

Фотосинтез.

Фотосинтез - синтез органических веществ из углекислого газа и воды с обязательным использованием энергии света:



У высших растений органом фотосинтеза является лист, органоидами фотосинтеза - хлоропласты

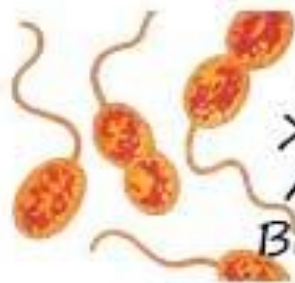
Организмы по типу питания

Автотрофы

Фототрофы



Хемотрофы



Серобактерии
Железобактерии
Азотобактерии
Водородобактерии

Миксотрофы



Венерина мухоловка

Эвглена зеленая



Гетеротрофы



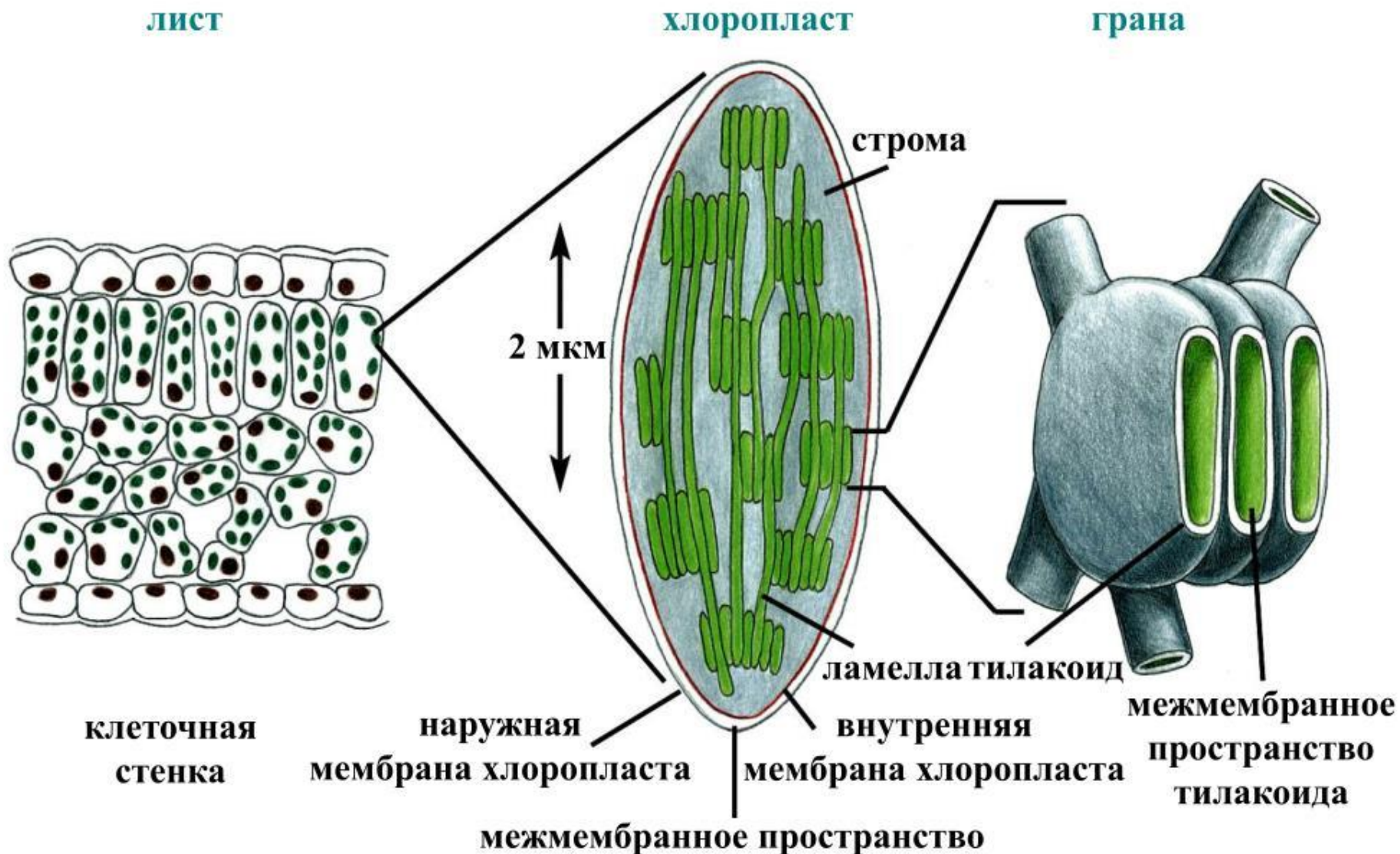
Животные

Грибы



ПЛАСТИДЫ

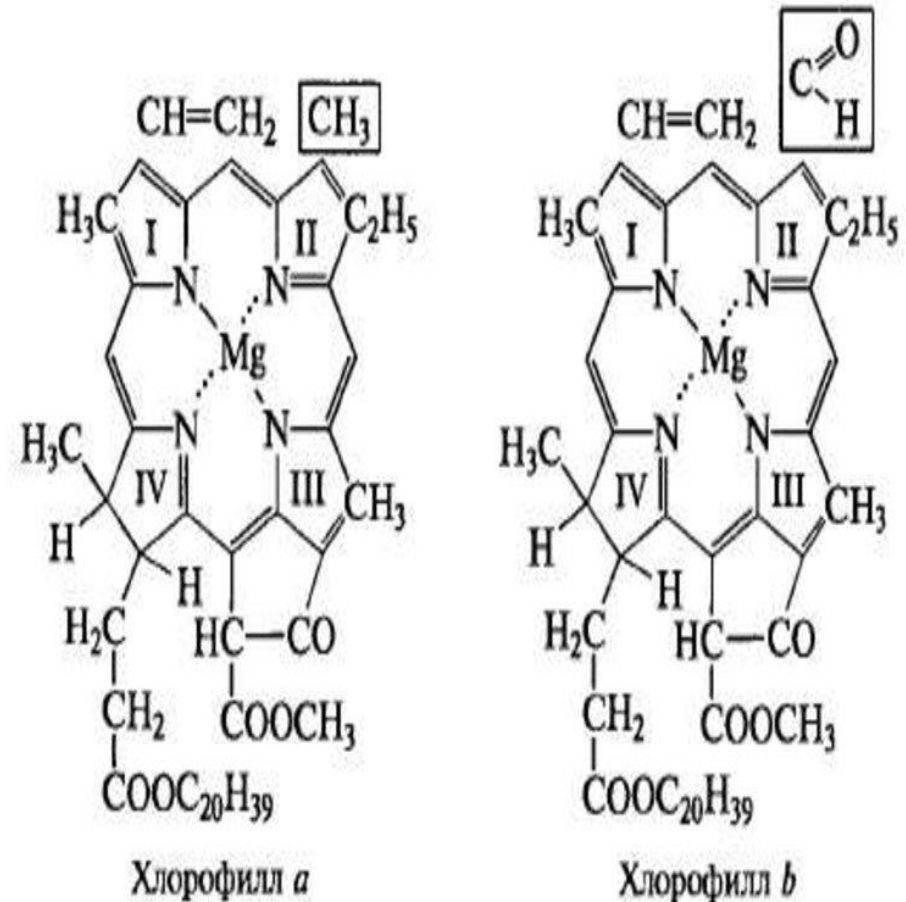
Строение. Схема



Хлорофилл

- В мембраны тилакоидов хлоропластов встроены фотосинтетические пигменты: хлорофиллы и каротиноиды.
- Существует несколько разных типов хлорофилла - **a, b, c, d**
- Главным является хлорофилл a.

