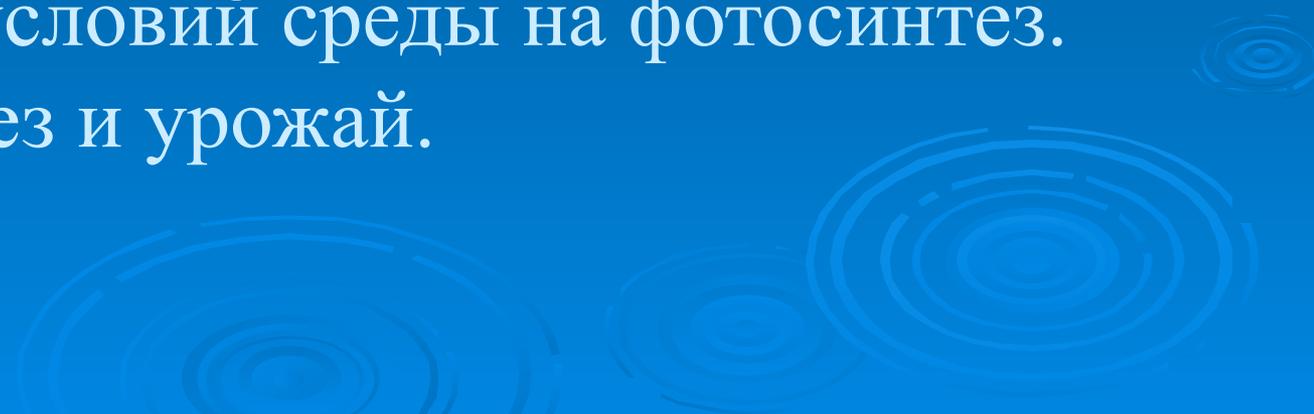


# Тема: Химизм фотосинтеза.

1. Фотосинтез как сочетание световых и темновых реакций.
  2. Световая фаза фотосинтеза.
  3. Темновая фаза фотосинтеза.
  4.  $C_4$  - путь фотосинтеза (цикл Хетча и Слэка)
  5. Влияние условий среды на фотосинтез.
  6. Фотосинтез и урожай.
- 

В 70-х годах XVII столетия Байер предполагал, что первым продуктом фотосинтеза является формальдегид, т.е.



Согласно теории Вильштеттера к центральному ядру хлорофилла присоединяется гидрат угольного ангидрида  $\text{H}_2\text{CO}_3$

В 1871г.К.А.Тимирязев высказал идею о непосредственном участии хлорофилла в акте фотосинтеза

- Советский ученый Рихтер и ряд зарубежных исследователей Блеклан, Эмерсон и Арнольд показали, что в процессе фотосинтеза имеют место реакции которые могут протекать только на свету и они получили название световых(фотохимических)

- Реакции протекающие без наличия света – темновые (энзиматические)

- Темновые реакции фотосинтеза являются более продолжительными, чем световые.

- Темновые процессы зависят от температуры.

- У световых (фотохимических) реакций температурная зависимость чрезвычайно низкая.

## Фотосинтез можно разделить на 3 этапа:

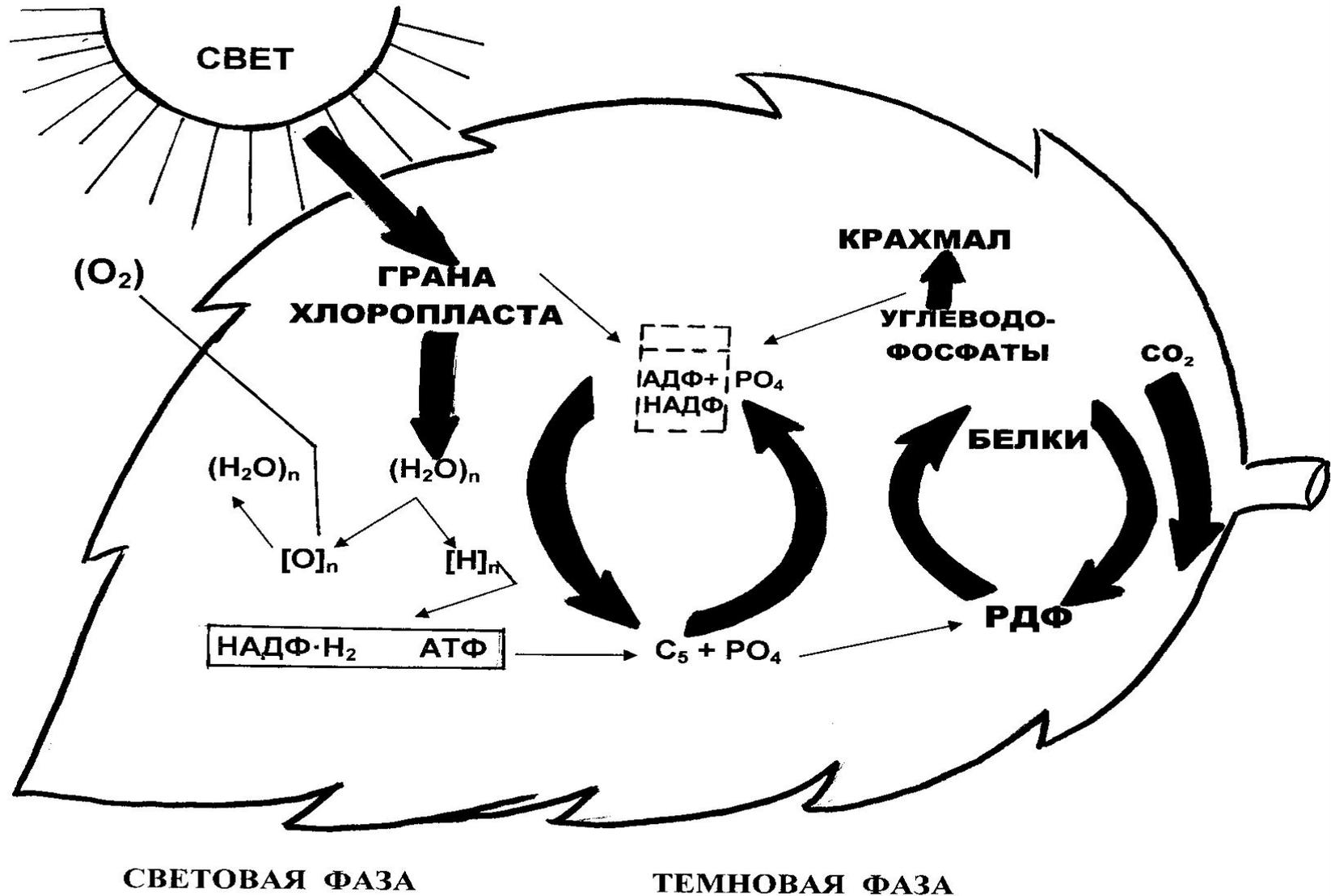
- Поглощение света пигментами и образование возбужденных молекул.
- Первичные фотохимические реакции, в которых принимают участие возбужденные молекулы пигментов.
- Химические темновые реакции, в которых принимают участие продукты фотохимических реакций.

