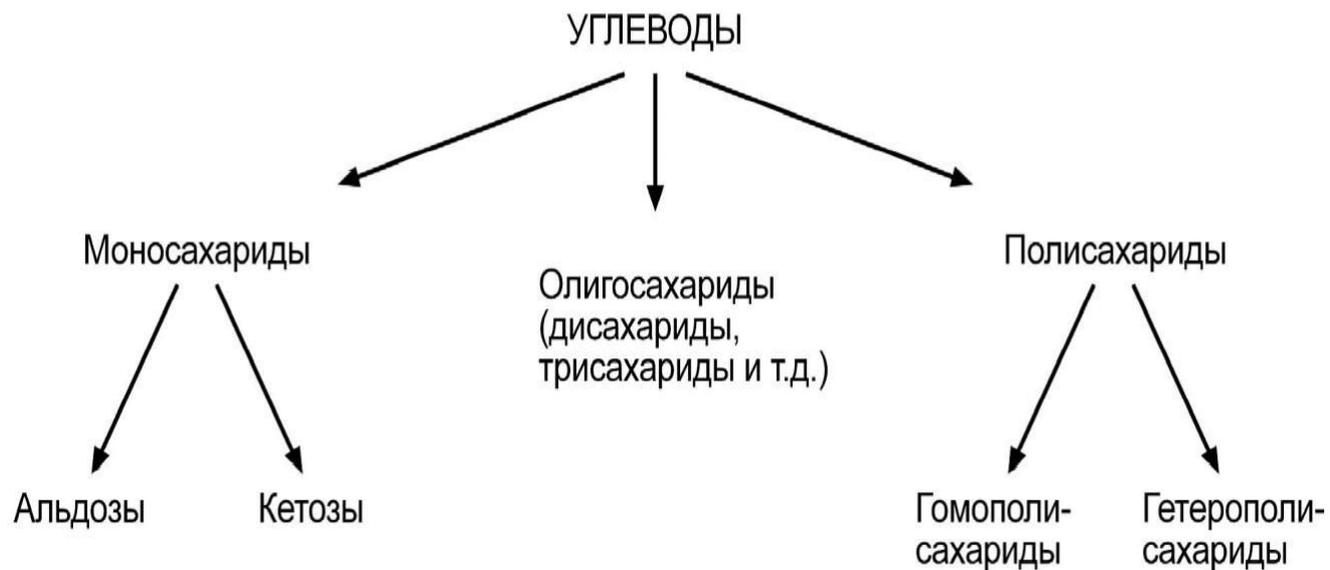
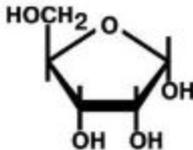
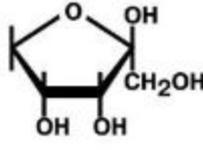




# Классификация углеводов

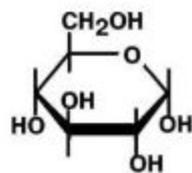


	Альдозы	Кетозы
<b>Триозы</b>	$  \begin{array}{c}  \text{H} \\    \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2-\text{OH}  \end{array}  $ <p>Глицеральдегид</p>	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2-\text{OH} \\    \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{CH}_2-\text{OH}  \end{array}  $ <p>Диоксиацетон</p>
<b>Тетрозы</b>	$  \begin{array}{c}  \text{H} \\    \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2-\text{OH}  \end{array}  $ <p>Эритроза</p>	
<b>Пентозы</b>	$  \begin{array}{c}  \text{H} \\    \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2-\text{OH}  \end{array}  $ <p>Рибоза</p>  <p>Рибоза</p>	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2-\text{OH} \\    \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2-\text{OH}  \end{array}  $ <p>Рибулоза</p>  <p>Рибулоза</p>

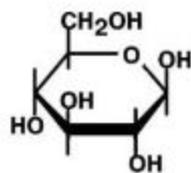
**Альдозы**

**Кетозы**

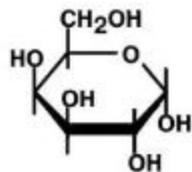
**Гексозы**



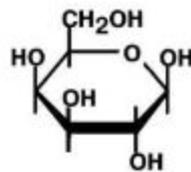
$\alpha$ -Глюкоза



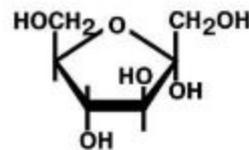
$\beta$ -Глюкоза



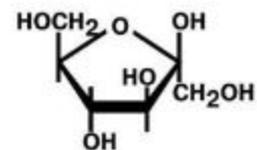
$\alpha$ -Галактоза



$\beta$ -Галактоза



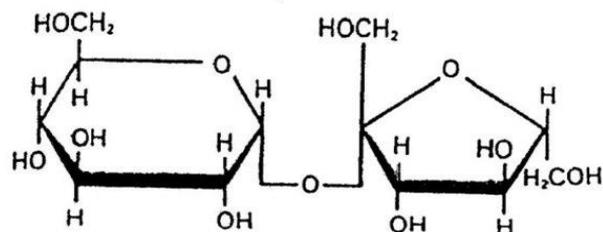
$\alpha$ -Фруктоза



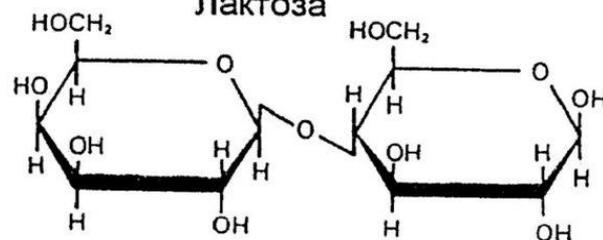
$\beta$ -Фруктоза

Гексозы образуют полисахариды и дисахариды, которые могут гидролизоваться до мономеров – гексоз.

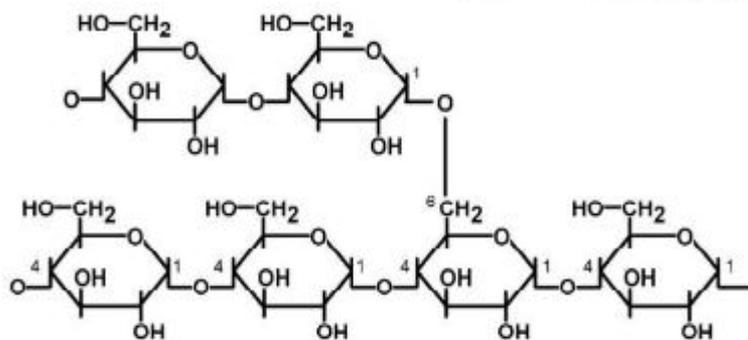
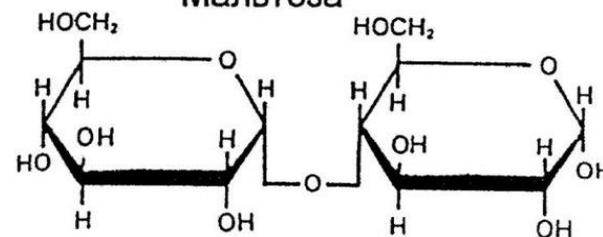
Сахароза



