



**Анаболизм**  
**Автотрофное питание**  
**Фотосинтез**

## II стадия фотосинтеза - темновая

- **1.** Все реакции темновой стадии фотосинтеза не нуждаются в присутствии света.
- **2.** Они идут в строме хлоропласта в любое время суток.
- **3.** Это собственно синтез углеводов (глюкозы). Для него необходимы энергия АТФ и восстановительная способность НАДФ·2Н, благодаря которым энергия АТФ и НАДФ·2Н преобразуется в энергию химических связей молекулы глюкозы.

## II стадия фотосинтеза - темновая

- Первичным соединением, связывающим  $\text{CO}_2$  является пятиуглеродный сахар – **рибулозо-1,5-дифосфат**, в результате чего образуется шестиуглеродное промежуточное короткоживущее соединение, которое вследствие гидролиза распадается на две трехуглеродные молекулы **фосфоглицериновой кислоты**. В этой реакции для связывания одной молекулы  $\text{CO}_2$  затрачивается три молекулы АТФ и две молекулы НАДФ·Н.
- Группа ферментов катализирует ступенчатое образование из двух молекул фосфоглицериновой кислоты одной молекулы шестиуглеродного сахара – **фруктозо-6-фосфата**, который далее превращается в **глюкозу**.
- Поскольку глюкоза — шестиуглеродный сахар, то на ее синтез суммарно тратится шесть молекул  $\text{CO}_2$ . При этом на синтез одной молекулы глюкозы требуется энергия **18 молекул АТФ** и **12 молекул НАДФ·2Н**.
- Фиксация  $\text{CO}_2$  носит циклический характер, так как часть промежуточных углеводов претерпевает процесс конденсации и перестроек до **рибулозо-1,5-дифосфата** — первичного акцептора  $\text{CO}_2$ , что обеспечивает непрерывную работу цикла. Впервые этот процесс подробно изучил американский биохимик Мэлвин Кальвин, лауреат Нобелевской премии (1961 г.), в честь которого цикл и получил название **цикла Кальвина**. У большинства растений первоначальное превращение углерода идет через трехуглеродные соединения, потому этот путь фиксации  $\text{CO}_2$  называется  **$\text{C}_3$ -путь фотосинтеза**.

