

12. Реакции гликолиза.

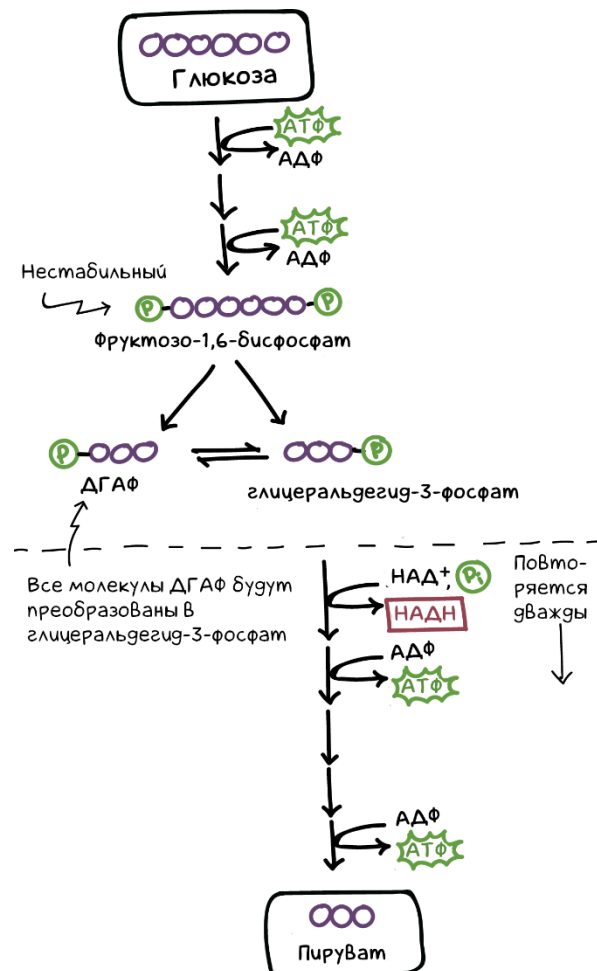
Основные реакции цикла Кребса, глиоксилатный шунт.

Цикл Кальвина. RuBisCo и пируваткарбоксилаза для фиксации CO₂. Различия C3 и C4 фотосинтеза.

[Гликолиз, окисление пирувата, цикл Кребса – этапы клеточного дыхания. Клеточное дыхание — это метаболический процесс, при котором глюкоза постепенно расщепляется до углекислого газа и воды и образуется АТФ. Последним этапом является окислительное фосфорилирование]

Гликолиз

Гликолиз – это последовательность реакций, извлекающих энергию из молекулы глюкозы, расщепляя её на две 3-углеродные молекулы под названием «пируват».



[схема гликолиза]

Всего этот процесс состоит из десяти стадий, но здесь будут рассмотрены лишь его ключевые моменты [не требует присутствия кислорода в отличие от других этапов клеточного дыхания; в отсутствие кислорода гликолиз имеет другое название – «брожение»]

Гликолиз протекает в цитозоле [цитозоль – основное вещество цитоплазмы, жидкое содержание клетки] клетки. Его можно разбить на два основных этапа: с поглощением энергии (на иллюстрации ниже это всё, что находится выше пунктирной линии) и с выделением энергии (ниже пунктирной линии).

Этап с поглощением энергии. На этом этапе исходная молекула глюкозы перестраивается, и к ней присоединяются две фосфатные группы. Эти фосфатные группы делают получившееся соединение (теперь он называется «фруктозо-1,6-бисфосфат») нестабильным, поэтому оно расщепляется пополам с образованием двух 3-углеродных молекул с одной фосфатной группой у каждой. Фосфатные группы берутся из АТФ, поэтому используется две молекулы аденозинтрифосфата [АДФ образуется в результате переноса концевой фосфатной группы АТФ].