Лактоза



Мальтоза

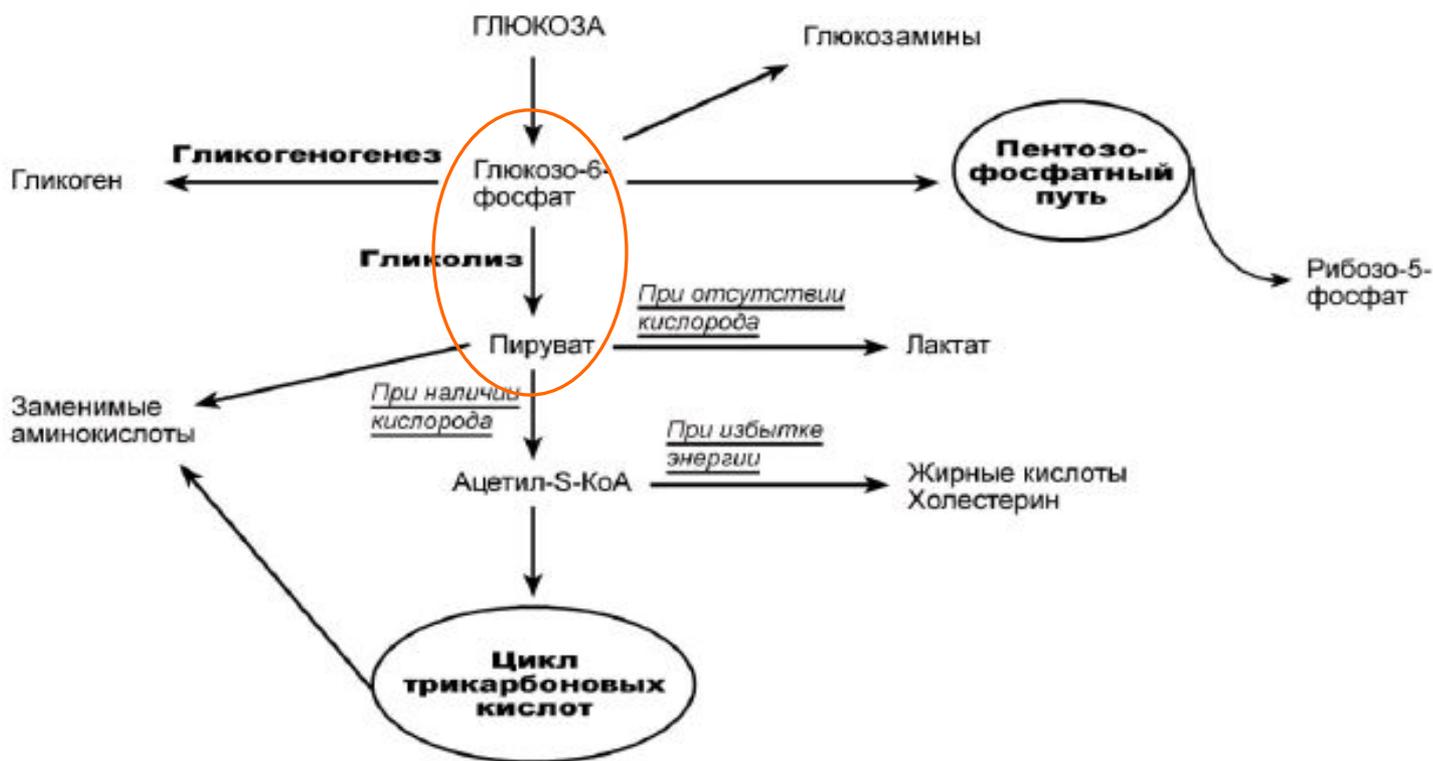


Химическая структура крахмала и гликогена

## Что дальше?

- Гексозы не подвержены гидролизу.
- Нужны ферментативные реакции.
- Биохимические пути, в результате которых 6-углеродная гексоза «делится надвое», точнее, превращается в две триозы, называются **ДИХОТОМИЧЕСКИМ РАСПАДОМ УГЛЕВОДОВ**, или ГЛИКОЛИЗОМ.

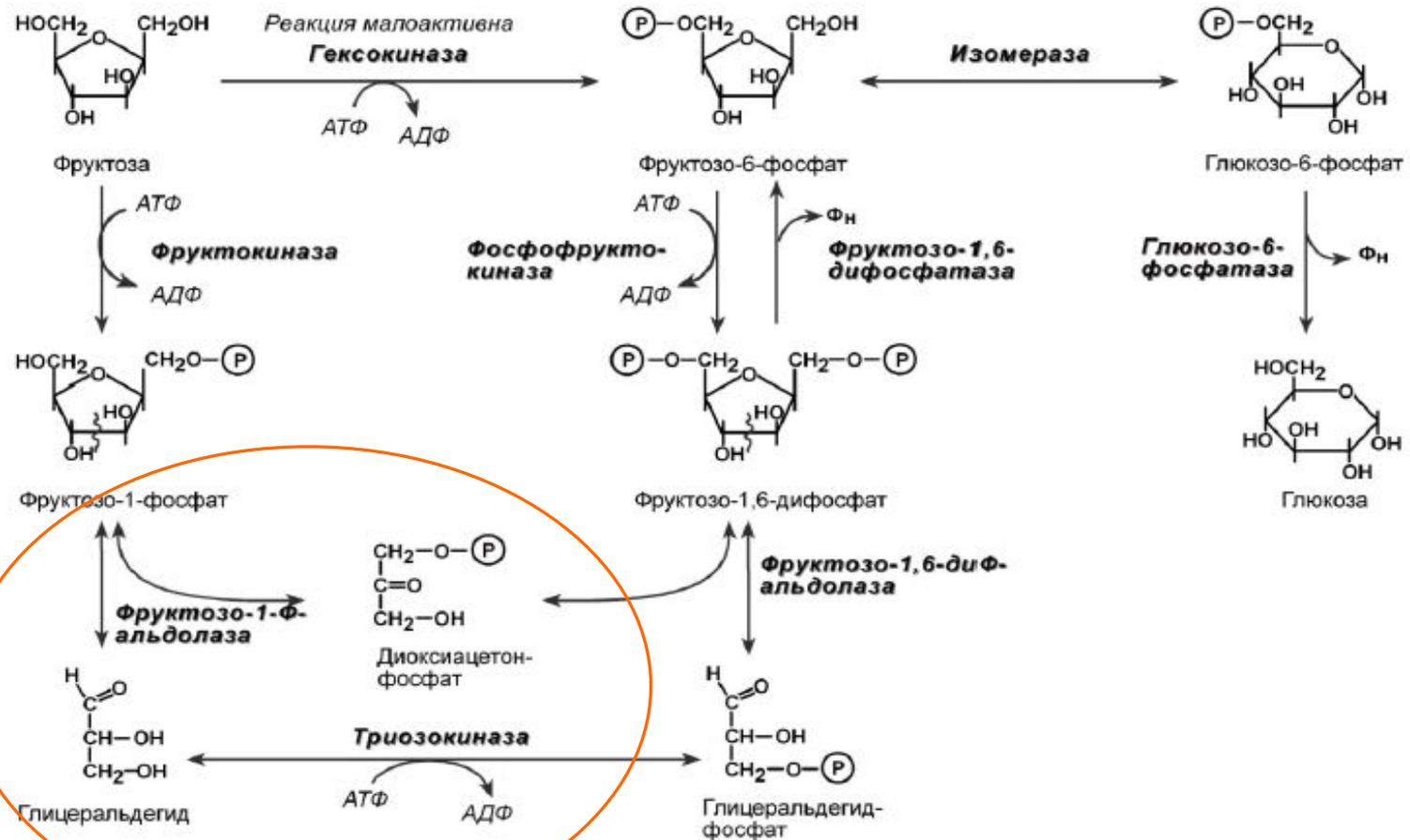
# Возможные пути превращения глюкозы в клетке (выделен дихотомический распад)



<http://biokhimija.ru>

Тимин Олег Алексеевич. Лекции по биологической химии.

# Реакции превращения фруктозы (выделен дихотомический распад)



## ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ-ДЕФОСФОРИЛИРОВАНИЕ ГЛЮКОЗЫ

Попав в любую клетку, глюкоза немедленно фосфорилируется ферментом **гексокиназой**. Фосфорилирование глюкозы решает сразу несколько задач:

- фосфатный эфир глюкозы **не в состоянии выйти из клетки**, так как молекула отрицательно заряжена и отталкивается от фосфолипидной поверхности мембраны,
- наличие заряженной группы обеспечивает **правильную ориентацию** молекулы в активном центре фермента,
- **уменьшается концентрация свободной** (нефосфорилированной) глюкозы, что способствует диффузии новых молекул из крови.



Реакции фосфорилирования и дефосфорилирования глюкозы

Дефосфорилирование глюкозы осуществляется **глюкозо-6-фосфатазой**. Этот фермент есть только в печени и почках. В эпителии канальцев почек работа фермента связана с реабсорбцией глюкозы. В гепатоцитах фермент необходим, когда печень поддерживает гомеостаз глюкозы в крови.

# ОКИСЛЕНИЕ ГЛЮКОЗЫ

Окисление глюкозы в клетках происходит по двум направлениям:

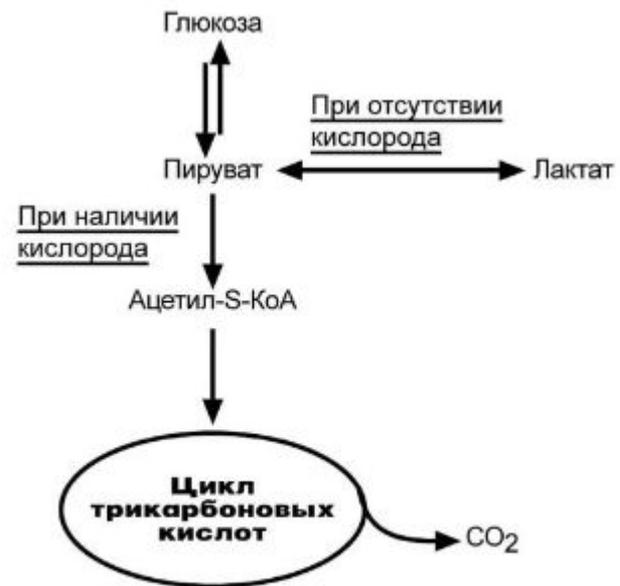
- окисление с образованием пентоз: рибозы, рибулозы, ксилулозы. Этот путь называется **пентозофосфатный шунт** и не связан с получением энергии
- окисление с образованием пировиноградной кислоты и получением энергии.

