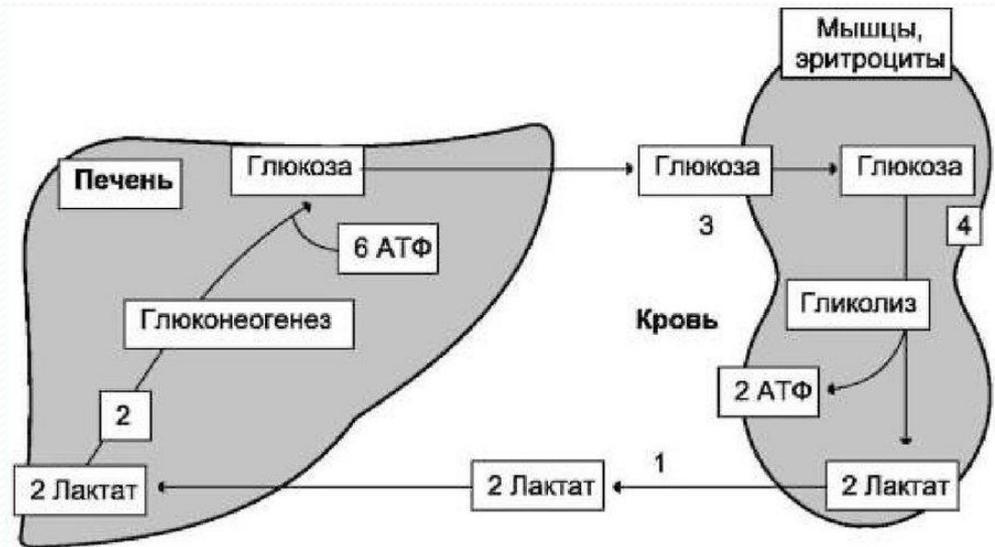
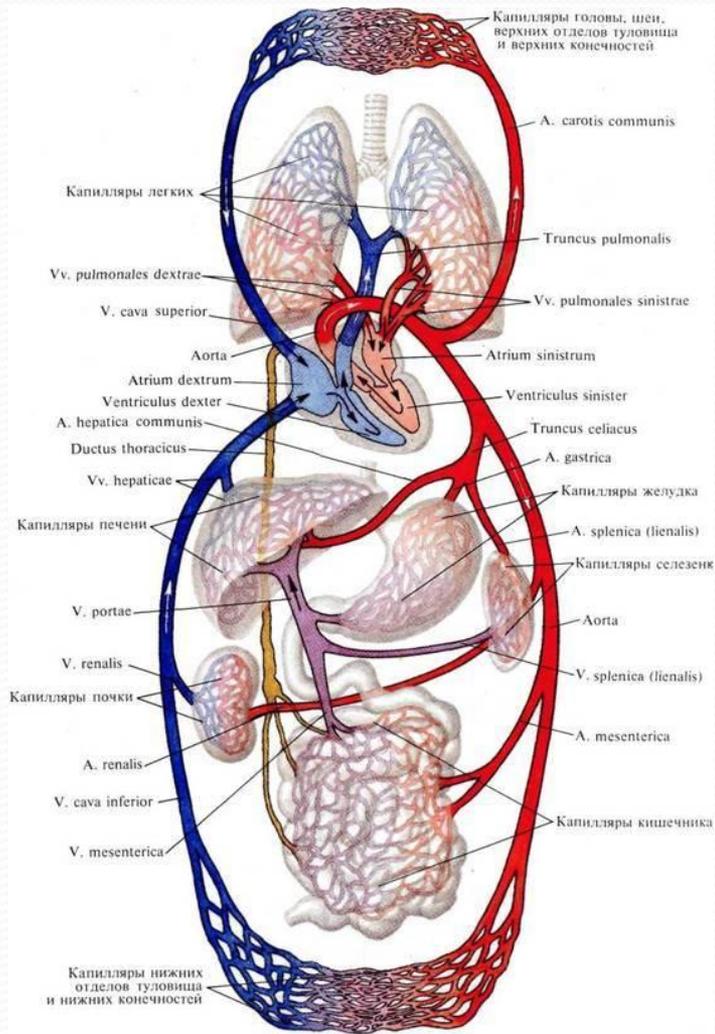


# **Катаболизм органических веществ на примере углеводов и жиров**

# Стадии энергетического обмена

	<b>I подготовительный этап</b>	<b>II бескислородный этап</b>	<b>III кислородный этап</b>
<b>Где происходит расщепление?</b>	В органах пищеварения. В лизосоме в клетке.	Внутри клетки.	В митохондриях.
<b>Чем активизируется расщепление?</b>	Ферментами пищеварительных соков.	Ферментами мембран клеток.	Ферментами митохондрий.
<b>До каких веществ расщепляются соединения клетки?</b>	Белки → аминокислоты. Жиры → глицерин + жирные кислоты. Углеводы → глюкоза.	Глюкоза → 2 молекулы молочной кислоты + энергия.	Пировиноградная кислота до $\text{CO}_2$ и $\text{H}_2\text{O}$
<b>Сколько выделяется энергии?</b>	Мало, рассеивается в виде тепла.	За счет 40% - синтезируется АТФ, 60% - рассеивается в виде тепла.	Более 55% энергии запасается в виде АТФ.
<b>Сколько синтезируется энергии в виде АТФ?</b>	—	2 молекулы АТФ.	36 молекул АТФ.

# Роль печени и Цикл Кори

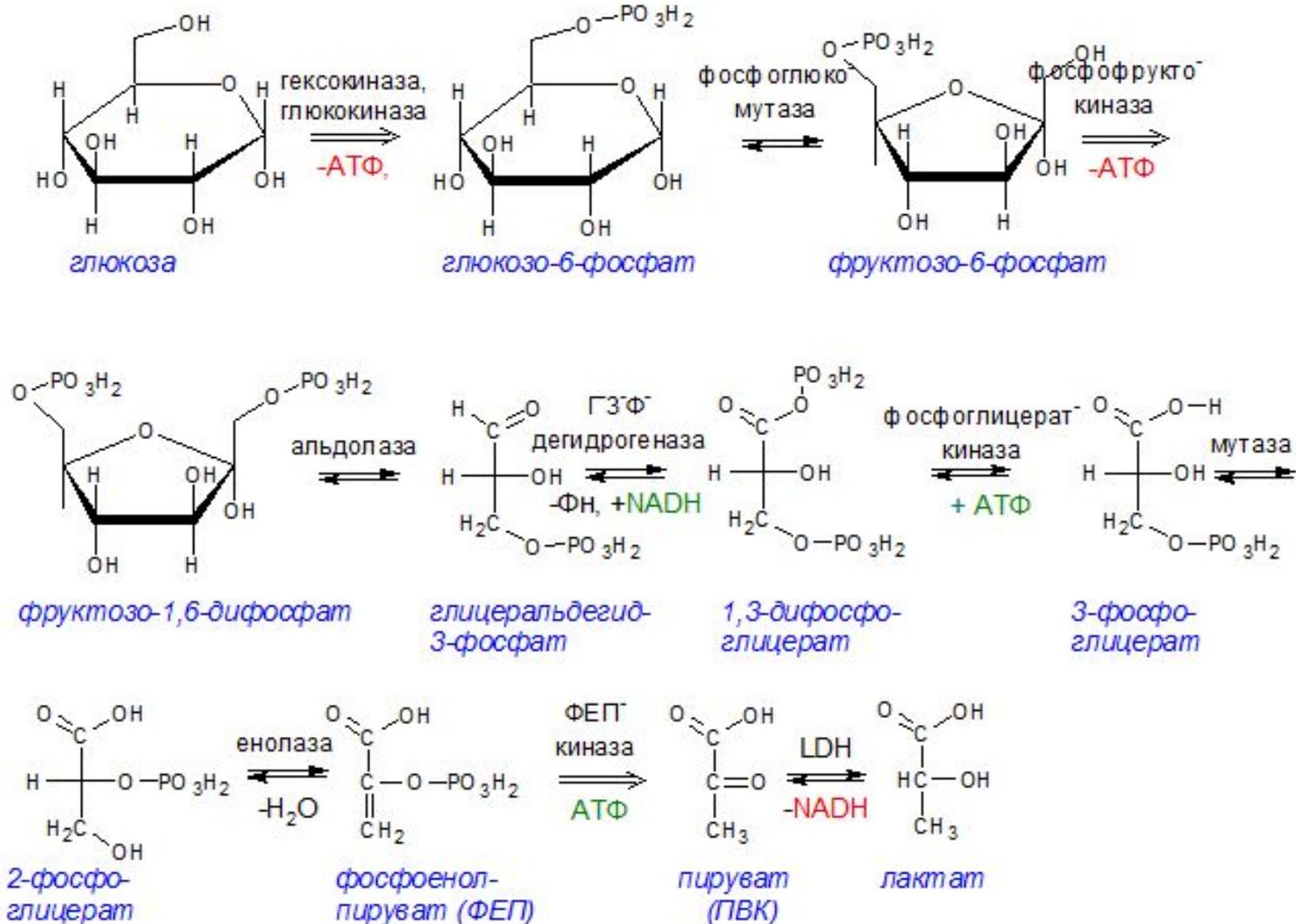


# Классификация ферментов

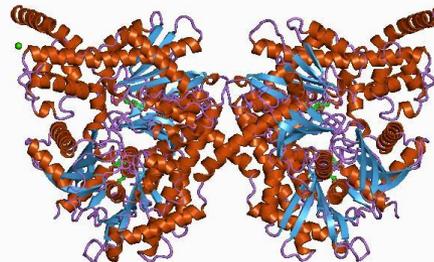
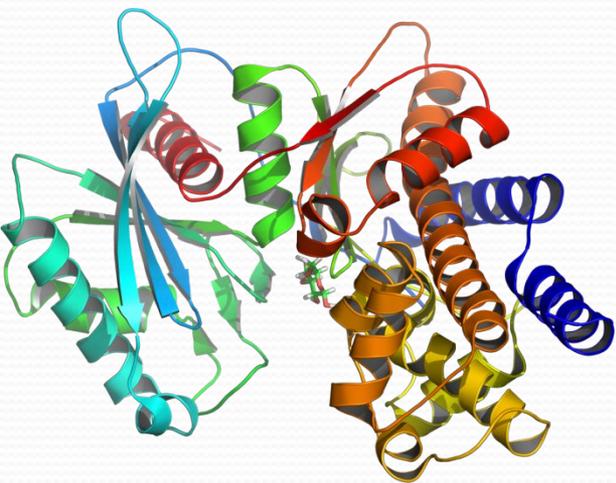
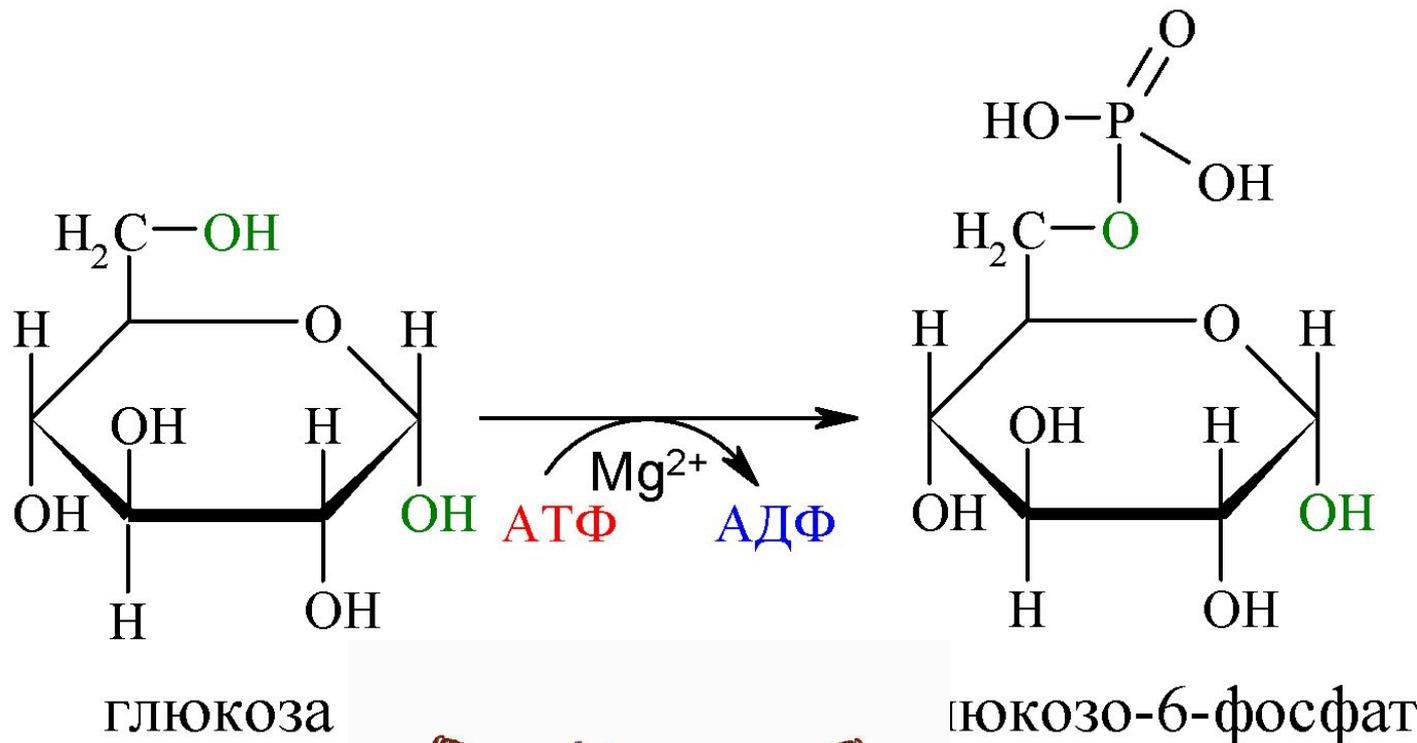
Классы ферментов	Катализируемая реакция	Примеры ферментов или их групп
Оксидоредуктазы	Перенос атомов водорода или электронов от одного вещества к другому.	Дегидрогеназа, оксидаза
Трансферазы	Перенос определенной группы атомов -метильной, ацильной, фосфатной или аминогруппы-одного вещества к другому	Трансаминаза, киназа
Гидролазы	Реакции гидролиза	Липаза, амилаза, пептидаза
Лиазы	Негидролитическое присоединение к субстрату или отщепление от него группы атомов. При этом могут разрываться связи C-C, C-N, C-O или C-S	Декарбоксилаза, фумараза, альдолаза
Изомеразы	Внутримолекулярная перестройка	Изомераза, мутаза
Лигазы	Соединение двух молекул в результате образования новых связей, сопряженное с распадом АТФ	Синтетаза