Структурная формула хлорофилла a и b



Виды хлорофилла

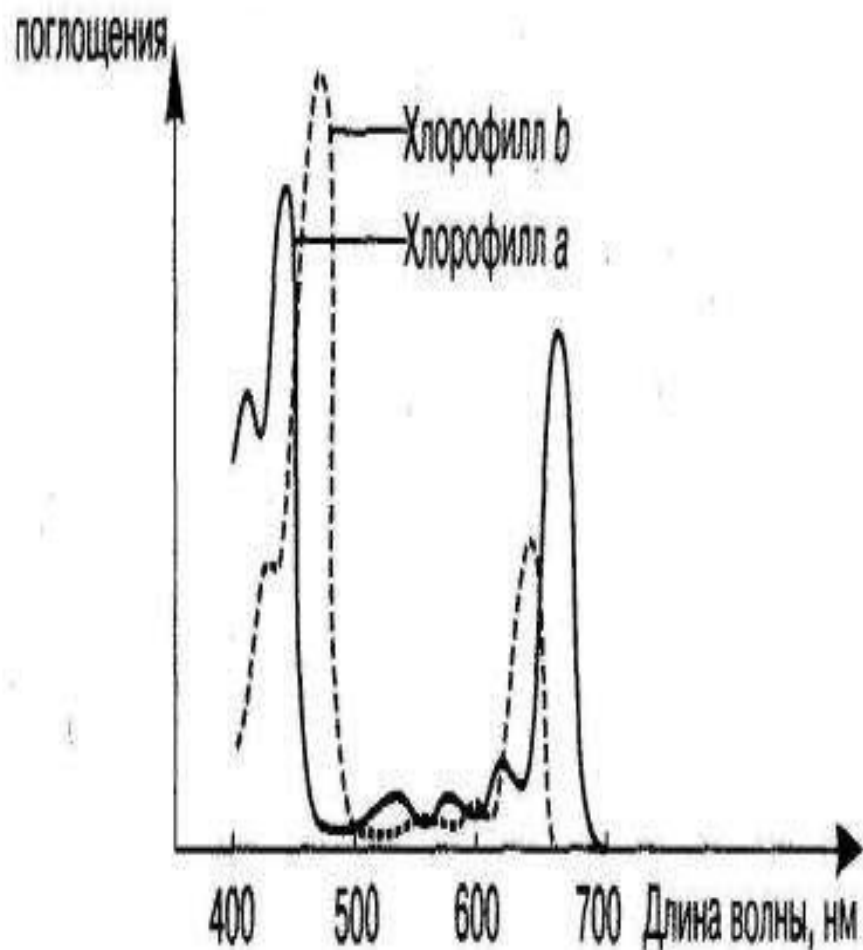
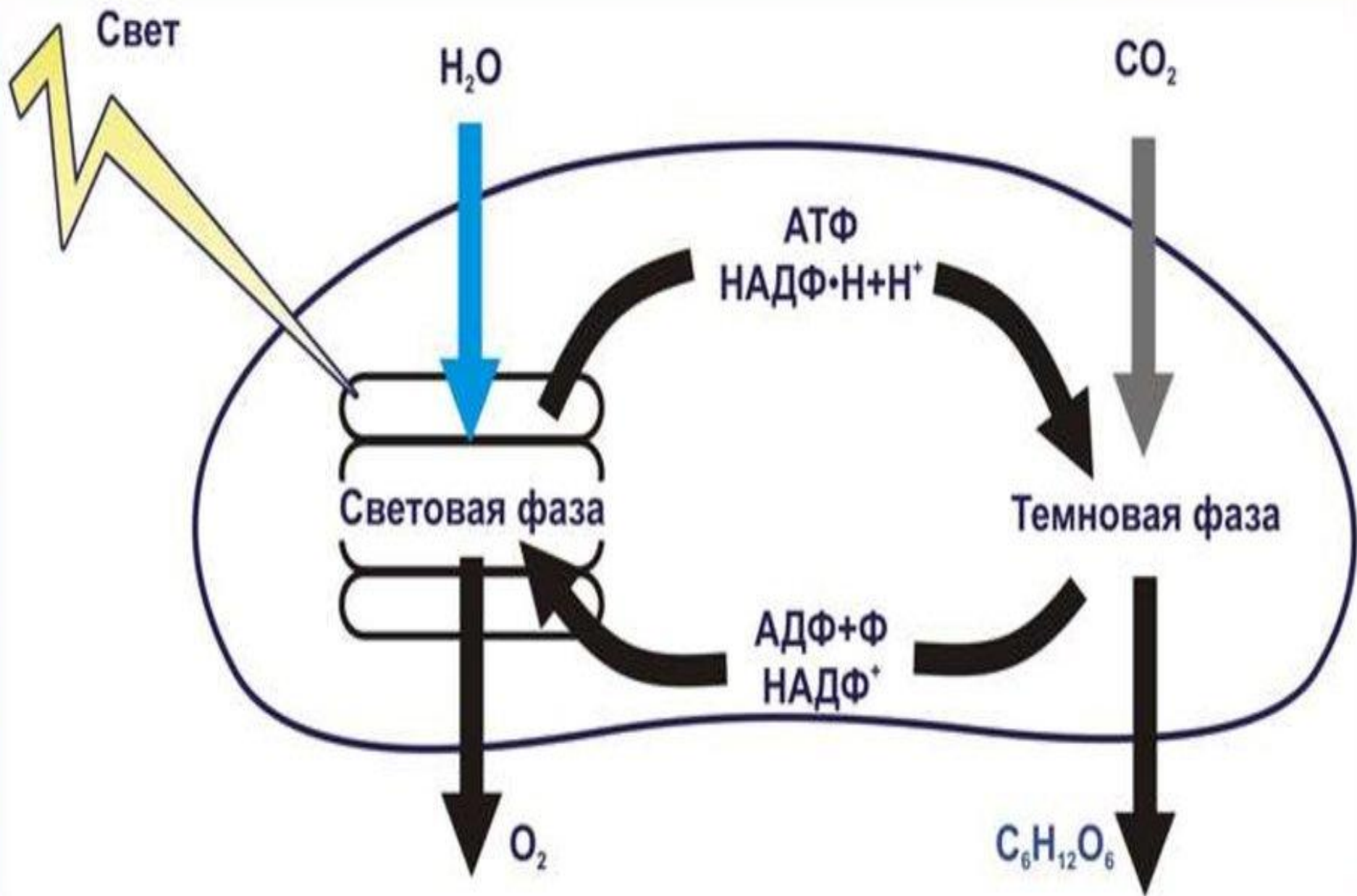