Второй путь по которому глюкоза окисляется до **пировиноградной кислоты** называется **гликолизом**. В зависимости от дальнейшей судьбы пирувата различают **аэробное** и **анаэробное** окисление глюкозы. Целью обоих типов окисления является получение АТФ.

В **аэробном** процессе пировиноградная кислота превращается в ацетил-S-КоА и далее сгорает в реакциях тканевого дыхания до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

Вместе с этим, существенное значение также имеет способность пирувата карбоксилироваться в оксалоацетат, особенно эта реакция активна в печени. Наличие избытка оксалоацетата "подталкивает" реакции ЦТК, ускоряет связывание ацетильной группы, ее окисление и производство энергии.

В **анаэробном** процессе пировиноградная кислота восстанавливается до молочной кислоты (лактата), поэтому в микробиологии анаэробный гликолиз называют молочнокислым брожением. Лактат является метаболическим тупиком и далее ни во что не превращается, единственная возможность утилизировать лактат – это окислить его обратно в пируват.



Пути превращений пирувата при наличии или отсутствии кислорода

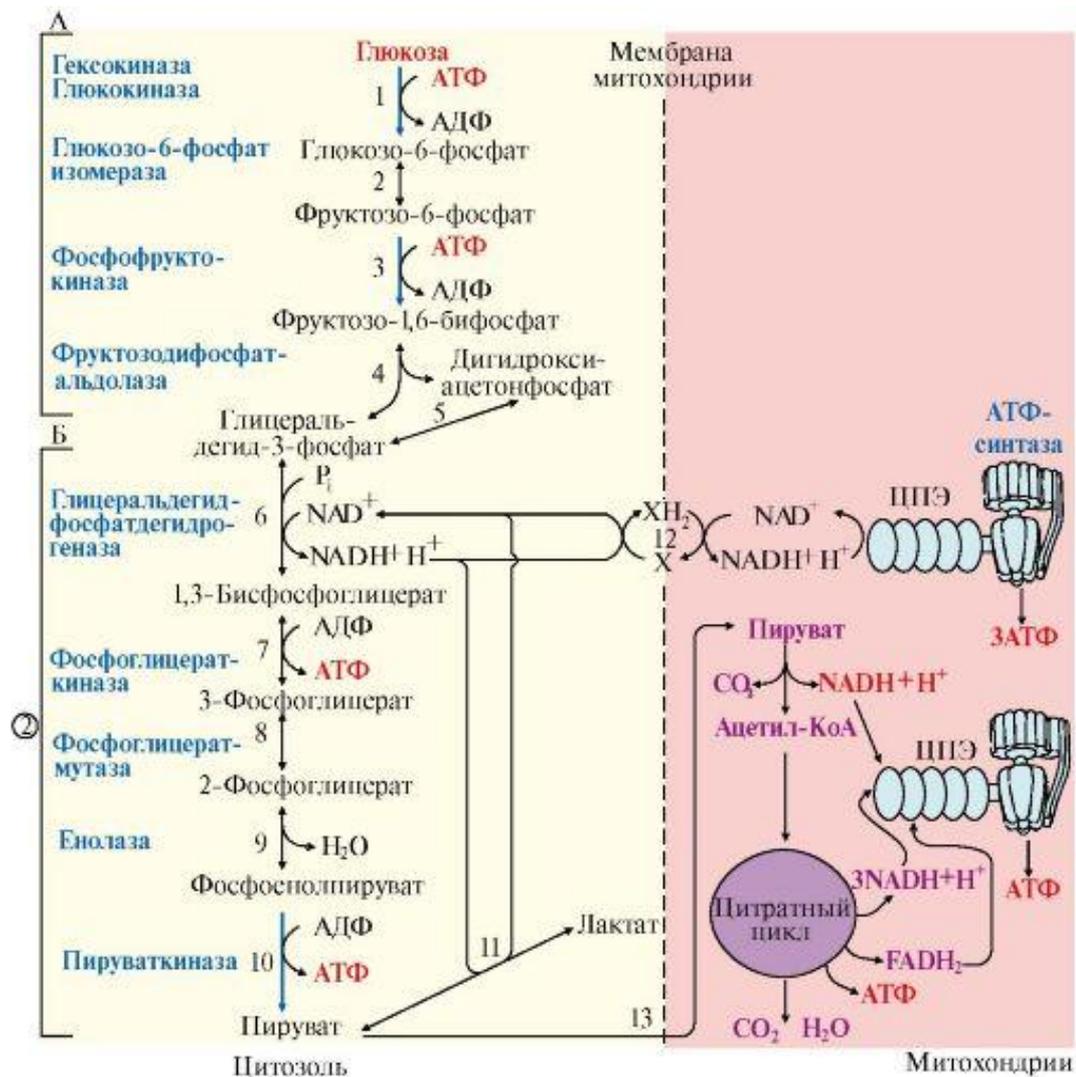
# ГЛИКОЛИЗ

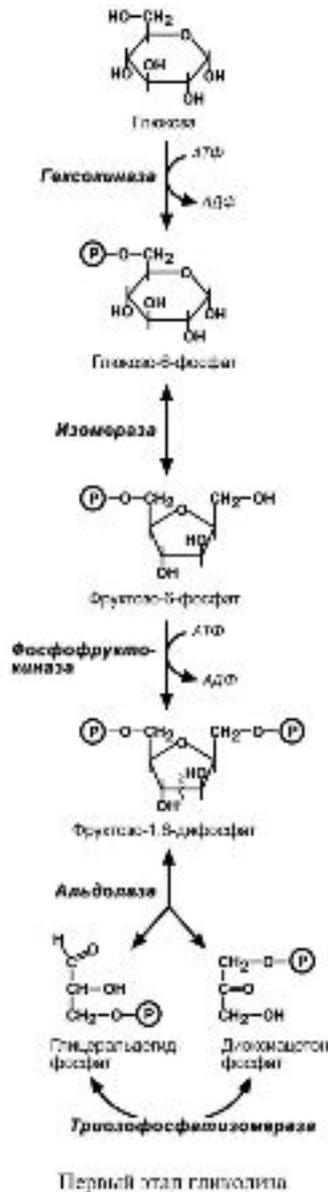
- Анаэробное превращение глюкозы, локализуется в цитозоле и включает 2 этапа из 11 ферментативных реакций.
- Суммарное уравнение анаэробного гликолиза имеет вид:
- Глюкоза + 2АДФ + 2ФН → 2Лактат + 2АТФ + 2Н<sub>2</sub>О

Локализация  
реакций в клетке:

желтым обозначен  
цитозоль, розовым  
митохондрия  
Гликолиз  
происходит в  
цитозоле.

Клетка переводит  
углеводы в форму,  
удобную для  
митохондрий.

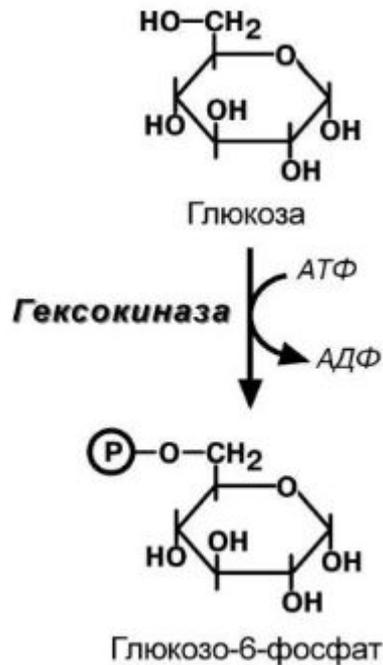




## Первый этап гликолиза

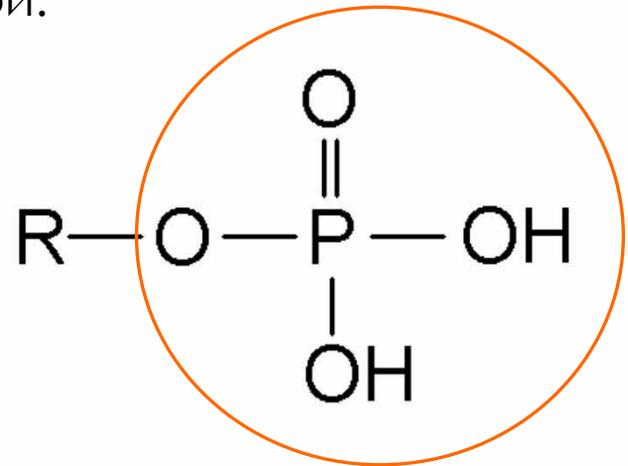
- ▣ **Первый этап гликолиза** – подготовительный, здесь происходит **затрата** энергии АТФ, активация глюкозы и образование из нее триозофосфатов.
- ▣ Включает 5 реакций

