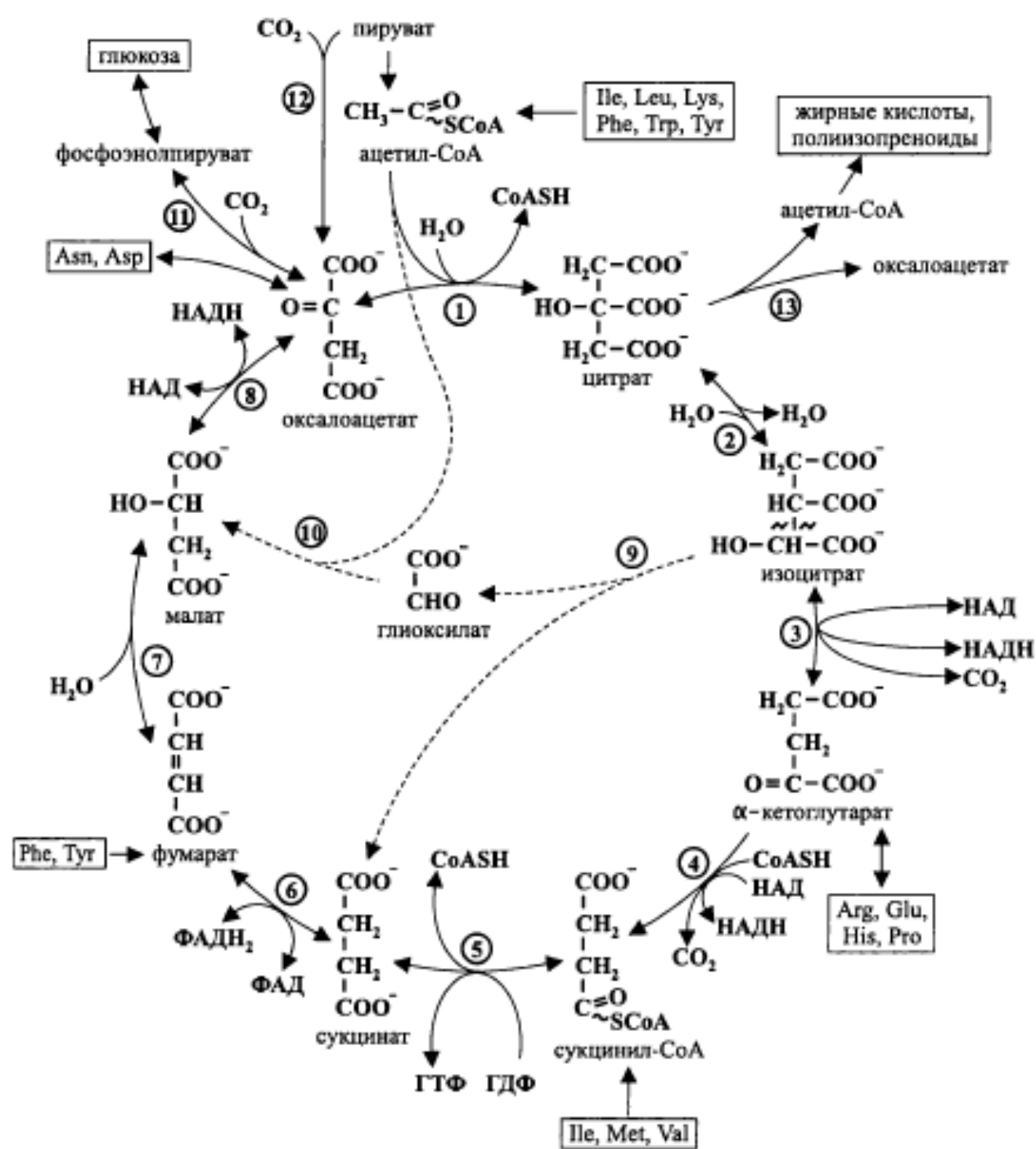
Гипертермофильная архея *Thermococcus stetteri*
Растет на пептоне или с серой, или с метаногеном

АЭРОБНОЕ ДЫХАНИЕ

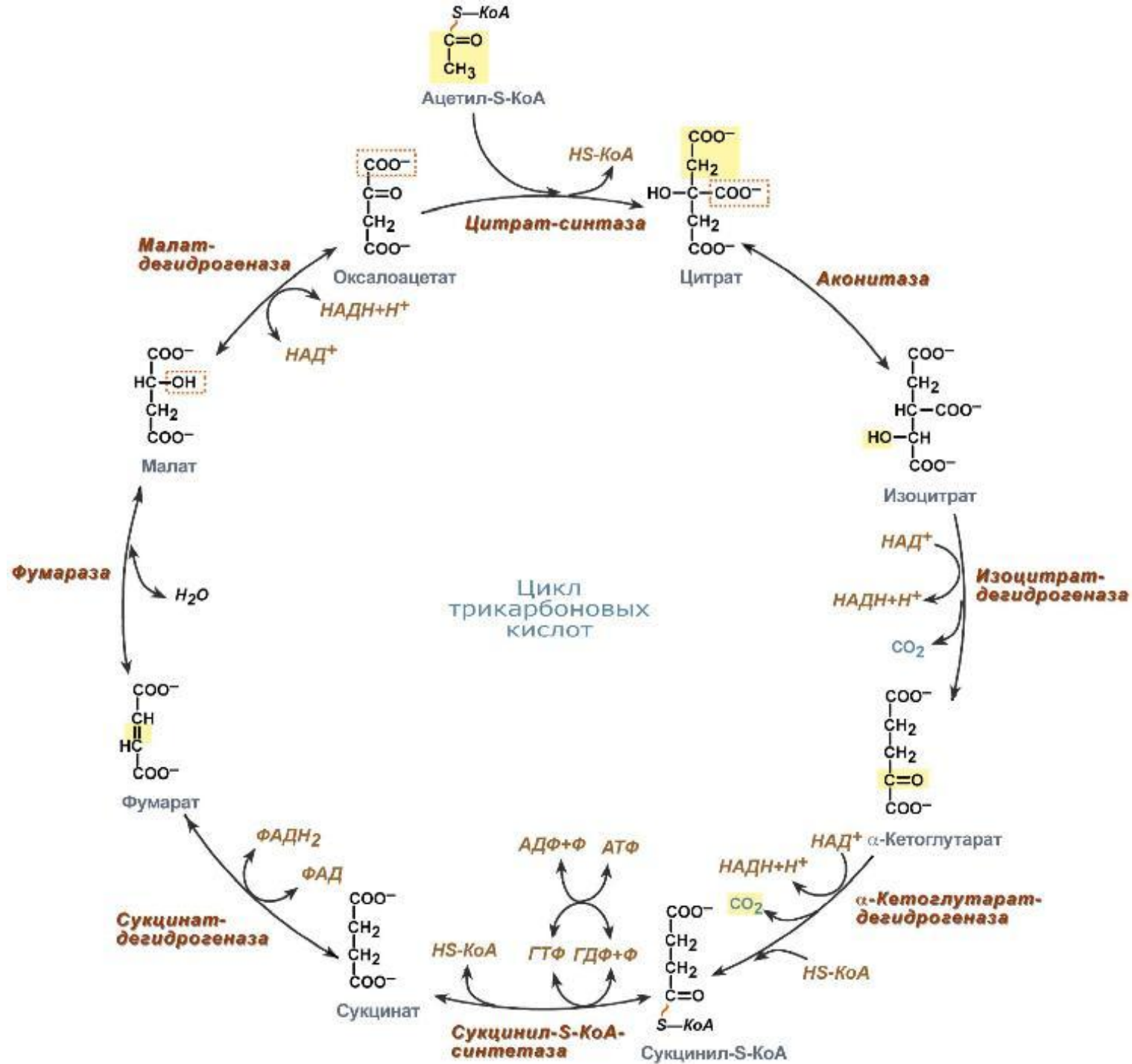


Цикл Кребса – 3-х и 4-х углеродных органических кислот, в результате чего полностью окисляется одна молекула ацетил-коэнзима А