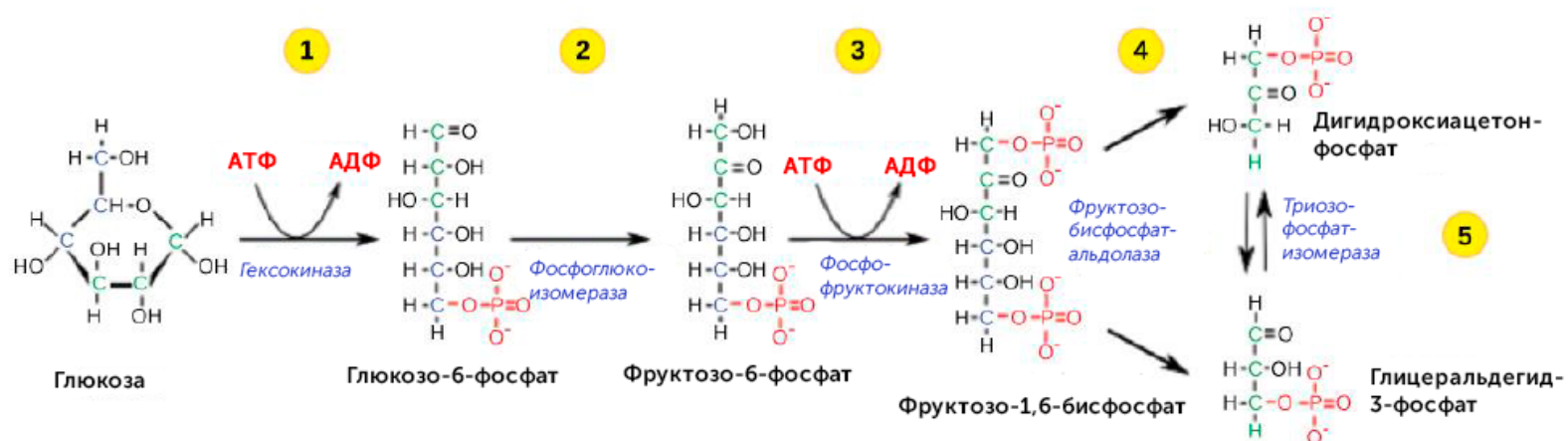
В результате такого расщепления нестабильной молекулы образуются две разные 3-углеродные молекулы. Только одна из них - глицеральдегид-3-фосфат - может перейти на следующую стадию. Однако «ненужный» продукт ДГАФ [Дигидроксиацетонфосфат] может быть легко преобразован в полезный, так что оба сахара участвуют в механизме до конца.

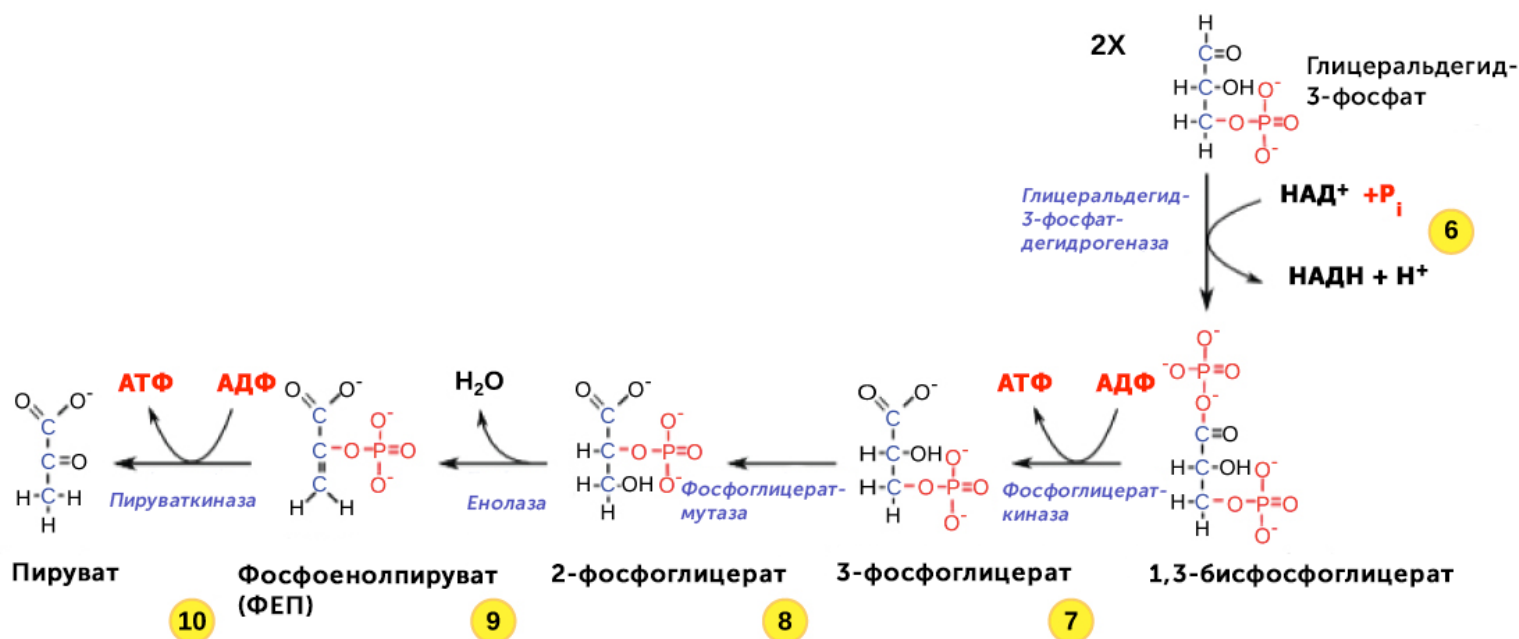
Этап с выделением энергии. На этом этапе каждая 3-углеродная молекула вступает в реакцию и, в конце концов, преобразуется в другую 3-углеродную молекулу — пируват. В процессе этого этапа образуются две молекулы АТФ и одна молекула НАДН [Никотинамидадениндинуклеотид; в конце стоит не «эн», а «аш»]. Поскольку этот этап повторяется дважды, по одному разу на каждую из двух 3-углеродных молекул, в результате образуются четыре молекулы АТФ и две молекулы НАДН.