# Первая реакция гликолиза

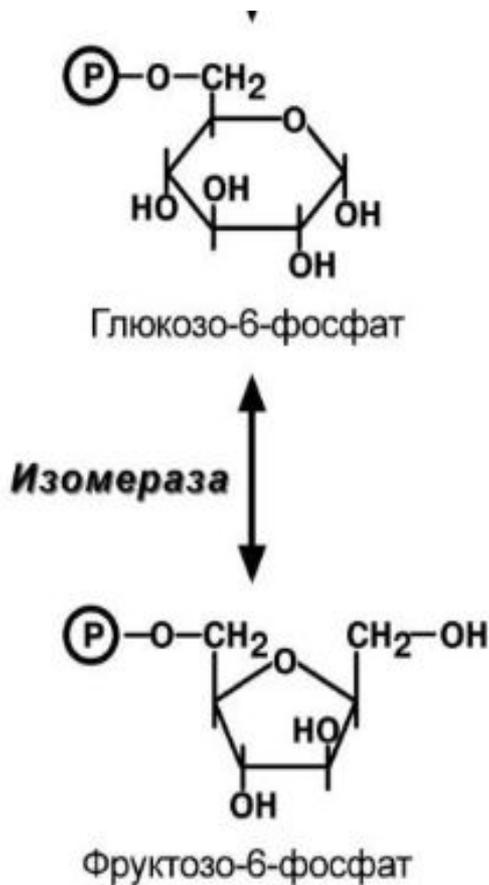


Первая реакция гликолиза сводится к превращению глюкозы в реакционно-способное соединение за счет фосфорилирования 6-го, не включенного в кольцо, атома углерода. Эта реакция является первой в любом превращении глюкозы, катализируется гексокиназой.

Здесь и далее:  
фосфорилирование –  
присоединение  
фосфатов, см.  
оранжевые кружочки.

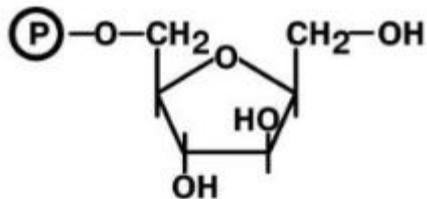


# Вторая реакция гликолиза

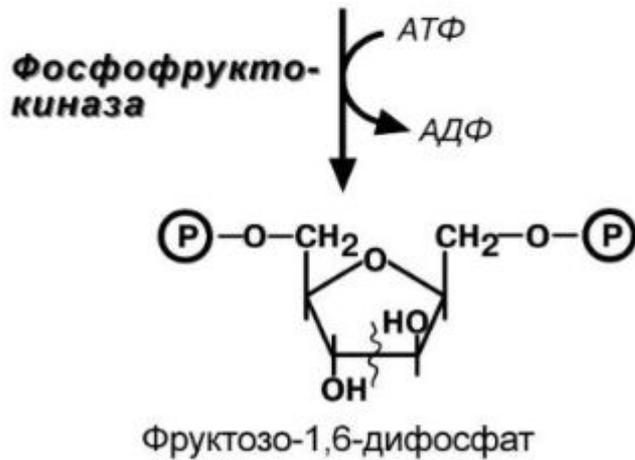


- Вторая реакция необходима для выведения еще одного атома углерода из кольца для его последующего фосфорилирования (фермент изомераза). В результате образуется фруктозо-6-фосфат.

# Третья реакция гликолиза

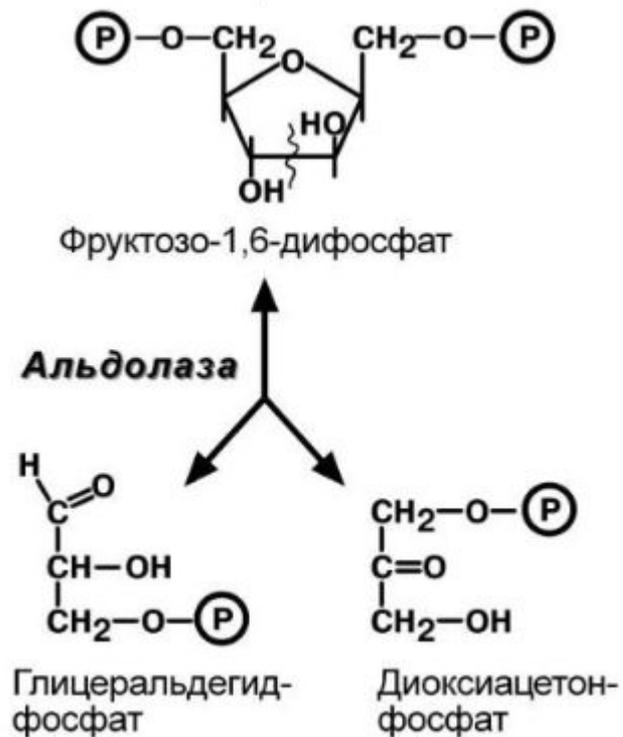


Фруктозо-6-фосфат



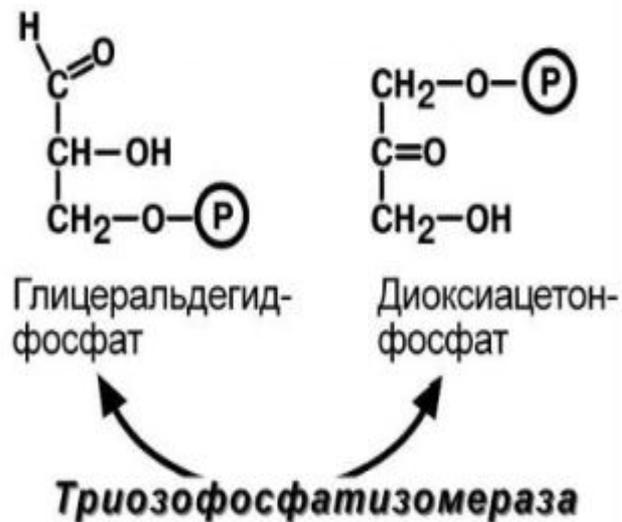
фермент  
фосфофруктокиназа  
фосфорилирует  
фруктозо-6-фосфат  
с образованием почти  
симметричной молекулы  
фруктозо-1,6-дифосфата.

# Четвертая реакция гликолиза



- фруктозо-1,6-дифосфат разрезается пополам альдолазой с образованием двух фосфорилированных триоз-изомеров – альдозы глицеральдегида (ГАФ) и кетозы диоксиацетона (ДАФ).

# Пятая реакция гликолиза



Пятая реакция подготовительного этапа – переход ГАФ и ДАФ друг в друга при участии триозофосфатизомеразы.

Равновесие реакции смещено в пользу ДАФ, его доля составляет 97%, доля ГАФ – 3%.

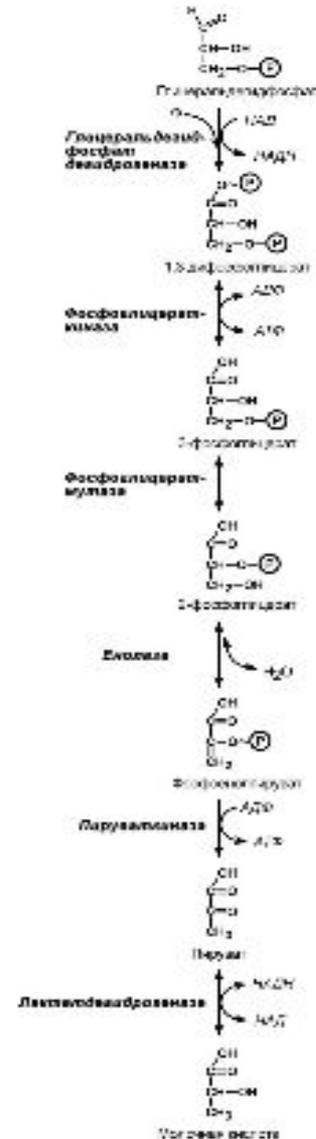
# Смысл пятой реакции гликолиза (!)