# Световая(фотохимическая) фаза включает в себя два процесса:

- Фотодиссоциация воды
- Фотосинтетическое фосфорилирование, заключающееся в преобразовании электромагнитной световой энергии в энергию органических соединений типа АТФ и НАДФ • Н<sub>2</sub>.

С повышением температуры скорость темновых реакций, естественно, увеличивается, а следовательно общая длительность их уменьшается (от 0.4сек при 1°C до 0.04сек при 25°C). Эти величины приняты за скорости световых и темновых реакций

# СХЕМА ФОТОСИНТЕЗА



Фотолиз воды — окислительно-восстановительный процесс, имеющий циклический и разветвлённый характер.

## Фотохимическая стадия

Свет



Лист

(хлорофилл)

фотолиз

фосфорилирование



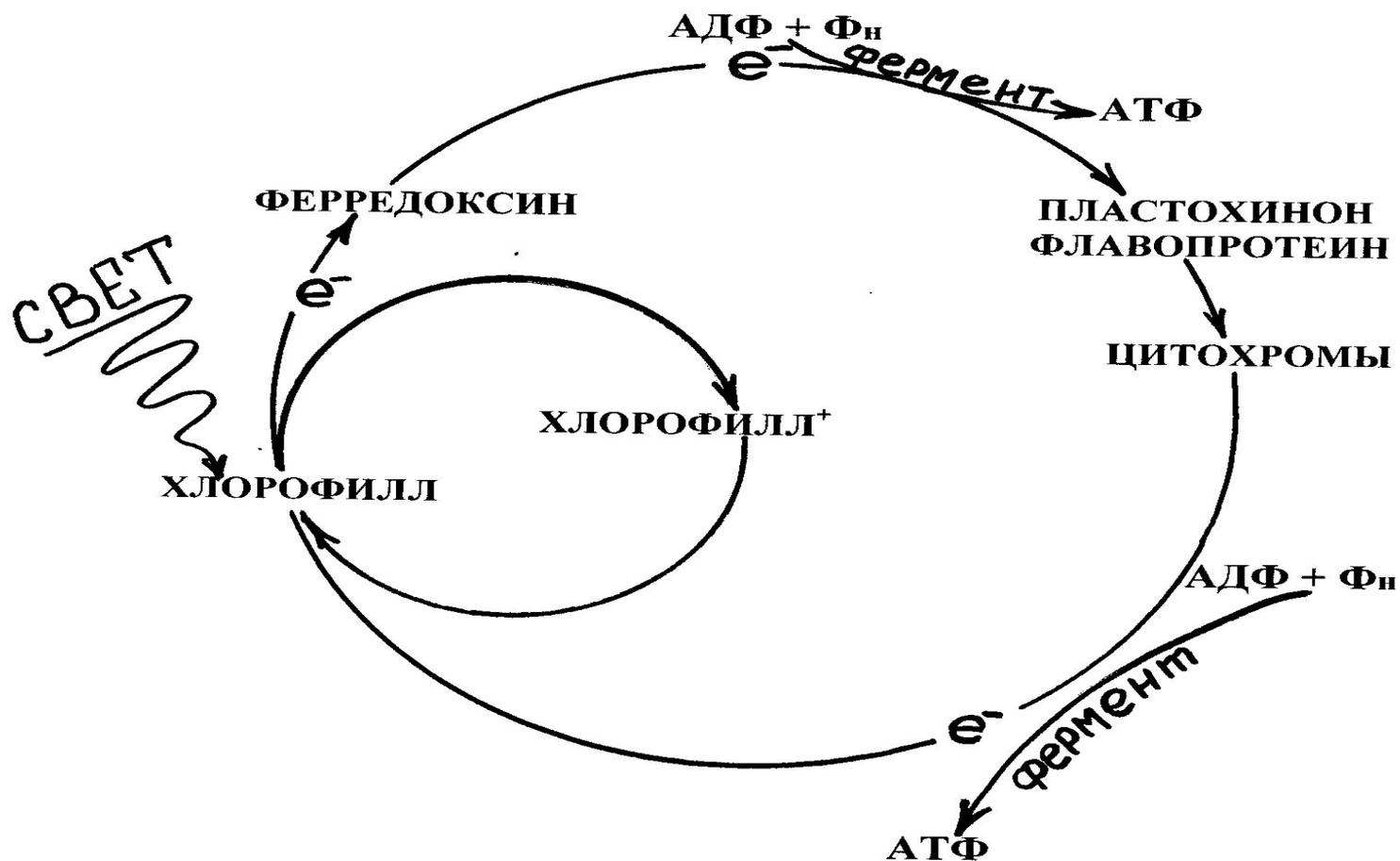
АТФ, НАДФ × H<sub>2</sub>

- Процесс образования АТФ и НАДФ×Н<sub>2</sub> за счет световой энергии с участием хлорофилла называют фотосинтетическим фосфорилированием.
- По Арнону фотосинтетическое фосфорилирование может быть разделено на две реакции: циклическое и нециклическое.

