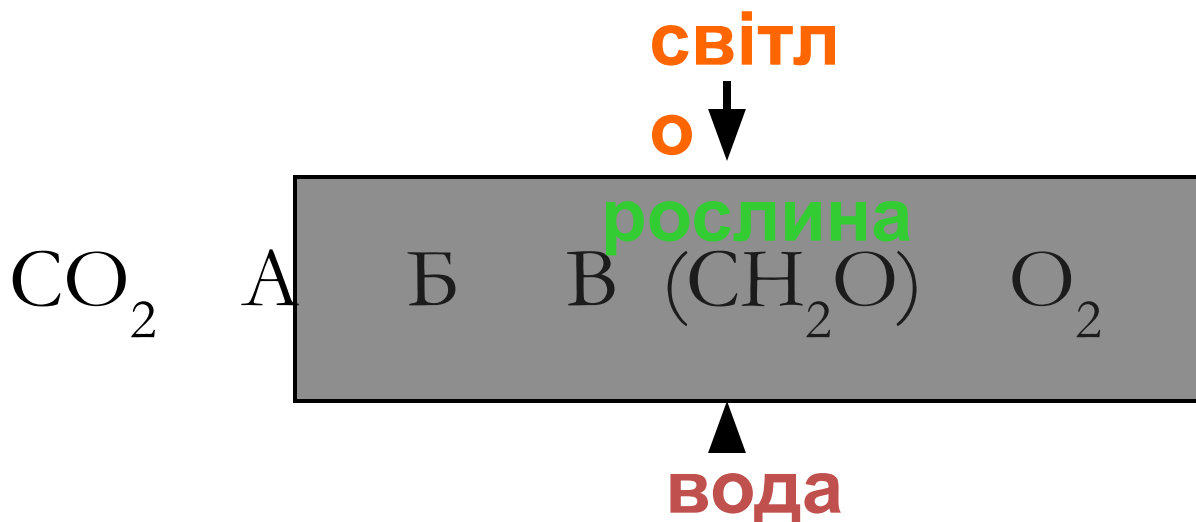


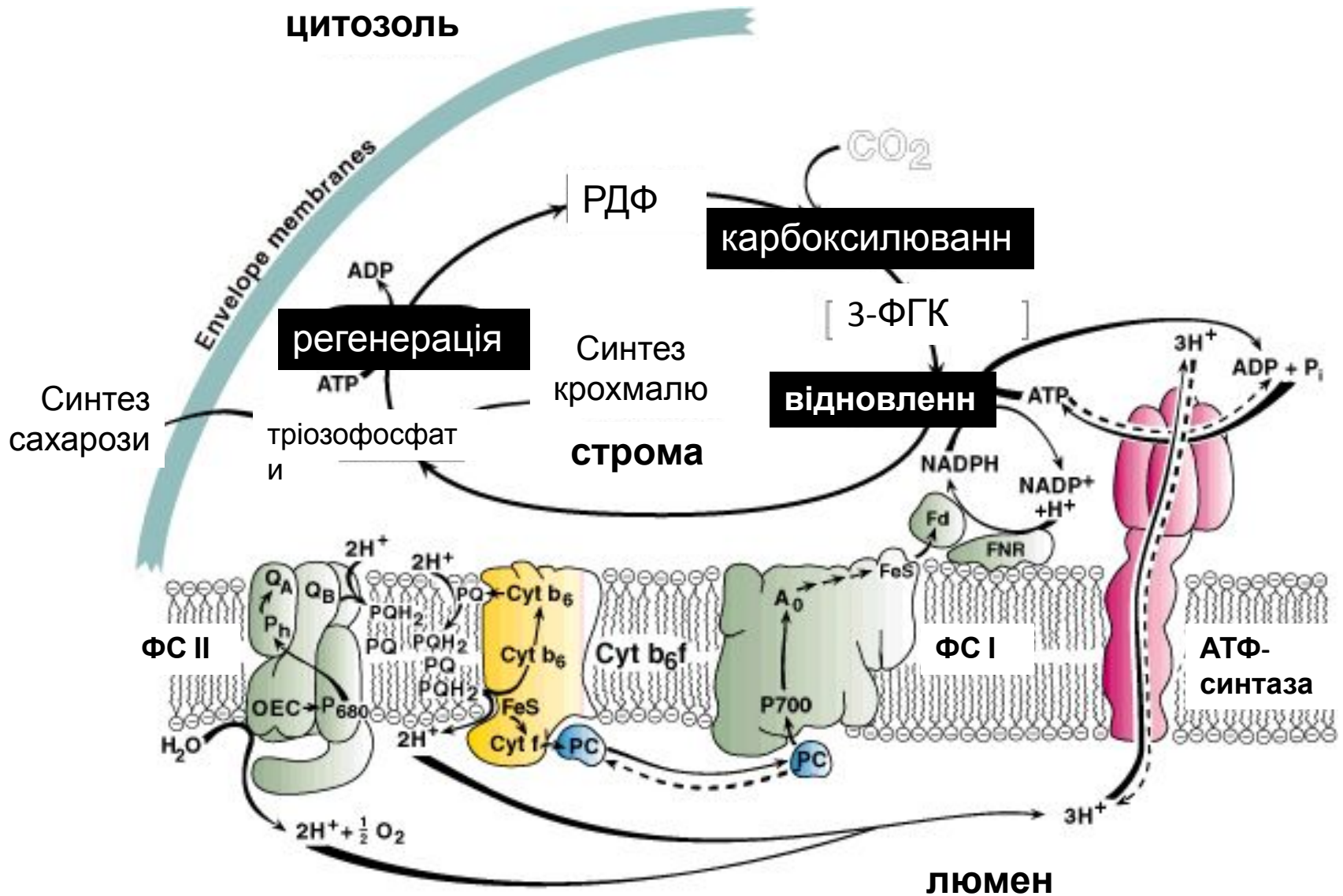
Лекція 14

Утворення асимілятів та їхнє перетворення

Вуглекислота та вода надходять у листки. Внаслідок низки перетворень речовин, умовно позначених А, Б, В, в хлоропластах утворюється один з основних продуктів фотосинтезу – крохмаль (у вигляді символічної субодиниці CH_2O).