- Эта реакция, при всей ее простоте, определяет дальнейшую судьбу глюкозы:
- при нехватке энергии в клетке и активации окисления глюкозы ДАФ превращается в ГАФ, который далее окисляется на втором этапе гликолиза,
- при достаточном количестве АТФ, наоборот, ГАФ изомеризуется в ДАФ, и последний отправляется на синтез жиров.

# Второй этап ГЛИКОЛИЗА

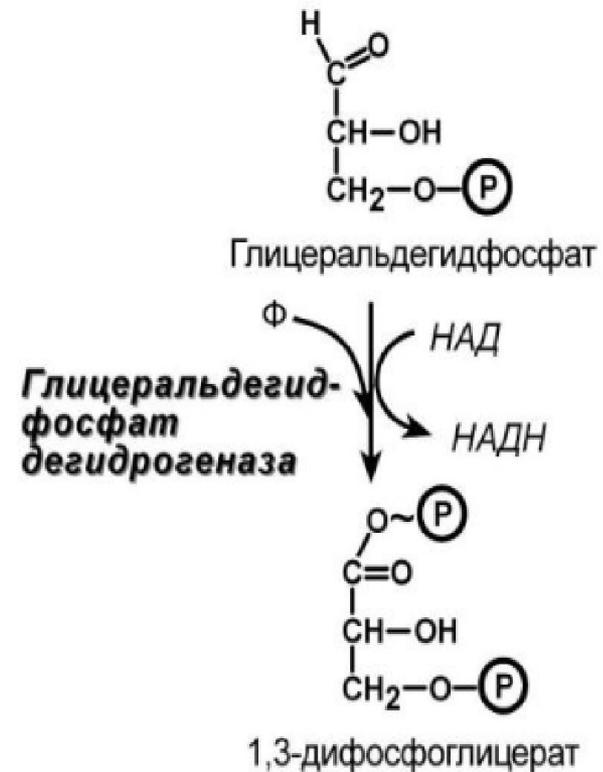
Второй этап гликолиза – это освобождение энергии, содержащейся в глицеральдегидфосфате (ГАФ), и запасание ее в форме АТФ.

Включает 6 реакций (т. о. всего в гликолизе 11 реакций)



# Шестая реакция гликолиза

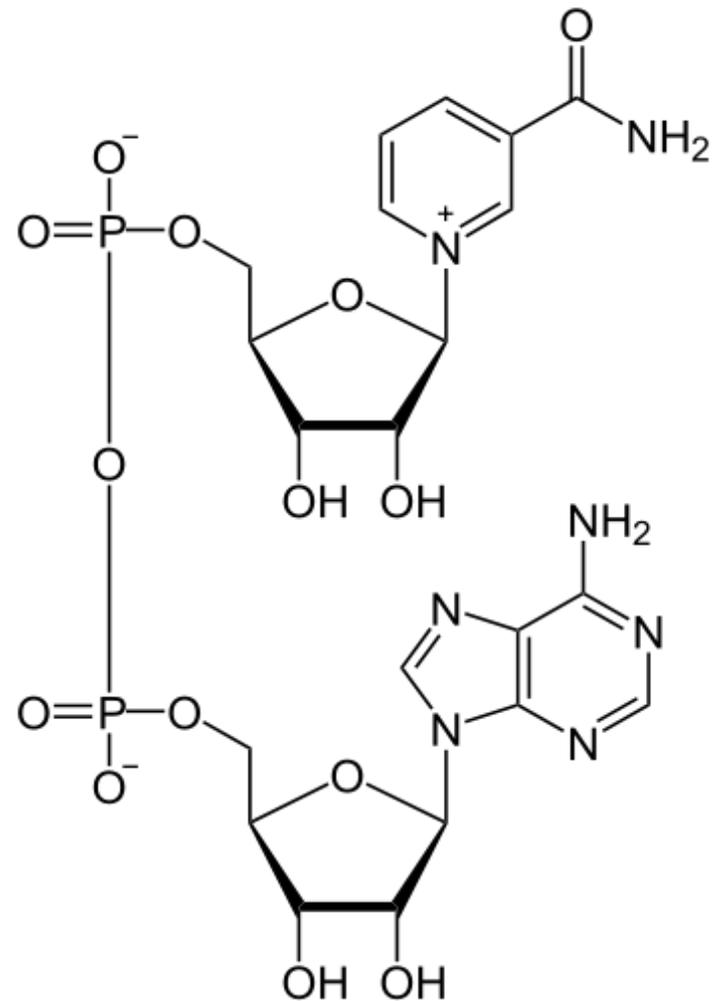
- Шестая реакция гликолиза (фермент глицеральдегидфосфатдегидрогеназа) – окисление ГАФ и присоединение к нему остатка фосфорной кислоты приводит к образованию макроэнергического соединения 1,3-дифосфоглицериновой кислоты и НАДН.



# Важное соединение - НАДН

Никотинамидадениндинуклеотид  
(англ. Nicotinamide adenine dinucleotide,  
сокр. NAD, НАД) —  
кофермент, имеющийся во всех живых клетках.  
NAD – динуклеотид, два нуклеотида соединены  
своими фосфатными группами. Один из  
нуклеотидов в качестве азотистого основания  
содержит аденин, другой — никотинамид.  
Никотинамидадениндинуклеотид существует в  
двух формах:  
окисленной (NAD<sup>+</sup>, NADox)  
и восстановленной (NADH, NADred).

# Важное соединение – НАДН, NADH

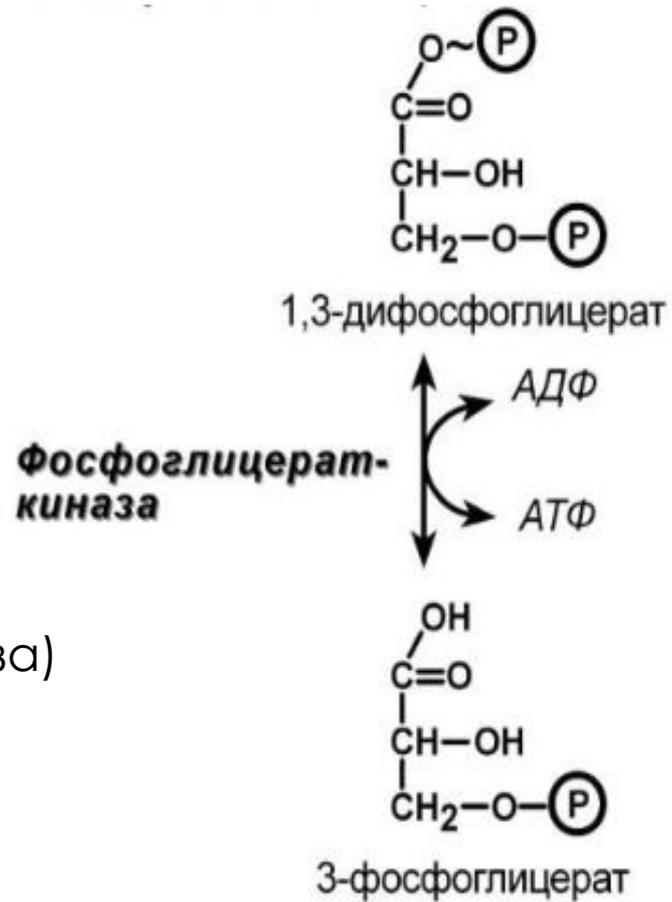


- Рисунок из Википедии.
- Автор: NEUROtiker - собственная работа, Общественное достояние, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2326139>

# Седьмая реакция ГЛИКОЛИЗА, или реакция субстратного фосфорилирования

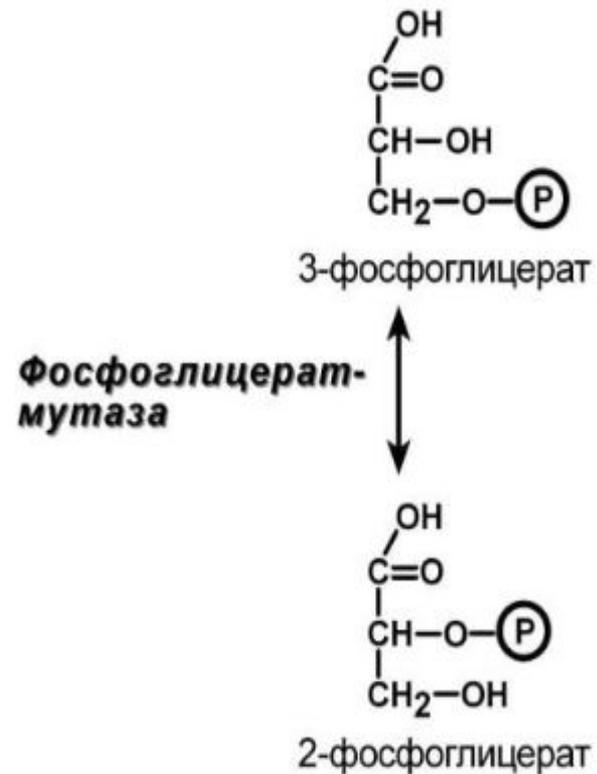
В 7-й реакции  
(фермент фосфоглицераткиназа)  
энергия фосфоэфирной связи,  
заклученная  
в 1,3-дифосфоглицерате,  
тратится на образование АТФ.