# Гликолиз или Брожение

## ● Схема гликолиза

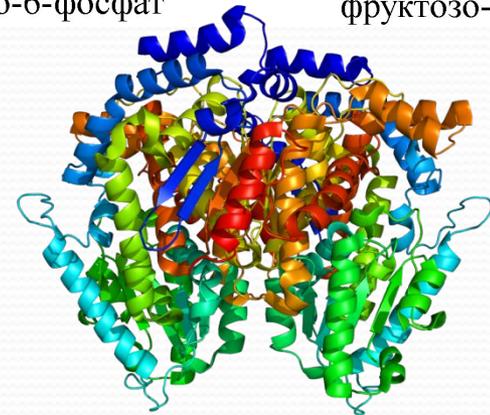
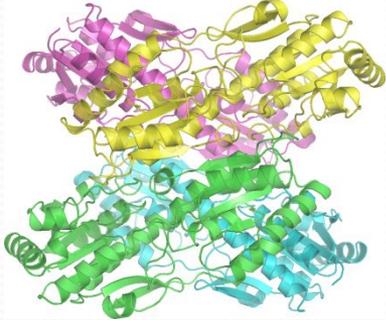
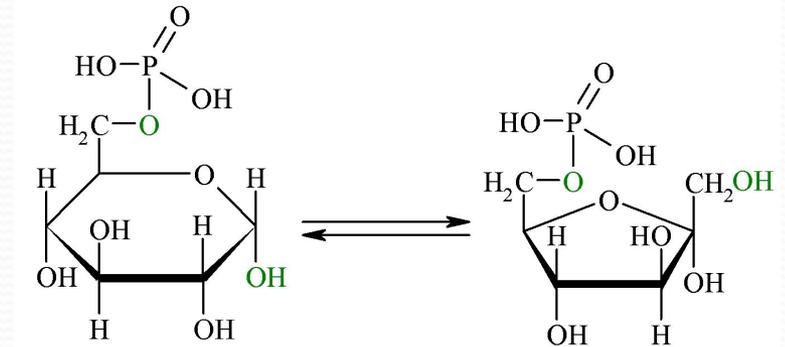
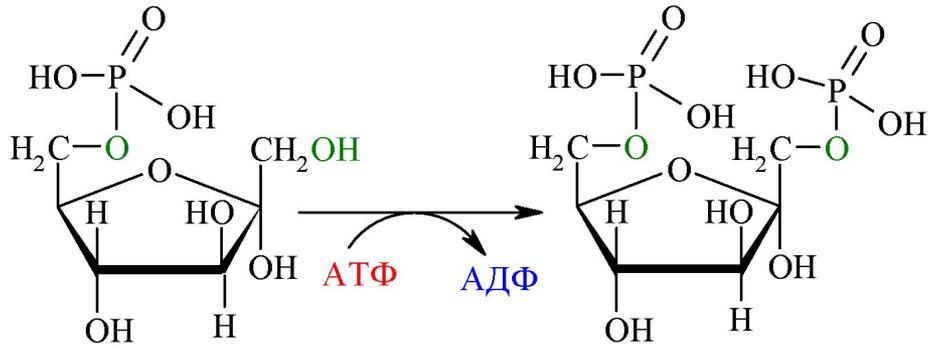


# Первая реакция



Гексокиназа. Всего в организме существует 4 изоформы этого фермента. IV форма носит название Глюкокиназа и располагается она в печени (гепатоцитах).

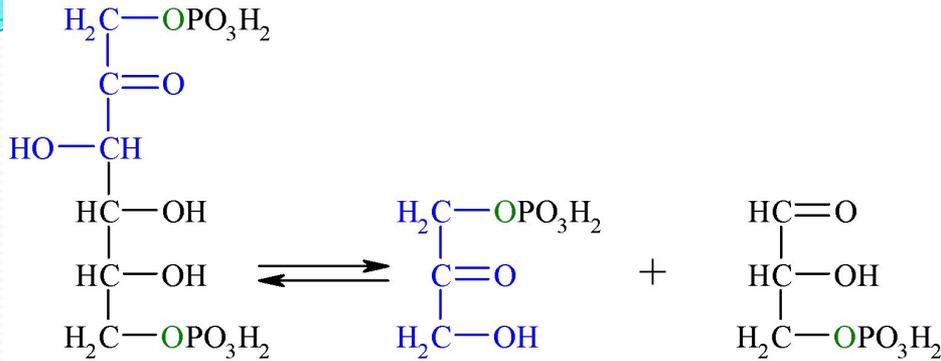
# Вторая и Третья реакции



У некоторых, как правило анаэробных, бактерий и протистов фосфофруктокиназа в качестве донора фосфорильной группы для образования фруктозо-1,6-дифосфата использует пиродифосфорную кислоту ( $\text{PP}_i$ ), а не АТФ. В растительных клетках имеется как АТФ-зависимая фосфофруктокиназа, так и пиродифосфат-зависимая фосфофруктокиназа (реакция, катализируемая последней, обратима). Пиродифосфат-зависимая фосфофруктокиназа локализована в цитозоле и активируется в условиях стресса, при дефиците АТФ (например, при аноксии) и фосфорном голодании. Мутация в гене PFKM, кодирующем изоформу фосфофруктокиназы мышечного типа, приводит к болезни Таруи— нарушению хранения гликогена (гликогеноз), при котором снижена способность некоторых типов клеток использовать углеводы в качестве источника энергии.

Фосфоглюкоизомераза катализирует обратимую изомеризацию глюкозо-6-фосфата (альдозы) во фруктозо-6-фосфат (кетозу) Механизм этой реакции включает в себя образование промежуточного енодиольного соединения. Эта реакция одинаково хорошо идёт в обоих направлениях

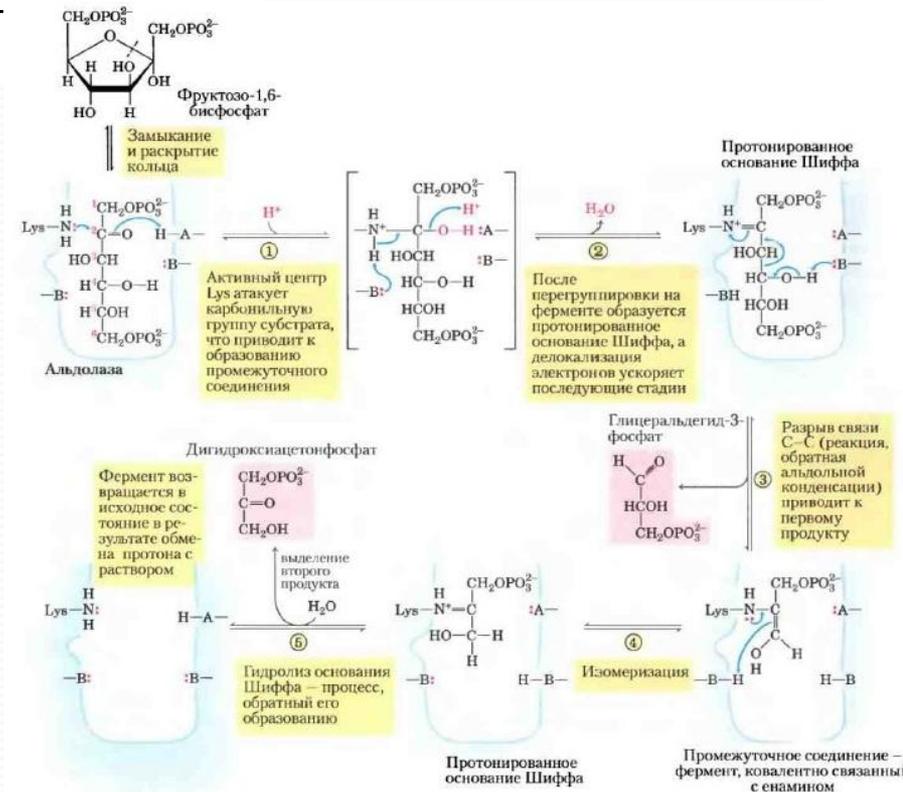
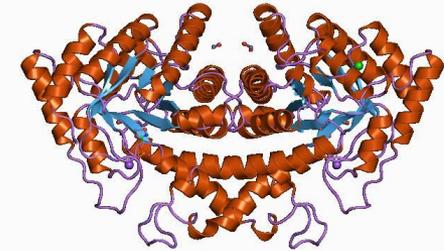
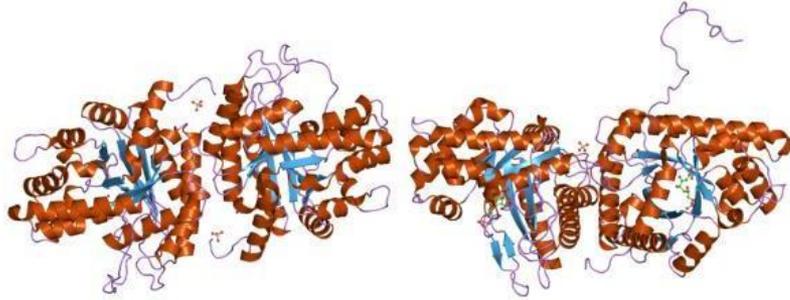
# Четвертая реакция



фруктозо-1,6-  
бисфосфат

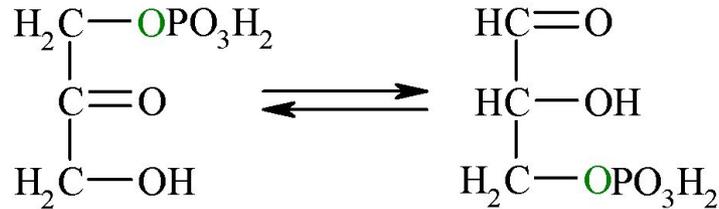
диоксиацетон-  
фосфат

глицеральдегид-3-  
фосфат



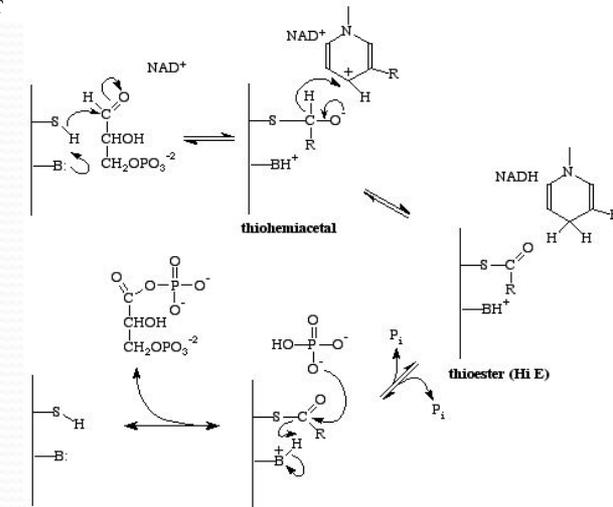
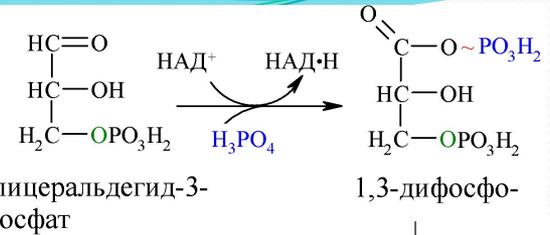
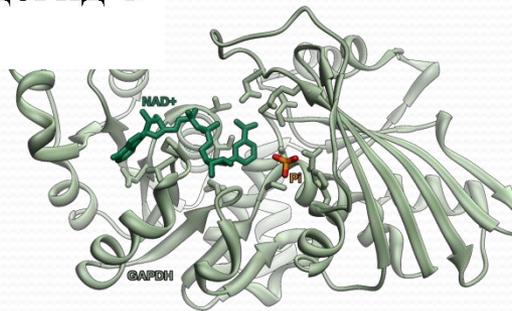
Существуют 2 класса альдозаз. Альдозазы класса I имеются у животных и растений, их работа сопровождается образованием промежуточного основания Шиффа. Альдозазы класса II имеются у грибов и бактерий, при их работе промежуточных оснований Шиффа не образуется. Вместо этого ион цинка в активном сайте фермента связывается с атомом кислорода карбонильной группы при C-2. Ион  $\text{Zn}^{2+}$  поляризует карбонильную группу и стабилизирует енольное промежуточное соединение, образующееся при разрыве связи C—C

# реакции



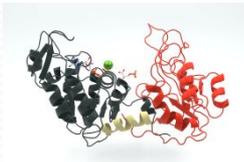
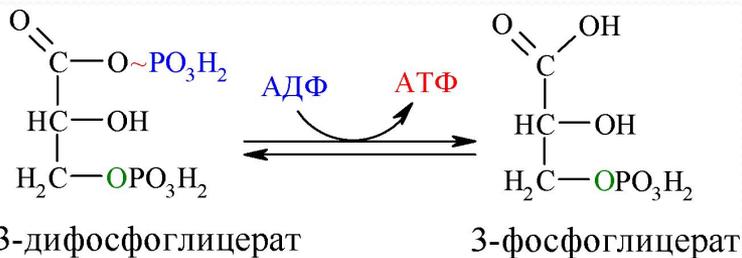
диоксиацетон-фосфат

глицеральдегид-3-фосфат



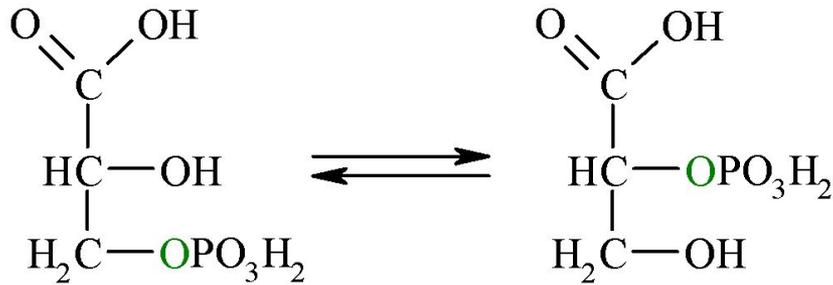
Количество  $\text{NADH}^+$  в клетке ( $< 10^{-5} \text{ M}$ ) гораздо меньше, чем количество глюкозы, расщепляемой за несколько минут. Если  $\text{NADH}$ , образующийся на этой стадии гликолиза, не будет постоянно расходоваться (то есть окисляться), то гликолиз останавливается.