Взаємозв'язок світлових і темнових реакцій

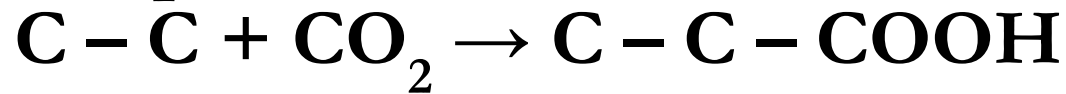


Серед речовин хлоропласта досі не вдалося ідентифікувати жодної сполуки, виникнення якої специфічно пов'язане із впливом світла.

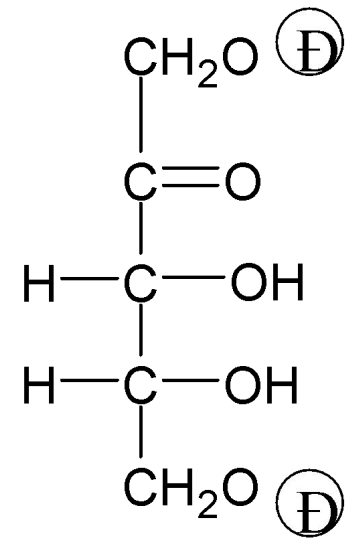
Всі вони з'являються в темряві, у результаті т. зв. темнових реакцій фотосинтезу.

В результаті досліджень Кальвіна виявлено, що першим продуктом фіксації CO_2 є фосфогліцеринова кислота (3-ФГК), оскільки радіоактивна мітка найшвидше виявляється саме у цій сполуці, а найбільше – у карбоксильній групі.

Припустили, що акцептором CO_2 у хлоропластах є двовуглецева сполука, а реакція фіксації CO_2 з утворенням 3-ФГК матиме вигляд:



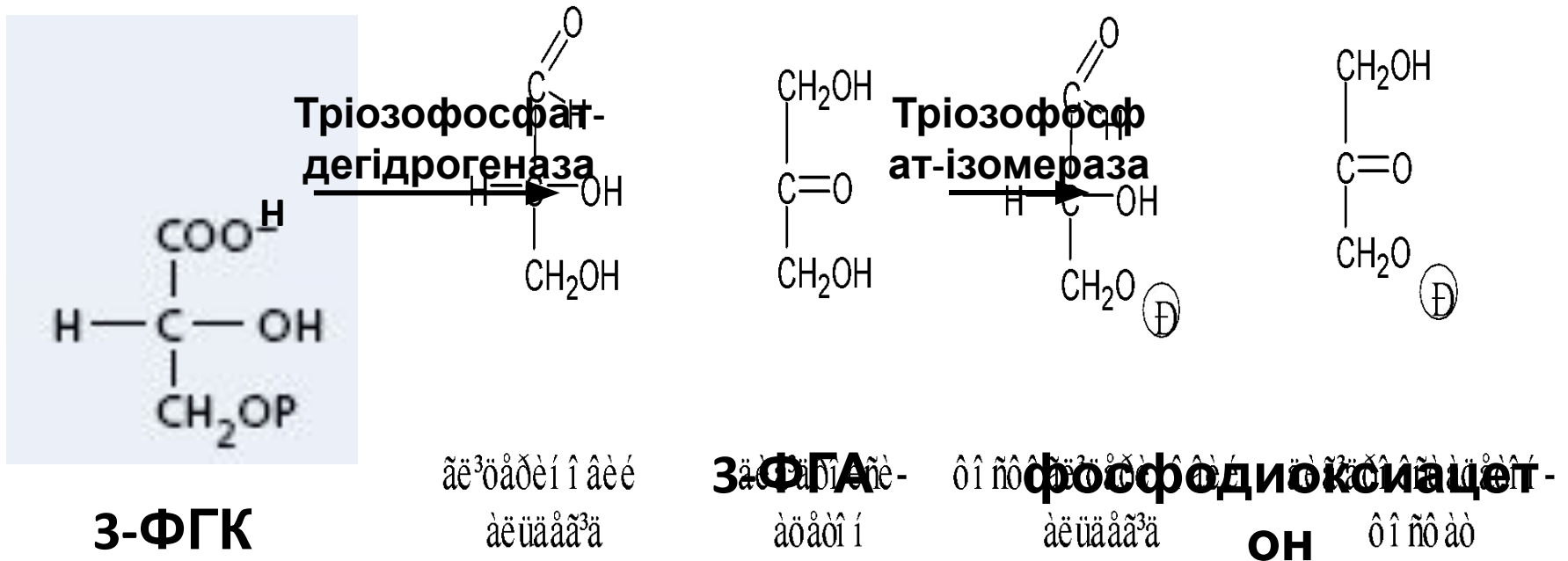
Проте подальші дослідження кінетики фотосинтезу виявили, що акцептором CO_2 є 5-вуглецева сполука – рибулозо-1,5-дифосфат (РДФ).