Второе название уточняет источник энергии  
для получения макроэргической связи в АТФ – субстрат,  
т.е. сам 1,3-дифосфоглицерат, участвующий в реакции



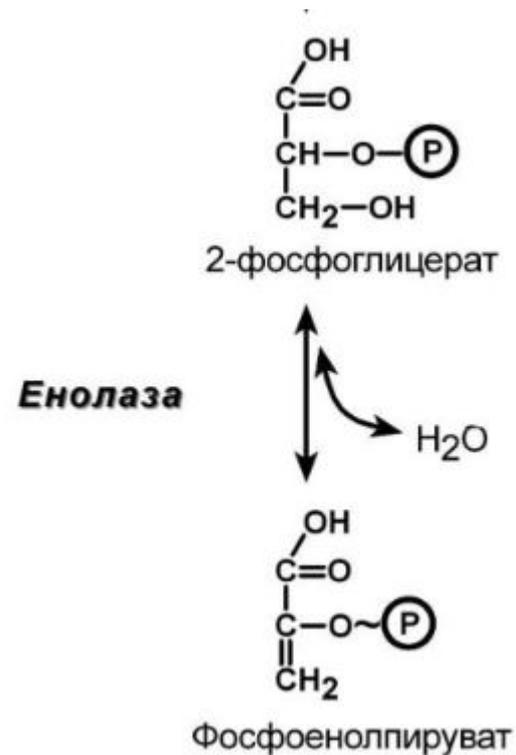
# Восьмая реакция гликолиза

Синтезированный в предыдущей реакции 3-фосфоглицерат под влиянием фосфоглицератмутазы изомеризуется в 2-фосфоглицерат



# Девятая реакция гликолиза

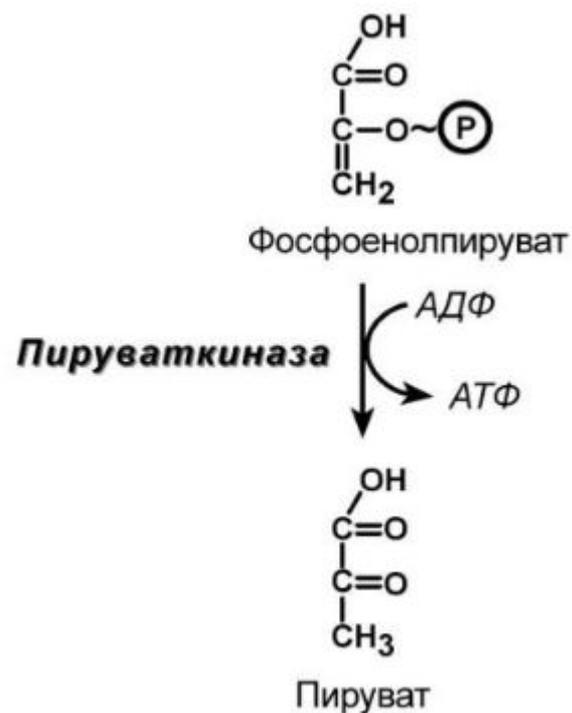
Фермент енолаза  
отрывает молекулу воды  
от  
2-фосфоглицериновой  
кислоты  
и приводит к  
образованию  
макроэргической  
фосфоэфирной связи в  
составе  
фосфоенолпирувата.



# Десятая реакция ГЛИКОЛИЗА

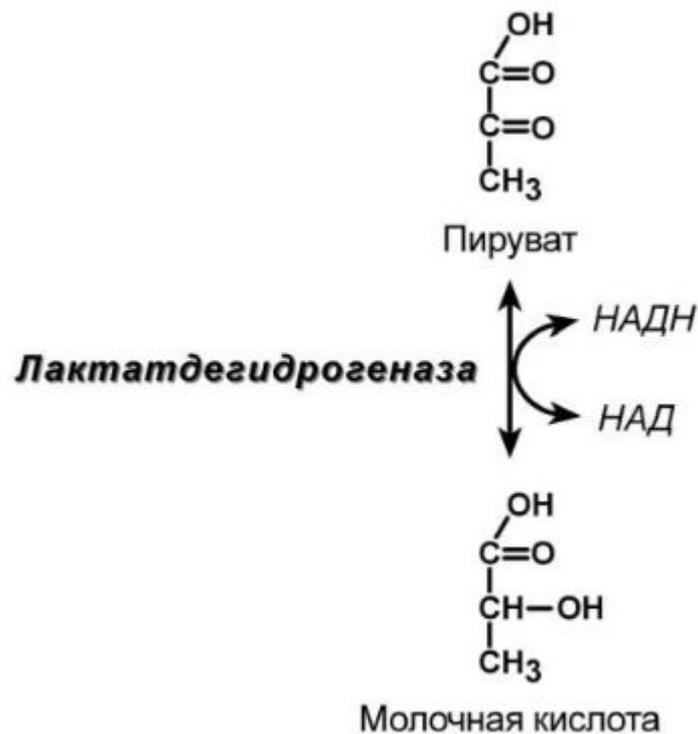
(еще одна реакция  
субстратного  
фосфорилирования)

- Пируваткиназа переносит макроэнергетический фосфат с фосфоенолпирувата на АДФ, образуется пировиноградная кислота и АТФ.



# Последняя реакция гликолиза

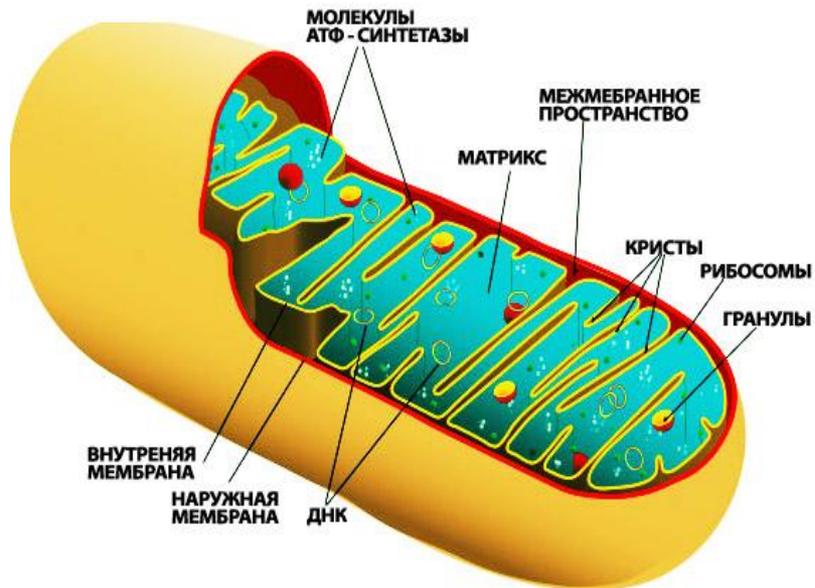
Образование молочной кислоты из пирувата под действием лактатдегидрогеназы.



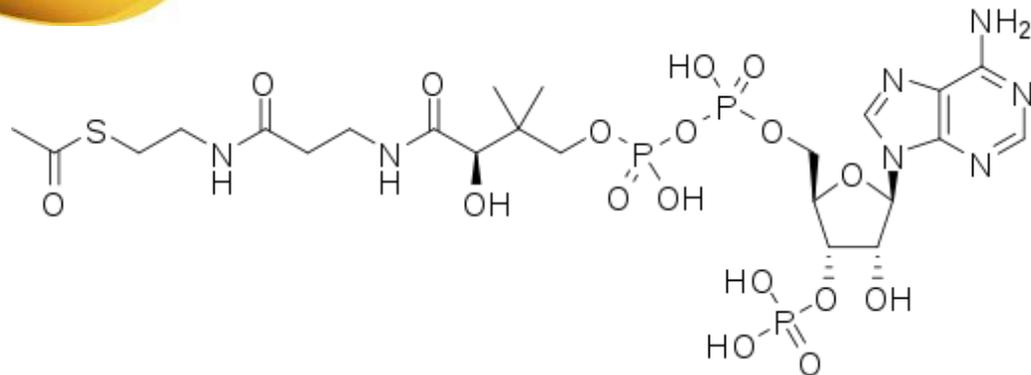
## Важное замечание

- Последняя реакция осуществляется только в анаэробных условиях. Она необходима клетке, так как НАДН, образующийся в 6-й реакции, в отсутствие кислорода не может окисляться в митохондриях.
- У плода и детей первых месяцев жизни преобладает анаэробный распад глюкозы, в связи с чем уровень лактата у них выше по сравнению со взрослыми.

