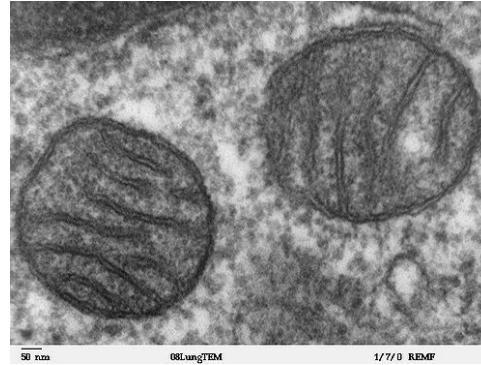


# Двумембранные органоиды

Васильков Ярослав. Общая биология. 2018

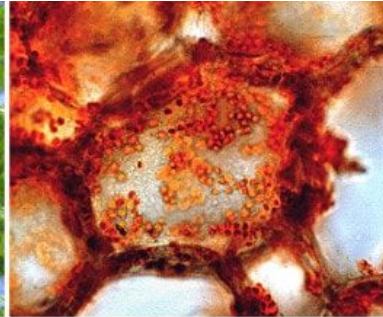
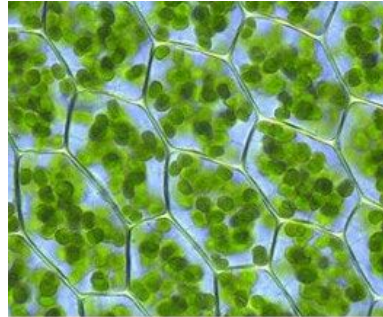
# Виды

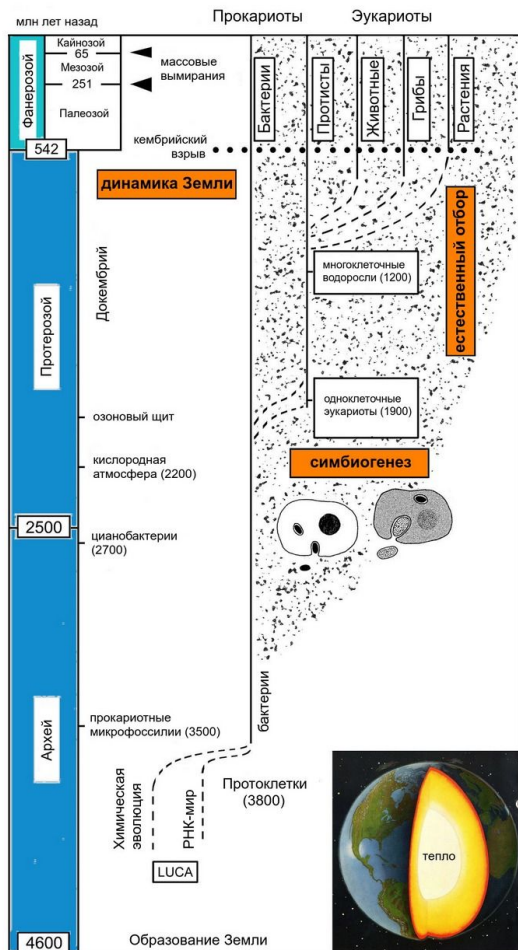
## Митохондрии



## Пластиды

- Пропластиды
- Хлоропласты
- Хромопласты
- Лейкопласты
- Амилопласты
- Элайопласты
- Протеинопласты
- Этиопласты