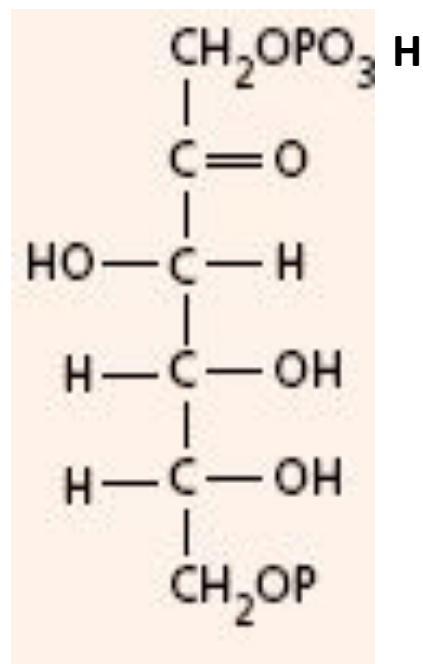
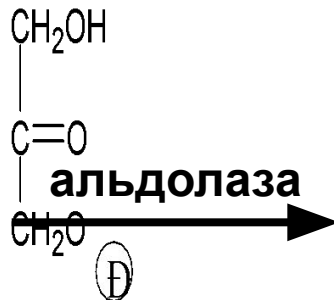
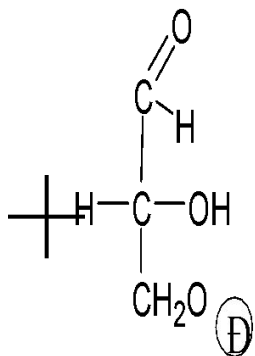
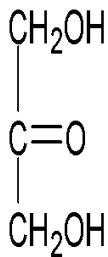
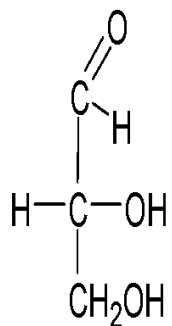
рибулозо-1,5-дифосфат

Цикл регенерації акцептора CO₂

1. Відновлення 3-фосфогліцеинової кислоти (3-ФГК) до 3-фосфогліцеинового альдегіду (3-ФГА), який ізомеризується в кето-форму – фосфодіоксиацетон.



2. Синтез з двох утворених тріоз однієї молекули гексози – фруктозо-1,6-дифосфату.