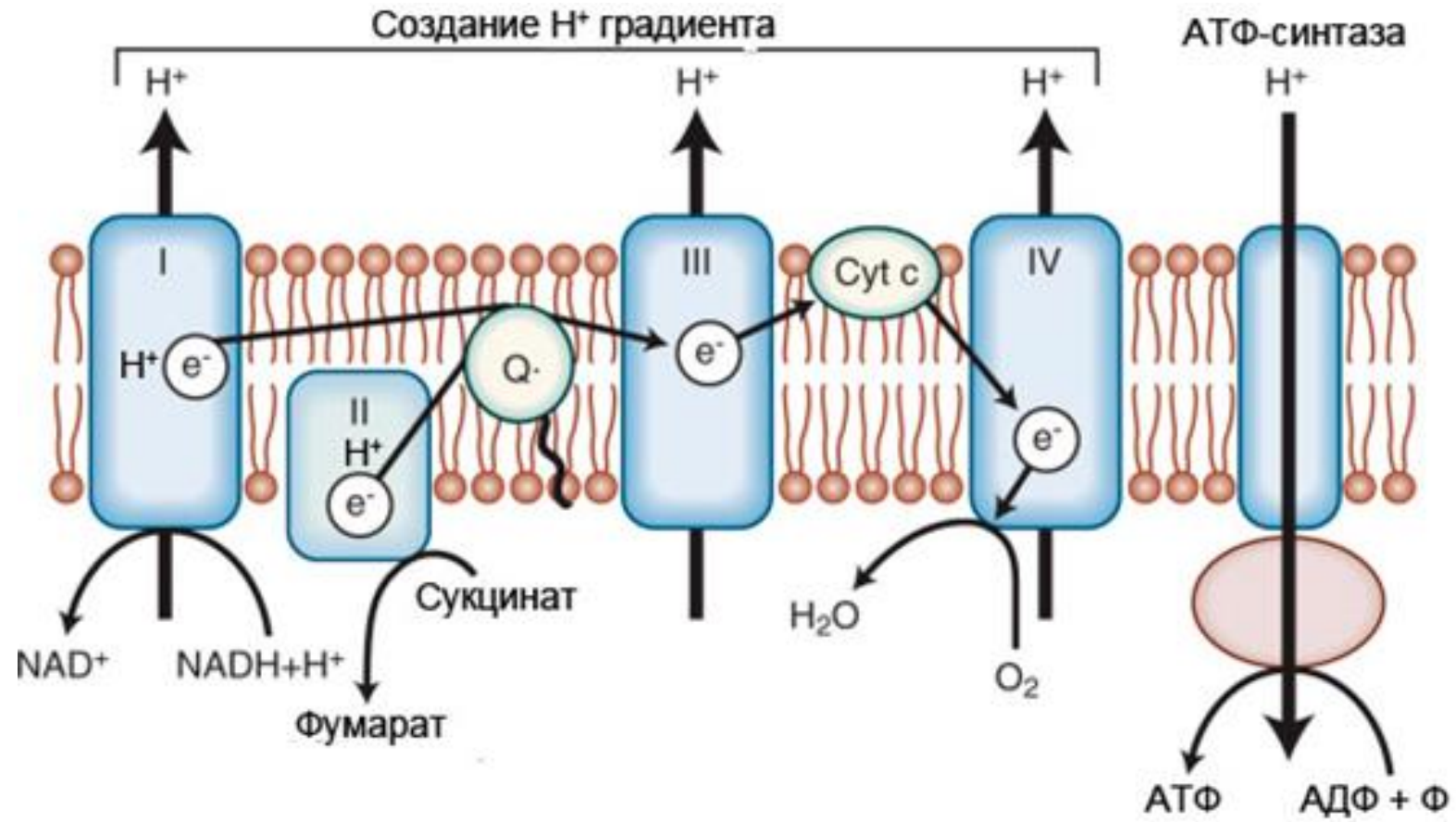
Цикл Кребса



1. Цитратсинтаза
2. Аконитаза
3. ИзоцитратДГ
4. ОксикетоглутаратДГ
5. Сукцинил-КоА-синтетаза
6. СукцинатДГ
7. Фумараза
8. МалатДГ
9. Изоцитратлиаза
10. Малатсинтаза
11. ФЕП-карбоксилаза
12. Пируваткарбоксилаза
13. Цитратлиаза