Этот фермент получил своё название за обратную реакцию, при которой происходит перенос фосфатной группы с АТФ на 3-фосфоглицерат. Он катализирует оба направления реакции. Реакцию фосфорилирования 3-фосфоглицерата он катализирует при глюконеогенезе и при фотосинтетическом поглощении  $\text{CO}_2$



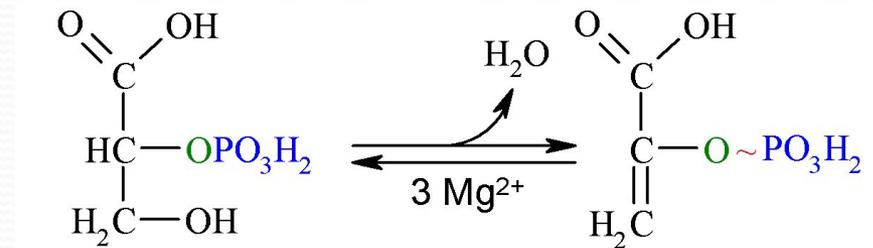
Механизм этой реакции схож с механизмом реакции, катализируемой фосфогексоизомеразой на стадии 2

# Восьмая и Девятая реакции



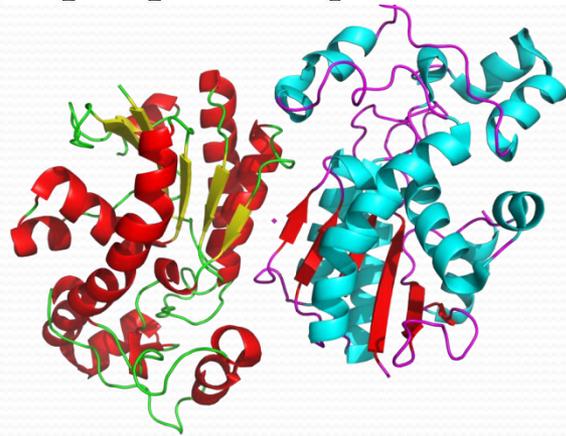
3-фосфоглицерат

2-фосфоглицерат

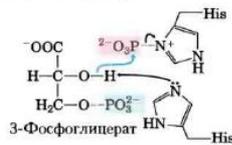


2-фосфоглицерат

фосфоенолпируват



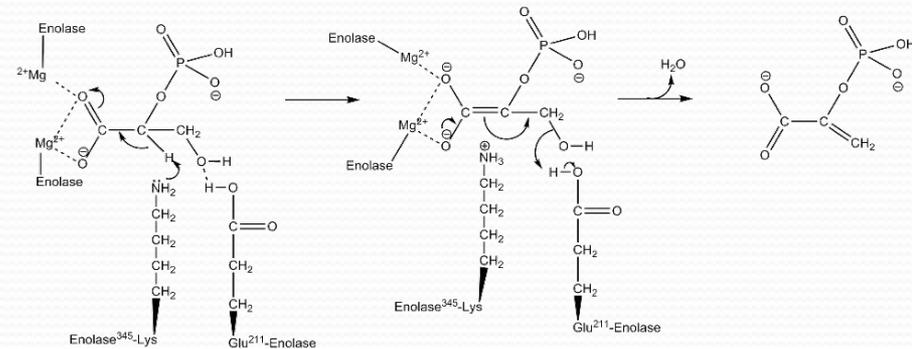
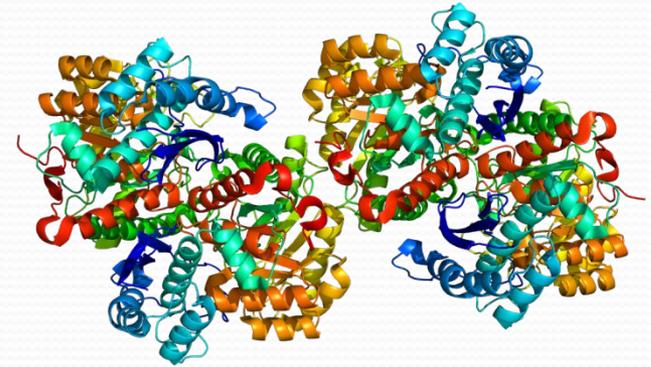
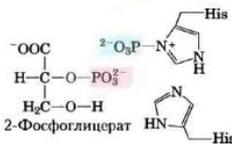
Фосфоглицератмутаза



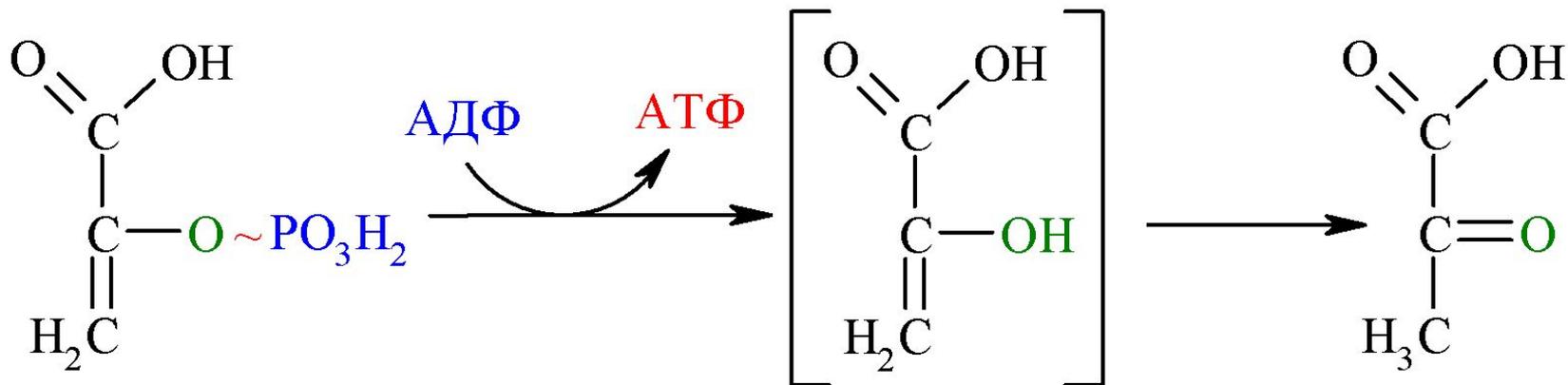
① Происходит перенос фосфатной группы с активного центра His на C-2(OH) субстрата. Второй активный центр His участвует в основном катализе.



② Фосфатная группа переносится с C-3 субстрата на первый активный центр His. Второй активный центр участвует в кислотном катализе.



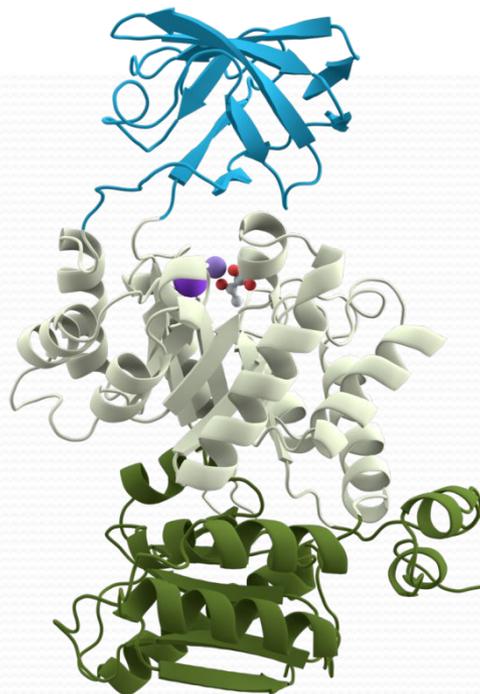
# Юбилейная Десятая реакция



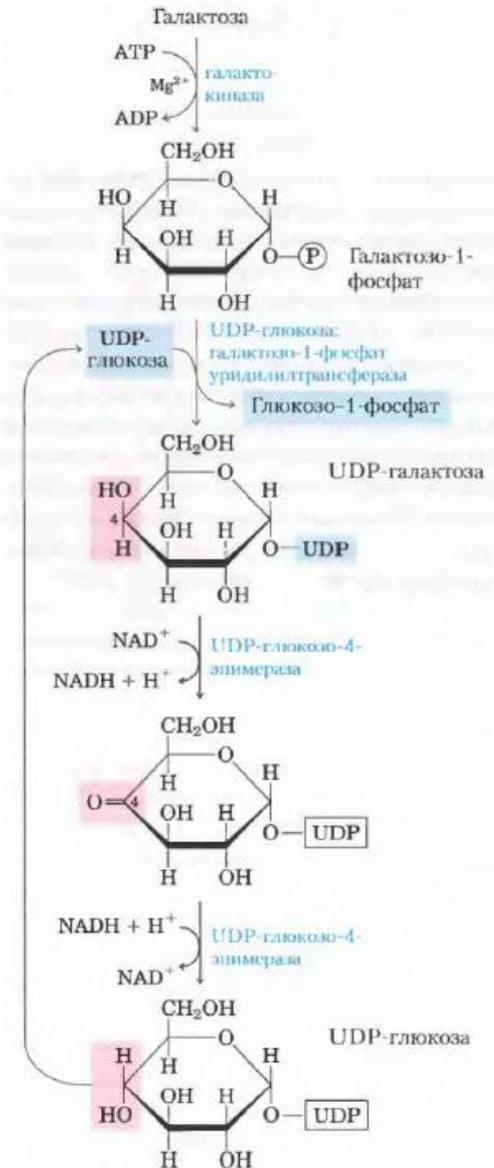
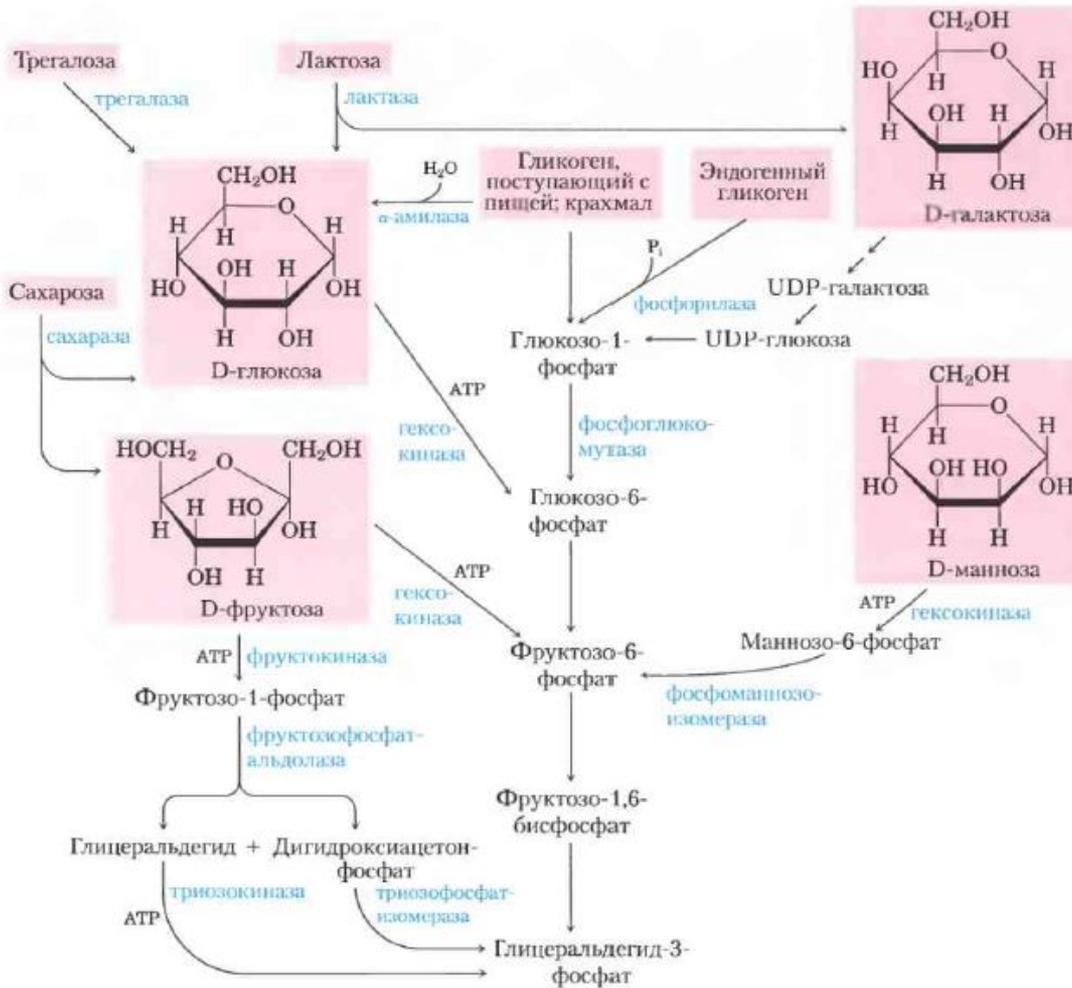
фосфоенолпируват

енольная форма  
пирувата

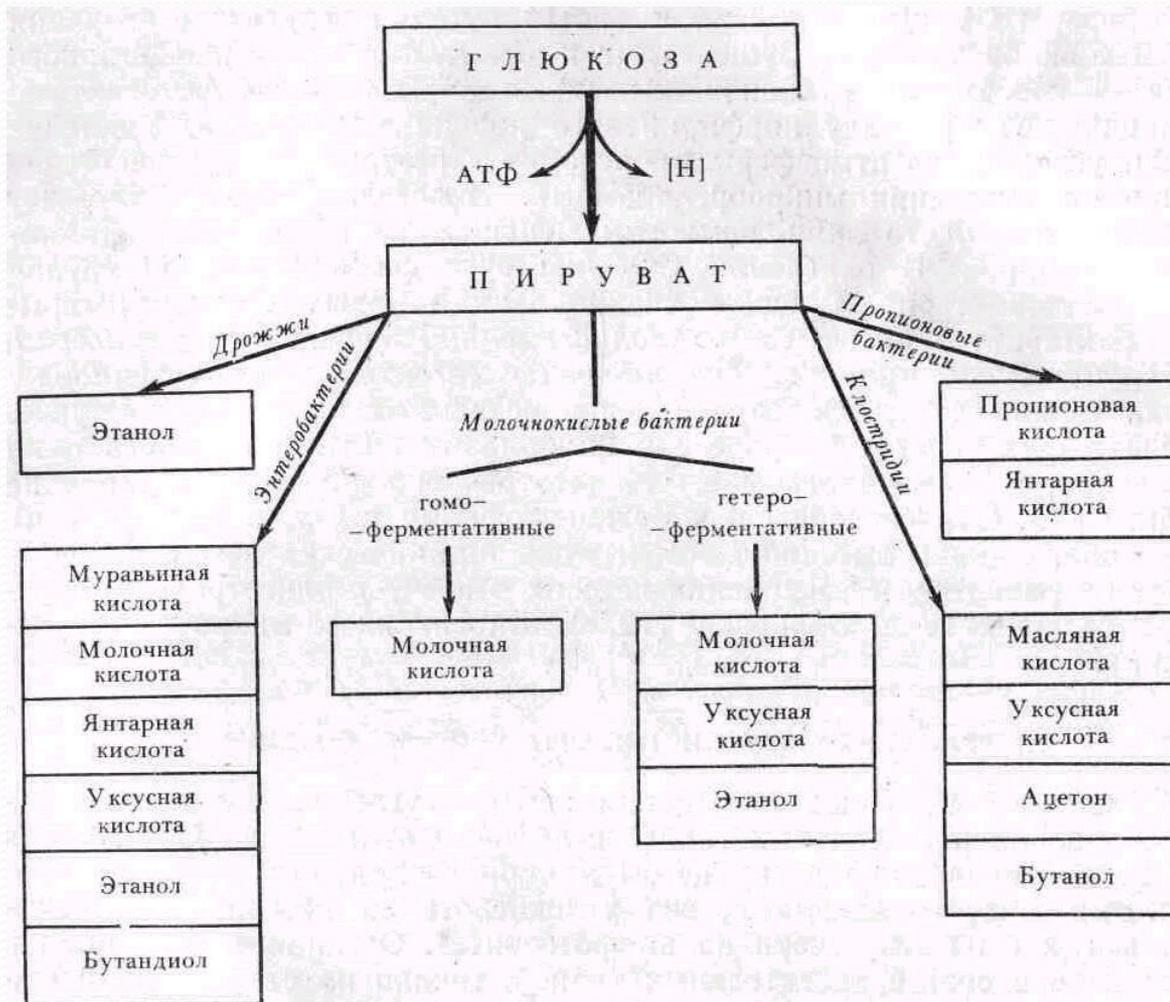
пируват  
(кето-форма)