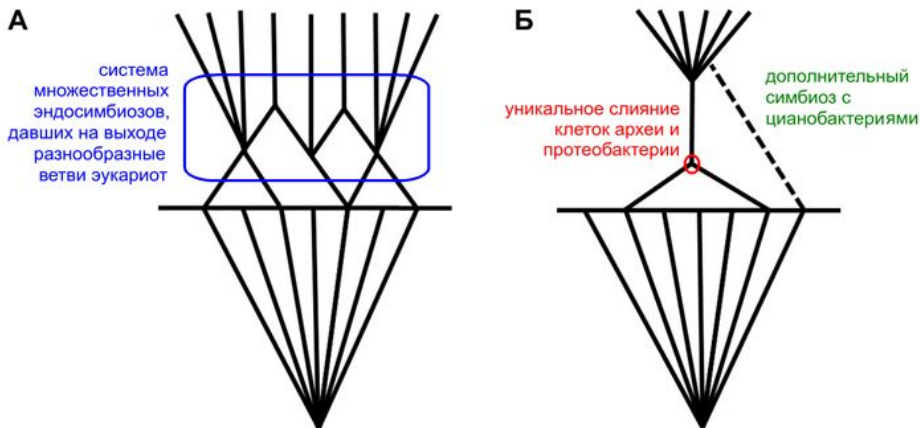




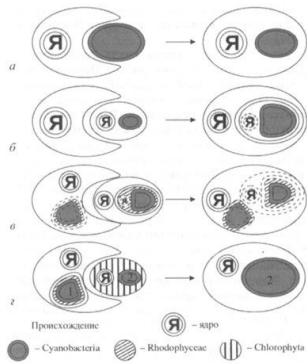
# Происхождение митохондрий

Предок - альфапротеобактерия с маленьким геномом, неспособная самостоятельно синтезировать некоторые аминокислоты и компоненты нуклеотидов. Имел встроенный во внешнюю мембрану АТФ/АДФ-антипортер - скорее всего внутриклеточный энергетический паразит [1]

Преобладает теория о едином происхождении митохондрий для общего предка всех эукариот.



А - по Линн Маргулис, середина XX. Б - по Нику Лейну, начало XXI

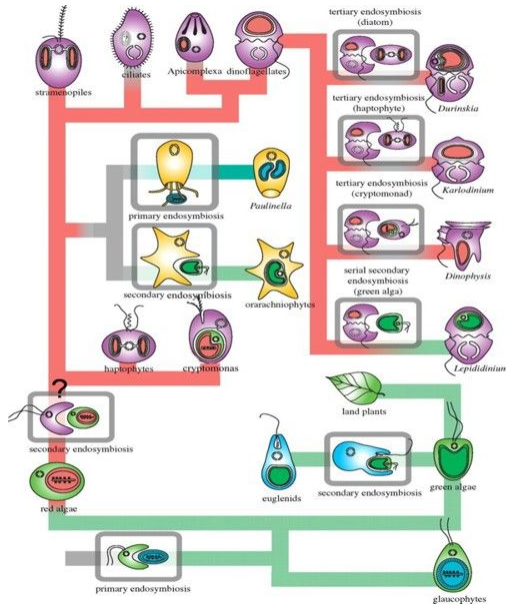


# Происхождение пластид

При первичном симбиозе (а) праводоросль захватывает цианобактерию с образованием пластиды. Полученная пластида имеет две мембраны бактериального происхождения.

Вторичные пластиды образуются в результате симбиоза протиста без пластиды с первичным симбионтом (б). В этом случае число мембран увеличивается до трех (+плазмалемма праводоросли) или четырех (+фагосомальная мембрана хозяина).

Третичный симбиоз (в, г) характерен для водорослей из группы Dinoflagellata: последние чаще всего уже имеют вторичную пластиду, но могут заменить ее или дополнить новой, полученной из другого организма. Новая пластида появляется при захвате либо вторичного симбионта с пластидой от красной водоросли (в), либо зеленой водоросли (г).