Рис. 9. Спектры поглощения и интенсивность фотосинтеза у разных видов хлорофилла

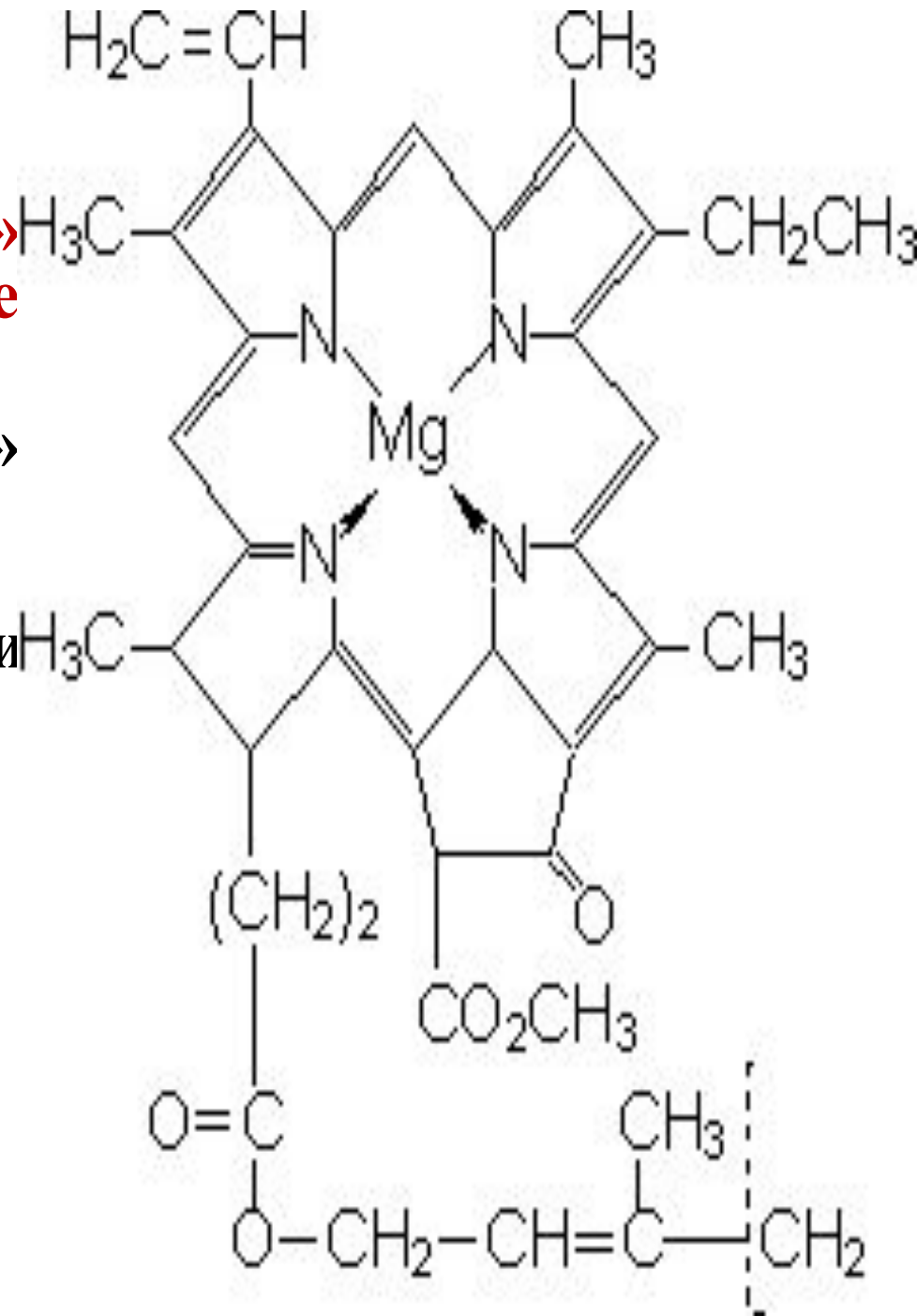
- Наиболее распространены хлорофиллы а, в
- Хлорофилл а – желто-зеленая окраска, поглощает свет наиболее интенсивно в красном и ультрафиолетовом спектрах. Имеется у всех растений.
- Хлорофилл в – сине-зеленого цвета поглощает энергию в фиолетовом спектре, значительно меньше в красном. Встречается у высших растений и зеленых водорослей.
- Хлорофилл с – зеленой окраски есть у бурых и некоторых одноклеточных водорослей.

Рисунок из учебника ПЕТРОСОВОЙ



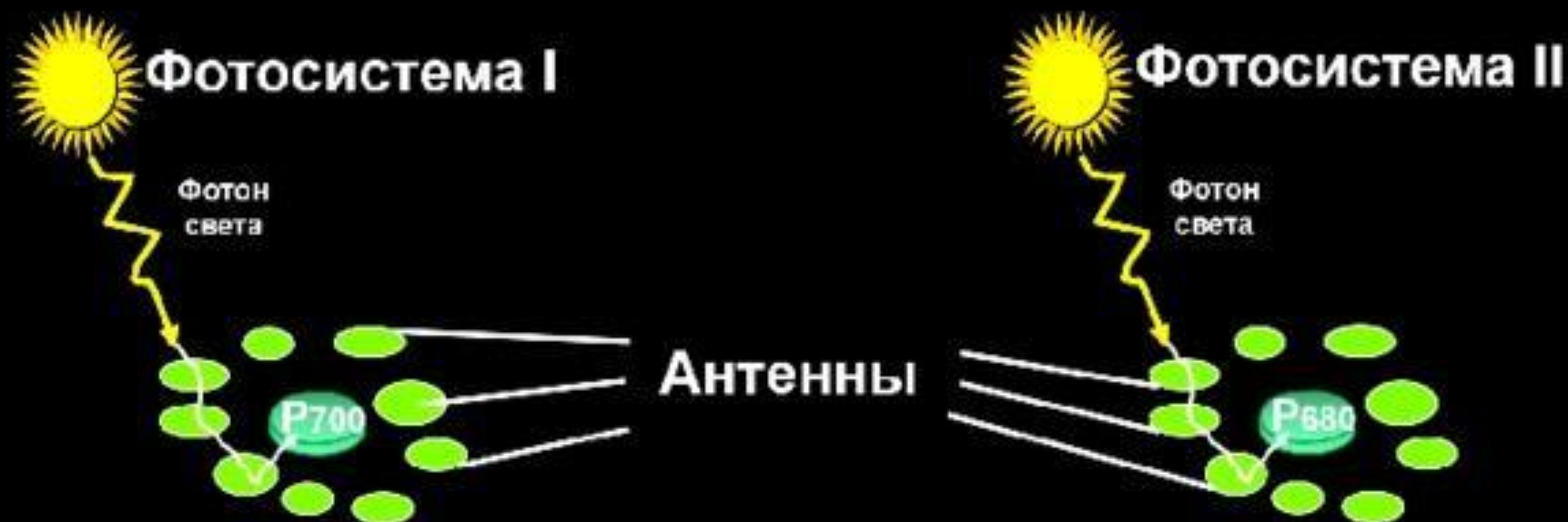
ХЛОРОФИЛЛ

- В молекуле хлорофилла можно выделить порфириновую «головку» с атомом магния в центре и фитольный «хвост».
- Порфириновая «головка» представляет собой плоскую структуру, является гидрофильной и поэтому лежит на той поверхности мембраны, которая обращена к водной среде стромы.
- Фитольный «хвост» - гидрофобный и за счет этого удерживает молекулу хлорофилла в мембране.