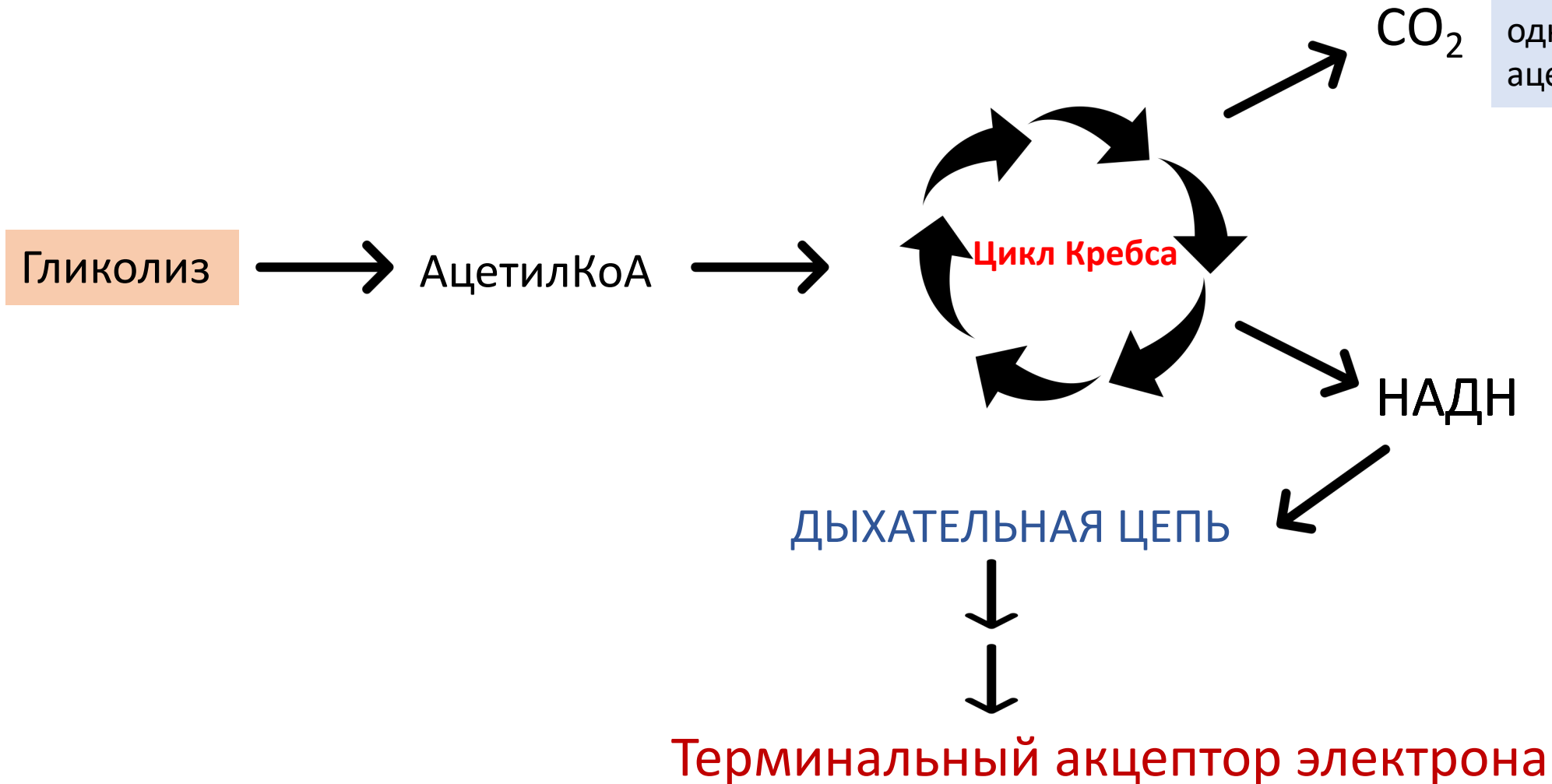


Аэробная ЭТЦ



	АТФ	НАДН	ФАДН ₂	АТФ
Гликолиз	2	2	-	$2+(2 \times 3) = 8$
Пируватдегидрогеназа	-	2	-	$2 \times 3 = 6$
Цикл Кребса	2	6	2	$2+(6 \times 3)+(2 \times 2)=24$
ИТОГО				38

АНАЭРОБНОЕ ДЫХАНИЕ



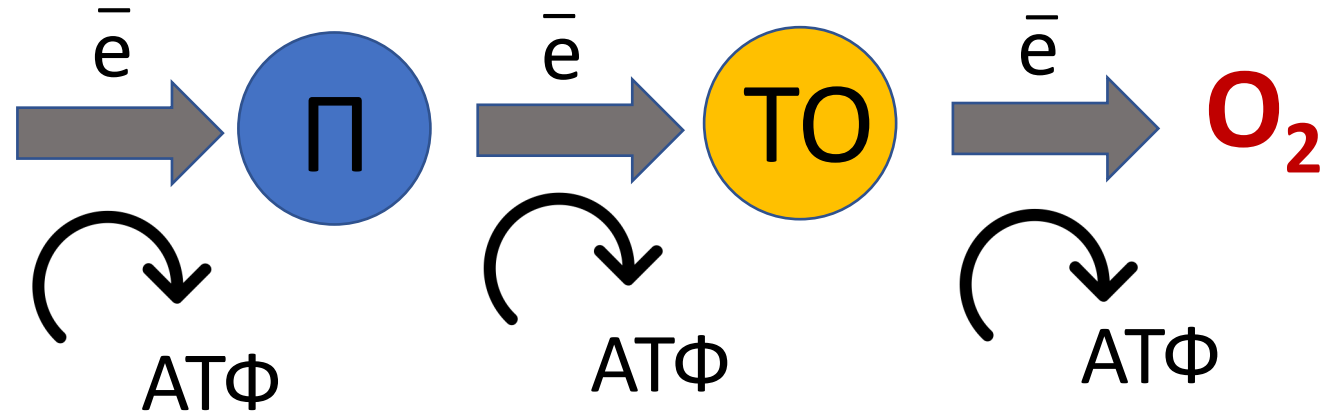
Цикл Кребса – 3-х и 4-х углеродных органических кислот, в результате чего полностью окисляется одна молекула ацетил-коэнзима А

Окислы азота и серы, металлы и металлоиды с переменной валентностью, СО₂

АЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

ЦИКЛ КРЕБСА

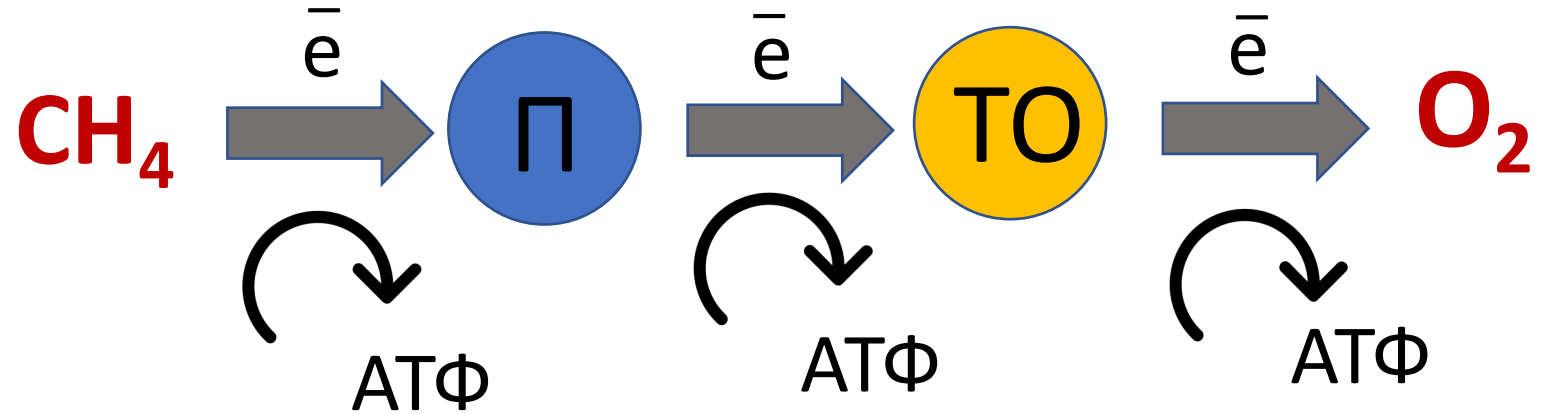
ЧАСТИЧНО
ОКИСЛЕН-
НЫЕ
ОРГАНИЧЕ-
СКИЕ
МОЛЕКУЛЫ