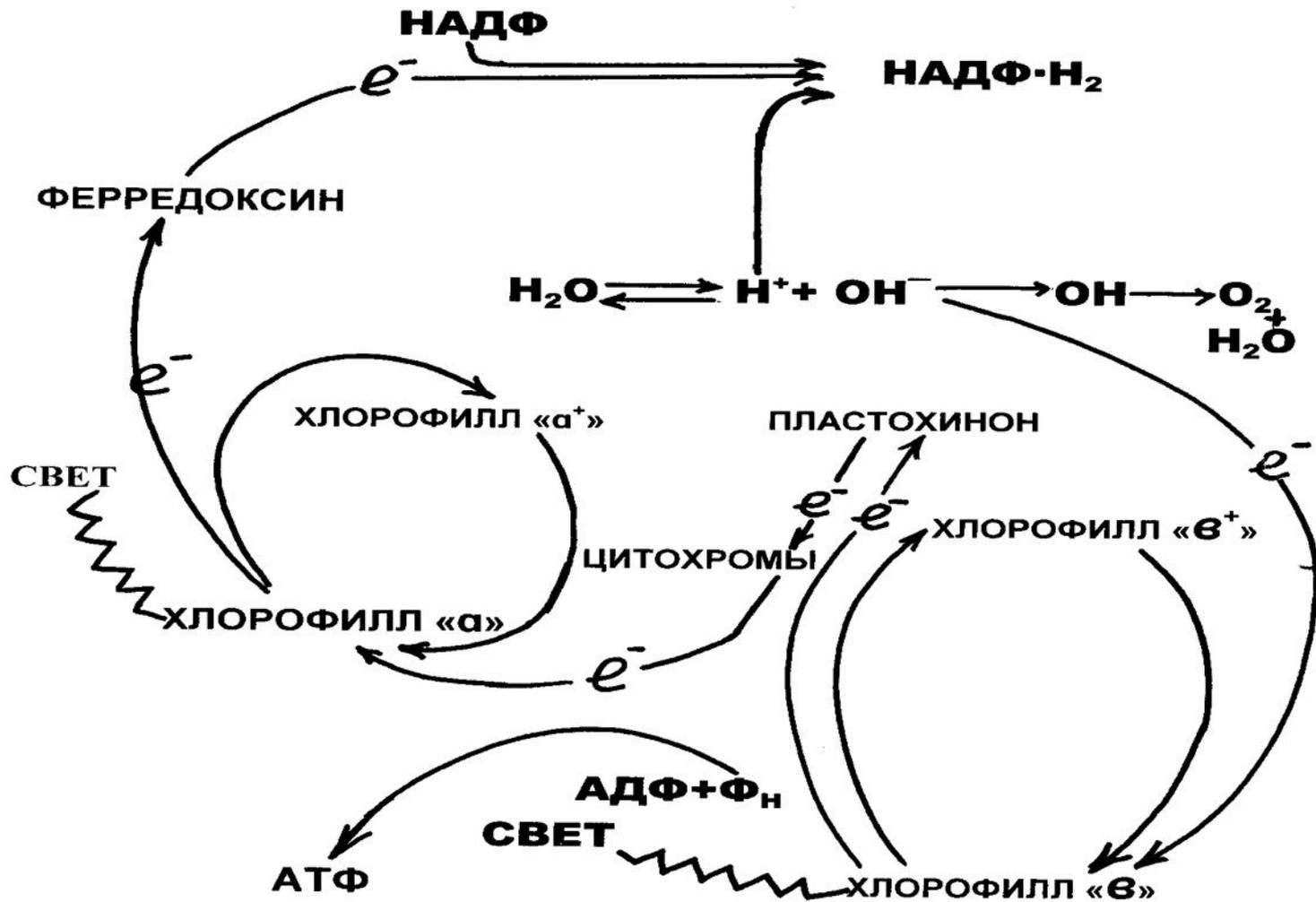
При циклическом фосфорилировании с поглощением световой энергии образуется только АТФ:



# СХЕМА ЦИКЛИЧЕСКОГО ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ [по Арнону]



# НЕЦИКЛИЧЕСКОЕ ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ (по Арнону)



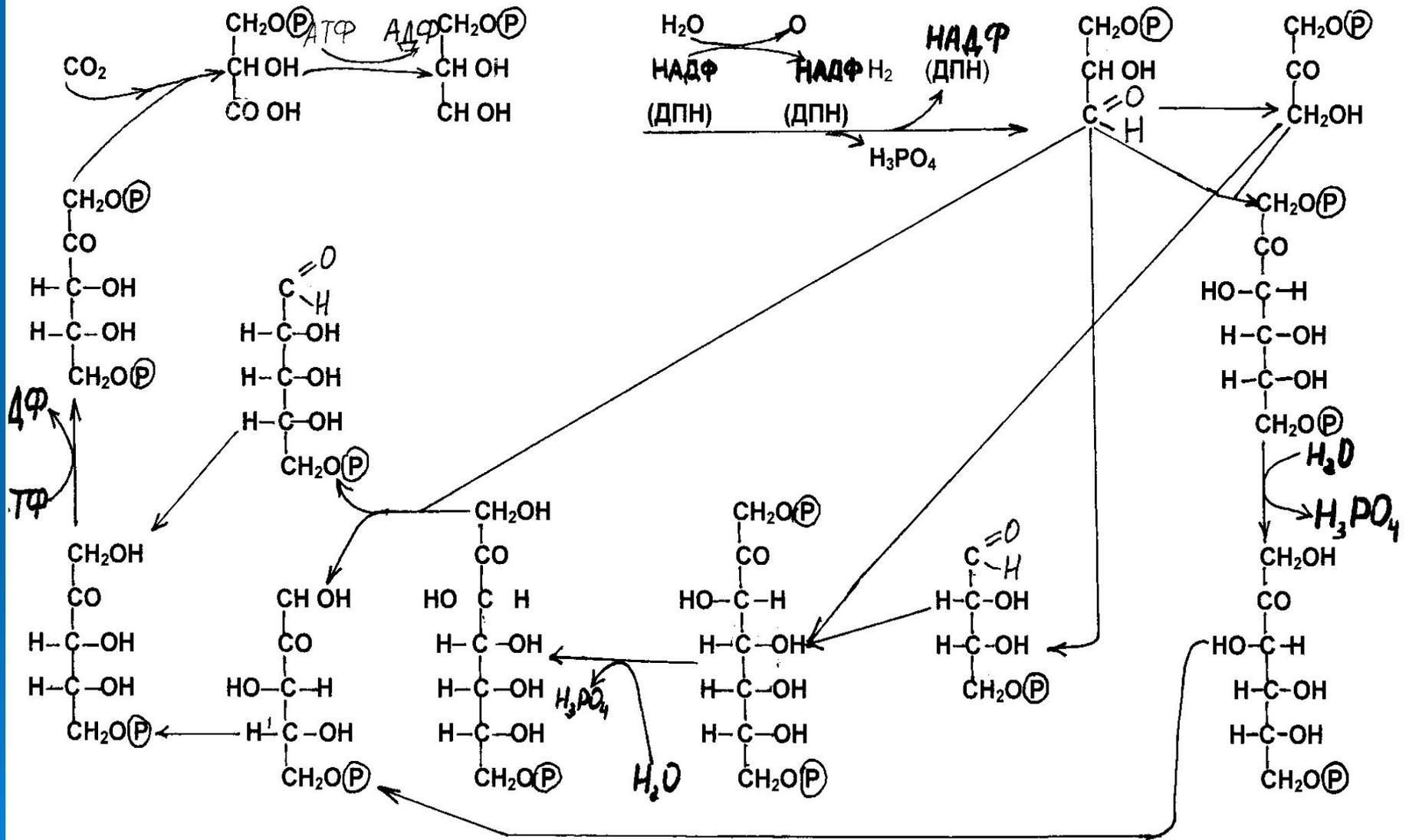
Нециклическое фосфорилирование можно  
выразить в виде уравнения:



# Цикл Кальвина

- Карбоксилирование, которое заключается в первичном акцептировании и присоединении углекислоты к первичному акцентору.
- Реакции восстановления — заключаются в восстановлении определенных органических соединений с использованием  $\text{H}_2^+$  образованного на световой фазе при фотолизе  $\text{H}_2\text{O}$ .
- Реакции регенерации, заключается в восстановлении первичного акцептора  $\text{CO}_2$ .

# ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ ЦИКЛ



# Цикл Хетча-Слэка



Этот тип фотосинтеза впервые был обнаружен М.Д.Хэтчем у растений из семейства толстянковых (Crassulaceae), то он получил название кислотного метаболизма толстянковых, или по-английски Crassulaceae acid metabolism (САМ-фотосинтез), а имеющие его растения стали называть растениями САМ-типа, или САМ-растениями

## Особенности этого типа:

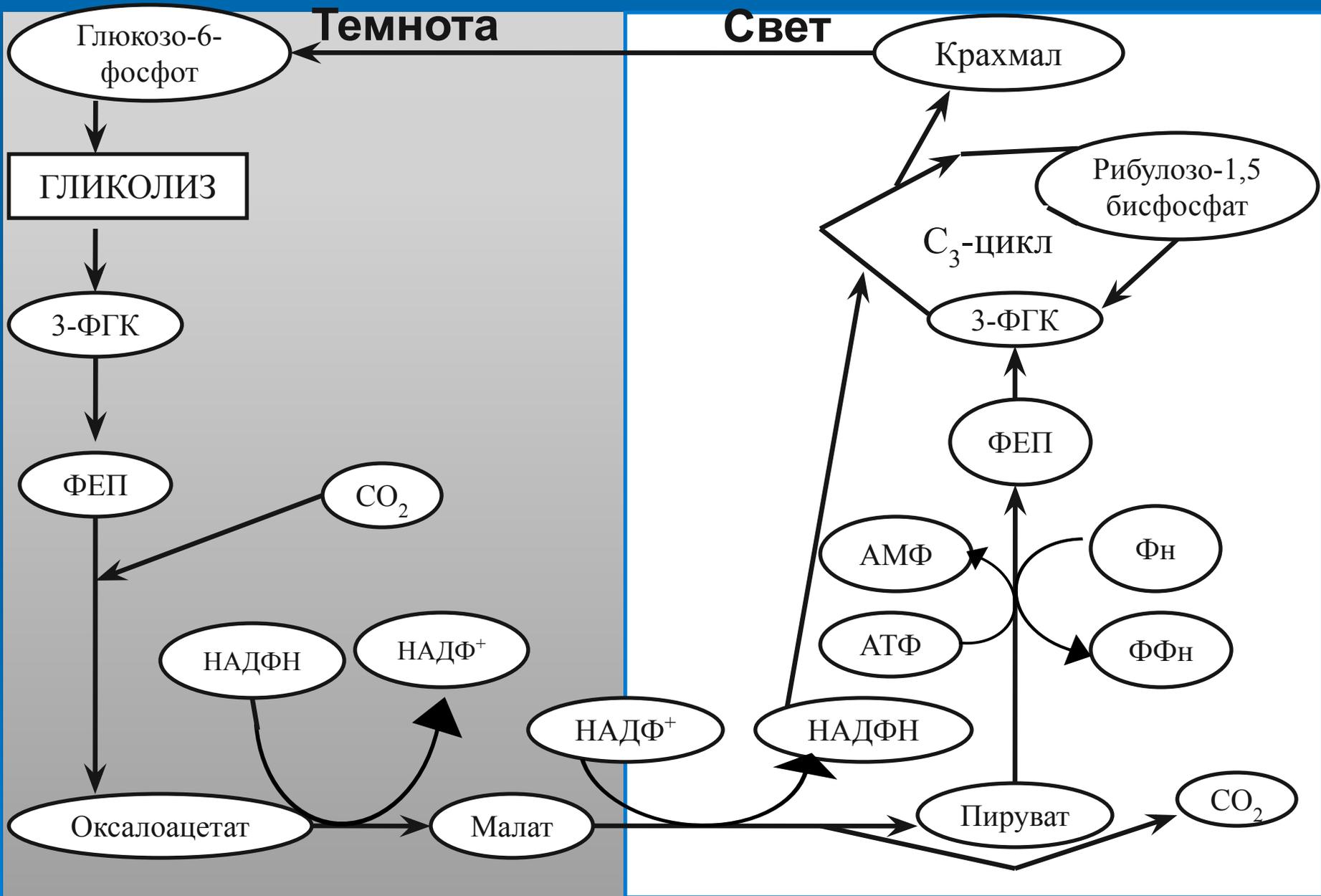
- темновая фаза фотосинтеза разделена во времени:  $\text{CO}_2$  поглощается ночью, а восстанавливается днем. Для суккулентов это выгодно, так как позволяет днем закрывать устьица для уменьшения транспирации;
- из оксалоацетата — первичного продукта, как и у  $\text{C}_4$ -растений, образуется малат;
- карбоксилирование в тканях происходит дважды: ночью карбоксилируется ФЕП, днем — RuБФ.