Каждая реакция гликолиза катализируется собственным ферментом. Основным ферментом, участвующим в регуляции гликолиза — фосфофруктокиназа, он катализирует образование нестабильной двухфосфатной молекулы — фруктозо-1,6-бисфосфата. Фосфофруктокиназа ускоряет или замедляет процесс гликолиза в зависимости от энергетической потребности клетки.

Таким образом, в результате гликолиза одна 6-углеродная молекула глюкозы превращается в две 3-углеродные молекулы пирувата. В качестве побочных продуктов образуются две молекулы АТФ (4 молекулы АТФ синтезируются, 2 молекулы АТФ используются) и две молекулы НАДН.

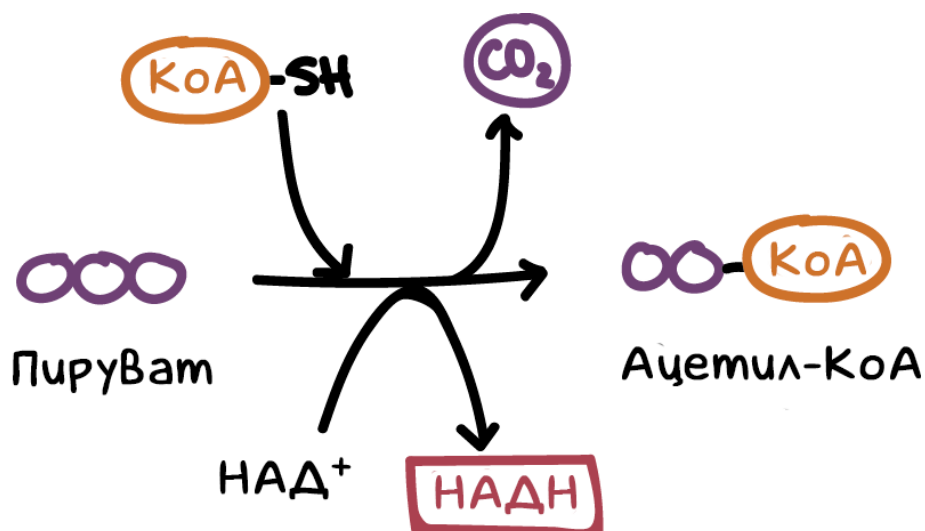
Картинки для более подробного ознакомления.