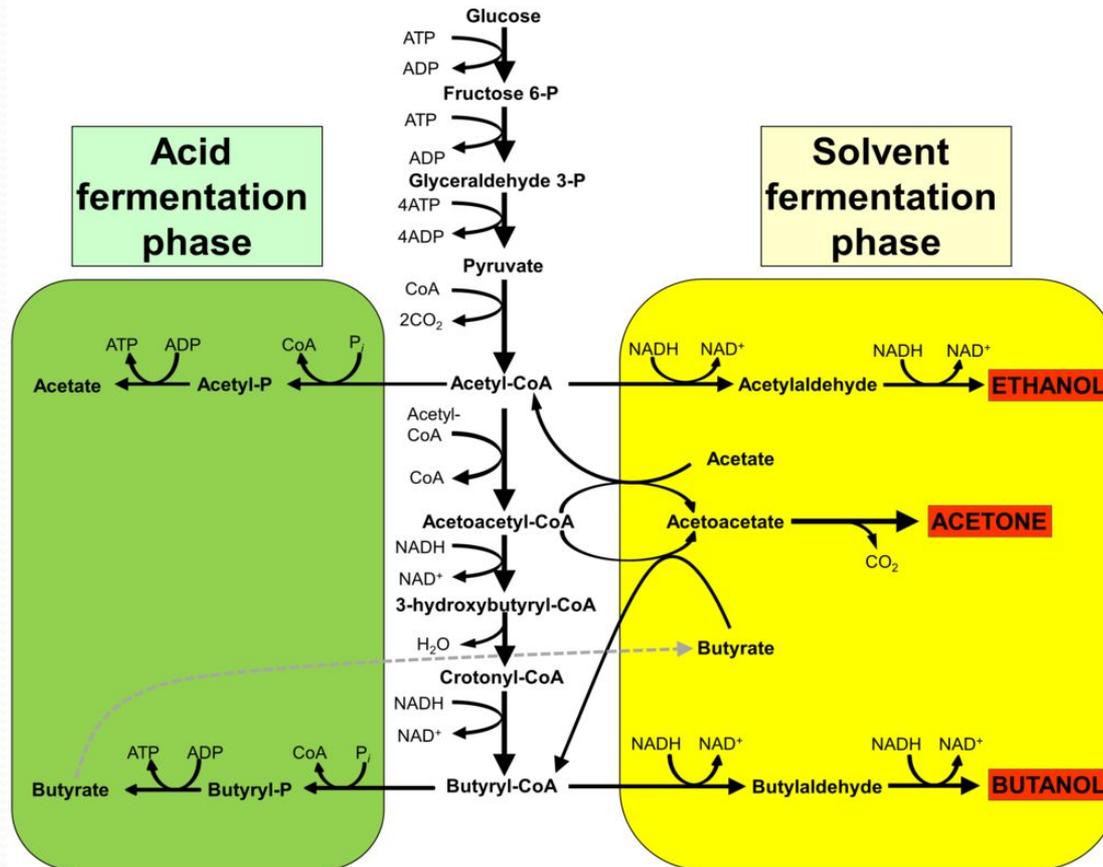
# Вовлечение других сахаров в гликолиз



# Другие типы брожения

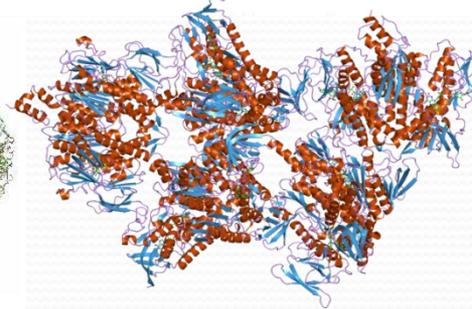
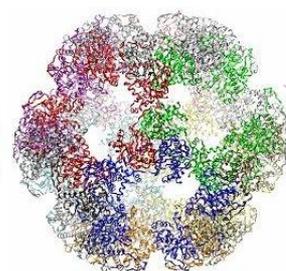
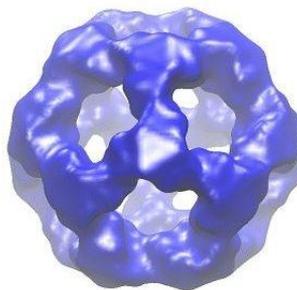
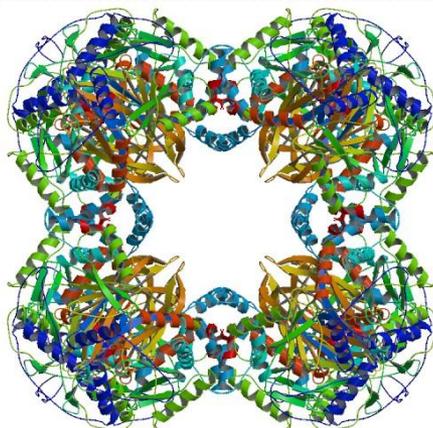
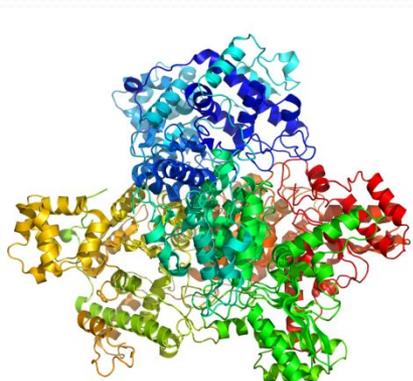
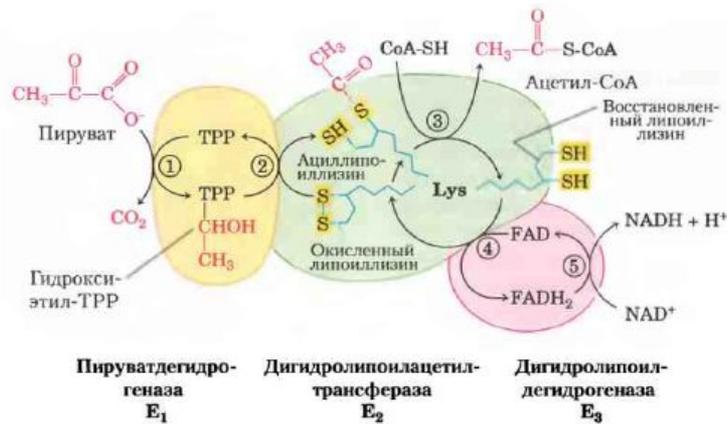
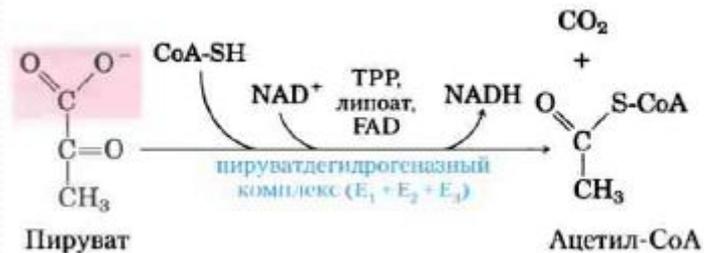
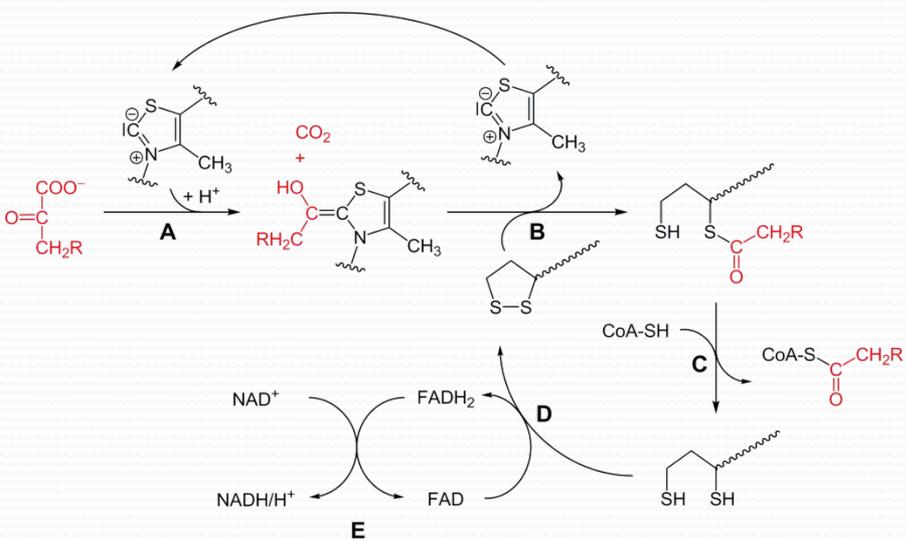


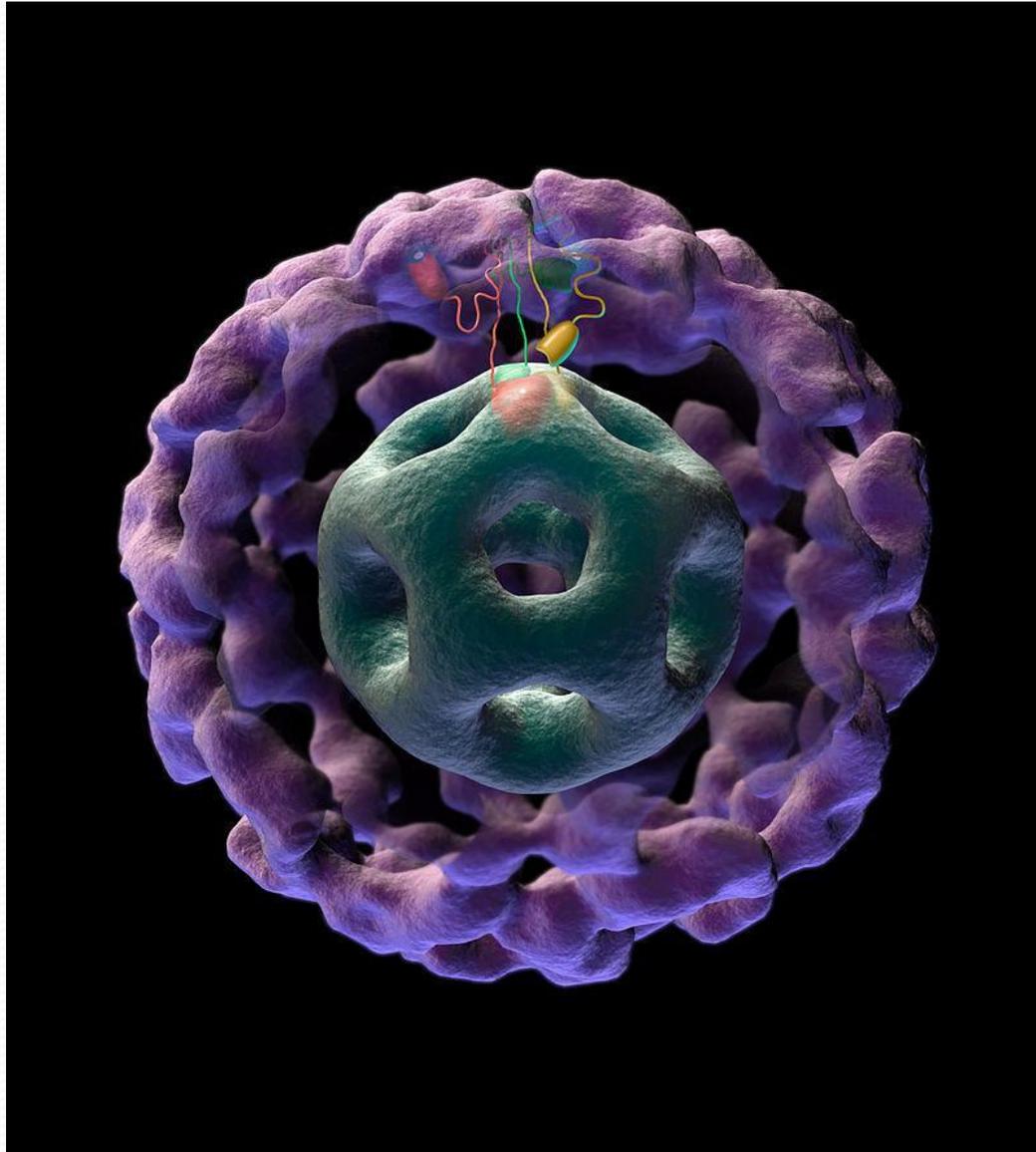
# КЛОСТРИДИЕВЫХ, МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ И ДРОЖЕЙ.