ФОТОСИСТЕМЫ

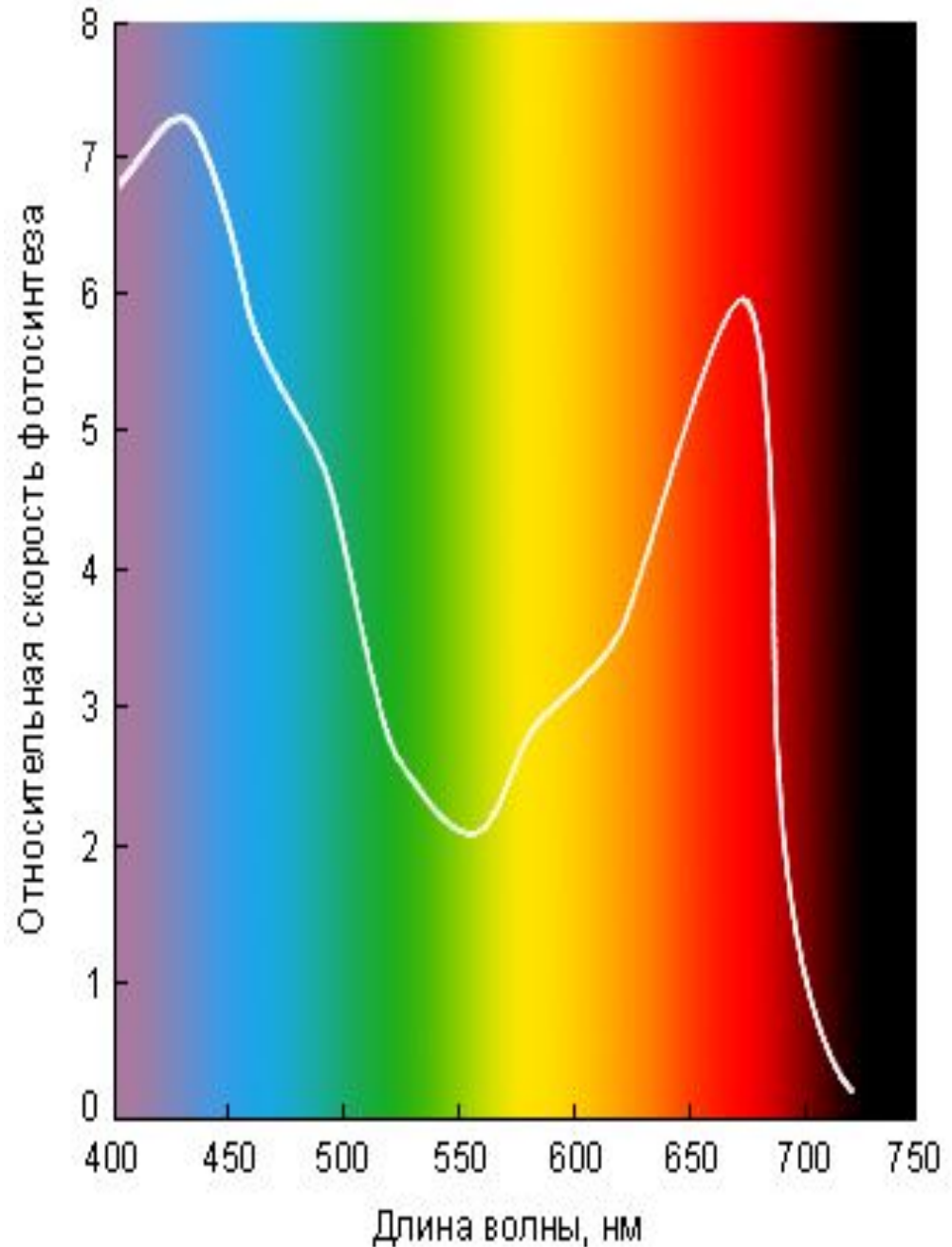
Молекулы хлорофилла и каротиноиды в мембранах тилакоидов организованы в светособирающие комплексы – фотосистемы I и II.



Устройство фотосистем таково, что из всех этих молекул, способных поглощать свет, только молекулы хлорофиллов P700 и P680, поглощающие свет с длиной волны 700 и 680 нм соответственно, могут использовать энергию света в фотохимических реакциях – они являются реакционными центрами фотосистем. Остальные молекулы пигментов (антенны), поглощая свет, передают его энергию на реакционный центр;

Фотосинтез

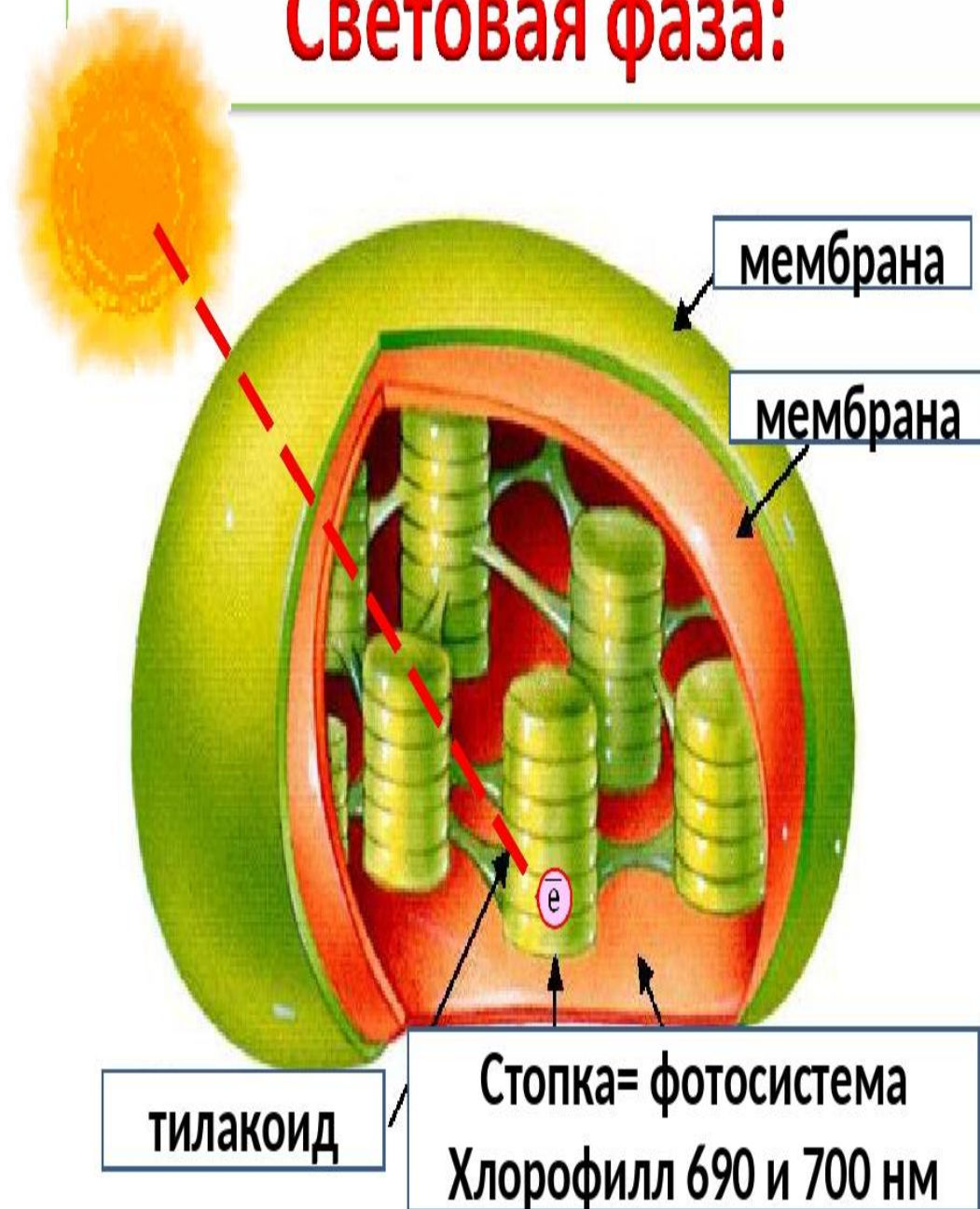
- Фотосинтез - сложный многоступенчатый процесс
- Реакции фотосинтеза подразделяют на этапы:
 - световая фаза
 - темновая фаза



Световая фаза

- Эта фаза происходит только в присутствии:
- 1 света в мембранах тилакоидов при участии хлорофилла
- 2 белков-переносчиков электронов
- 3 фермента - АТФ-синтазы.