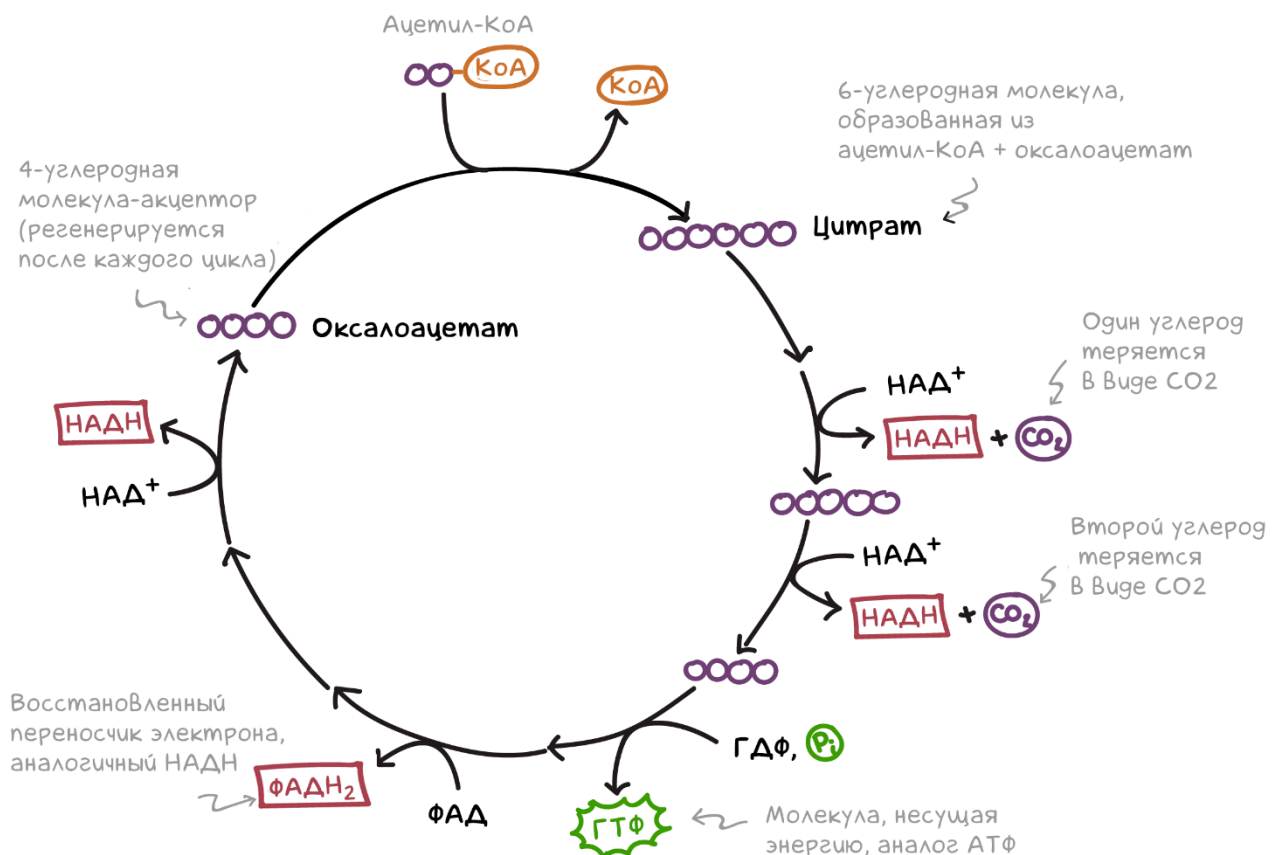
Цикл Кребса

Подготовительная стадия – окисление пирувата, получившегося в результате гликолиза. У эукариот этот шаг протекает в матриксе — внутреннем пространстве митохондрии. У прокариот он протекает в цитоплазме. В целом, окисление пирувата превращает пируват – трехуглеродную молекулу – в ацетил -КоА — 2-углеродную молекулу, присоединенную к коферменту А. Одновременно образуется НАДН и выделяется одна молекула углекислого газа.