# Декарбоксилирование Пирувата

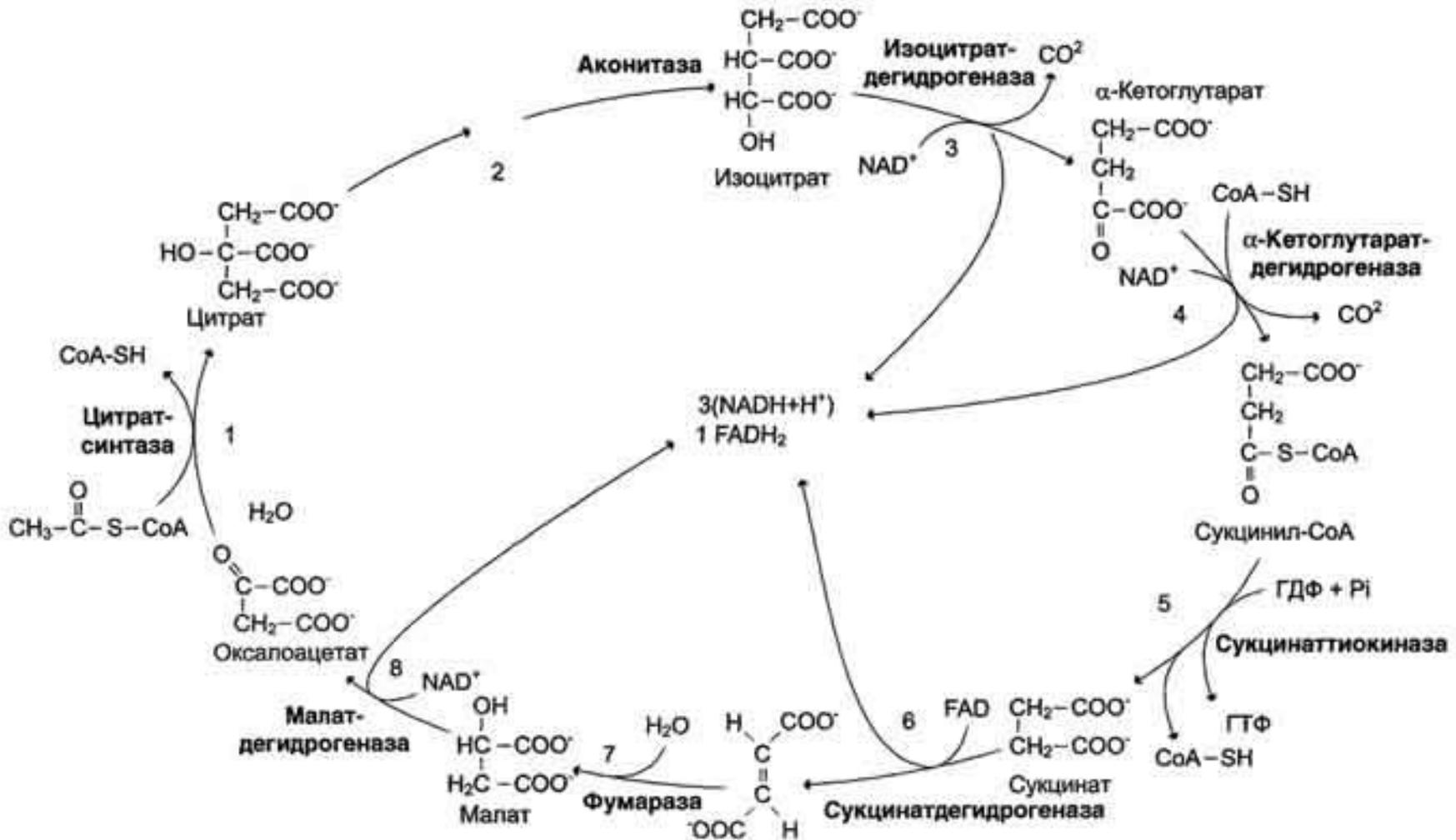
Цикл Кребса. Начало. Необратимые изменения



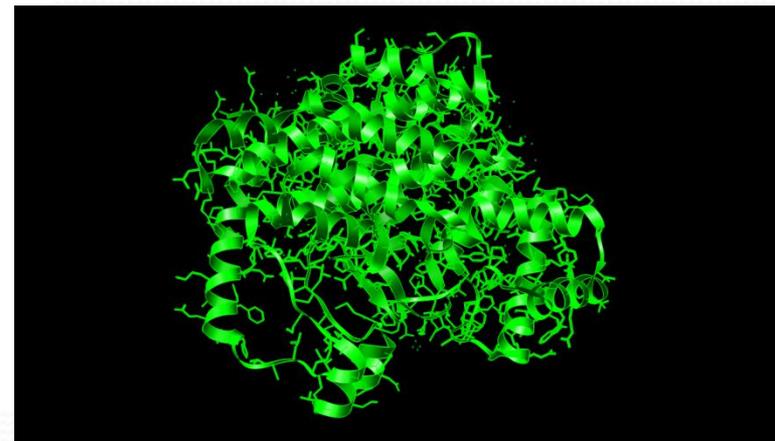
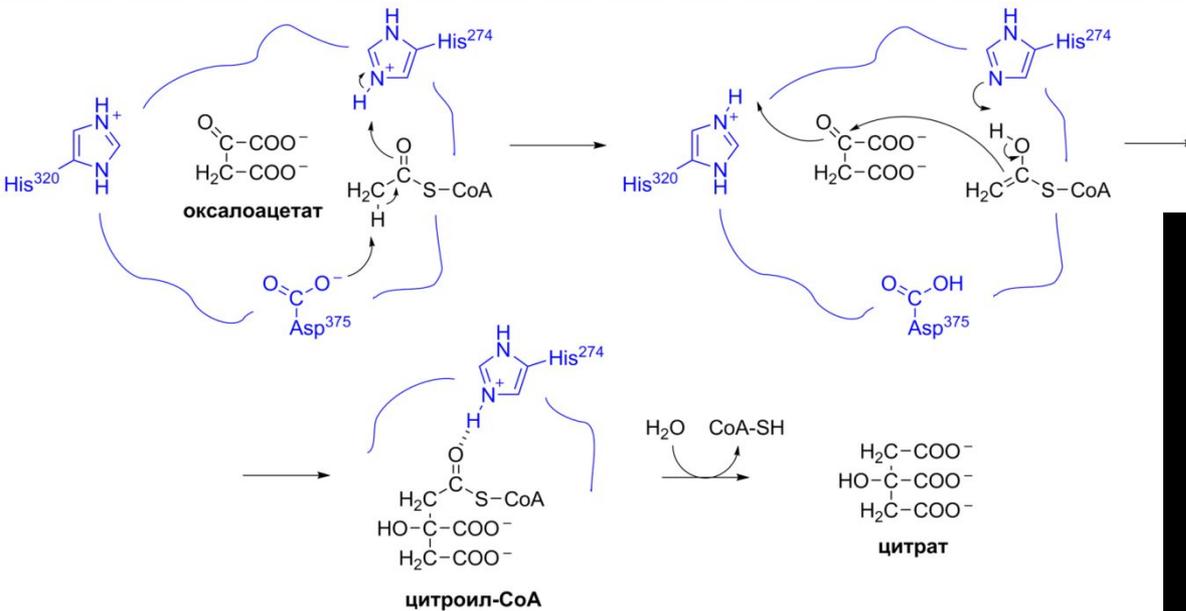
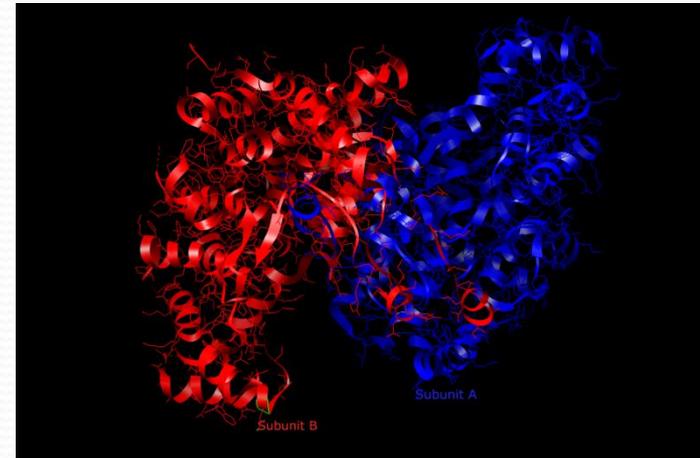
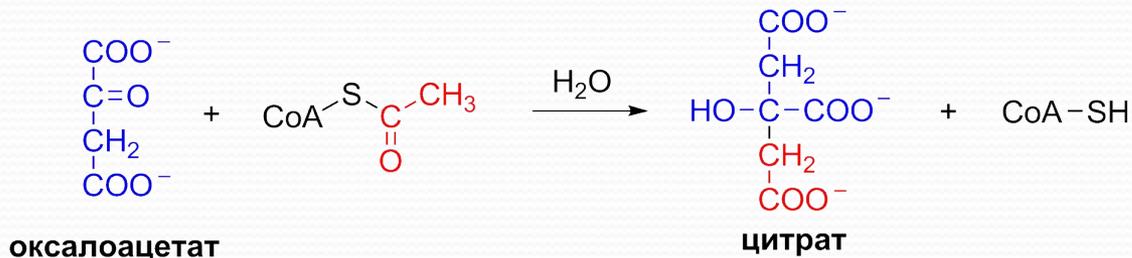


# Цикл Трикарбоновых кислот.

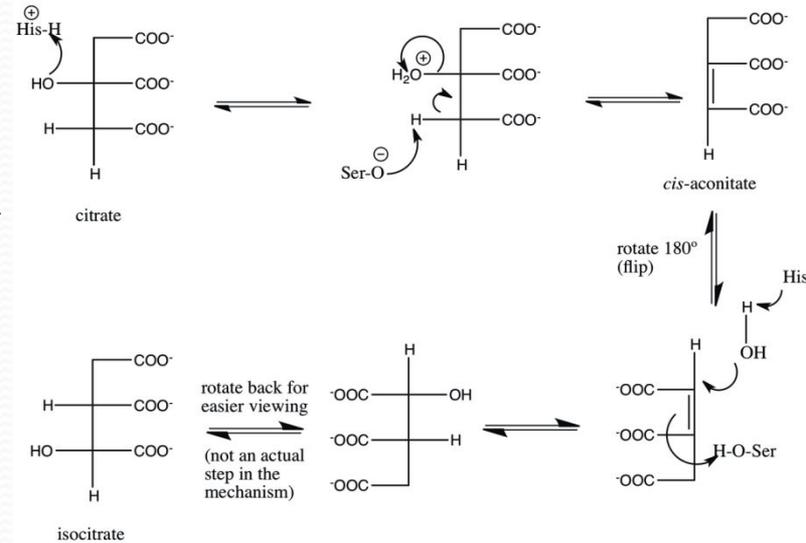
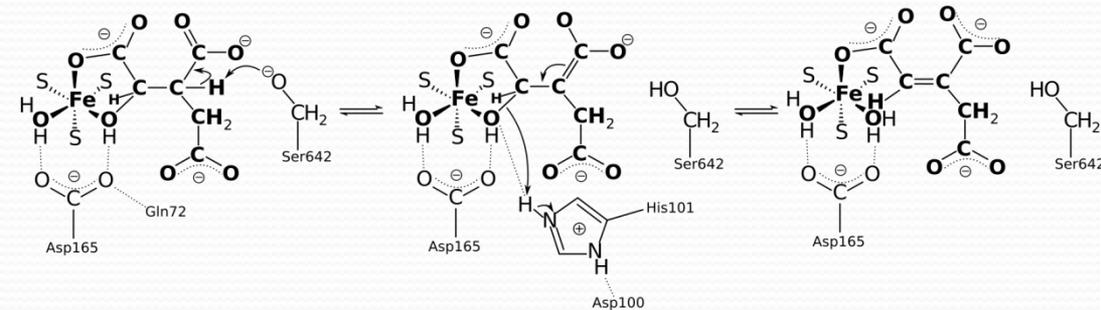
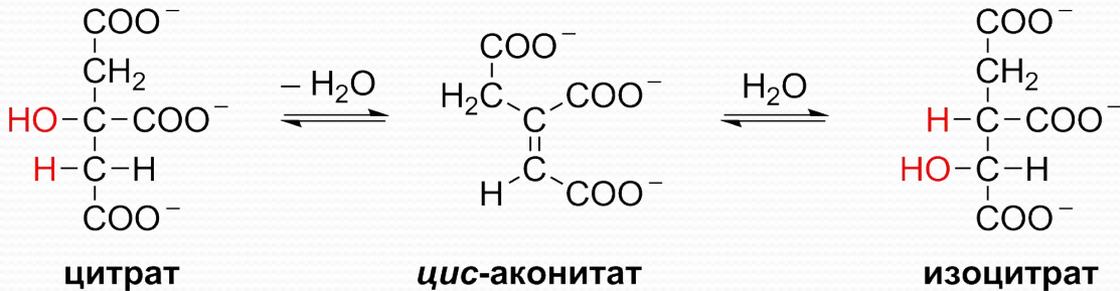
## Цикл Кребса



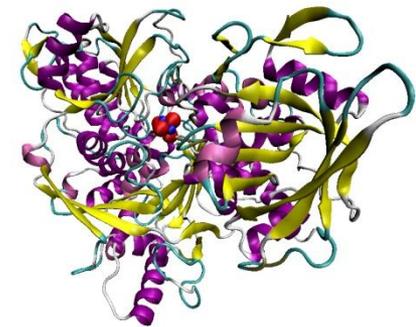
# Первая реакция



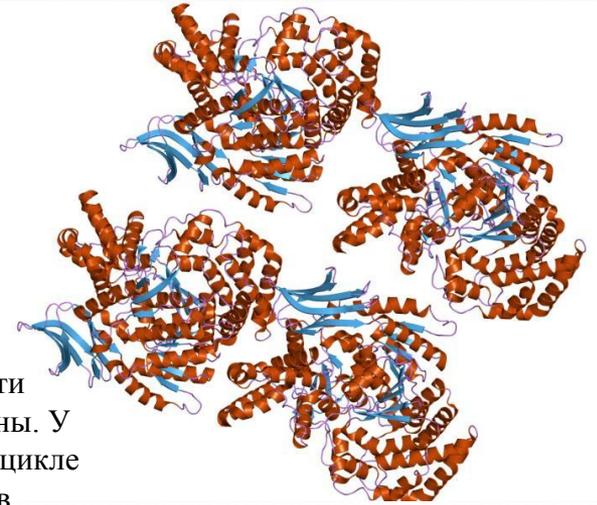
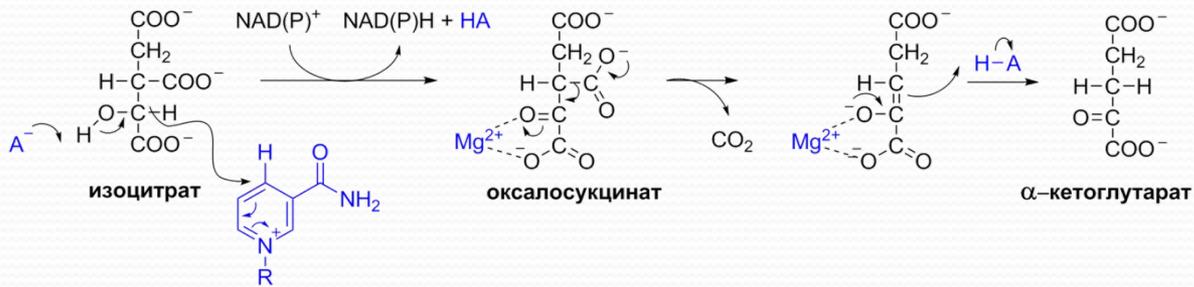
# Вторая реакция



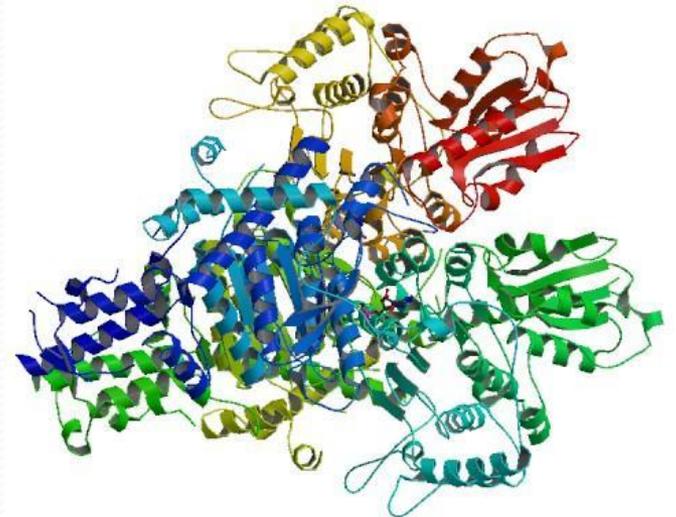
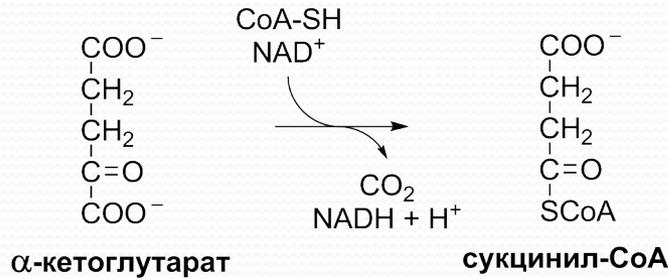
Аконитаза содержит *железосерный кластер*, который служит как для связывания субстрата в активном центре, так и для каталитической гидратации или дегидратации. В клетках, не содержащих достаточного количества железа, аконитаза утрачивает свой железосерный кластер и приобретает регуляторную роль в метаболизме железа