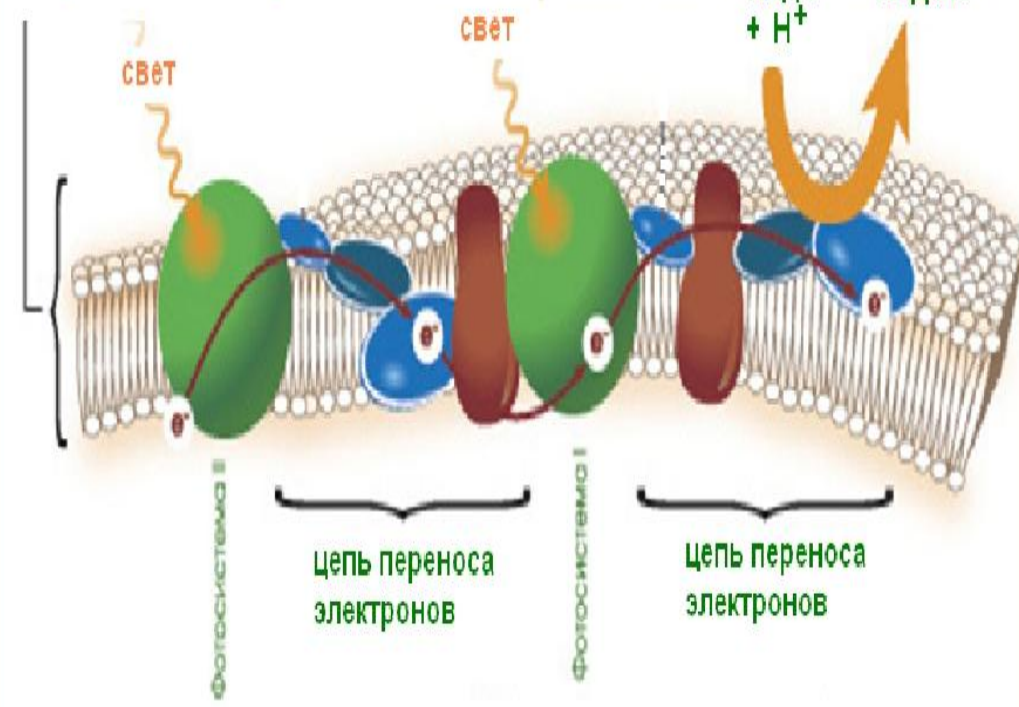
Световая фаза:



Световая фаза

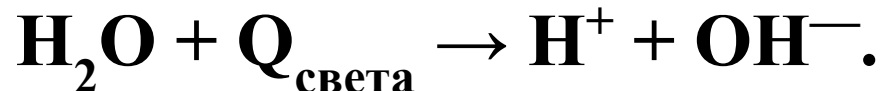
- под действием кванта света электроны хлорофилла возбуждаются
- Электроны покидают молекулу и попадают на внешнюю сторону мембраны тилакоида, которая в итоге заряжается отрицательно.

мембрана тилакоида



Окисленные молекулы хлорофилла восстанавливаются, отбирая электроны у воды, находящейся во внутритилакоидном пространстве.

Это фотолиз воды:



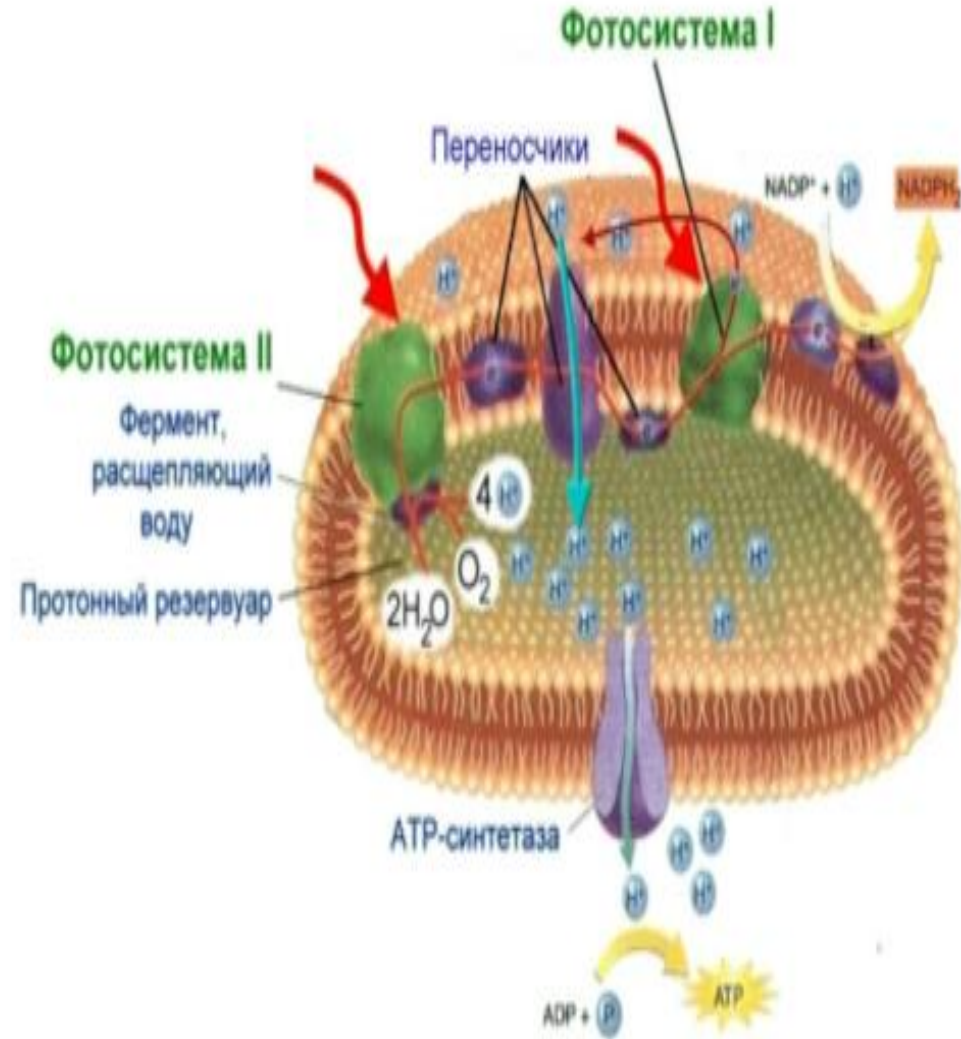
Фотолиз H₂O. Образование O₂.