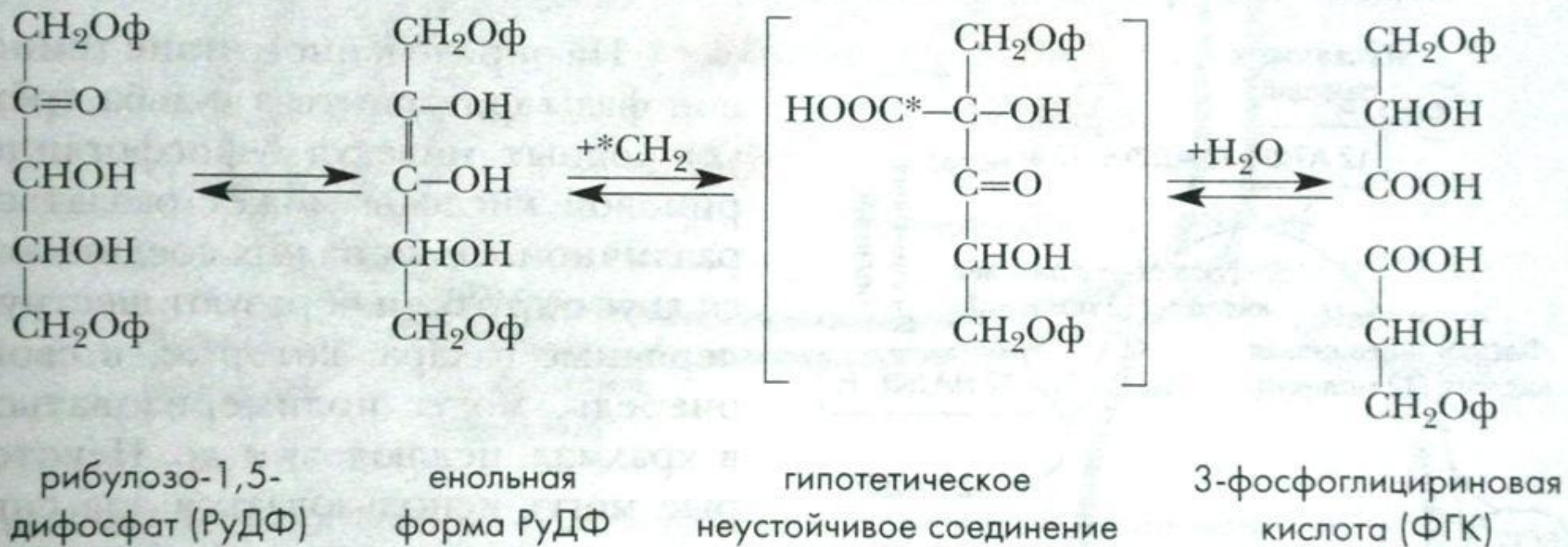
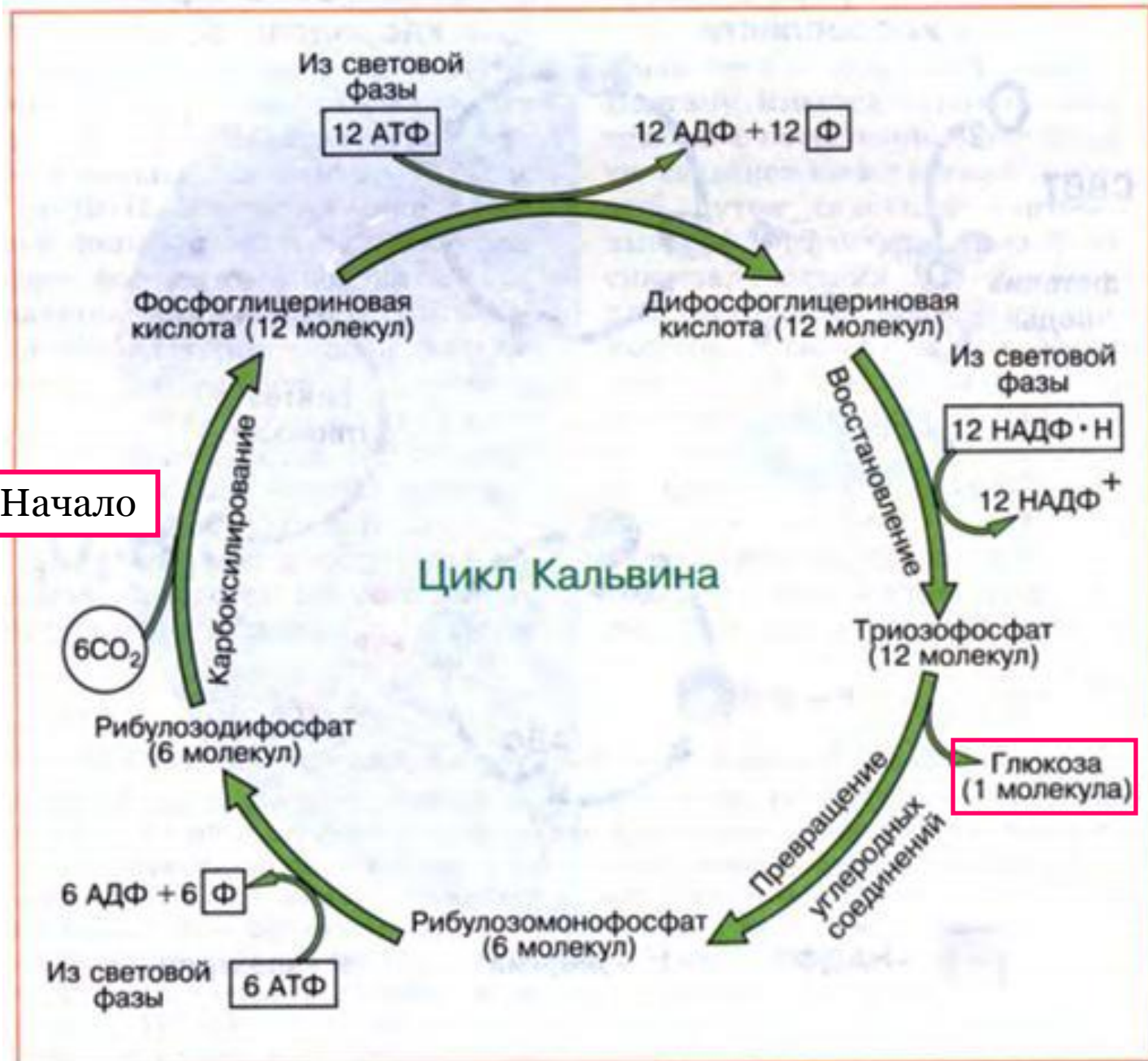


Рис. 184. Схема первичной фиксации CO<sub>2</sub>



Начало



# Этапы цикла Кальвина

- **1.1.** Карбоксилирование (рибулозодифосфат +  $\text{CO}_2 \rightarrow$  фосфоглицериновая кислота);
- **1.2.** Фосфорилирование (фосфоглицериновая кислота  $\rightarrow$  дифосфоглицериновая кислота; 12 АТФ);
- **2.** Восстановление (дифосфоглицериновая кислота  $\rightarrow$  фосфоглицериновый альдегид (триозофосфат)  $\rightarrow$  а) на образование гексозы; б) 3 этап; в) синтез АМК, спиртов, карбоновых кислот и пр.; 12 НАДФ·Н);
- **3.** Превращение углеродных соединений (фосфоглицериновый альдегид (триозофосфат)  $\rightarrow$  рибулозо-1,5-дифосфат; 6 АТФ).

# Другие пути восстановления $\text{CO}_2$ до углеводов

- При низких концентрациях  $\text{CO}_2$  в атмосфере у растений жарких, засушливых и засоленных мест обитания (кукуруза, сорго, сахарный тростник, просо, амарант, лебеда, баклажан и др.) наблюдается  **$\text{C}_4$ -путь** ассимиляции углерода при фотосинтезе.  $\text{C}_4$ -растения экономно расходуют  $\text{CO}_2$ , фотосинтез идет даже при слабо открытых устьицах. Первичным акцептором  $\text{CO}_2$  является фосфоенолпироват.
- **$\text{CAM}$ -путь** (crassula acid metabolism) осуществляют толстянки, каланхоэ, очитки, молочаи, некоторые кактусы. Фиксация  $\text{CO}_2$  происходит ночью при открытых устьицах, он запасается в виде органических кислот. Акцептором  $\text{CO}_2$ , как и при  $\text{C}_4$ -пути, является фосфоенолпироват, при этом образуется яблочная кислота, подкисляющая вакуолярный сок.

- **Домашнее задание § 12  
до хемосинтеза**