# реакция

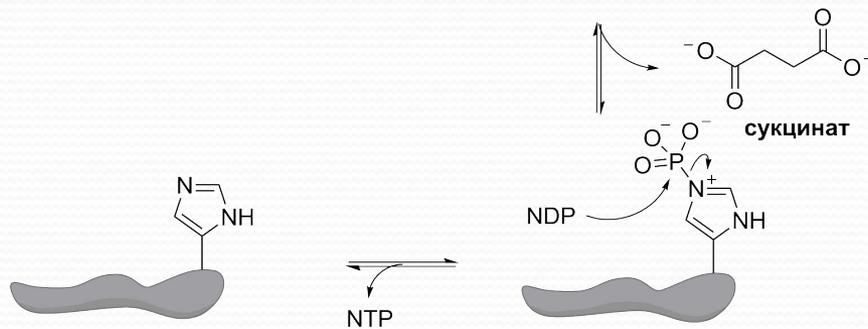
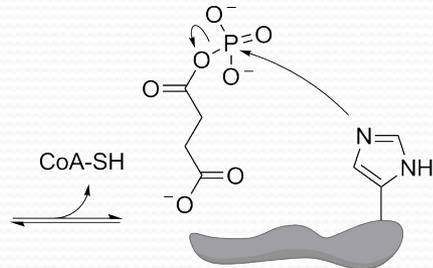
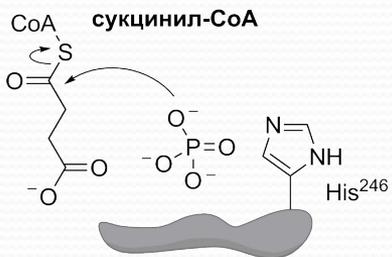
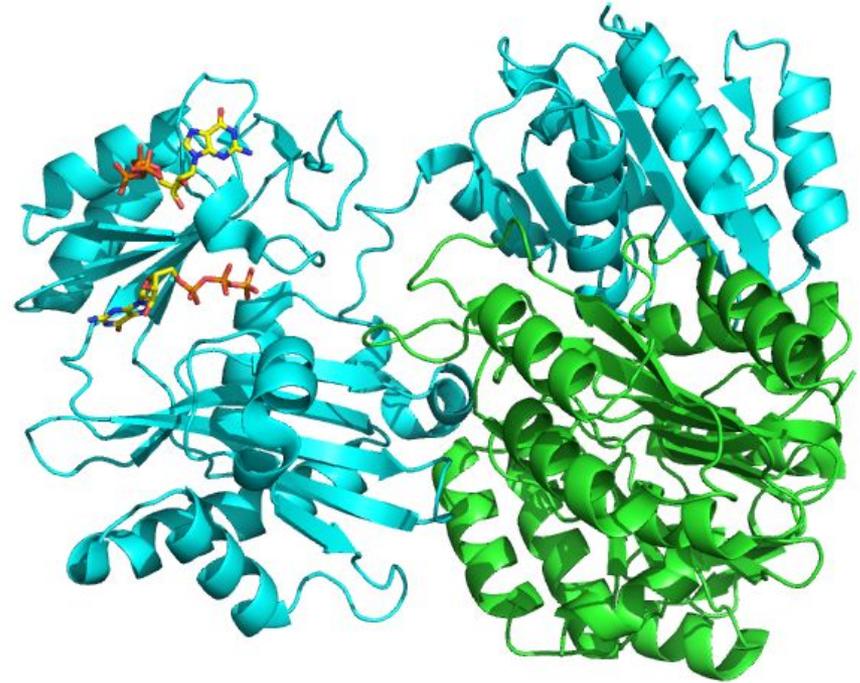
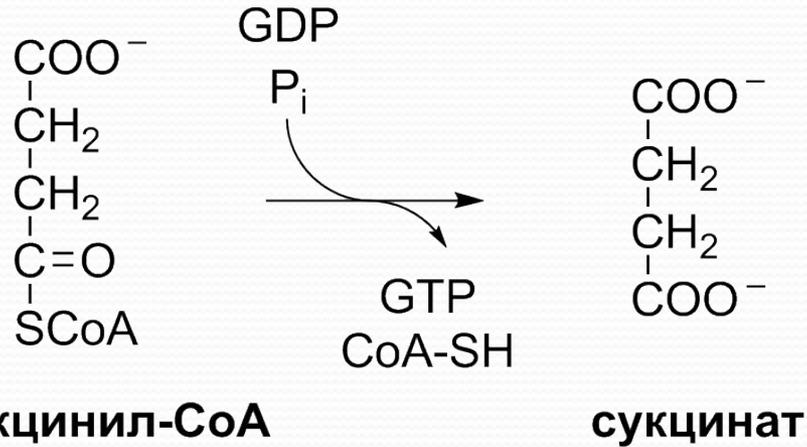


В клетках обнаружены две различных формы (изозима) исоцитратдегидрогеназы. Для функционирования одной из них нужен НАД<sup>+</sup>, для другой — НАДФ<sup>+</sup> (причём для активности последней нужен ион Mg<sup>2+</sup>, а не Mn<sup>2+</sup>). Осуществляемые ими реакции в остальном идентичны. У эукариот НАД-зависимый изозим локализован в митохондриальном матриксе и участвует в цикле трикарбоновых кислот. Главной функцией НАДФ-зависимого изозима, встречающегося как в митохондриальном матриксе, так и в цитозоле, возможно, является образование НАДФН, который необходим для восстановительных анаболических процессов



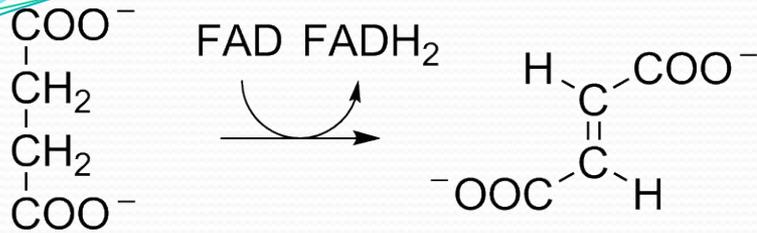
Эта реакция практически идентична пируватдегидрогеназной реакции окислительного декарбоксилирования пирувата, а  $\alpha$ -кетоглутаратдегидрогеназный комплекс чрезвычайно близок к пируватдегидрогеназному комплексу (ПДК) по структуре и функциям.

# Пятая реакция



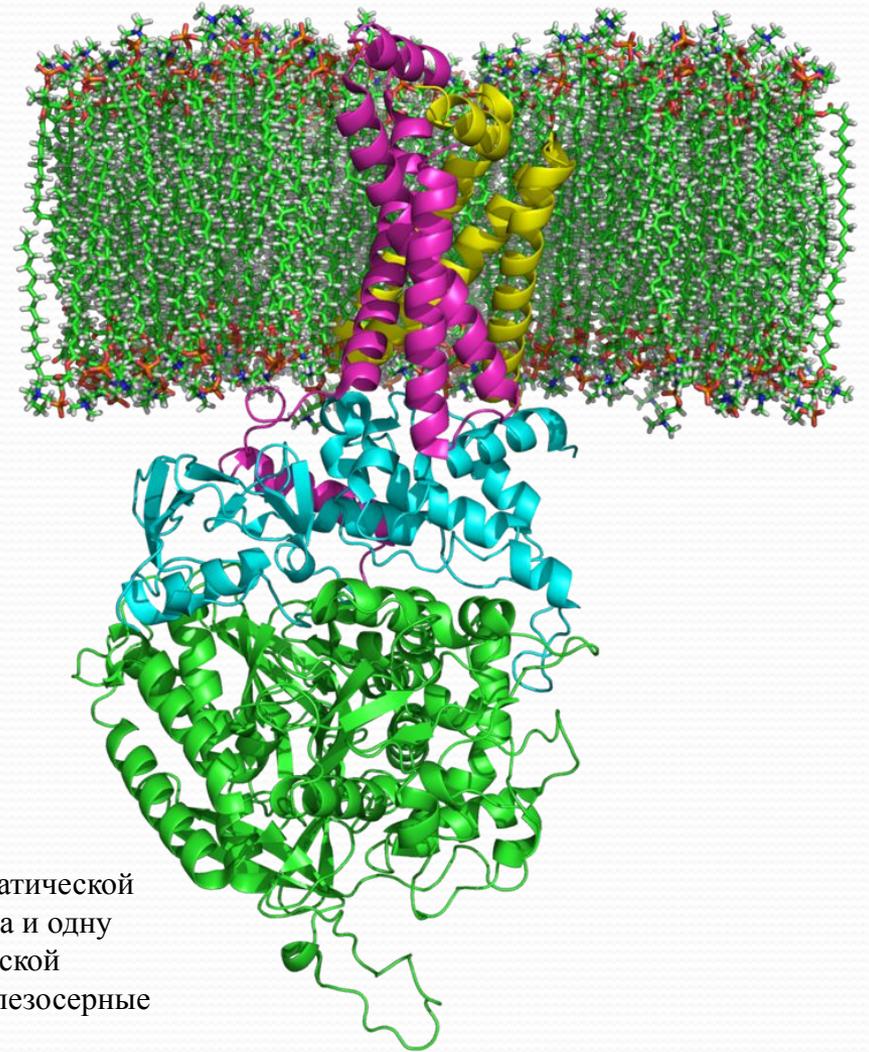
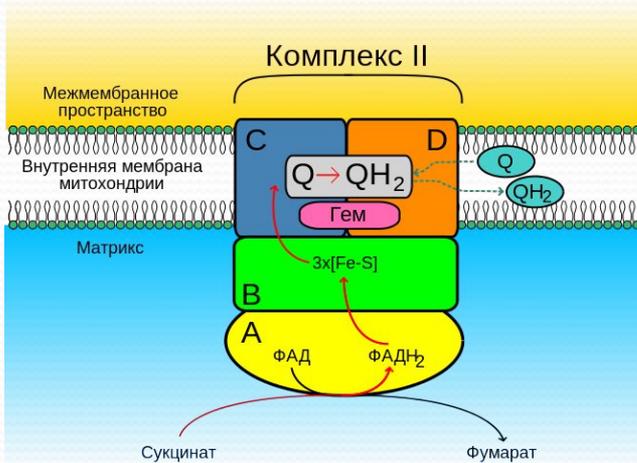
Эта энергозапасующая реакция включает промежуточные этапы, на которых молекула фермента сама становится фосфорилированной по остатку гистидина в активном центре. Эта фосфорильная группа, которая имеет высокий потенциал для переноса, переносится на АДФ или ГДФ с образованием АТФ или ГТФ соответственно.

# Шестая реакция



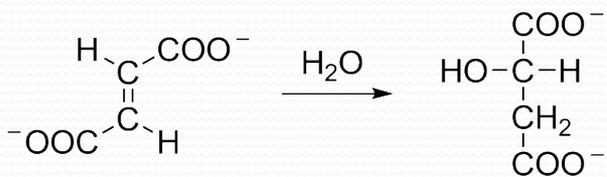
сукцинат

фумарат



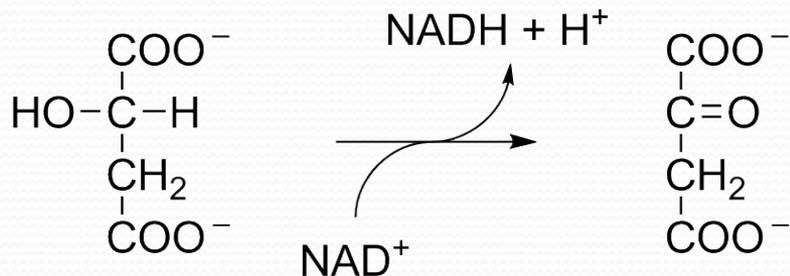
У эукариот сукцинатдегидрогеназа прочно связана со внутренней митохондриальной мембраной, у бактерий она располагается на плазматической мембране. Этот фермент содержит 3 различных железосерных кластера и одну молекулу ковалентно связанного с ним ФАД, являющегося простетической группой фермента. Электроны от сукцината проходят через ФАД и железосерные кластеры, а далее они в составе переносчиков электронов попадают на дыхательную электронтранспортную цепь, расположенную на внутренней мембране митохондрий (плазматической мембране у бактерий). ФАД при этом восстанавливается до ФАДН<sub>2</sub>, однако дальнейшим акцептором электронов является убихинон

# реакции



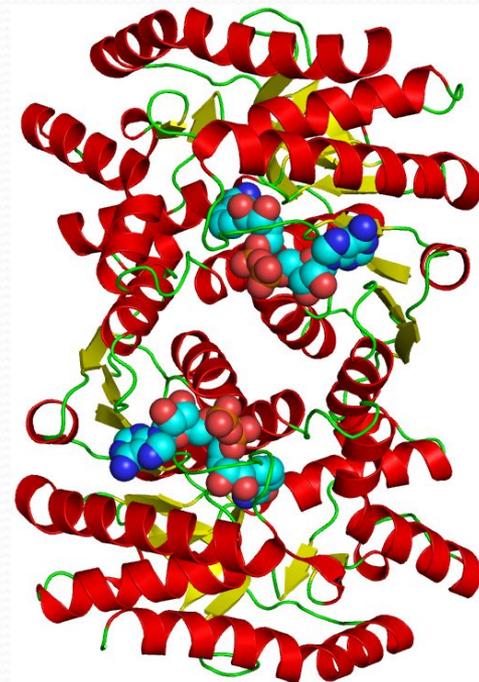
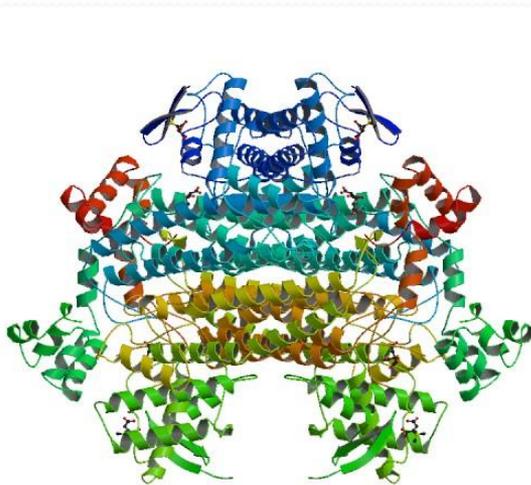
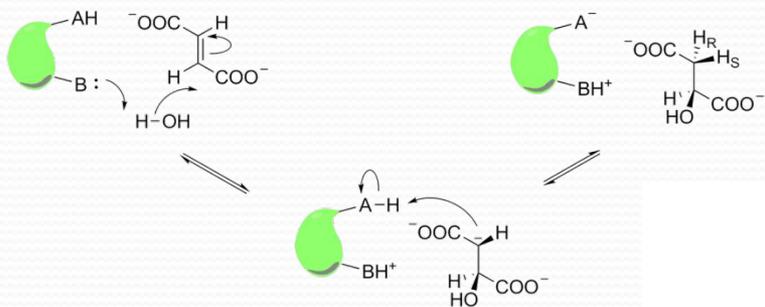
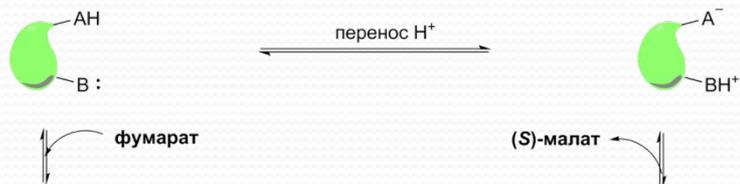
фумарат