Протонный резервуар

Фотолиз воды:



- Ионы гидроксила отдают свои электроны, превращаясь в реакционноспособные радикалы •OH:
- $\text{OH}^- \rightarrow \bullet\text{OH} + \text{e}^-$.
- Радикалы •OH объединяются, образуя воду и свободный кислород:
- $4\text{HO}\bullet \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$.
- O₂ при этом удаляется во внешнюю среду
- Протоны H⁺ накапливаются внутри тилакоида в «**протонном резервуаре**»
- В результате мембрана тилакоида с одной стороны за счет H⁺ заряжается положительно
- с другой за счет электронов - отрицательно



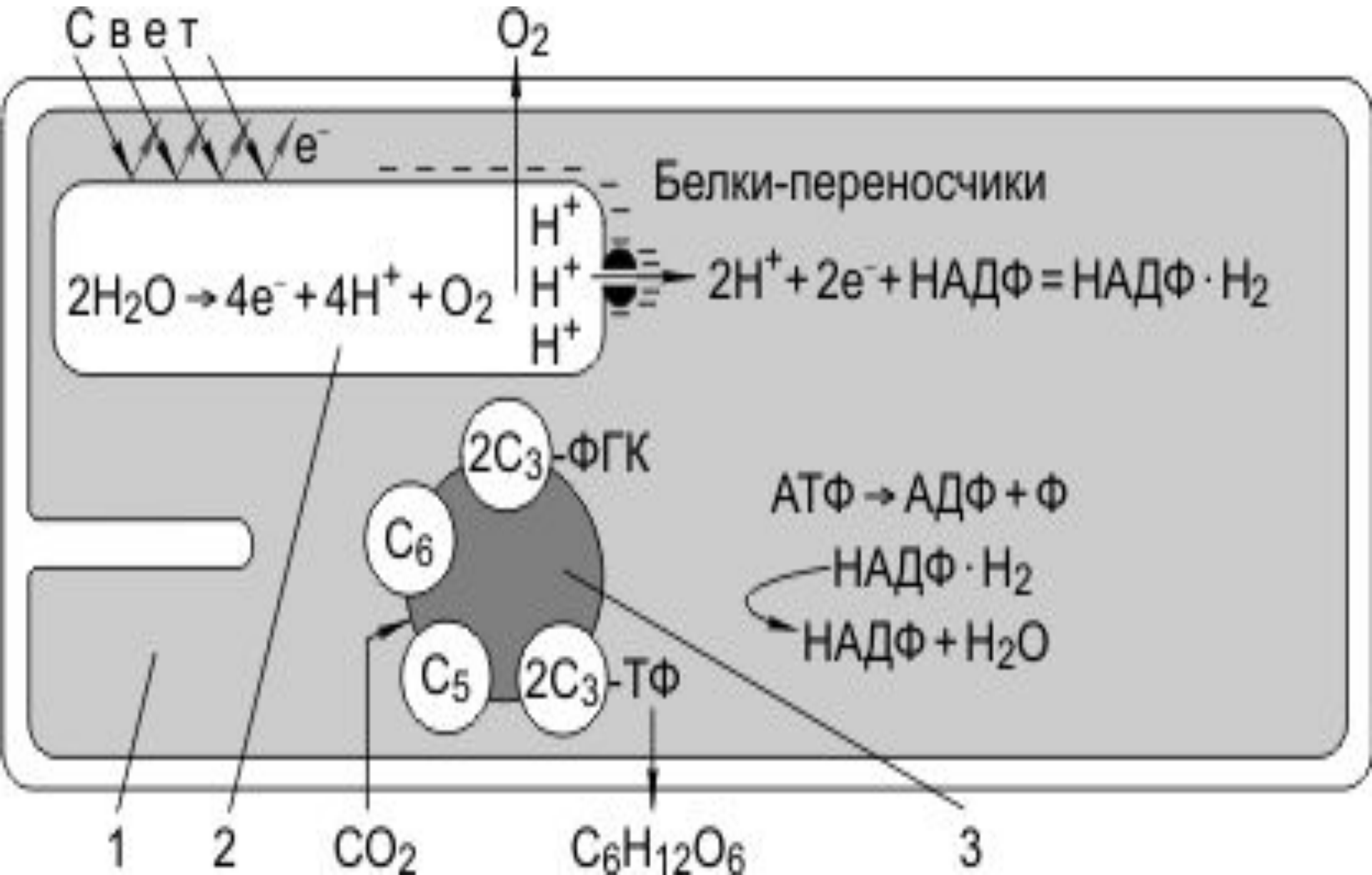
Образование АТФ

- Когда разность потенциалов между наружной и внутренней сторонами мембраны тилакоида достигает 200 мВ, протоны проталкиваются через каналы АТФ-синтетазы и происходит **фосфорилирование АДФ до АТФ**;
- Атомарный водород идет на восстановление специфического переносчика НАДФ^+ до $\text{НАДФ}\cdot 2\text{H}$

Итог световой фазы

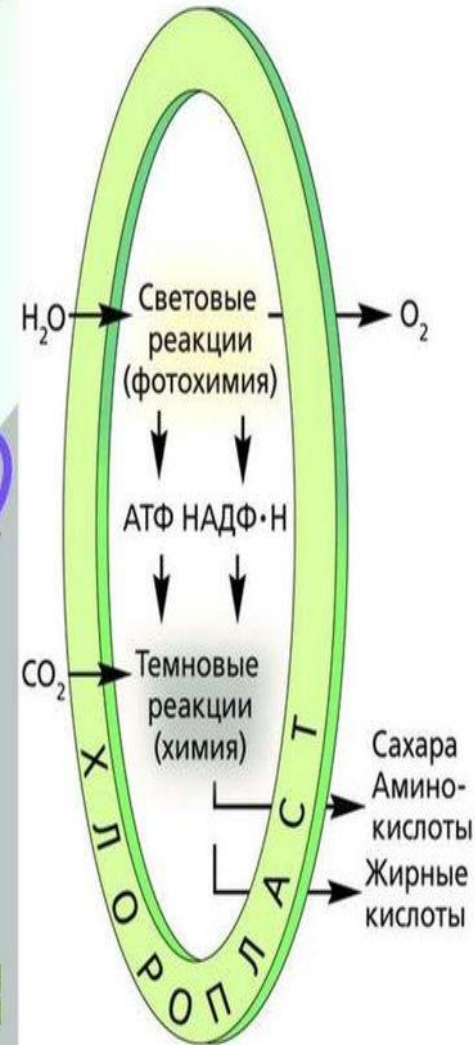
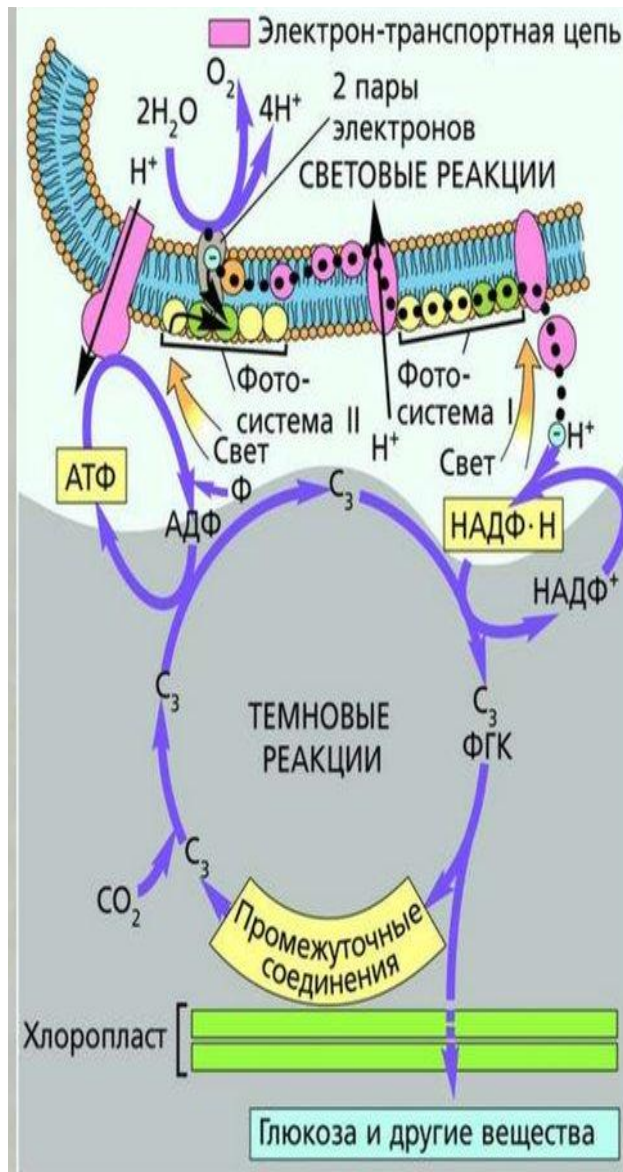
- 1 синтезом АТФ;
- 2 образованием НАДФ·2Н;
- 3 образованием кислорода.
- Кислород диффундирует в атмосферу,
- АТФ и НАДФ·2Н транспортируются в строму хлоропласта и участвуют в процессах темновой фазы.