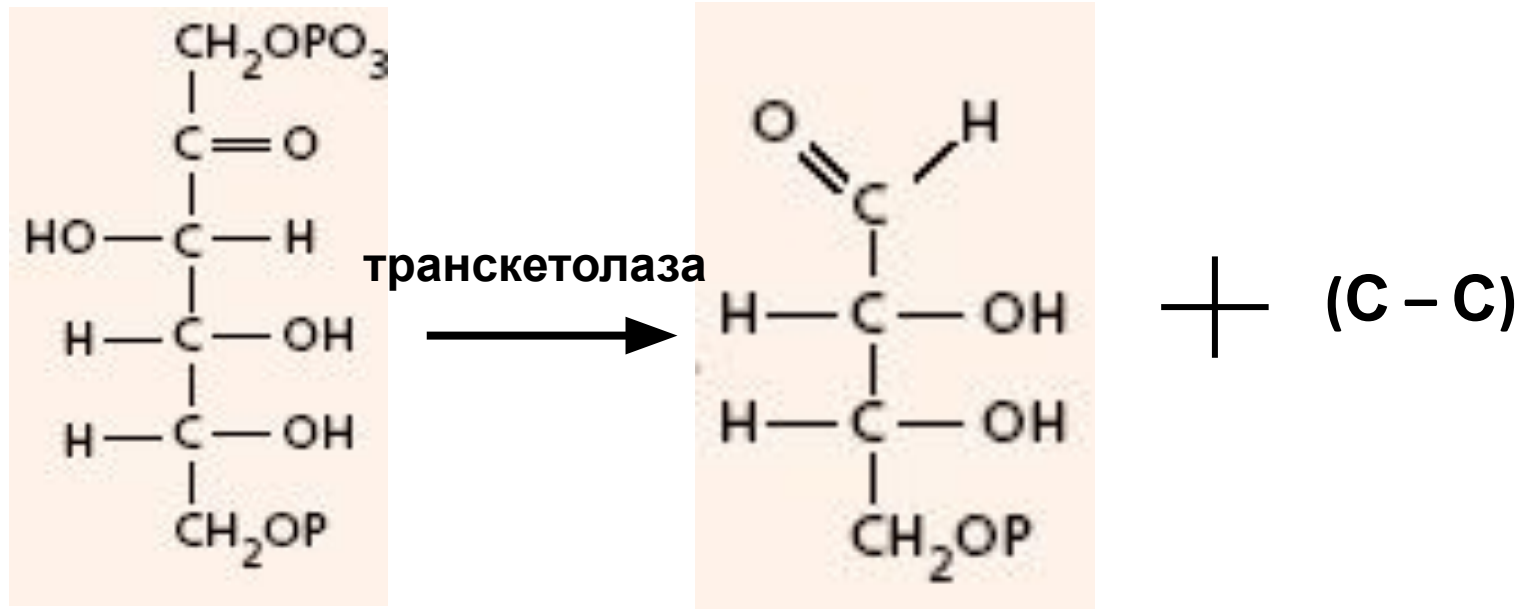


3-ФГА

фосфодиоксиацетон

фруктозо-1,6-дифосфат

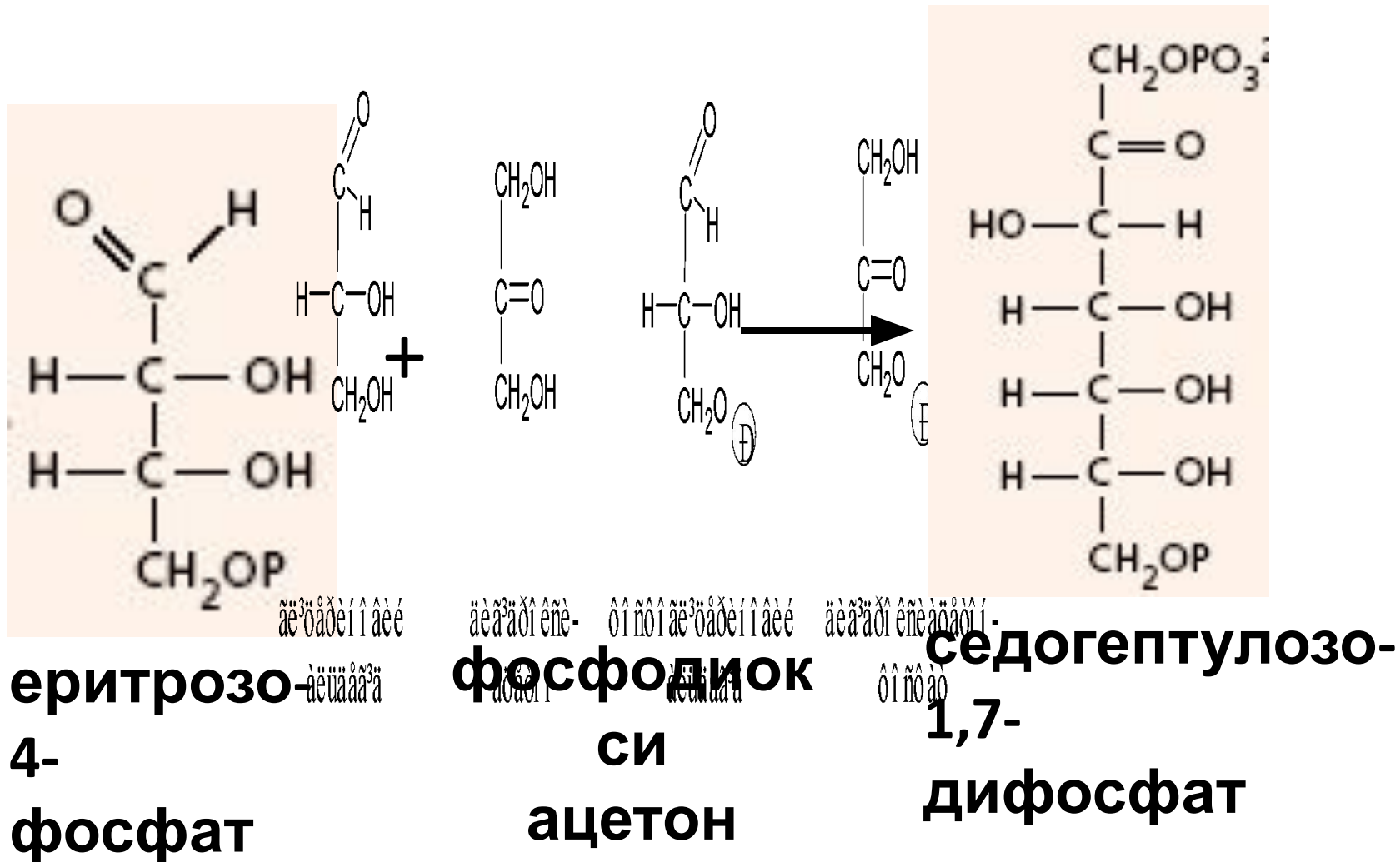
3. Розщеплення фруктозо-1,6-дифосфату на еритрозо-4-фосфат та вуглецевий фрагмент, що містить кетогрупу.