малат

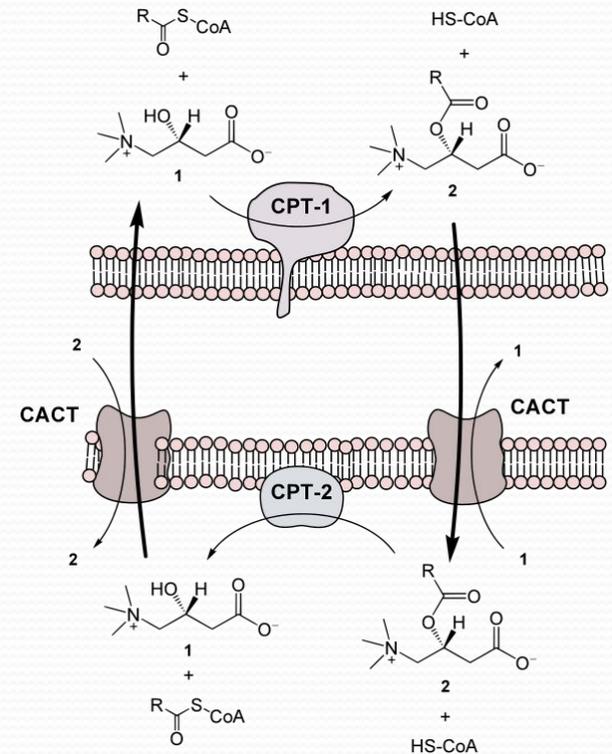
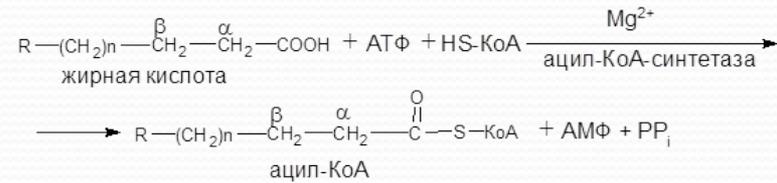
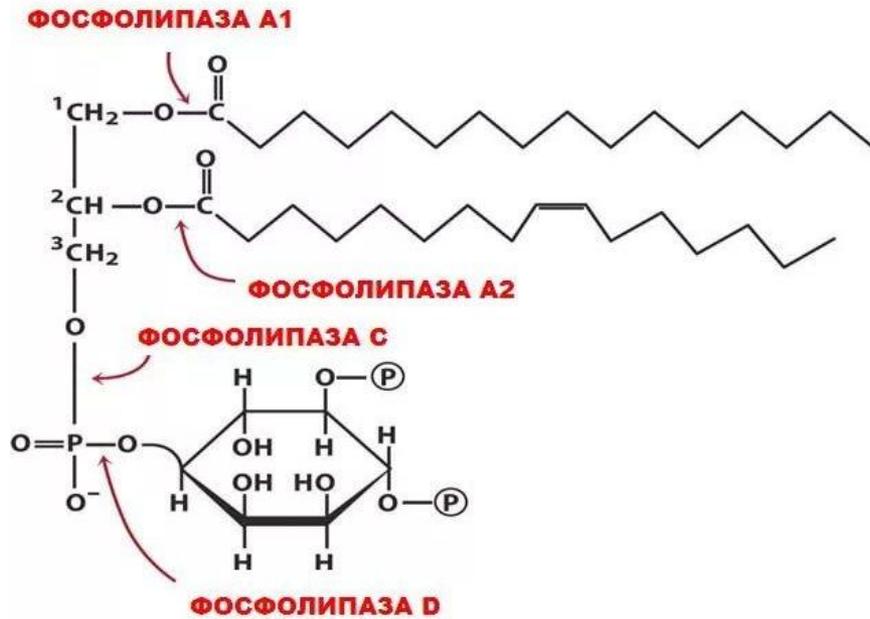


малат

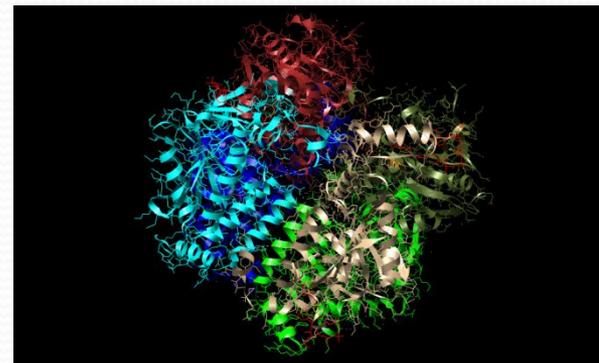
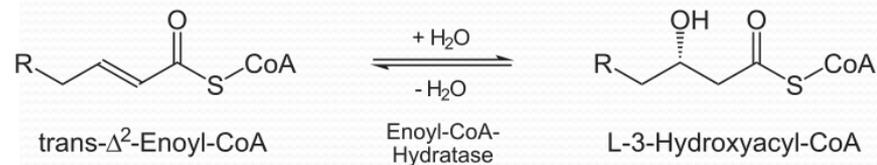
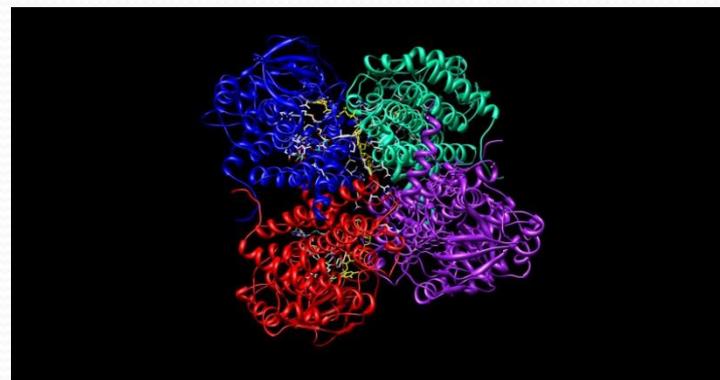
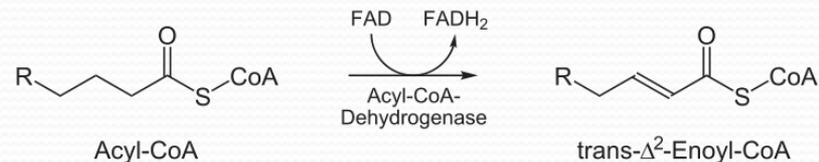
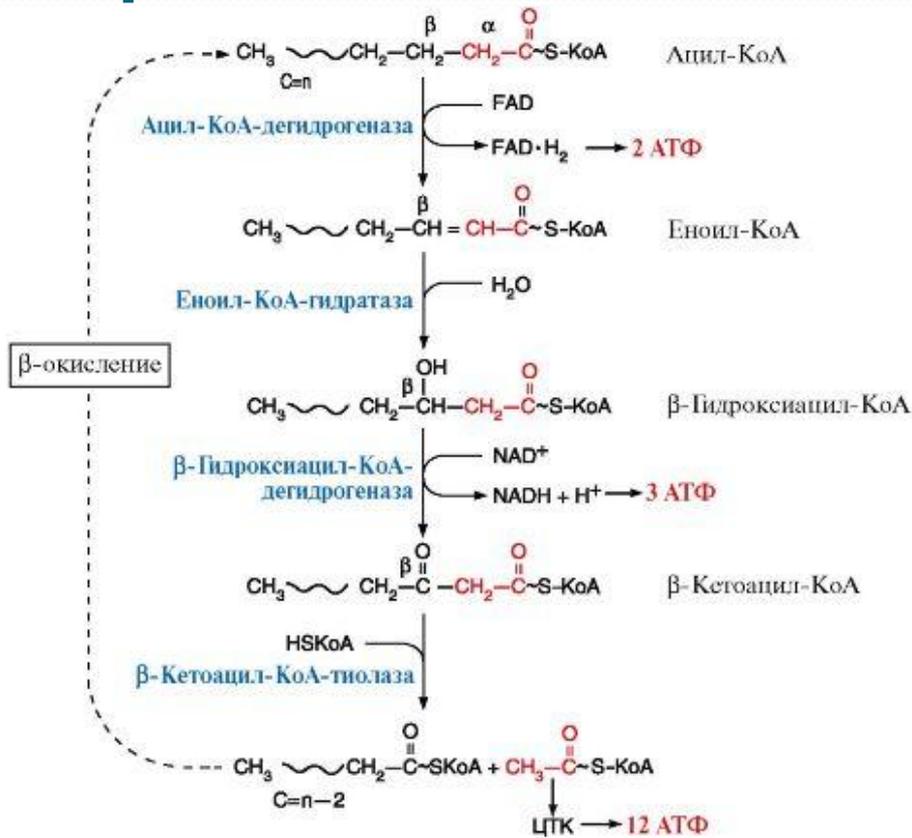
оксалоацетат



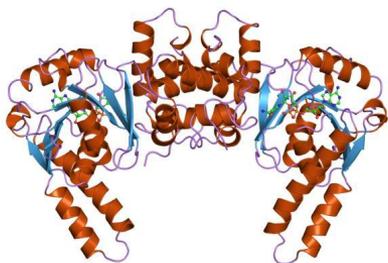
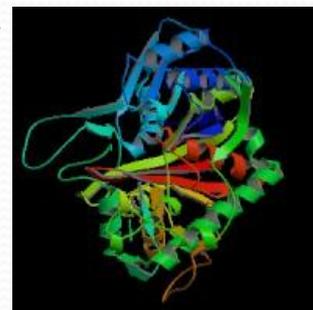
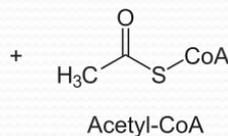
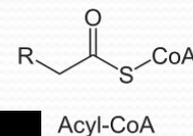
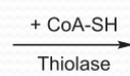
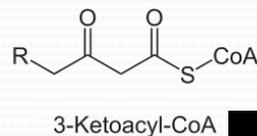
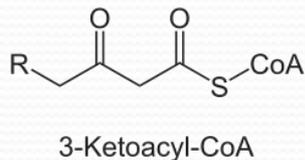
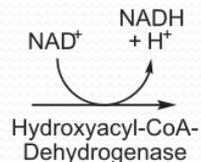
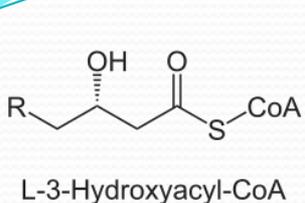
# Катаболизм Жиров и активация ЖК



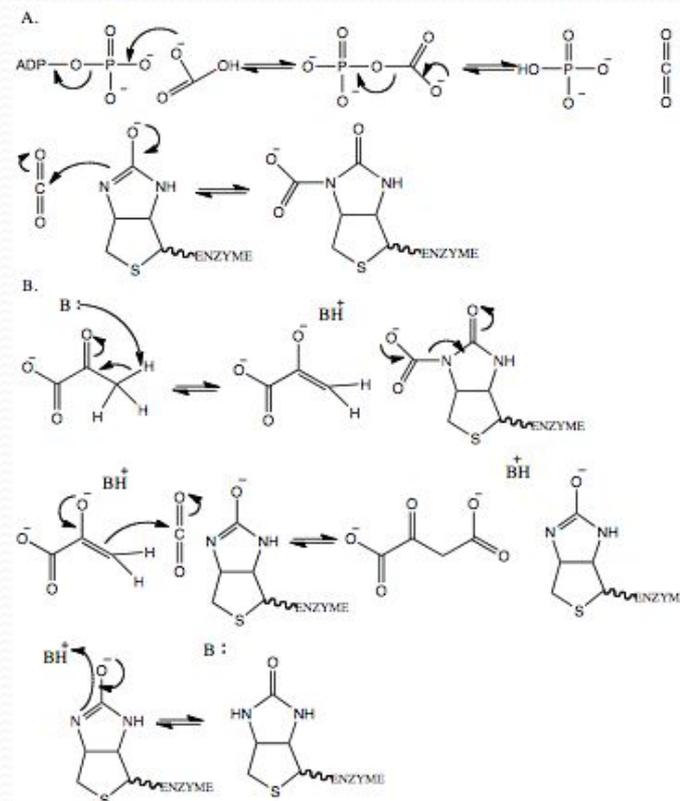
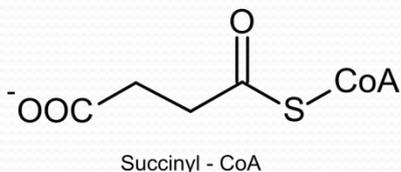
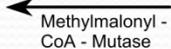
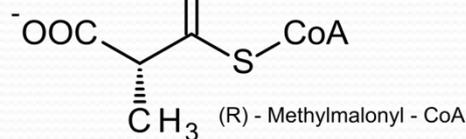
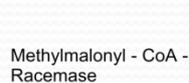
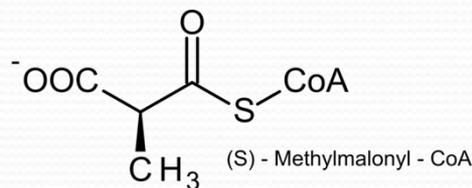
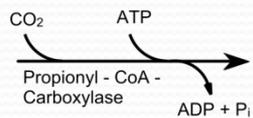
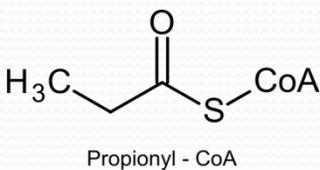
# β-окисление жирных кислот