АЭРОБНЫЙ ЭТАП

ПРОКАРИОТЫ

АЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА



АЭРОБНЫЙ ЭТАП

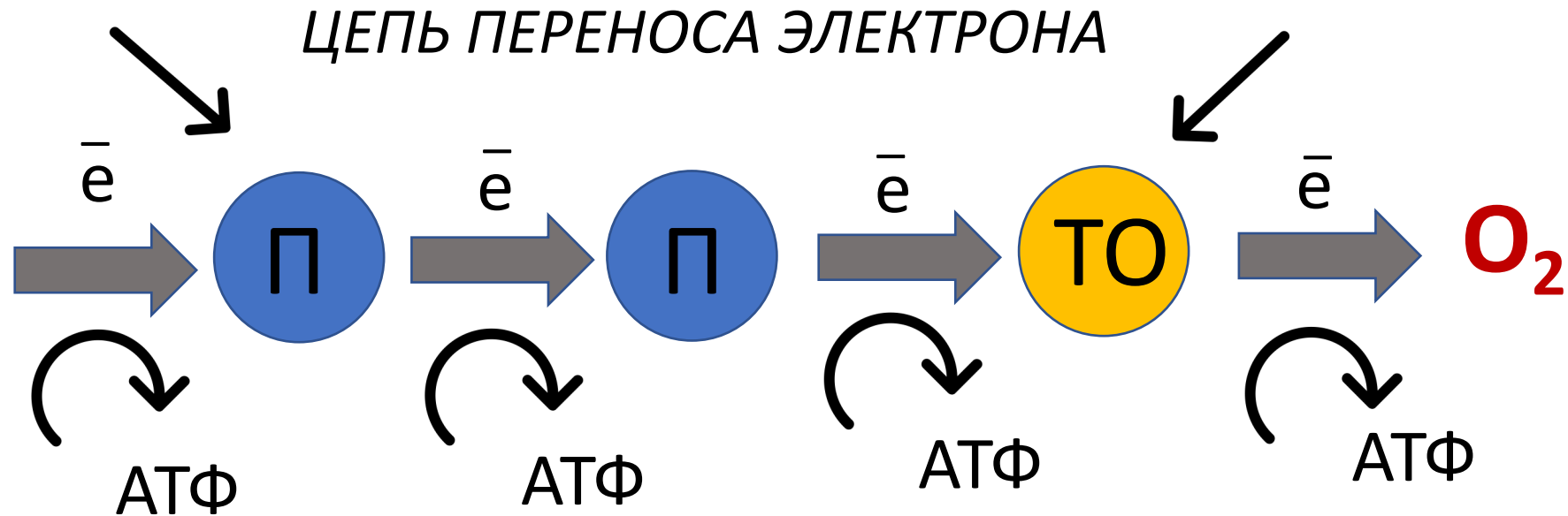
ПРОКАРИОТЫ

АЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

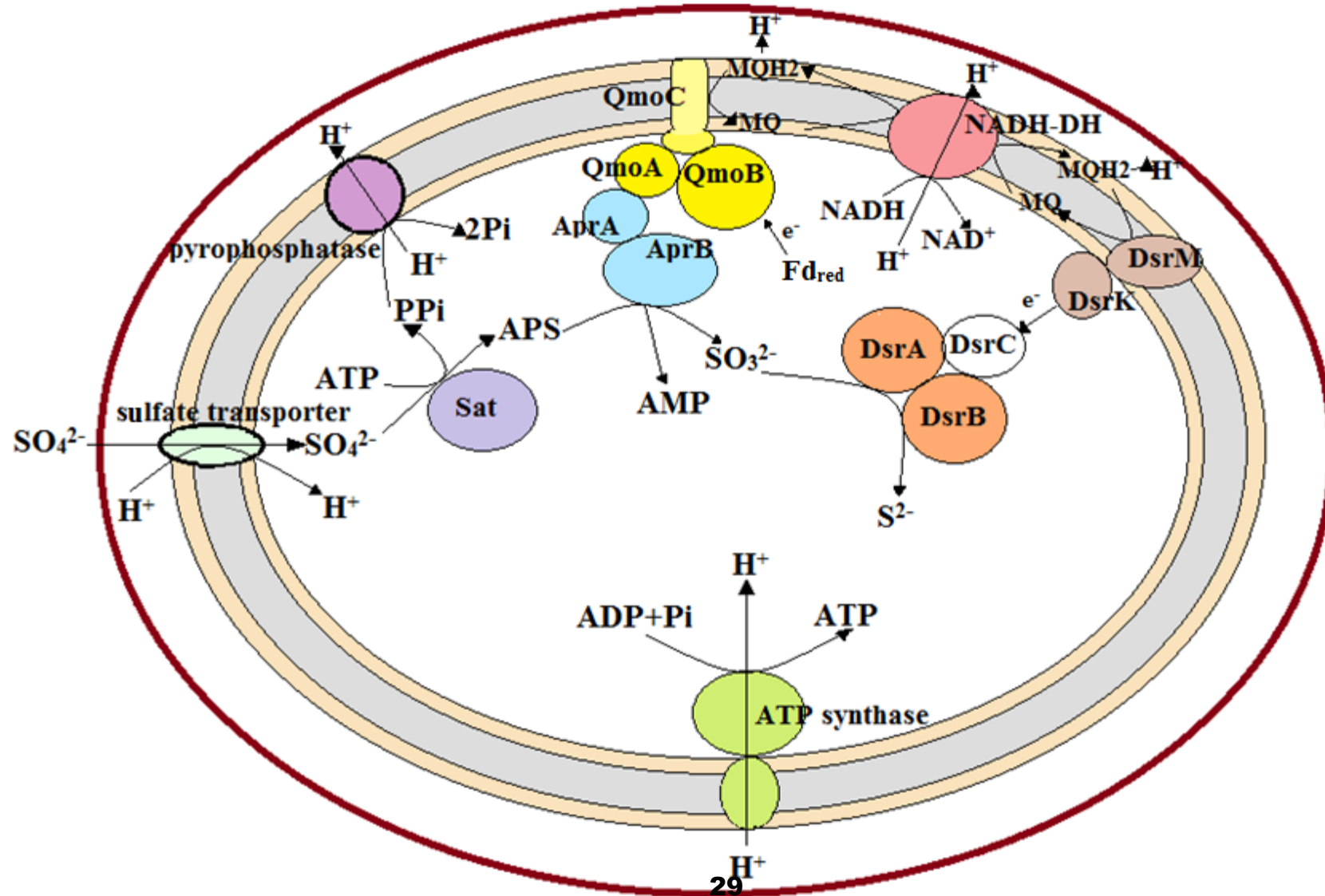
переносчик электрона

терминальная оксидаза

БОГАТЫЙ
ЭНЕРГИЕЙ
НЕОРГАНИ-
ЧЕСКИЙ
СУБСТРАТ



Диссимиляционная сульфатредукция



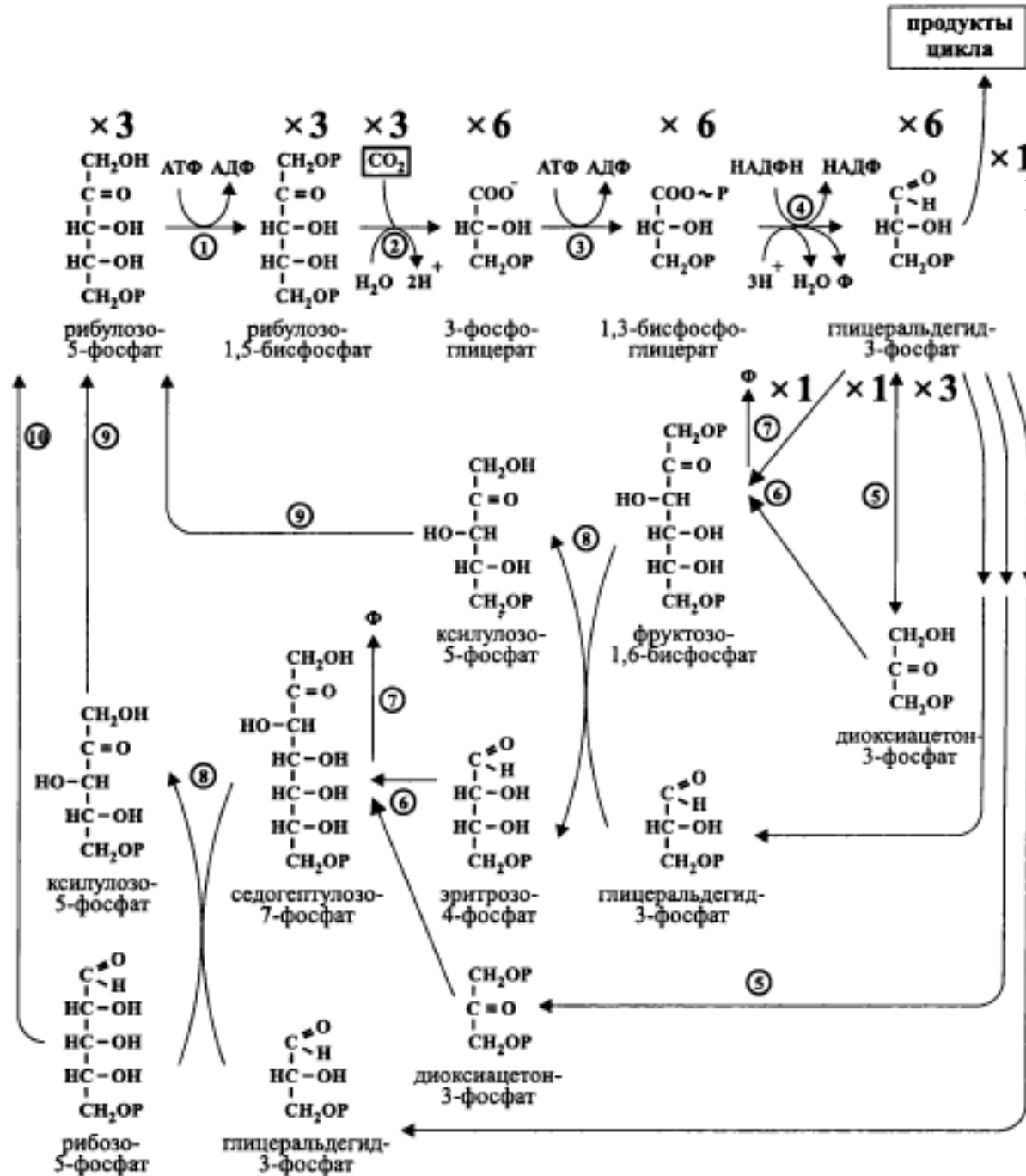
Анаболизм

Автотрофные микроорганизмы, как и растения, строят свое органическое вещество из неорганического – CO_2

Это происходит путем присоединения молекулы CO_2 к уже имеющейся органической молекуле, которая потом должна вернуться в прежнее состояние в результате цикла реакций

Самый известный цикл ассимиляции CO_2 – цикл Кальвина (есть у растений, водорослей, многих бактерий)

Цикл Кальвина-Бенсона-Басхама



1. Фосфорibuлокиназа
2. РубисКО
3. Фосфоглицераткиназа
4. ТриозофосфатДГ
5. Триозофосфатизомераза
6. Альдолаза
7. Фосфатаза
8. Транскетолаза
9. Фосфопентоэпимераза
10. Фосфопентоизомераза