Согласно результатам анализа генов цианобактериального происхождения, перешедших в ядро хозяина, симбиоз имел место 1,2 млрд. лет назад. Сравнение 16S рРНК и гена *rbcl* хлоропластов указывает на более раннее время события – 2,3 млрд. лет назад [2]

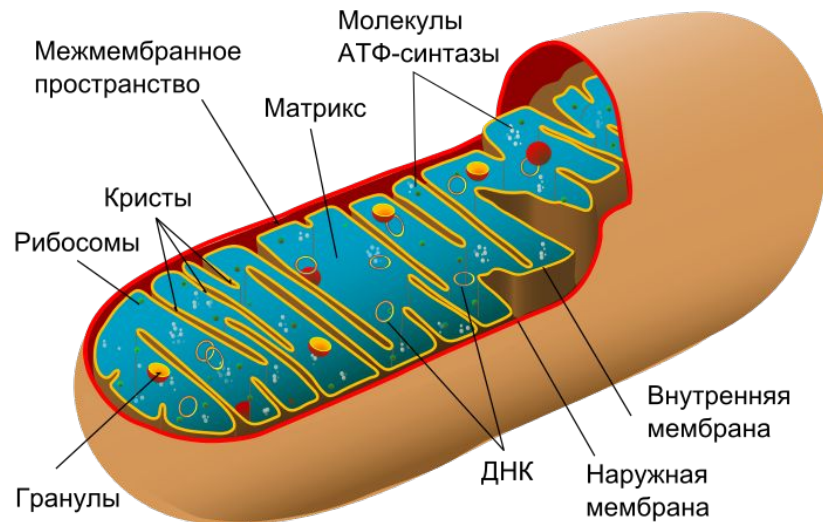
# Строение митохондрии

**Наружная мембрана** состоит из липидов с вкраплениями белков (соотношение 2 : 1). Особую роль играет порин — каналообразующий белок. Он образует в наружной мембране отверстия диаметром 2-3 нм, через которые могут проникать небольшие молекулы и ионы весом до 5 кДа. Крупные молекулы могут проникать сквозь наружную мембрану только посредством активного транспорта с помощью транспортных белков митохондриальных мембран.

**Межмембранное пространство** — 10-20 нм. Концентрация небольших молекул и ионов в периплазматическом пространстве мало отличается от таковой в цитоплазме. Белковые компоненты периплазматического пространства и цитоплазмы различны.

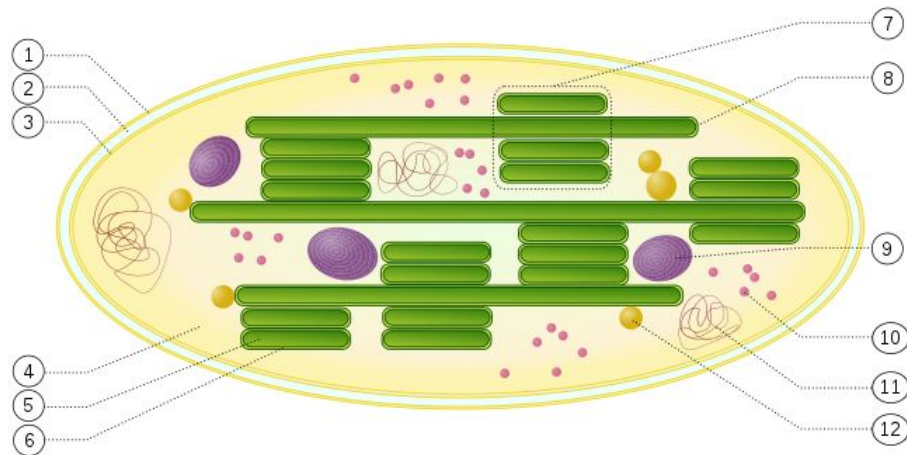
**Внутренняя мембрана** состоит в основном из белковых комплексов (соотношение белок/липид — 3:1) и образует кристы. Характерно наличие кардиолипина, делающего мембрану абсолютно непроницаемой для протонов. Большое количество белков: транспортных, ферментов дыхательной цепи, а также крупных АТФ-синтетазными комплексов.