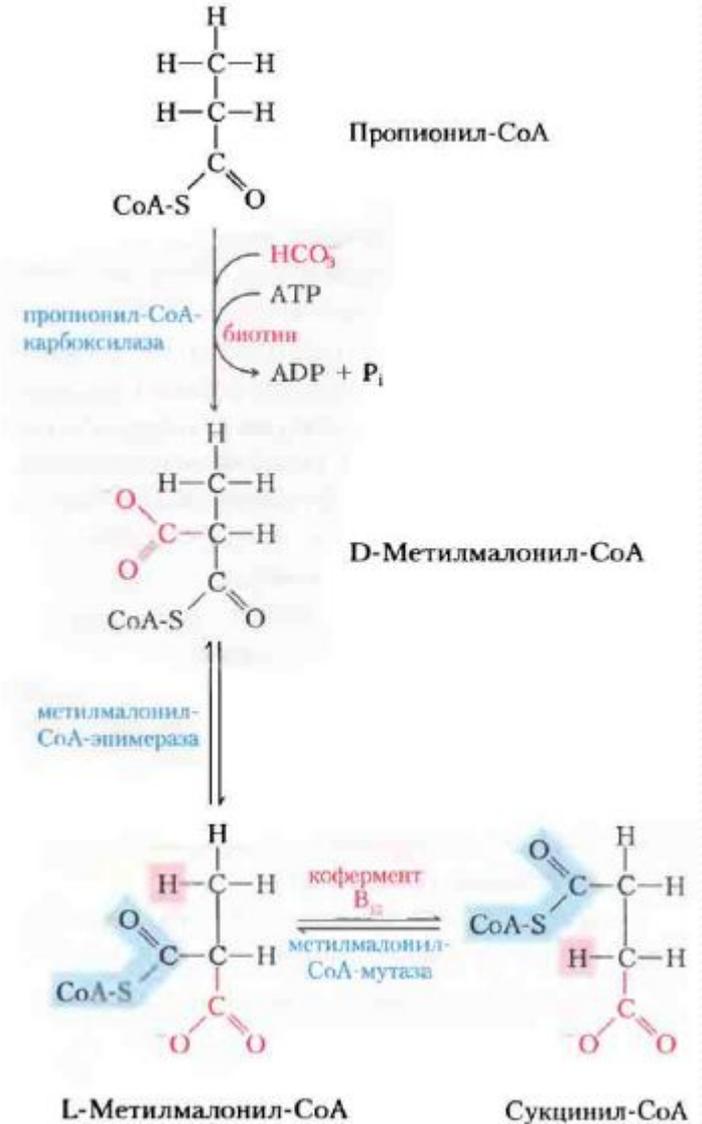
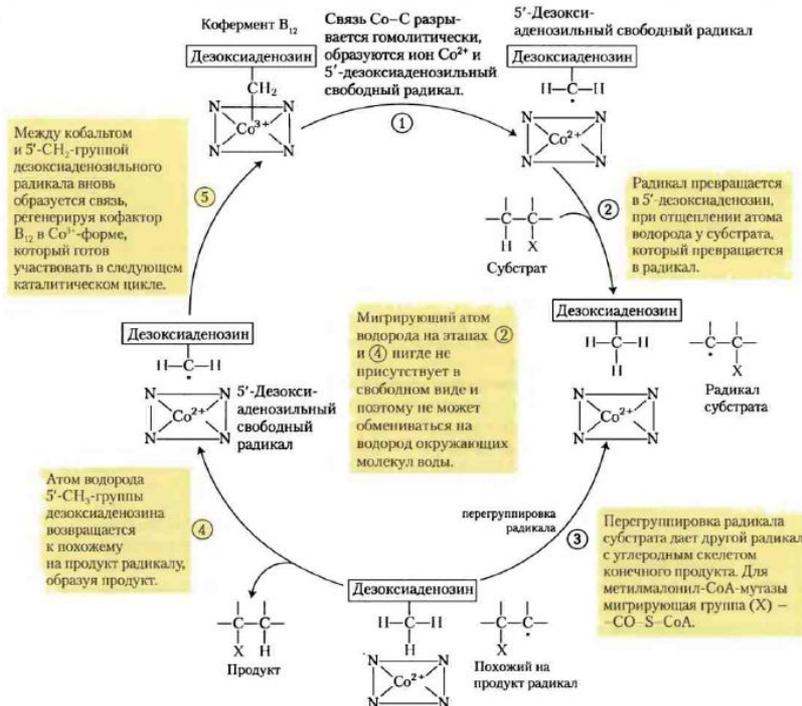
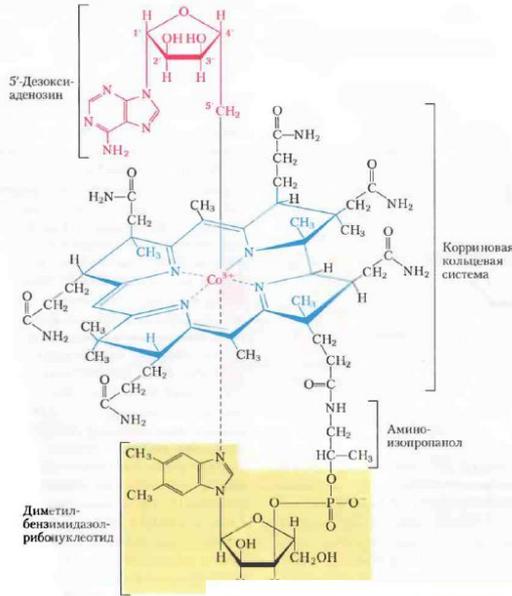
# β-окисление жирных кислот



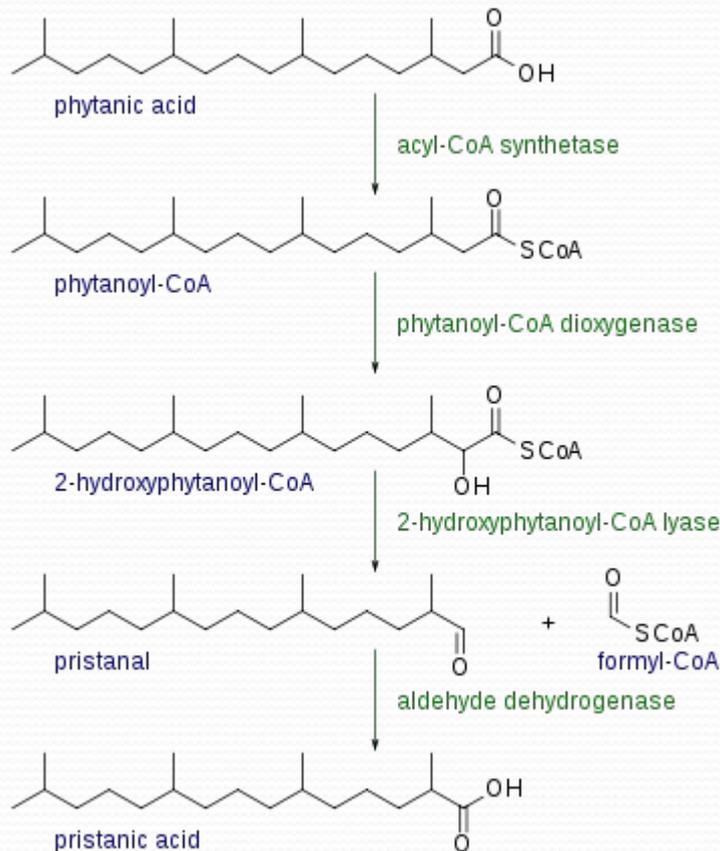
## Окисление Жирных кислот с нечётным числом атомов углерода



# углерода



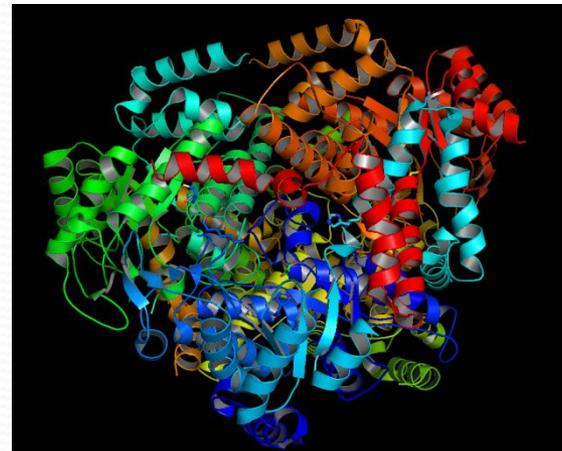
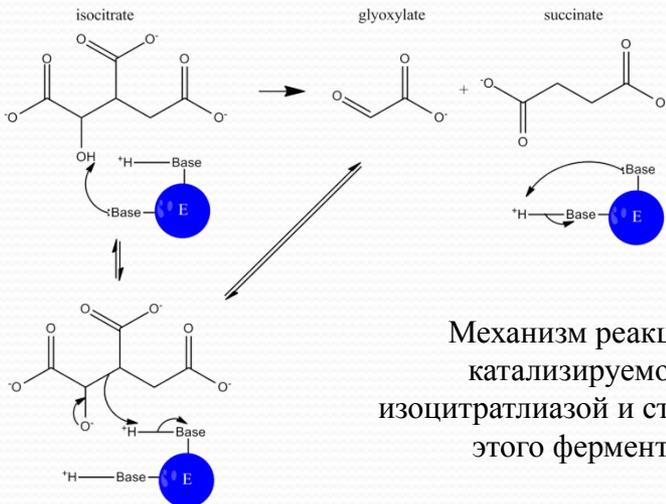
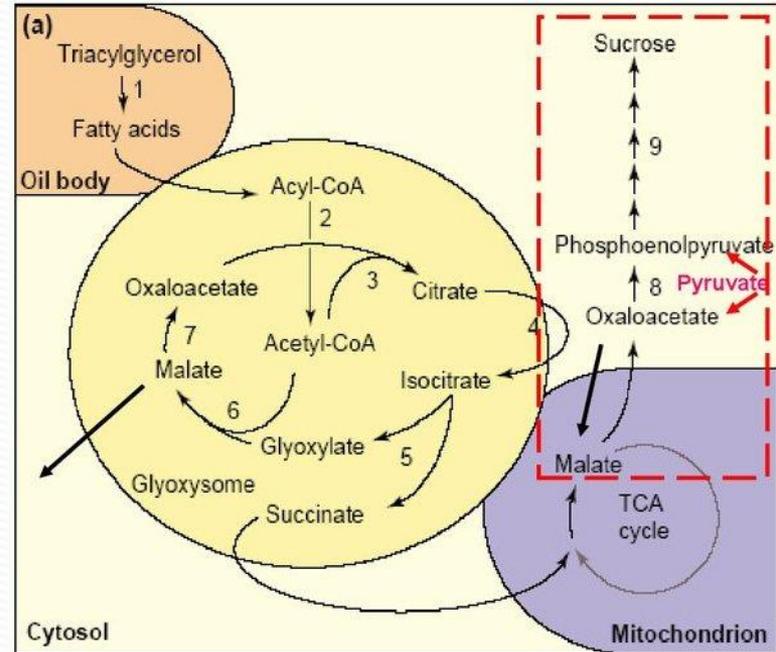
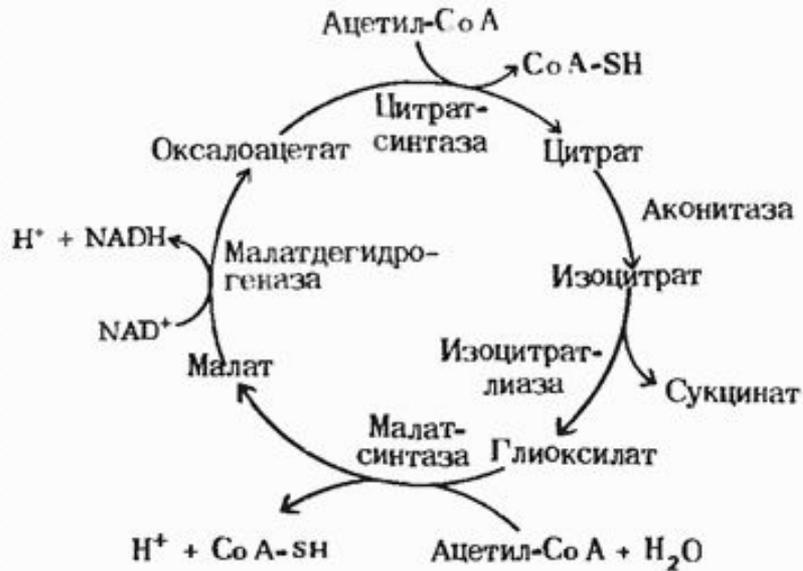
# $\alpha$ -Окисление жирных кислот в пероксисомах



Рассмотрим  $\alpha$ -окисление жирных кислот в животных клетках на примере фитановой кислоты. Сначала фитановая кислота превращается в фитаноил-СoА (реакция катализируется ферментом *фитаноил-СoА-синтетазой*). Это соединение далее гидроксилируется по  $\alpha$ -углеродному атому, в этой реакции принимает участие молекулярный кислород (*фитаноил-СoА-гидроксилаза*). Затем получившийся  $\alpha$ -гидроксифитаноил-СoА декарбоксилируется с образованием альдегида (пристаналья), содержащего на один атом углерода меньше, и формил-СoА, который впоследствии гидролизуется и окисляется до  $\text{CO}_2$ . Эта реакция протекает с участием тиаминпирофосфата (ТРР) и катализируется  *$\alpha$ -гидроксифитаноил-СoА-лиазой*. Далее альдегид окисляется с образованием соответствующей карбоновой кислоты (*альдегиддегидрогеназа*), у которой уже нет заместителя при  $\beta$ -атоме углерода и она может далее окислиться в ходе  $\beta$ -окисления. У животных  $\alpha$ -окисление служит не только для деградации жирных кислот с полипренильными цепями, но также жёлчных кислот. В мозге некоторые жирные кислоты, входящие в состав сфинголипидов, гидроксилируются по  $\alpha$ -положению. У растений последовательность реакций  $\alpha$ -окисления та же, с тем лишь отличием, что в первой реакции гидроксирования по  $\alpha$ -положению образуются D- или L-2-гидроксикислоты. L-гидроксикислоты быстро вовлекаются в дальнейшие реакции  $\alpha$ -окисления, а D-гидроксикислоты накапливаются и в норме присутствуют в зелёных листьях. При дефектах в гене фитаноил-СoА-гидроксилазы развивается синдром Рефсума.

# ГЛИОКСИЛАТНЫЙ ЦИКЛ

## Растений



# Как это всё запомнить?

ЩУКа съела ацетат, получается цитрат  
через цисаконитат будет он изоцитрат  
водороды отдав НАД, он теряет  $\text{CO}_2$   
этому безмерно рад альфа-кетоглутарат  
окисление грядет — НАД похитил водород  
ТДФ, коэнзимА забирают  $\text{CO}_2$   
а энергия едва в сукциниле появилась  
сразу АТФ родилась и остался сукцинат  
вот добрался он до ФАДа — водороды тому надо  
фумарат воды напился, и в малат он превратился  
тут к малату НАД пришел, водороды приобрел  
ЩУКа снова объявилась и тихонько затаилась