# При наличии кислорода



- пирувиноградная кислота переходит в митохондрию и превращается в ацетил-КоА.



# Гликолитическая оксидоредукция

- В анаэробных условиях образующийся в шестой, ГДФ-дегидрогеназной реакции, НАДН используется в 11-й реакции для восстановления пирувата до лактата. Образующийся этим образом НАД опять возвращается в 6-ю реакцию.
- Процесс циклического восстановления и окисления НАД в реакциях анаэробного окисления глюкозы получил название гликолитическая оксидоредукция.
- В аэробных условиях гликолитической оксидоредукции не происходит, НАДН отдает свои атомы водорода на челночные системы для их передачи в дыхательную цепь митохондрий.

# НАД – НАДН, ОКИСЛЕНИЕ-ВОССТАНОВЛЕНИЕ

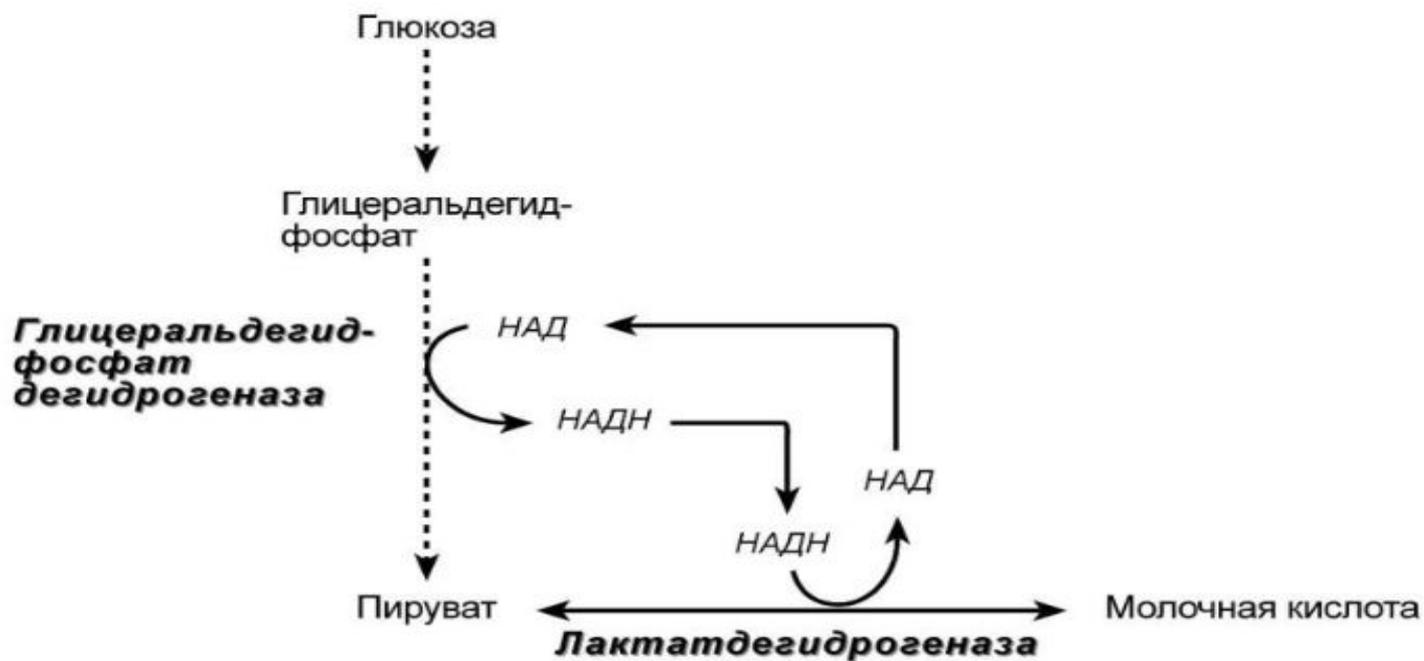
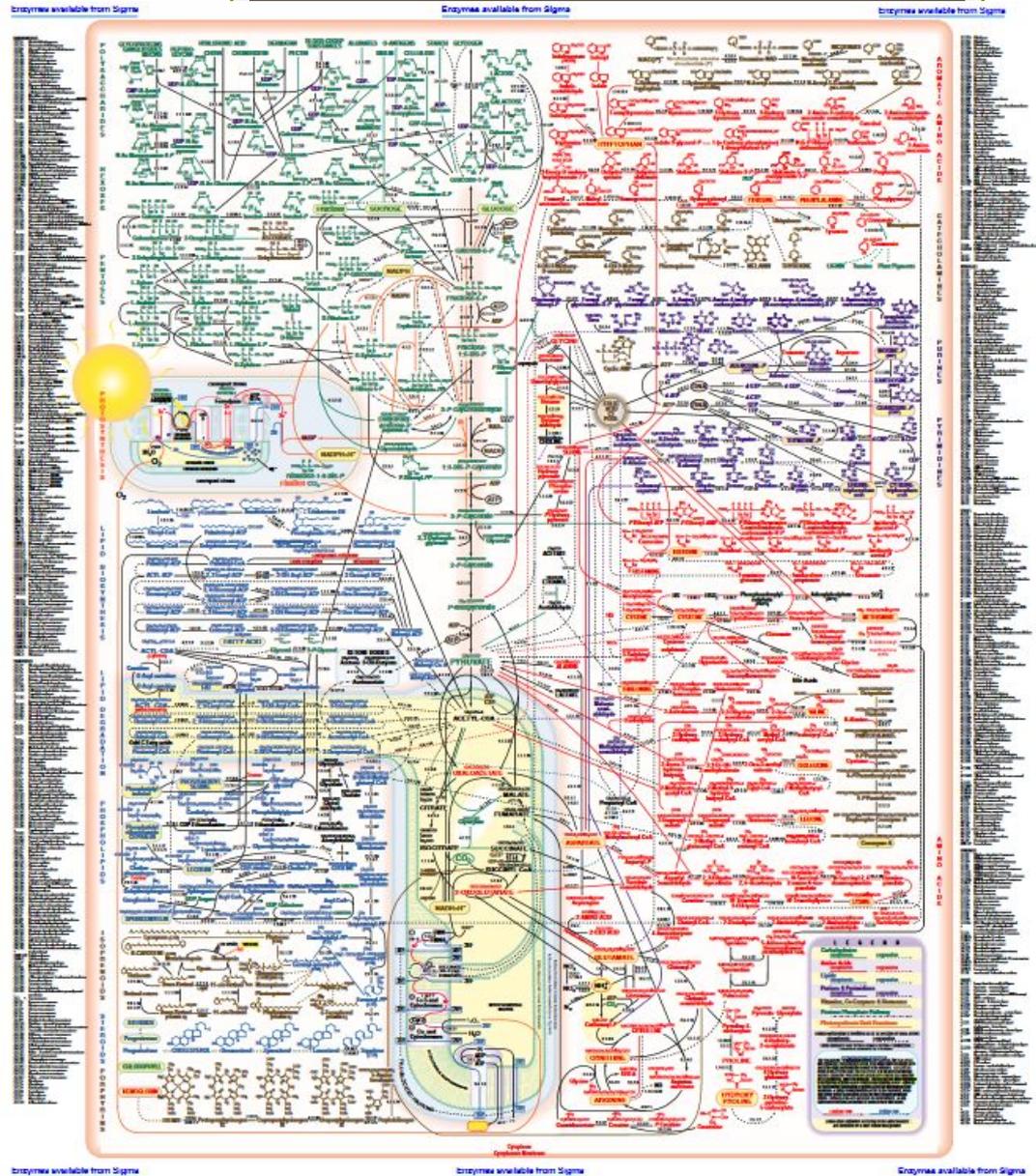
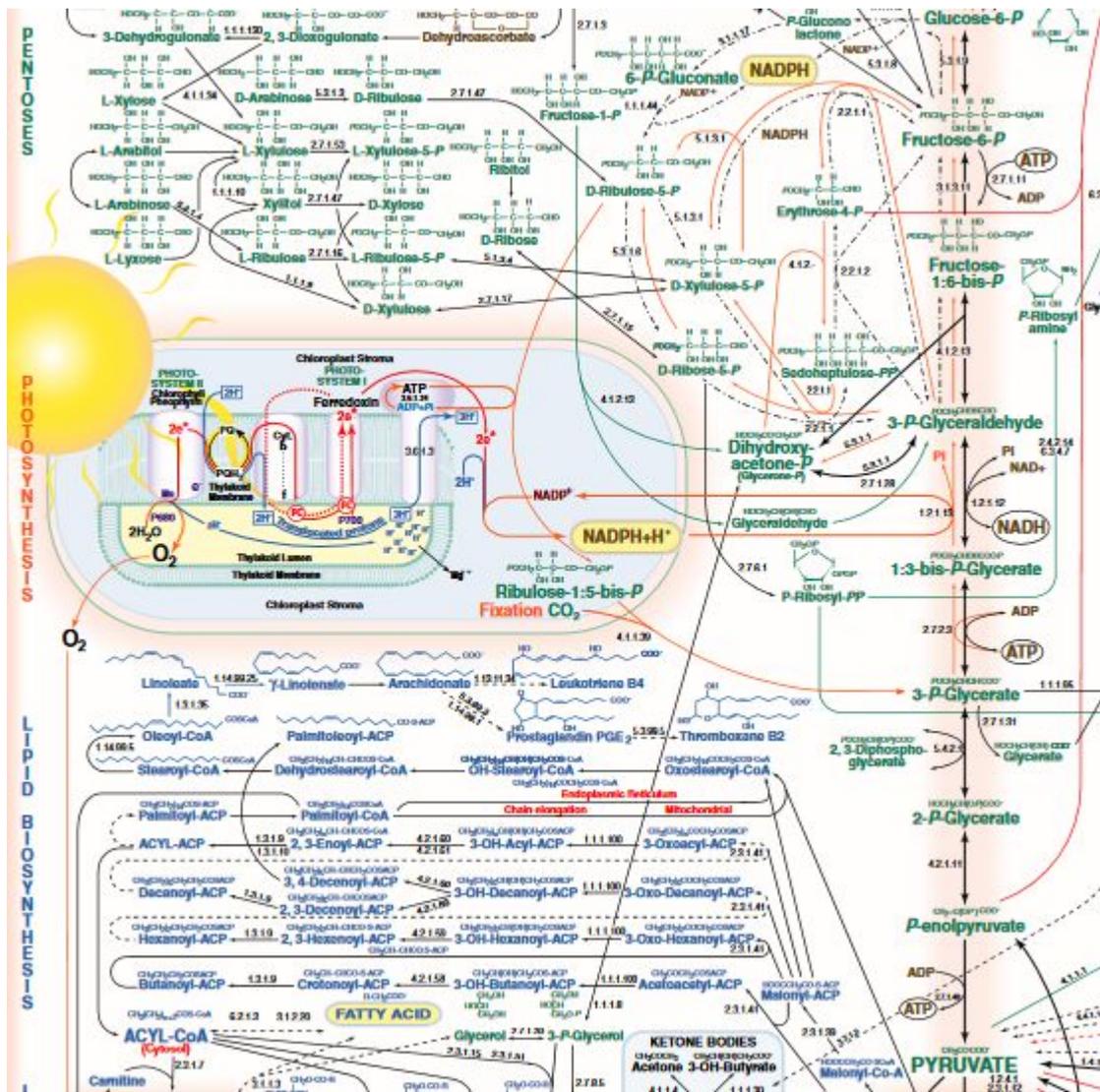