Рубиско – Рибулозо-бис-фосфат карбоксилаза
– самый массовый белок на Земле

**Цикл
Кальвина-Бенсона-Басхама**

Метаболизм

CO₂

3 C5-сахар-фосфат

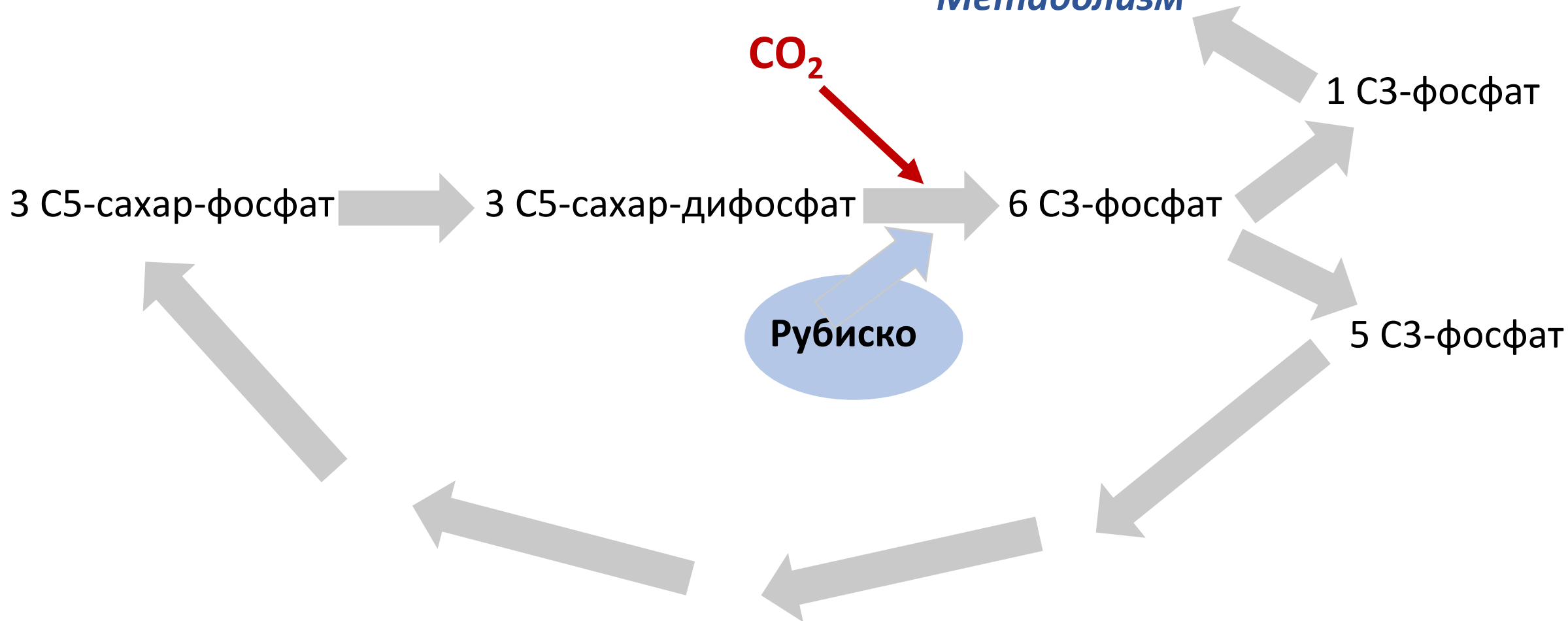
3 C5-сахар-дифосфат

6 C3-фосфат

1 C3-фосфат

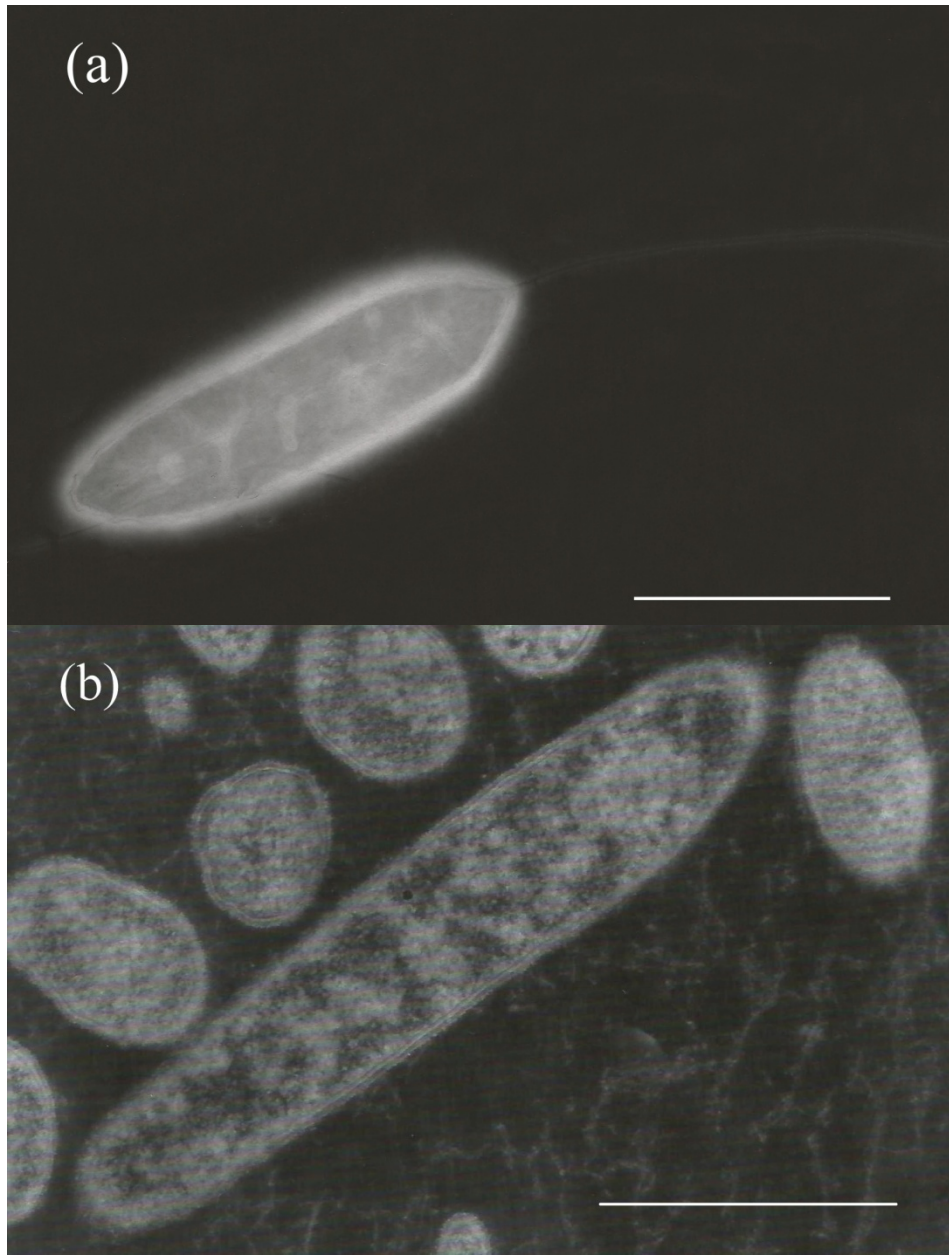
5 C3-фосфат

Рубиско



Известны 4 формы Рубиско:

- Форма I – у растений, водорослей и многих бактерий
- Форма II – у некоторых бактерий
- Форма III – у архей, но участвует в обмене нуклеотидов, а не в автотрофной ассимиляции CO_2
- Форма IV – некарбоксилирующая, у некоторых бактерий