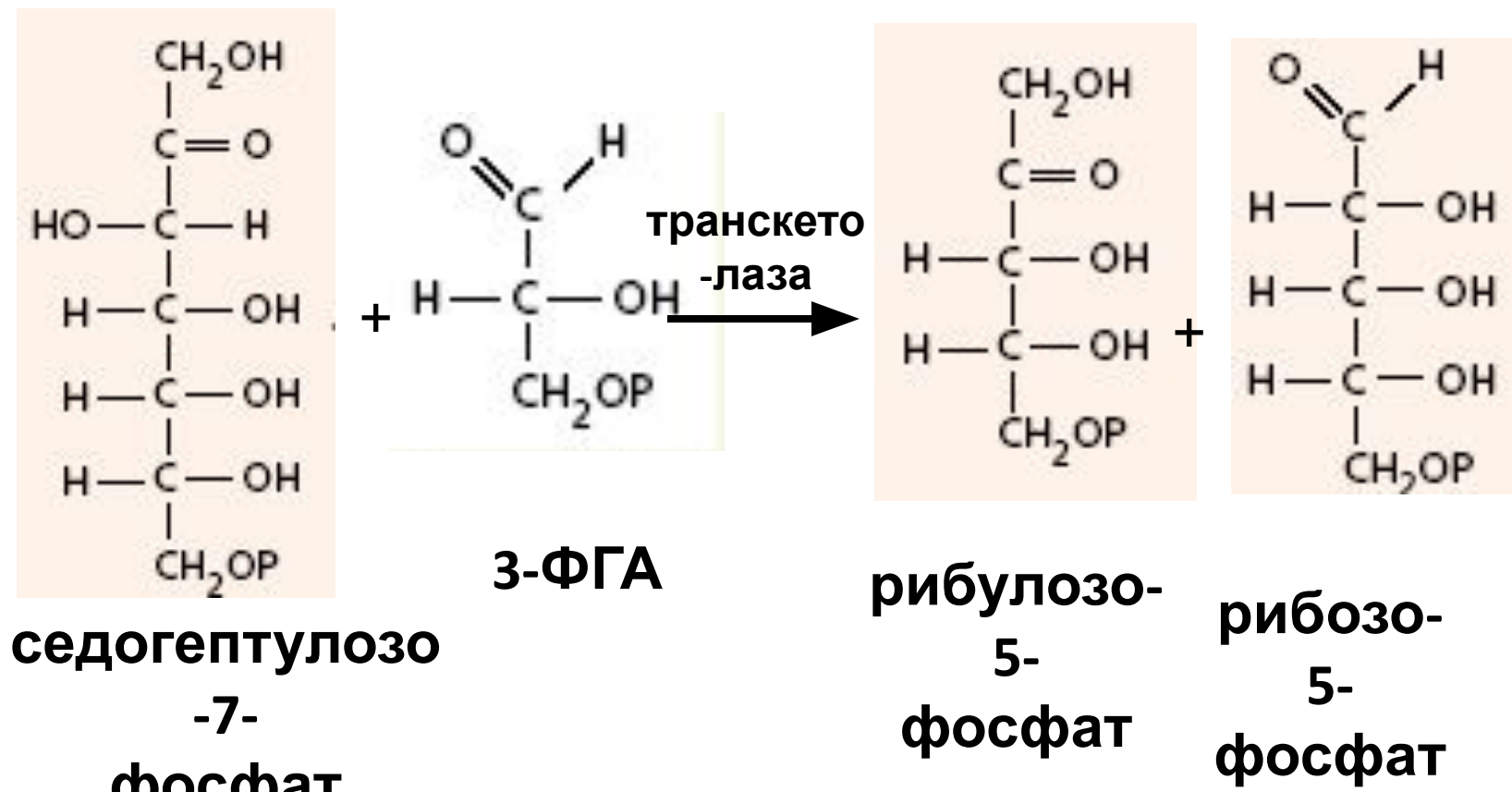
**фруктозо-1,
6-
дифосфат**

**еритрозо-4-
фосфат**

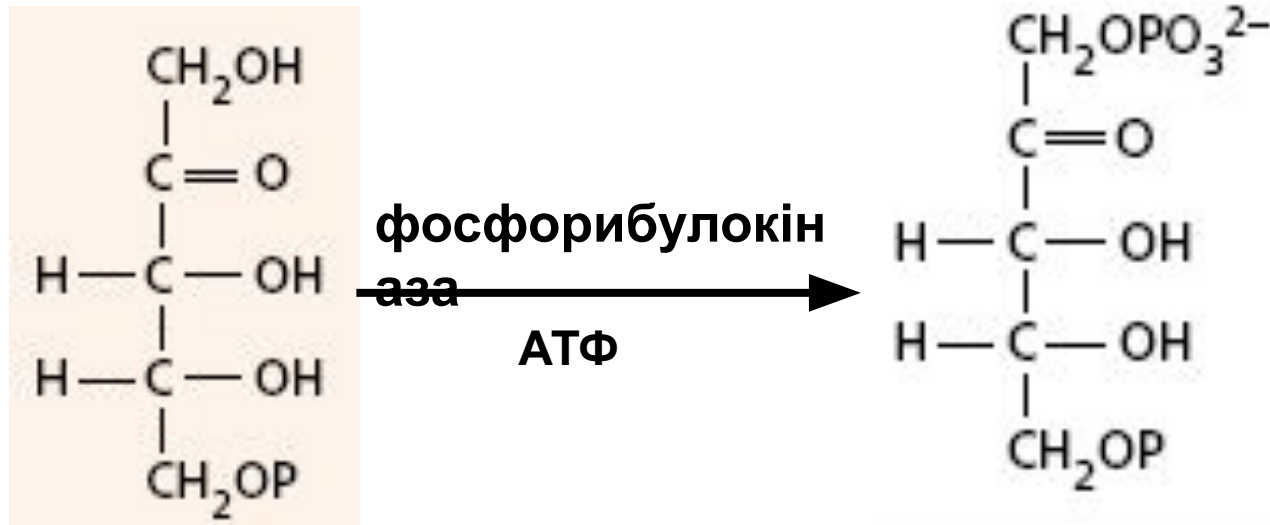
4. Взаємодія еритрозо-4-фосфату з фосфодіоксиацетоном з утворенням семивуглецевої сполуки — седогептулозо-1,7-дифосфату.



5. Після монодефосфорилування седогептулозо-1,7-дифосфату у седогептулозо-7-фосфат за участі фосфатази, в результаті транскетолазної реакції з фосфогліцериним альдегідом (3-ФГА) утворюється дві фосфорильовані пентози: **рибулозо-5-фосфат** та **рибозо-5-фосфат**.



6. Утворений рибулозо-5-фосфат може фосфорилуватися за допомогою АТФ (за участі фосфорибулокінази), знову перетворюючись у рибулозо-1,5-дифосфат (РДФ) – акцептор CO_2 .