**Матрикс** — ограниченное внутренней мембраной пространство. Здесь находятся ферментные системы окисления пирувата, жирных кислот, а также ферменты цикла трикарбоновых кислот (цикла Кребса). Кроме того, здесь же находится митохондриальная ДНК, РНК и собственный белоксинтезирующий аппарат митохондрии.



# Строение пластид

1. Внешняя мембрана
2. Межмембранное пространство
3. Внутренняя мембрана (1 + 2 + 3: оболочка)
4. Строма (жидкость)
5. Тилакоид с просветом (люменом) внутри
6. Мембрана тилакоида
7. Грана (стопка тилакоидов)
8. Тилакоид (ламелла)
9. Зерно крахмала
10. Рибосома
11. Пластидная ДНК
12. Пластоглобула (капля жира)



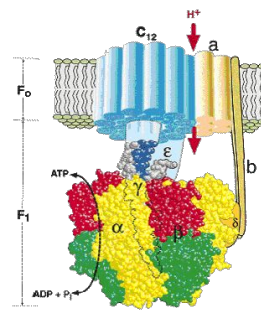
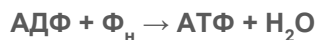


# Функции митохондрий

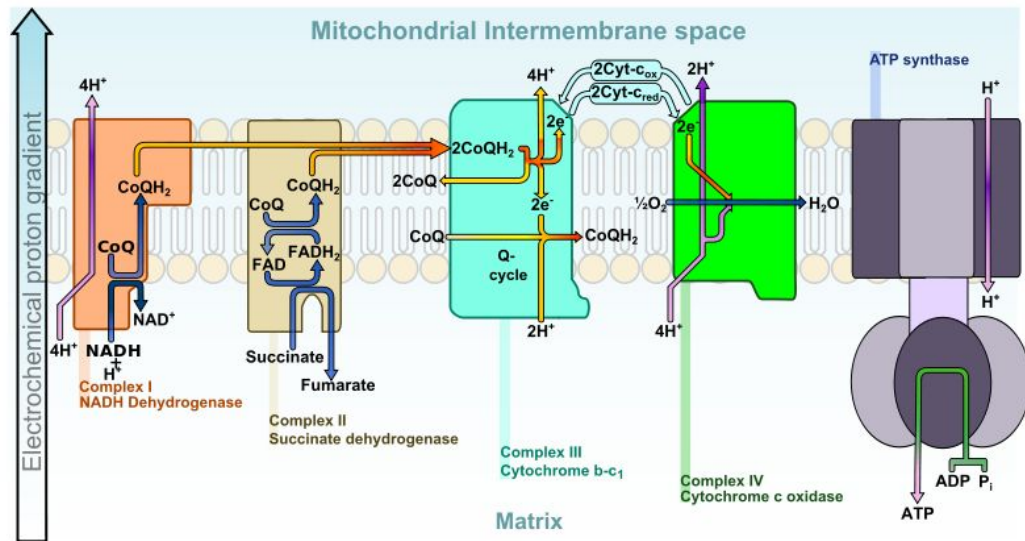
Четыре основные стадии энергообразования в митохондриях, первые две из которых протекают в матриксе, а две последние — на кристах митохондрий:

- Превращение поступивших из цитоплазмы в митохондрию пирувата и жирных кислот в ацетил-СоА;
- Окисление ацетил-СоА в цикле Кребса, ведущее к образованию НАДН и двух молекул  $\text{CO}_2$ ;
- Перенос электронов с НАДН на кислород по дыхательной цепи с образованием  $\text{H}_2\text{O}$ ;
- Образование АТФ в результате деятельности мембранного АТФ-синтетазного комплекса.