Оксалоацетат восстанавливается до малата при участии *малатдегидрогеназы*:



# Кислотный метаболизм толстянковых (реакции темновой фазы фотосинтеза у САМ-растений) (по Хетчу, 1976)



Окислительное декарбоксилирование при помощи НАДФ-малатдегидрогеназы (декарбоксилирующей), образуются пируват,  $\text{CO}_2$ , и восстанавливает НАДФ<sup>+</sup>:



На свету малат может вновь с помощью малатдегидрогеназы превратиться в оксалоацетат, под действием ФЕП-карбоксикиназы:



# Число и расположение устьиц у растений с разным типом фотосинтеза

Объект	САМ -растения	С <sub>4</sub> -растения	С <sub>3</sub> -растения
	Толстянка серебристая	Кукуруза	Подсолнечник
Верхняя эпидерма	24	98	150
Нижняя эпидерма	33	108	230

# ЦИКЛ ХЕТЧА-СЛЭКА И C<sub>4</sub>-РАСТЕНИЯ

Австралийские ученые М.Д. Хетч и К.Р.

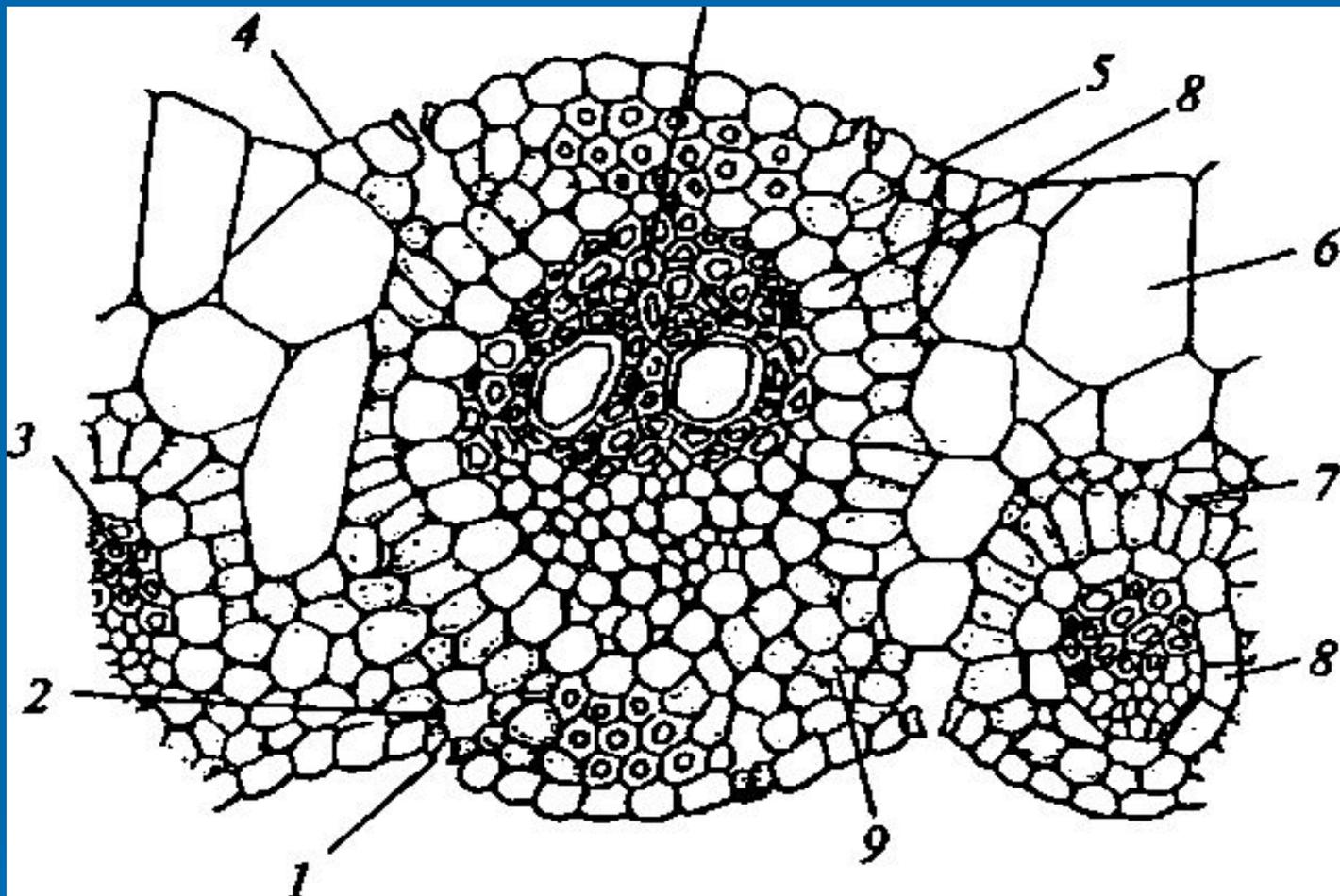
Слэк в 1967 г. обнаружили, что у кукурузы, сахарного тростника, сорго и некоторых других тропических растений первичным продуктом темновой фазы является не ФГК, а *оксалоацетат*

Акцептором углекислого газа в этом цикле является *фосфоенолпируват* (ФЕП).