Окислительное декарбоксилирование пирувата		
$\begin{array}{c} \text{O}^- \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Пируват</p>	$\begin{array}{c} \text{KoA-SH} \\ \xrightarrow{\text{НАД}^+ \rightarrow \text{НАДН} + \text{CO}_2} \end{array}$ <p>Реакция окисления</p>	$\begin{array}{c} \text{S-KoA} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ <p>Ацетил-KoA</p>
<p>1</p> <p>Карбоксильная группа отщепляется от пирувата с выделением углекислого газа.</p>	<p>2</p> <p>НАД⁺ восстанавливается до НАДН</p>	<p>3</p> <p>Ацетильная группа переносится на кофермент А с образованием ацетил-KoA.</p>

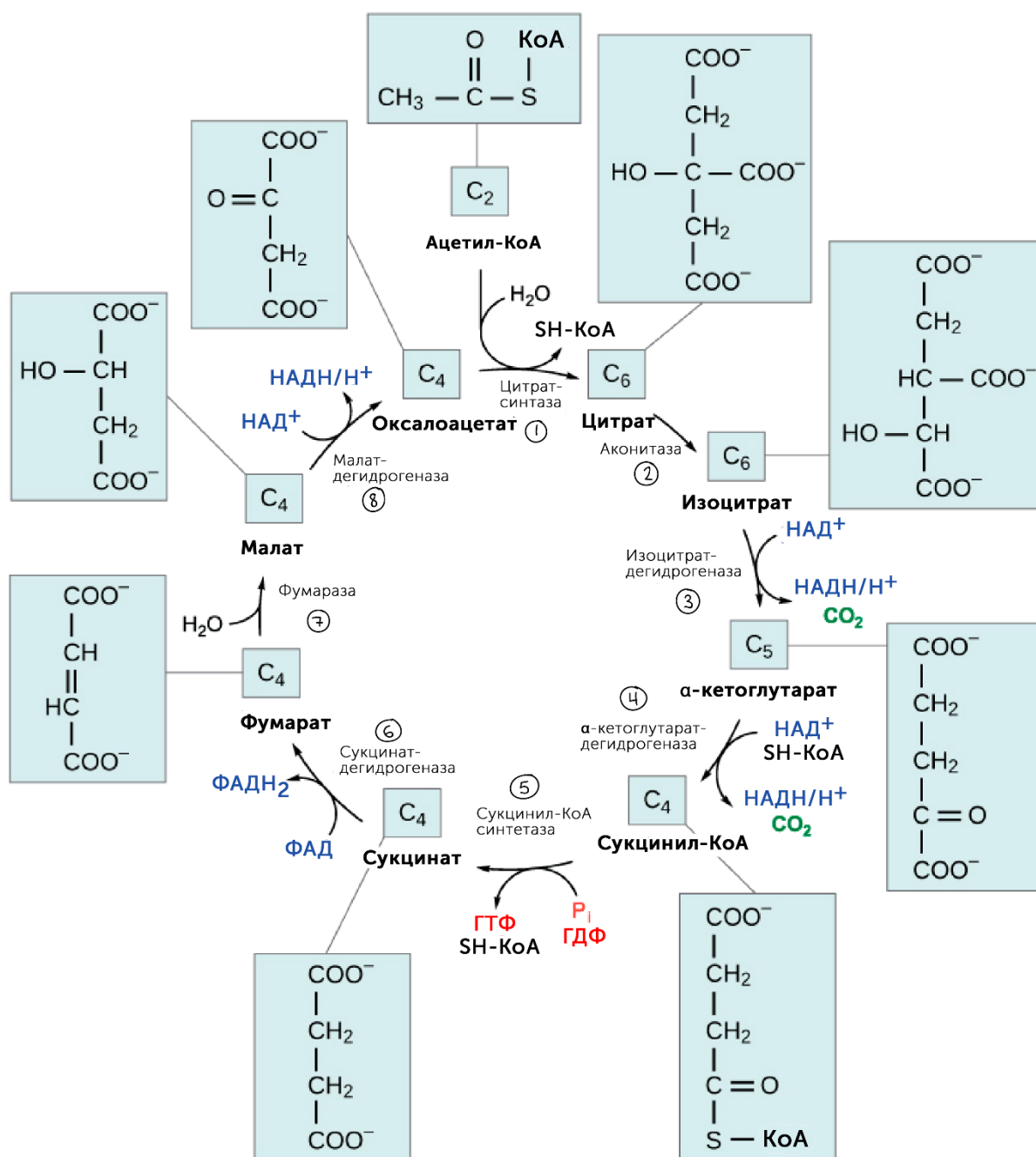
Цикл трикарбоновых кислот представляет собой замкнутый цикл; последний этап которого преобразует молекулу, использованную на первом этапе. Цикл включает в себя восемь основных стадий.