Синтез АТФ:



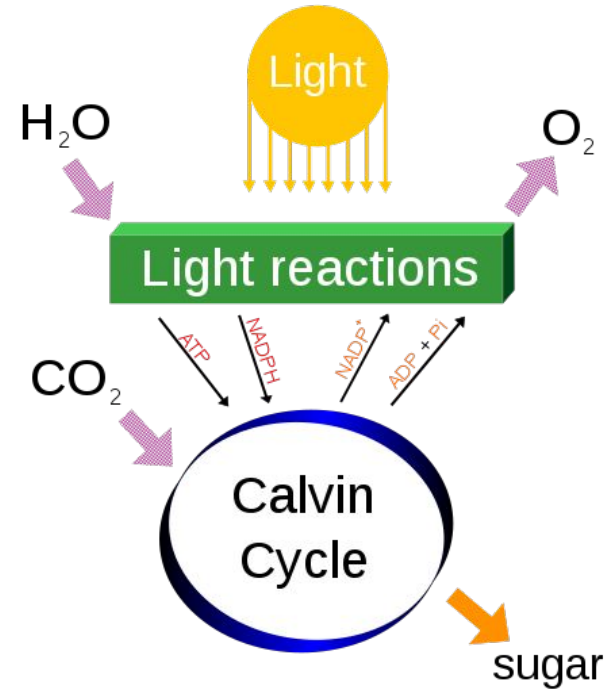
АТФ-синтаза



# Функции пластид

Пластиды высших растений разнообразны по строению и выполняют широкий спектр функций:

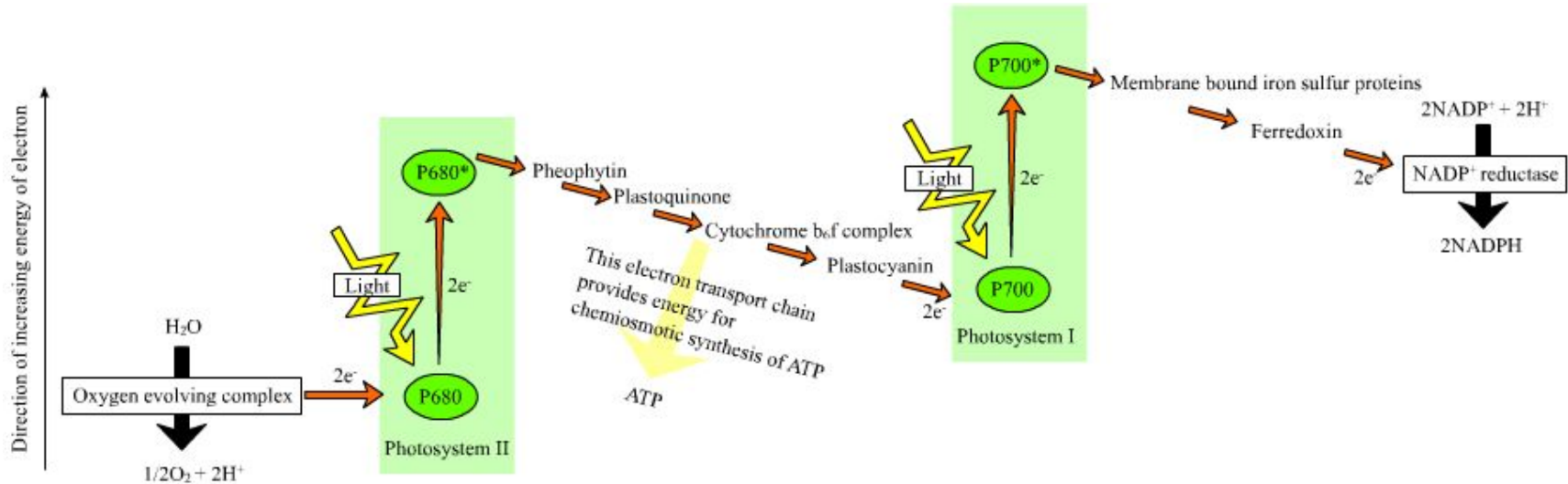
- Фотосинтез
- восстановление неорганических ионов (нитрита, сульфата);
- синтез многих ключевых метаболитов (порфирины, пурины, пиримидины, многие аминокислоты, жирные кислоты, изопреноиды, фенольные соединения и др.), при этом некоторые синтетические пути дублируют уже существующие пути цитозоля;
- синтез регуляторных молекул (гиббереллины, цитокинины, АБК и др.);
- запасание железа, липидов, крахмала.