В результате карбоксилирования ФЕП образуется оксалоацетат и ортофосфат:



Катализирует эту реакцию –  
фосфоенолпируваткарбоксилаза  
(ФЕП-карбоксилаза)



## Особенности строения листовой пластинки у $C_4$ -растений (кукуруза)

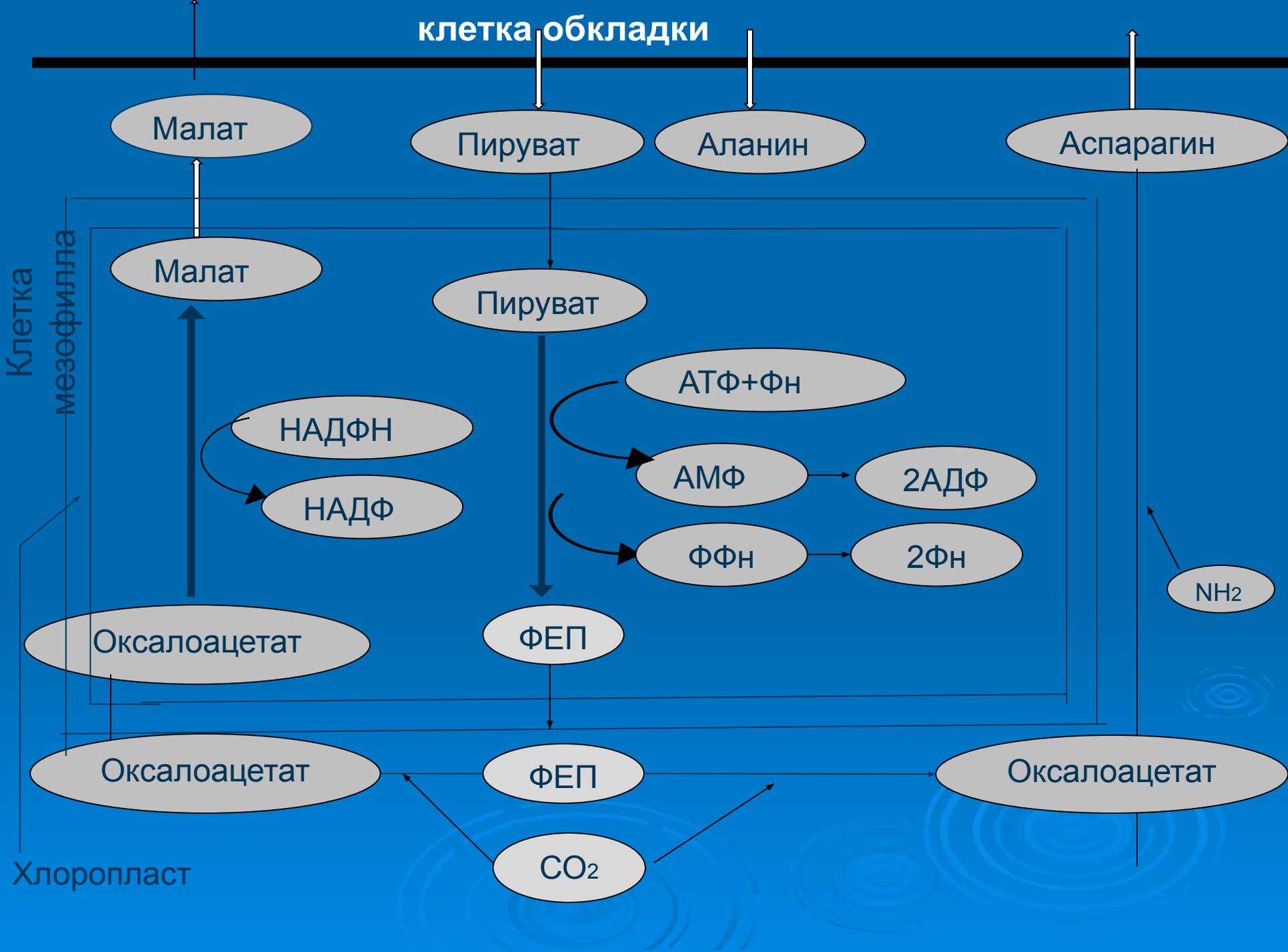
1-устьице, 2-воздушная полость, 3-проводящие пучки,  
4-кутукула, 5-верхняя эпидерма, 6-моторные клетки, 7-  
мезофилл, 8-обкладка, 9-паренхима

Оксалоацетат превращается в  
*аспартат* с помощью  
*аспартатаминотрансферазы*:

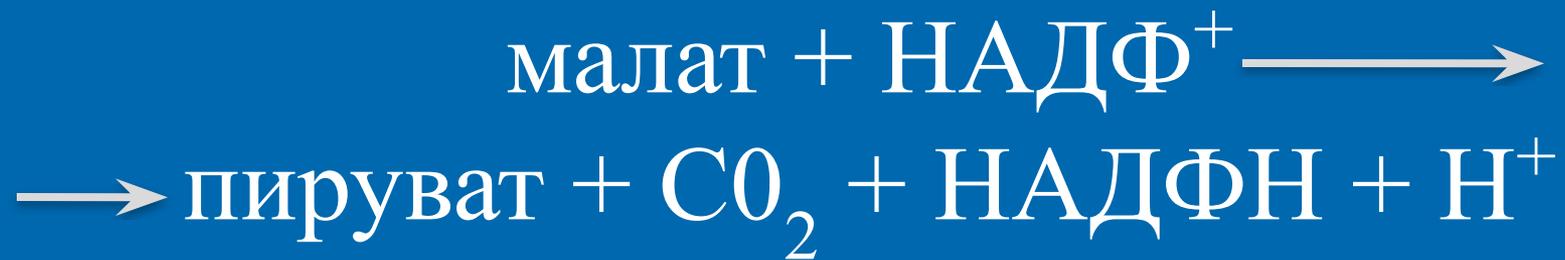


Реакции темновой фазы  
фотосинтеза, протекающие у  
С4-растений в клетках мезофила  
(по Хетчу, 1976)