На первой стадии цикла ацетил-KoA соединяется с 4-углеродной молекулой-акцептором — оксалоацетатом — с образованием 6-углеродной молекулы — цитрата. После небольших преобразований эта 6-углеродная молекула вступает в две последовательные схожие реакции, в

результате каждой из которых отщепляется по одному атому углерода (он выделяется в виде молекулы углекислого газа), при этом, производя каждый раз одну молекулу НАДН. Ферменты, катализирующие эти реакции, являются ключевыми регуляторами цикла трикарбоновых кислот, ускоряя или замедляя его в соответствии с энергетическими потребностями клетки. Оставшаяся 4-углеродная молекула подвергается ряду дополнительных реакций, вначале образуя молекулу АТФ (в некоторых клетках может образовываться схожая молекула ГТФ – гуанозинтрифосфат), затем переносчик электронов ФАД [флавинадениндинуклеотид] восстанавливается до ФАДН₂, и наконец образуется ещё одна молекула НАДН. Эта последовательность реакций восстанавливает исходную молекулу оксалоацетата, поэтому цикл может повторяться.

Таким образом, за один проход цикла трикарбоновых кислот высвобождаются две молекулы углекислого газа и образуются три молекулы НАДН, одна молекула ФАДН₂ и одна молекула АТФ или ГТФ. Цикл трикарбоновых кислот запускается дважды для каждой молекулы глюкозы, которая вступает в клеточное дыхание, потому что она распадается на два пирувата и, следовательно, две молекулы ацетила-КоА.



[выше – подробная картинка для упоротых]

Глиоксилатный шунт

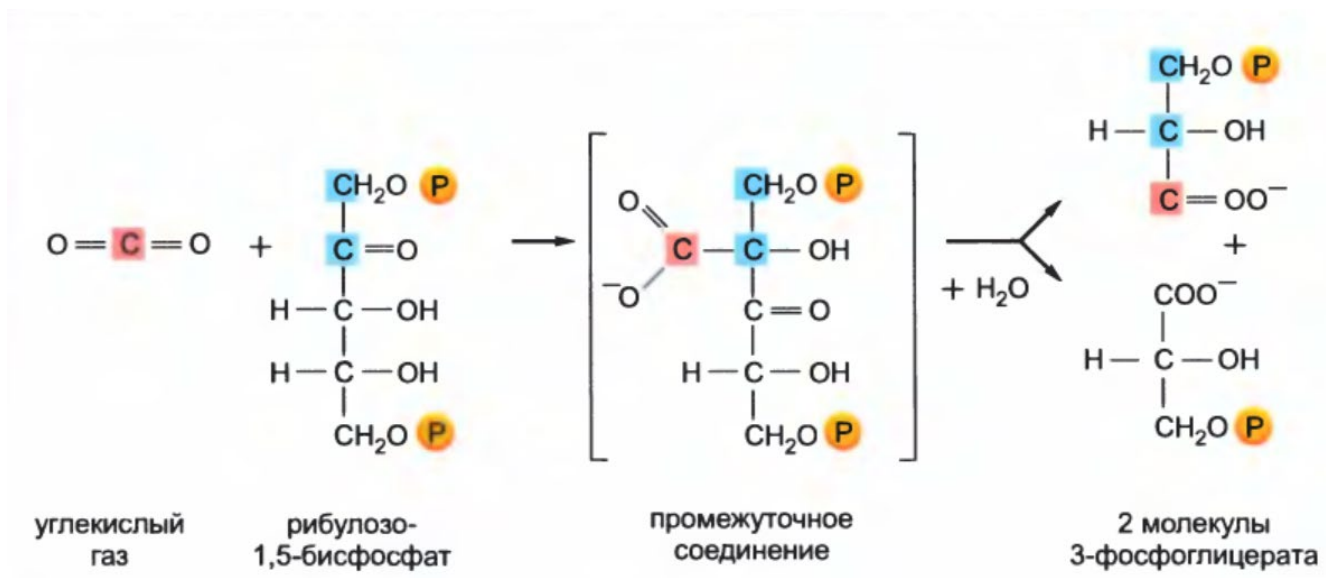
В растениях может быть реализовано превращение жиров в сахара путём последовательных реакций, носящих название **глиоксильного цикла (шунта)**. В глиоксильном цикле две молекулы ацетил-КоА, полученные при окислении жирных кислот в пероксисоме [пероксисома – небольшая мембранная органелла, в которой окисляются органические молекулы], используются для синтеза янтарной кислоты, которая затем покидает пероксисому и в цитозоле превращается в глюкозу. В животных клетках нет глиоксилатного цикла, и поэтому животные не способны превращать жирные кислоты жиров в углеводы.