# Функции пластид: светозависимая стадия фотосинтеза

**Светозависимая стадия** - в ходе световой стадии фотосинтеза образуются высокоэнергетические продукты: АТФ, служащий в клетке источником энергии, и НАДФ, использующийся как восстановитель. В качестве побочного продукта выделяется кислород.



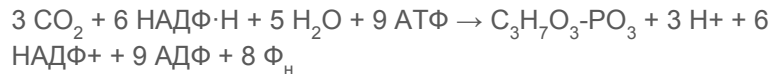
# Функции пластид: темновая стадия фотосинтеза

В **темновой стадии** с участием АТФ и НАДФ происходит восстановление  $\text{CO}_2$  до глюкозы ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ). Хотя свет не требуется для осуществления данного процесса, он участвует в его регуляции. Цикл Кальвина или восстановительный пентозофосфатный цикл состоит из трёх стадий:

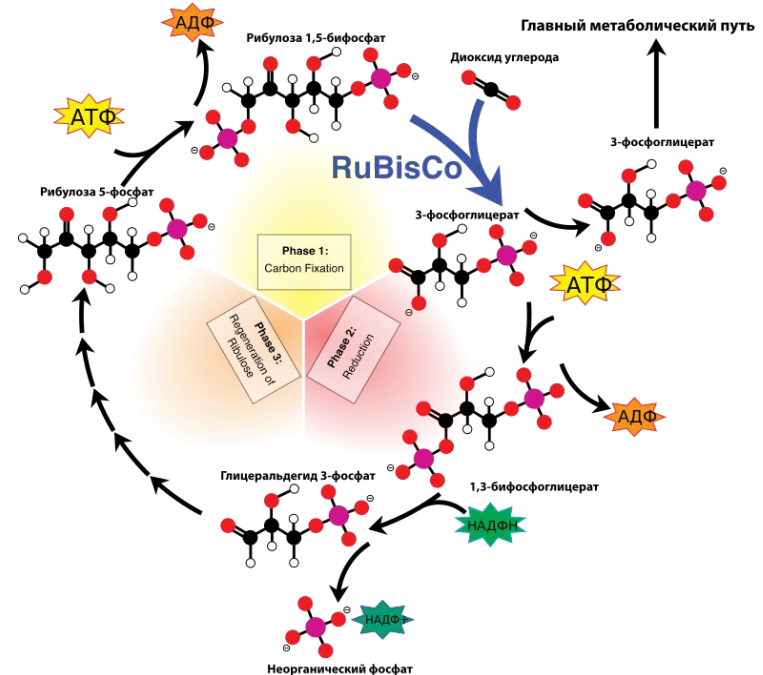
- Карбоксилирование
- восстановление
- регенерация акцептора  $\text{CO}_2$

RuBisCo - рибулозобисфосфат-карбоксилаза/оксигеназа. Этот белок составляет основную фракцию белков хлоропласта и предположительно наиболее распространённый фермент в природе

Общий баланс реакций цикла можно представить уравнением:



Две молекулы глицеральдегид-3-фосфата используются для синтеза глюкозы.



# ИСТОЧНИКИ

1. Nick Lane. Serial endosymbiosis or singular event at the origin of eukaryotes? // *Journal of Theoretical Biology*. 7 December 2017. V. 434. P. 58–67.
2. В. С. Мухина. Возникновение и эволюция пластид. Том 75, 2014. № 5, Сентябрь-октябрь, Стр. 329–352
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Митохондрия>
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пластиды>