# Окислительное декарбоксилирование малата

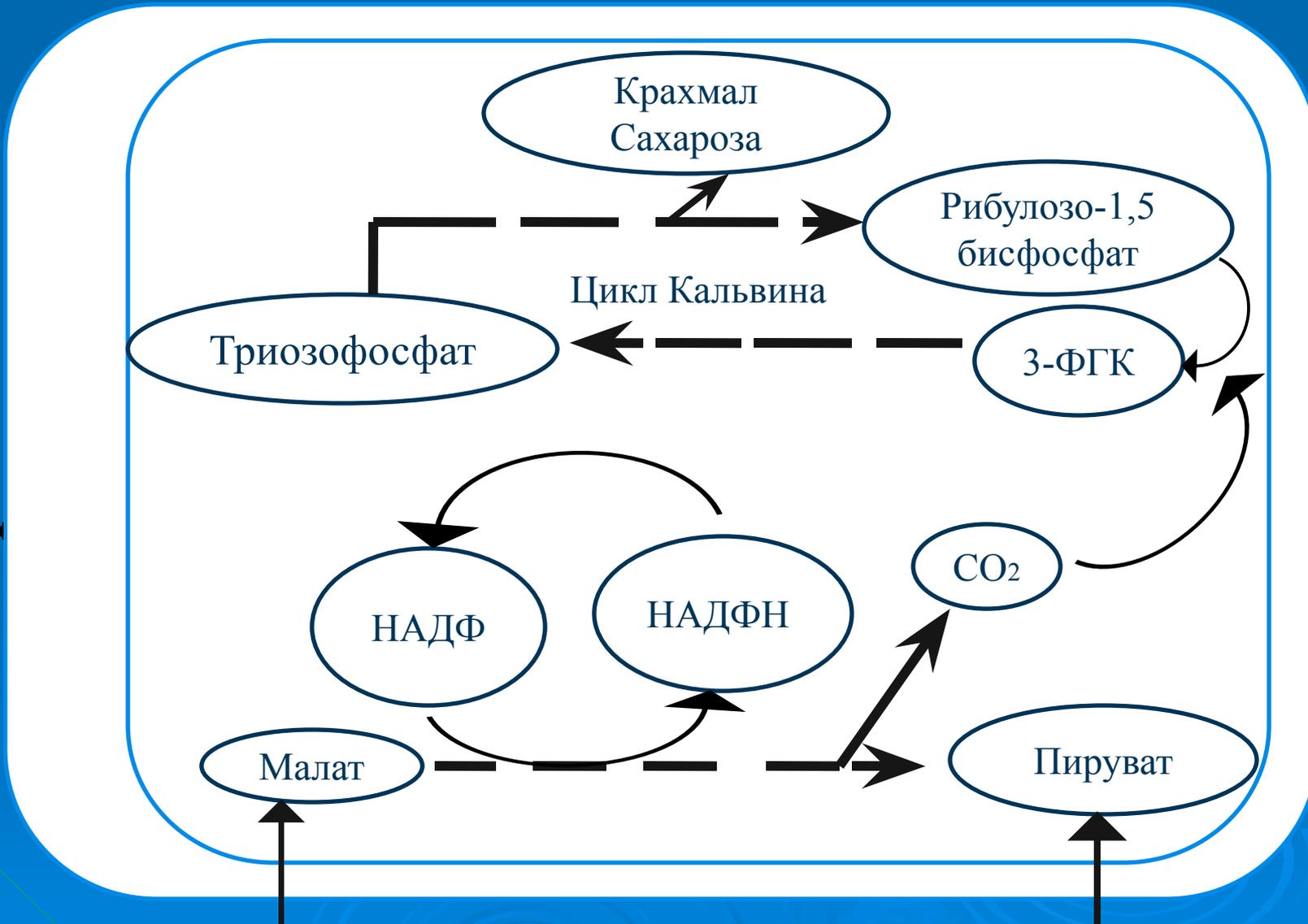




Реакция катализируется  
*пируватотрифосфаткиназой* и  
*аденилаткиназой*,  
локализованными в гранальных  
хлоропластах клеток мезофилла

Реакции темновой фазы фотосинтеза в клетках обкладки у C4-растений малатного типа (группа НАДФ<sup>+</sup>-зависимого малик-энзима) (по Хетчу, 1976)