Представляет собой видоизменённый цикл трикарбоновых кислот.

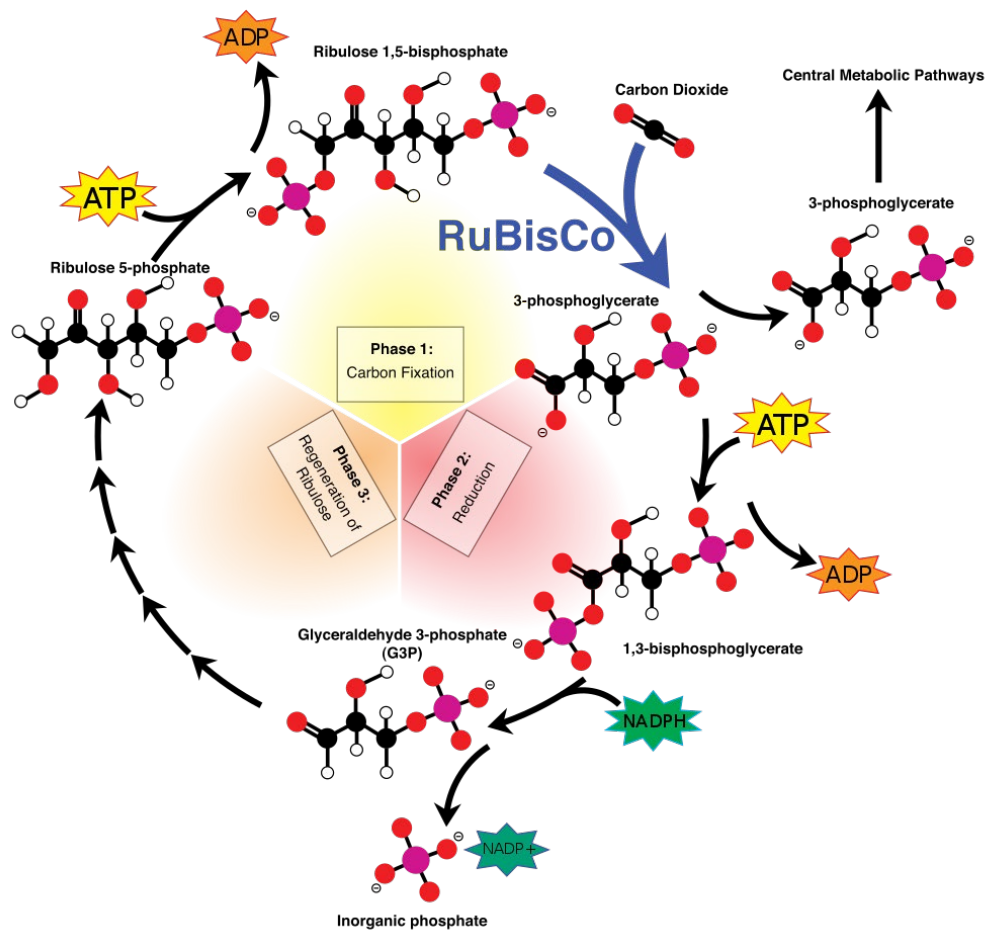
Связывание углерода

Связывание углерода — общее название совокупности процессов, при которых углекислый газ CO_2 преобразуется в органические вещества. Такие процессы используют автотрофы, то есть организмы, которые сами вырабатывают необходимые для себя органические вещества. В частности, процесс связывания углерода является составной частью фотосинтеза.