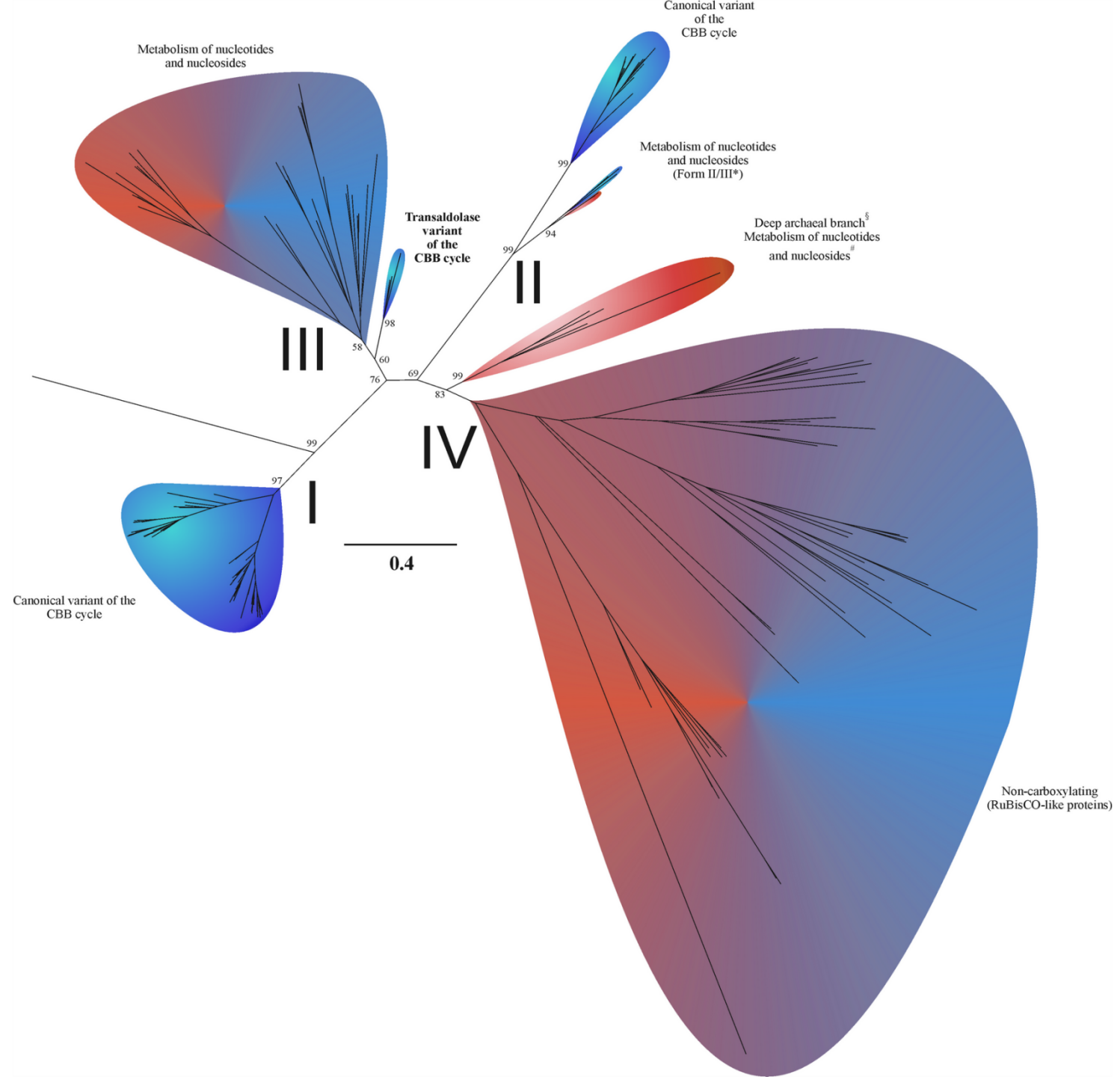


Thermodesulfobium acidophilum – новая сульфатредуцирующая бактерия, выделенная из кислого горячего источника Камчатки
Оптимальный рост при 54оС и рН 4.8-5.0

Использует молекулярный водород, восстанавливая сульфат в сероводород:



Представляет глубокую линию уровня филума
Ассимилирует CO_2 с помощью цикла Кальвина, в котором участвует III форма Рубиско



Metabolism of nucleotides and nucleosides

Canonical variant of the CBB cycle

Metabolism of nucleotides and nucleosides (Form II/III*)

Transaldolase variant of the CBB cycle

Deep archael branch[§] Metabolism of nucleotides and nucleosides[#]

Canonical variant of the CBB cycle

Non-carboxylating (RuBisCO-like proteins)

0.4

РАЗНООБРАЗИЕ ПУТЕЙ АССИМИЛЯЦИИ CO₂ У ПРОКАРИОТ

Помимо вариантов цикла Кальвина, у прокариот существует еще 7 путей ассимиляции CO₂

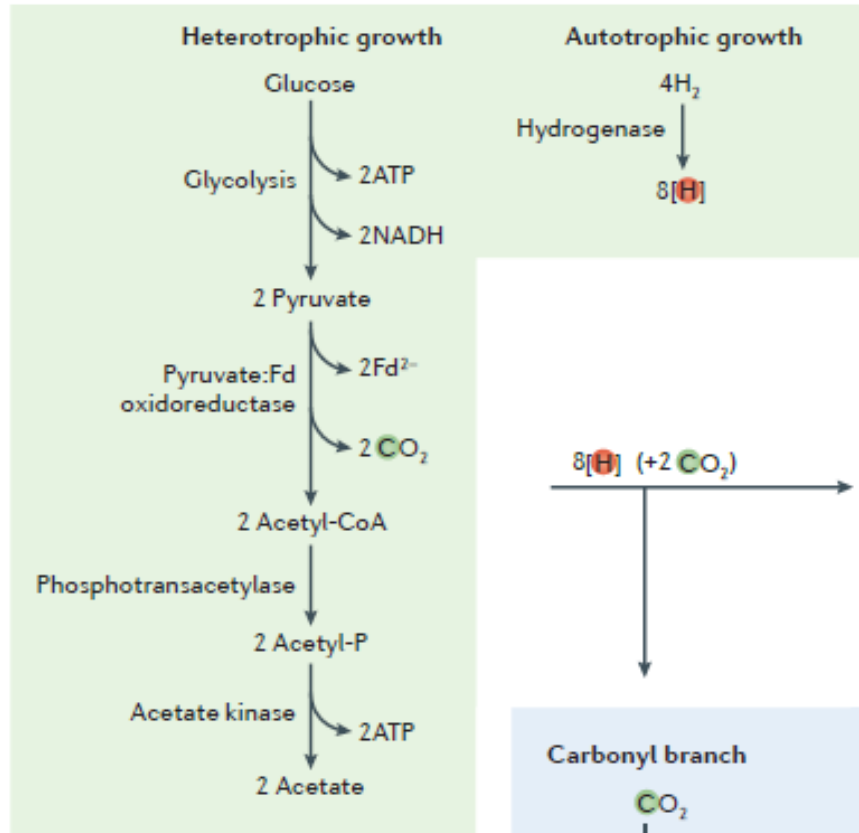
6 циклических:

- Восстановительный цикл трикарбоновых кислот (бактерии и археи)
- Сериновый цикл (только у некоторых метаноокисляющих бактерий)
- Рибулозомонофосфатный цикл (также у некоторых метаноокисляющих бактерий)
- Оксипропионатный цикл (бактерии филума *Chloroflexi*, археи)
- 4-гидроксibuтиратный цикл (археи)
- Обращенный цикл трикарбоновых кислот