Клетка обкладки  
хлоропласт

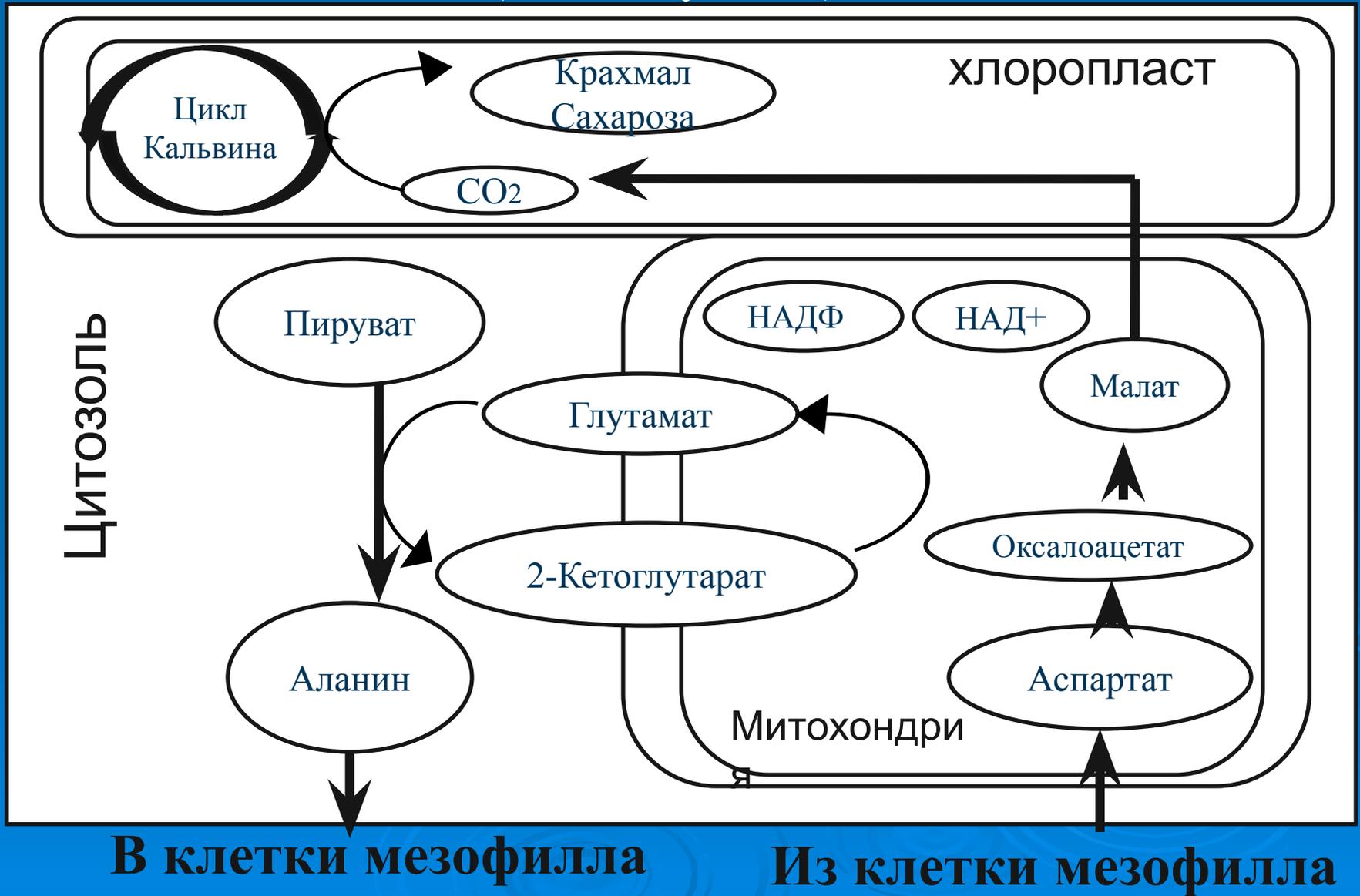


Из клеток мезофилла

В клетки мезофилла

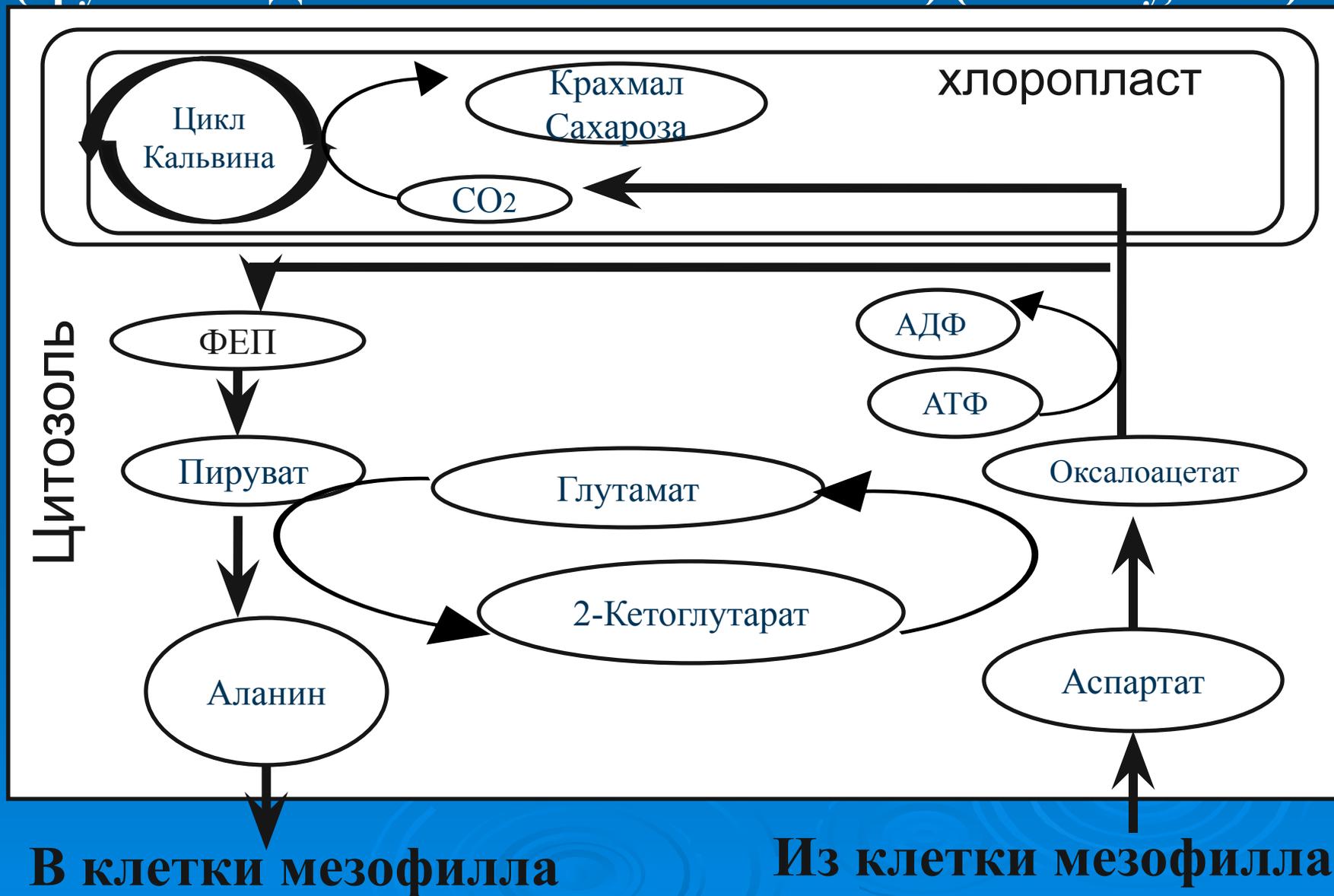
# Реакции темновой фазы фотосинтеза в клетках обкладки у С4-растений аспартатного типа (группа ФЕП-карбоксикиназа) (по Хетчу, 1976)

Клетка обкладки



Реакции темновой фазы фотосинтеза в клетках обкладки у  
С4-растений аспартатного типа  
(группа НАД<sup>+</sup>-зависимого малик-энзима) (по Хетчу, 1976)

Клетка обкладки



ФЕРМЕНТ	C4-растения			C3-растения		
	кукуруза	сорго	сахарный тростник	пшеница	овес	свекла
РубФ-карбоксилаза	0,62	0,35	0,30	4,70	4,50	4,20
ФЕП-карбоксилаза	17,50	15,80	18,50	0,29	0,33	0,35