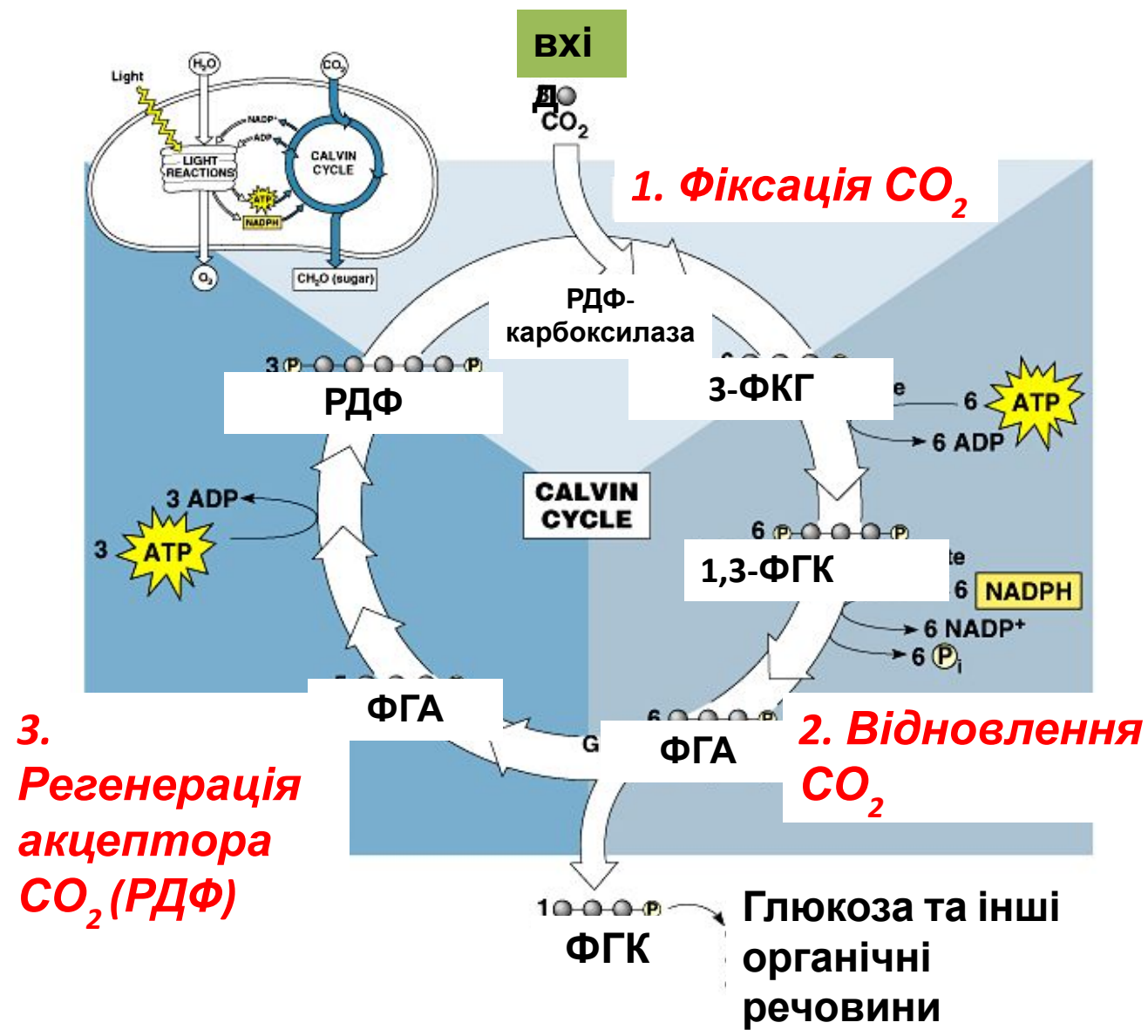


рибулозо-
5-
фосфат

рибулозо-1,5-
дифосфат
(РДФ)

У послідовності реакцій циклу регенерації можна схематично виділити 3 стадії:

1. Фіксація CO_2
2. Відновлення CO_2
3. Регенерація акцептора CO_2



Реакції циклу Кальвіна

Ензим	Реакція
1. Рибулозо-1,5-біфосфаткарбоксілаза/оксигеназа	$6 \text{ Рибулозо-1,5-біфосфат} + 6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 12 \text{ (3-фосфогліцерат)} + 12 \text{ H}^+$
2. 3-Фосфогліцерат кіназа	$12 \text{ (3-фосфогліцерат)} + 12 \text{ АТФ} \rightarrow 12 \text{ (1,3-біфосфогліцерат)} + 12 \text{ АДФ}$
3. НАД:гліцеральдегід-3-фосфат дегідрогеназа	$12 \text{ (1,3-біфосфогліцерат)} + 12 \text{ НАДФН} + 12 \text{ H}^+ \rightarrow 12 \text{ гліцеральдегід-3-фосфат} + 12 \text{ НАДФ}^+ + 12 \text{ Ф}_\text{H}$
4. Тріозофосфат ізомераза	$5 \text{ гліцеральдегід-3-фосфат} \rightarrow 5 \text{ дигідроксиацетон-3-фосфат}$
5. Альдолаза	$3 \text{ гліцеральдегід-3-фосфат} + 3 \text{ дигідроксиацетон-3-фосфат} \rightarrow 3 \text{ фруктозо-1,6-дифосфат}$
6. Фруктозо-1,6-біфосфатаза	$3 \text{ фруктозо-1,6-дифосфат} + 3 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{ фруктозо-6-фосфат} + 3 \text{ Ф}_\text{H}$
7. Транскетолаза	$2 \text{ фруктозо-6-фосфат} + 2 \text{ гліцеральдегід-3-фосфат} \rightarrow 2 \text{ еритрозо-4-фосфат} + 2 \text{ ксилулозо-5-фосфат}$
8. Альдолаза	$2 \text{ еритрозо-4-фосфат} + 2 \text{ дигідроксиацетон-3-фосфат} \rightarrow 2 \text{ седогептулозо-1,7-біфосфат}$
9. Седогептулозо-1,7-фосфатаза	$2 \text{ седогептулозо-1,7-біфосфат} + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ седогептулозо-7-фосфат} + 2 \text{ Ф}_\text{H}$
10. Транскетолаза	$2 \text{ седогептулозо-7-фосфат} + 2 \text{ гліцеральдегід-3-фосфат} \rightarrow 2 \text{ рибозо-5-фосфат} + 2 \text{ ксилулозо-5-фосфат}$
11 а. Рибулозо-5-фосфат епімераза	$4 \text{ ксилулозо-5-фосфат} \rightarrow 4 \text{ рибулозо-5-фосфат}$
11 в. Рибозо-5-фосфат ізомераза	$2 \text{ рибозо-5-фосфат} \rightarrow 2 \text{ рибулозо-5-фосфат}$
12. Рибулозо-5-фосфаткіназа	$6 \text{ рибулозо-5-фосфат} + 6 \text{ АТФ} \rightarrow 6 \text{ рибулозо-1,5-біфосфат} + 6 \text{ АДФ} + 6 \text{ H}^+$

Сума: $6 \text{ CO}_2 + 11 \text{ H}_2\text{O} + 12 \text{ НАДФН} + 18 \text{ АТФ} \rightarrow \text{фруктозо-6-фосфат} + 12 \text{ НАДФ}^+ + 6 \text{ H}^+ + 18 \text{ АДФ} + 17 \text{ Ф}$