1 - строма хлоропласта
2 - тилакоид граны.



Темновая фаза

- Эта фаза протекает в строме хлоропласта.
- Для ее реакций не нужна энергия света, поэтому они происходят не только на свету, но и в темноте.
- Реакции темновой фазы представляют собой цепочку последовательных преобразований CO_2 , приводящую к образованию $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$



Темновая фаза

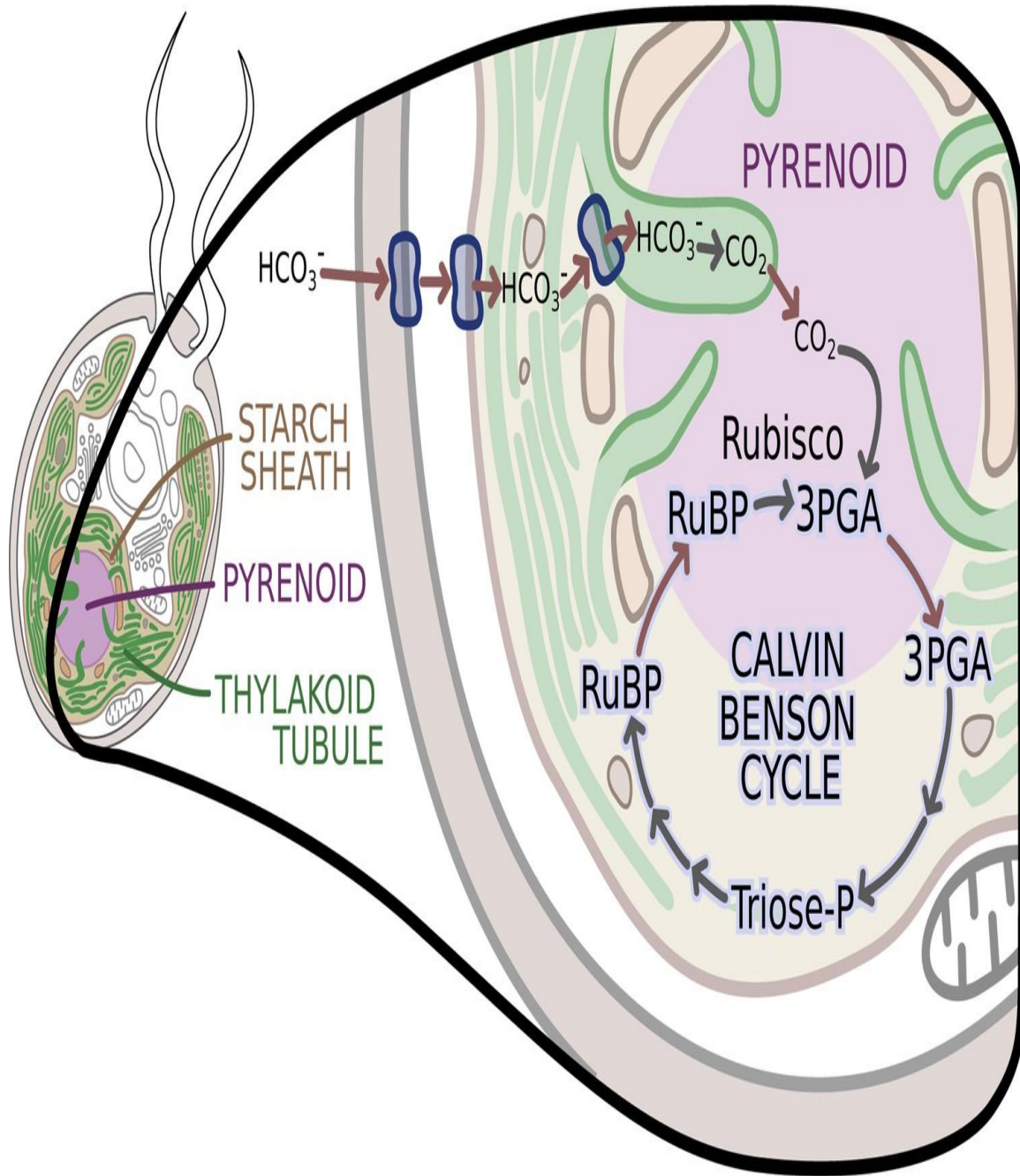
- 1 реакция в этой цепочке - фиксация CO_2

- акцептором углекислого газа является

**пятиуглеродный сахар
рибулозобифосфат;**

- катализирует реакцию фермент **рибулозобифосфат-карбоксилаза (Рубиско)**

- В результате карбоксилирования рибулозобисфосфата образуется неустойчивое **шестиуглеродное соединение**, которое сразу же распадается на **две молекулы фосfogлицериновой кислоты**



Темновая фаза

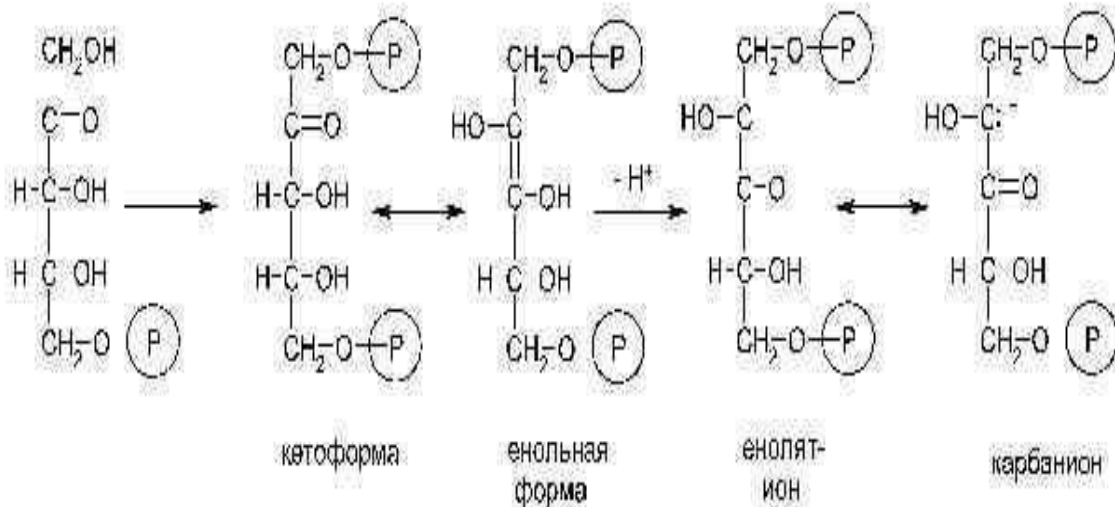
Цикл Кальвина. Ключевая стадия

- Затем происходит цикл реакций, в которых через ряд промежуточных продуктов **фосфоглицериновая кислота** преобразуется в **глюкозу**.