Схема гликолитической оксидоредукции НАД-НАДН

# Сложно?

А ведь это был  
только  
маленький  
участок карты  
биохимических  
реакций  
(реакции  
углеводов  
зеленые)





Правда,  
центральный  
участок!

# **В презентации использовались материалы:**

- Тимин О.А. Лекции по биохимии.
- Википедия
- Каталог фирмы «Сигма»

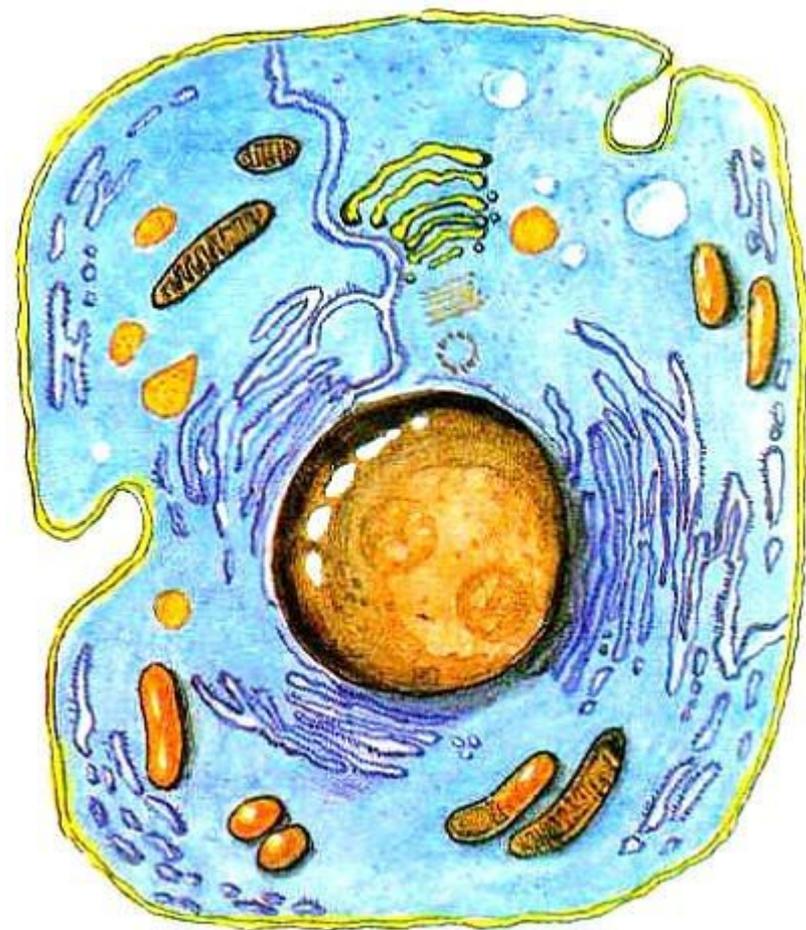
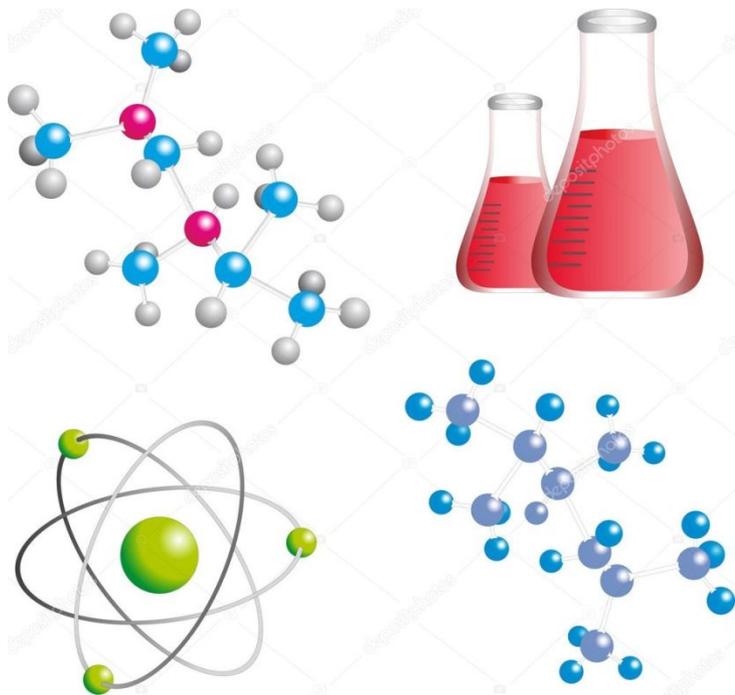
# Презентацию подготовила

- Студентка 4 курса био-хим-зао
- Иванова Наталья aka zewgma
- E-mail: [zewgma@yandex.ru](mailto:zewgma@yandex.ru)

# Для курса

- «Биохимия с основами молекулярной биологии» (осенний семестр 2017 г.)
- Автор – Карташов Сергей Николаевич
- кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры органической и биологической химии МГОУ

**Спасибо за  
внимание!**



**Москва,  
2017**