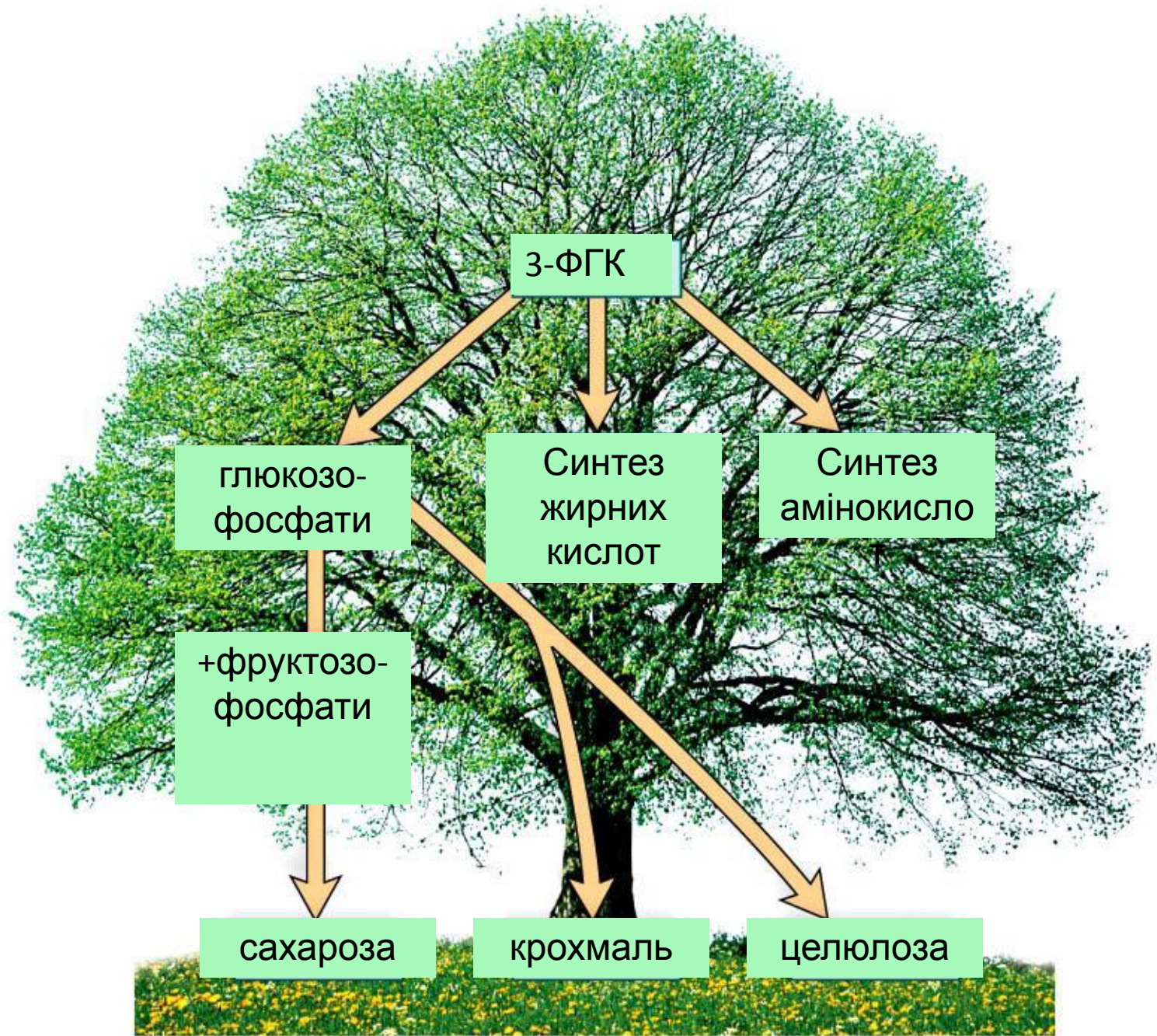
Продукти фотосинтезу

Продуктами фотосинтезу вважають низку речовин, що утворюються в хлоропластах в результаті засвоєння вуглекислоти.

Первинним продуктом фотосинтезу є 3-фосфогліцерінова кислота (3-ФГК).

Основними кінцевими продуктами фотосинтезу вищих рослин і водоростей є вуглеводи: **сахароза і крохмаль.**

Продуктами фотосинтезу за різних умов можуть бути **амінокислоти, білки, органічні кислоти.**