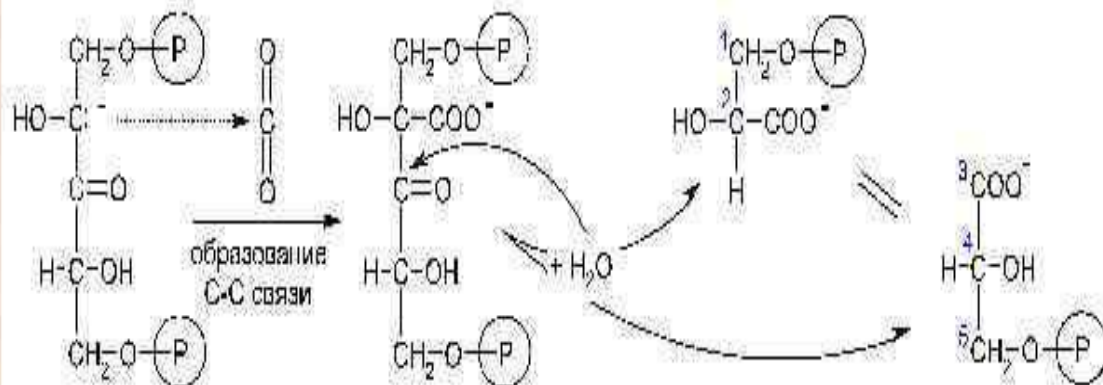
- В этих реакциях используются энергии АТФ и НАДФ·Н₂;

- Цикл этих реакций получил название «**цикл Кальвина**»:

Активация фосфорибулазы фосфорибулокиназой



Карбоксилирование рибулозо-1,5-бисфосфата rubisco



Итог темновой фазы

- $6\text{CO}_2 + 24\text{H}^+ + \text{АТФ} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O}$.
- Кроме глюкозы, в процессе фотосинтеза образуются другие мономеры сложных органических соединений:
- аминокислот
- глицерин и жирные кислоты,
- нуклеотиды

Типы фотосинтеза

- В настоящее время различают три типа фотосинтеза:
- C_3 - фотосинтез
- C_4 -фотосинтез
- САМ - фотосинтез

C₃-фотосинтез

- **C₃-фотосинтез был открыт раньше C₄-фотосинтеза (М. Кальвин).**
- **Это тип фотосинтеза, при котором первым продуктом являются трехуглеродные (C₃) соединения.**
- **Кислород является конкурентным ингибитором фиксации углекислого газа.**
- **Еще в начале прошлого века было установлено, что кислород подавляет фотосинтез.**
- **А при C₃-фотосинтезе в световую фазу выделяется много кислорода - фотодыхание**

C₄-фотосинтез

- **C₄-фотосинтез - фотосинтез, при котором первым продуктом являются четырехуглеродные (C₄) соединения.**
- **В 1965 году было установлено, что у некоторых растений - сахарный тростник, кукуруза, сорго, просо первыми продуктами фотосинтеза являются четырехуглеродные кислоты.**
- **Такие растения называли C₄-растениям**

САМ-фотосинтез

- При фотосинтезе типа САМ - кислотный метаболизм **толстянковых** происходит разделение ассимиляции CO_2 и цикла Кальвина **не в пространстве, как у C_4 , а во времени.**
- Ночью в вакуолях клеток по аналогичному вышеописанному механизму при открытых устьицах накапливается малат, днём при закрытых устьицах идёт цикл Кальвина.
- **Этот механизм позволяет максимально экономить воду,** однако уступает в эффективности и C_4 , и C_3 .
- Он оправдан при стресстолерантной жизненной

Эффект фотосинтеза

- В отличие от РибФ-карбоксилазы - для C_3 -фотосинтеза.
- ФЕП-карбоксилаза - для C_4 -фотосинтеза обладает большим сродством к CO_2 и, самое главное, не взаимодействует с O_2 следовательно фотосинтез у них более эффективен.

C₄-фотосинтез

- В 1966 году австралийские ученые Хэтч и Слэк показали:
- что у C₄-растений практически отсутствует **фотодыхание**
- они гораздо эффективнее поглощают углекислый газ.
- Путь превращений углерода в C₄-растениях стали называть **путем Хэтча-Слэка**.

C4-фотосинтез

- Для C₄-растений характерно особое анатомическое строение листа.
- **Все проводящие пучки окружены двойным слоем клеток:**
 - наружный - клетки мезофилла
 - внутренний - клетки обкладки.
- В хлоропластах мезофилла много гран, где активно идут реакции световой фазы.
- В хлоропластах клеток обкладки идут реакции темновой фазы.

Значение фотосинтеза

- **1** Фотосинтез составляет энергетическую основу всего живого на планете, кроме хемосинтезирующих бактерий.
- **2** Фотосинтез совершается в зеленых частях наземных растений и в водорослях.
- **3** Фотосинтез - самый массовый биохимический процесс на Земле.
- **4** Возникновение на Земле более 3 млрд лет назад механизма расщепления молекулы воды квантами солнечного света с образованием O_2 представляет собой важнейшее событие в биологической эволюции, сделавшее свет Солнца главным источником энергии биосферы.

Значение фотосинтеза

- **5** Фототрофы обеспечивают конверсию и запасание энергии термоядерных реакций, протекающих на Солнце, в энергию органических молекул.
- 6** Существование гетеротрофных организмов возможно исключительно за счёт энергии, запасённой фототрофами в органических соединениях.
- **7** При использовании энергии химических связей органических веществ гетеротрофы высвобождают её в процессах дыхания и брожения.

Значение фотосинтеза

- **8** Фотосинтез является основой продуктивности как сельскохозяйственных растений, так и животной пищи.
- **9** Энергия, получаемая человечеством при сжигании биотоплива - дрова, биогаз, биодизель, этанол, метанол и ископаемого топлива - уголь, нефть, природный газ, торф, также является запасённой в процессе фотосинтеза.
- **10** Фотосинтез служит главным входом неорганического углерода в биогеохимический цикл.
- **11** Большая часть свободного кислорода атмосферы - биогенного происхождения и является побочным продуктом фотосинтеза.
- **12** Формирование окислительной атмосферы - кислородная катастрофа полностью изменило состояние земной поверхности, сделало возможным появление дыхания, а в дальнейшем, после образования озонового слоя позволило жизни существовать на суше.