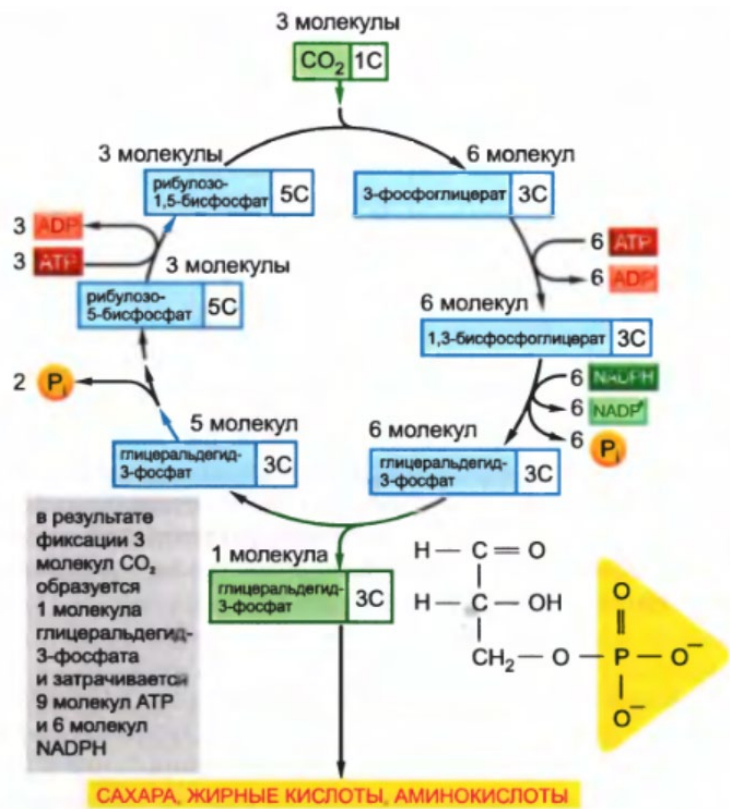
C_3 растения используют **цикл Кальвина**, создавая соединения, которые содержат три атома углерода. Этот тип фотосинтеза свойственен для большинства наземных растений.



[Начальная реакция цикла Кальвина, в ходе которой углекислый газ превращается в органический углерод. Она катализируется ферментом под названием **рибулозобисфосфаткарбоксилаза** (или просто Рубиско).]



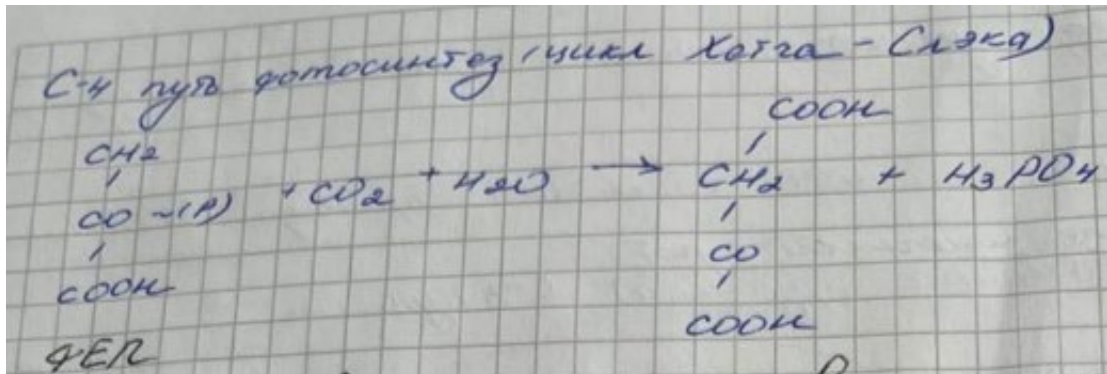
[полный цикл Кальвина]



[всё тот же цикл Кальвина; здесь стоит обратить внимание на продукты выхода и то, сколько энергии затрачивается]

[из википедии] Цикл состоит из трёх стадий: на первой под действием фермента рибулзобисфосфаткарбоксилаза происходит присоединение CO_2 к рибулозо-1,5-бисфосфату и расщепление полученной гексозы на две молекулы 3-фосфоглицериновой кислоты (3-ФГК). На второй 3-ФГК восстанавливается до глицеральдегид-3-фосфата (фосфоглицеральдегида, ФГА), часть молекул которого выходит из цикла для синтеза глюкозы, а другая часть используется в третьей стадии для регенерации рибулозо-1,5-бисфосфата.

C_4 -растения перед циклом Кальвина включают CO_2 в соединение с 4 атомами углерода.



[реакция, если спросят; ФЕП = фосфоенолпироват]