3-ФГК

глюкозо-фосфати

Синтез жирних кислот

Синтез амінокисло

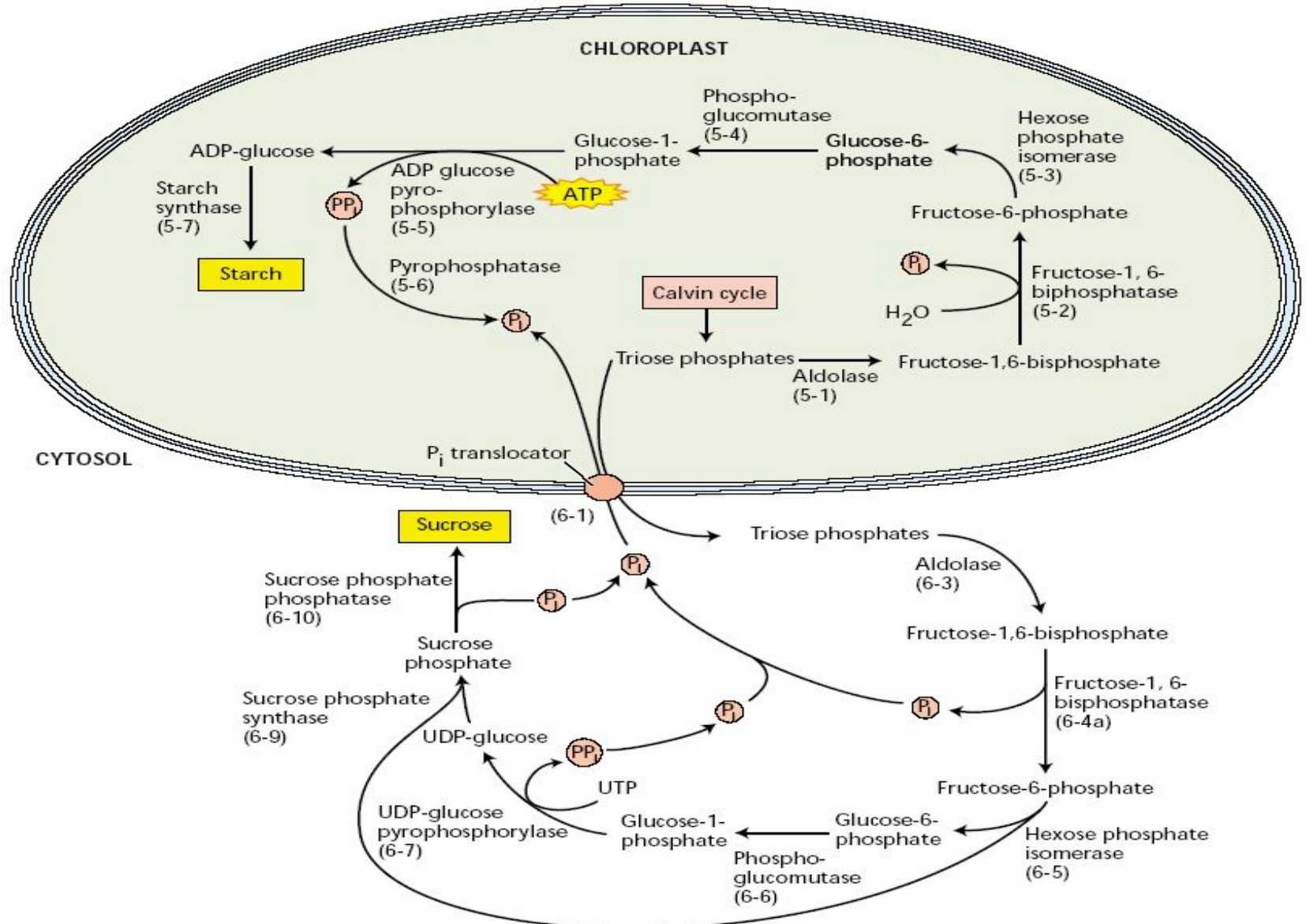
+фруктозо-фосфати

сахароза

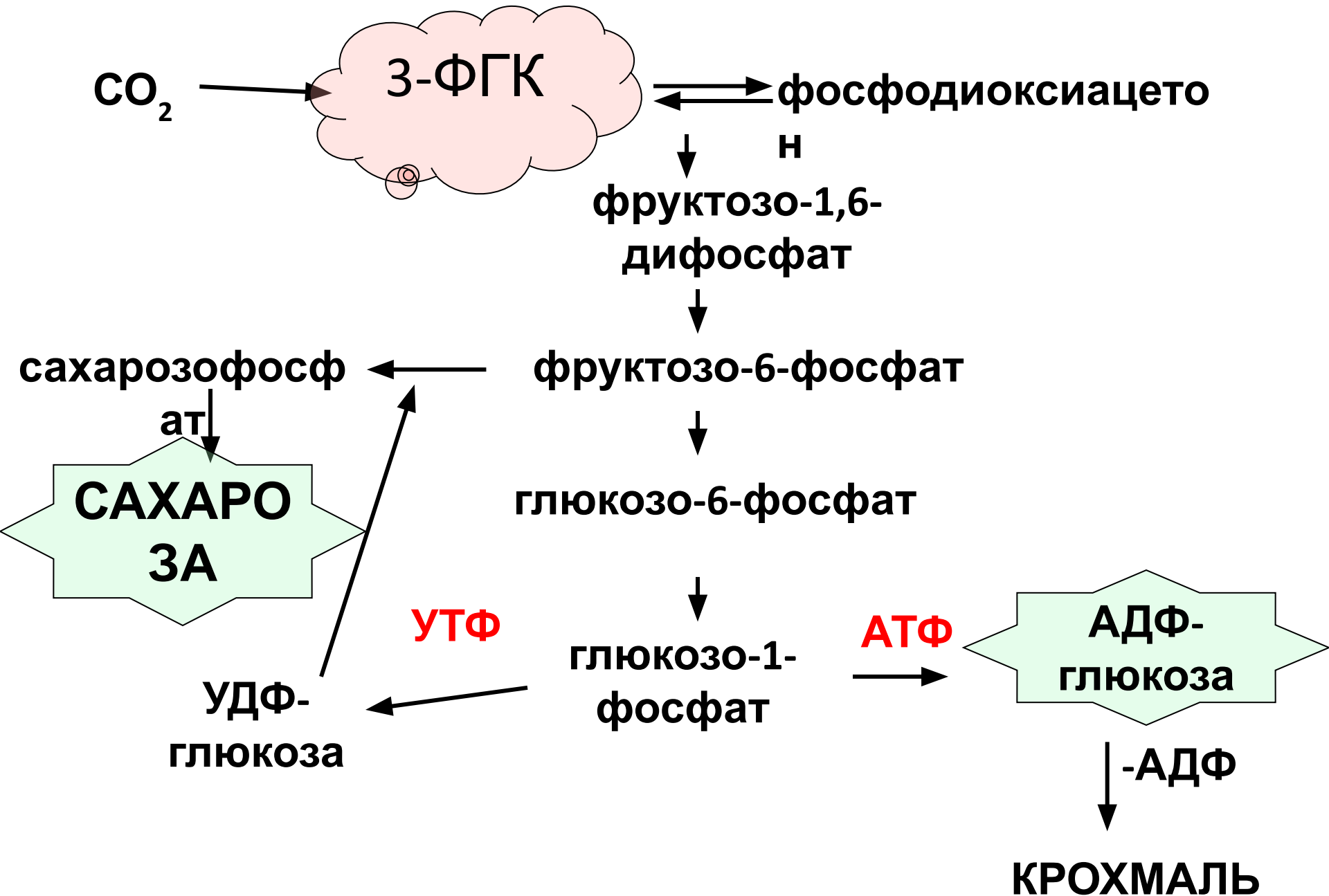
крохмаль

целюлоза

Синтез вуглеводів при фотосинтезі



Синтез вуглеводів при фотосинтезі



Відбувається конкуренція між двома ферментними системами:

- **АДФ-глюкопірофосфорилази і спряженої з нею крохмальсинтази;**
- **УДФ-глюкопірофосфорилази і спряженої з нею сахарозофосфатсинтази**

Синтез крохмалю і сахарози при фотосинтезі