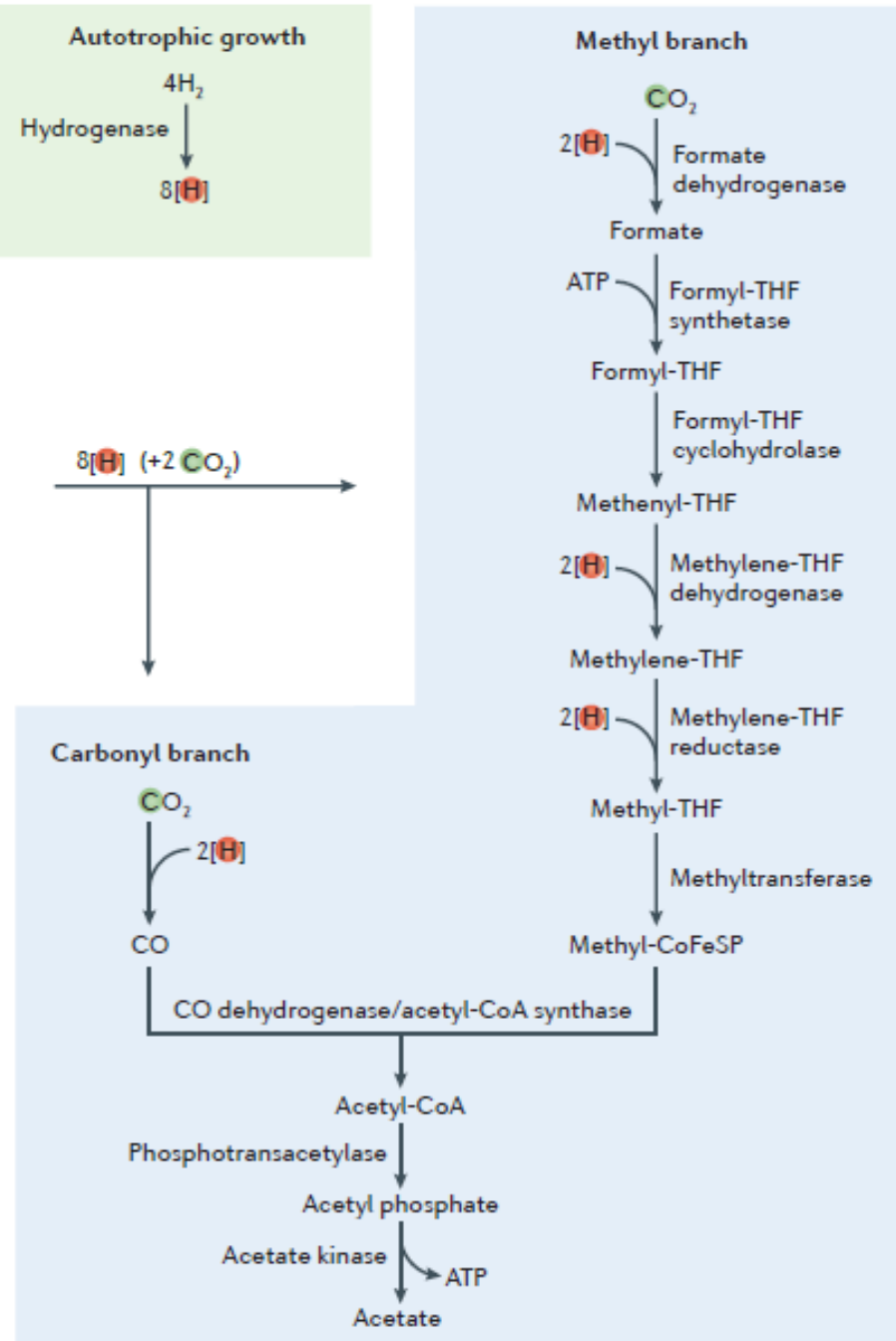
И один нециклический

- Путь Вуда-Льюнгдаля (бактерии, археи)

**Oxidative reactions
(providing reducing equivalents)**

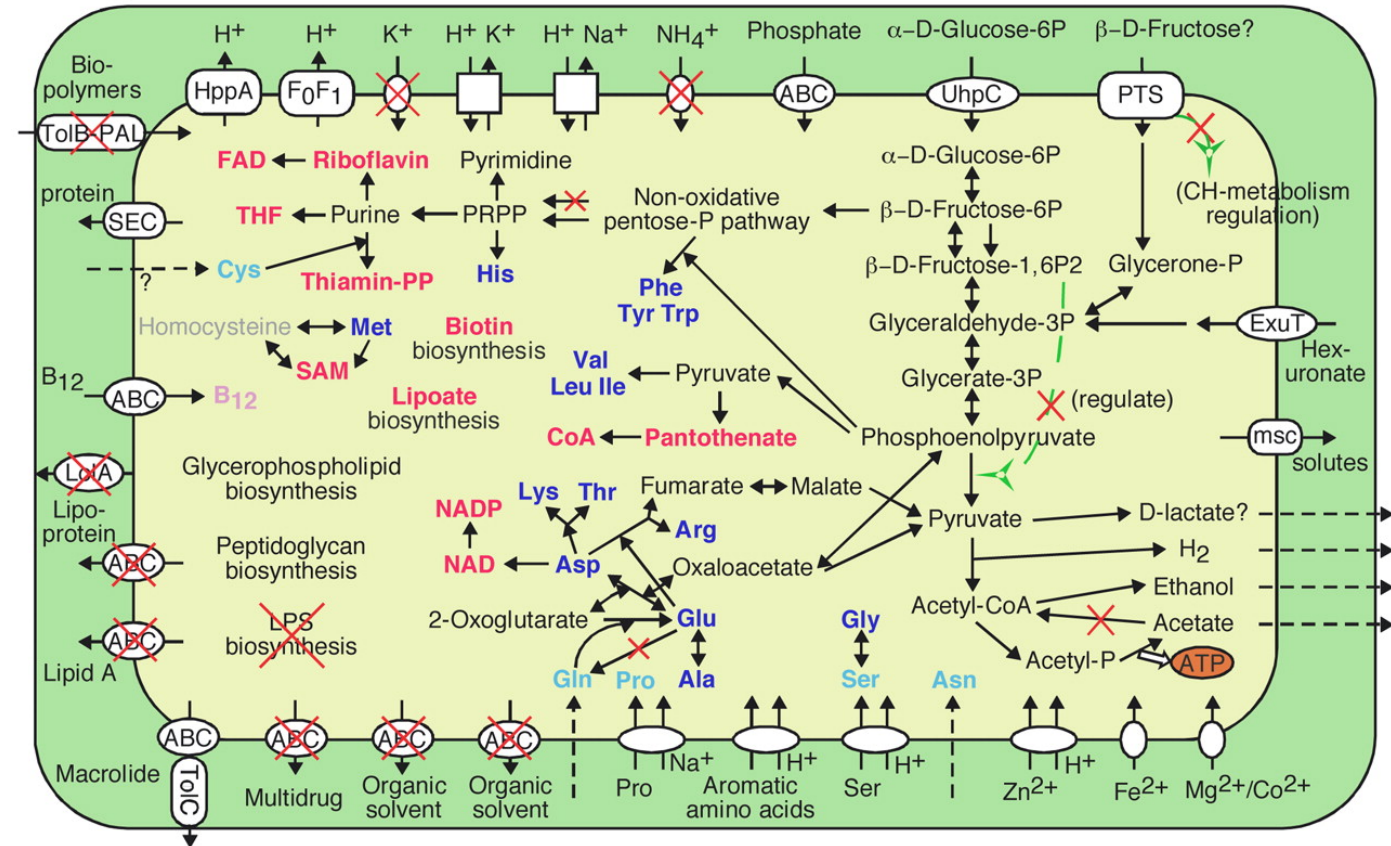


Wood-Ljungdahl pathway



КАРТЫ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПУТЕЙ

В каждом живом организме существуют пути катаболизма и биосинтеза мономеров – сахаров, аминокислот, жирных кислот, нуклеотидов; полимеров – полисахаридов, белков, липидов, нуклеиновых кислот и пр.



Секвенирование и анализ генома позволяют идентифицировать гены, кодирующие известные белки

Для неизвестных белков необходима экспериментальная проверка функции