

# Часть четвертая. Молекулярная биология - процессы

Мы рассмотрели основные классы неорганических и органических веществ, формирующих живые системы. Однако живое отличается от неживого не молекулярным составом (умерший организм еще долгое время сохраняет биохимические характеристики живого), но характером протекающих в нем процессов. С химической точки зрения превращения, идущие в живой клетке, можно свести к реакциям синтеза (анаболизм) и распада (катаболизм) органического вещества, сопровождающихся в одних случаях выделением, а в других – поглощением энергии. Однако с точки зрения функционирования клетки как целостной системы более важным представляется другое деление клеточных процессов:

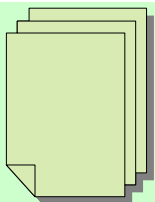
- Процессы обмена веществом и энергией.
- Процессы сохранения и реализации генетической информации.
- Процессы реакции и регуляции.

Если первые две группы процессов достаточно легко обособить друг от друга то третья группа – управляющих, регулирующих реакций, как бы «растворена» в первых двух, однако именно она обеспечивает целостность, единство функционирования, как на клеточном, так и на организменном уровне.

## 14. Метаболизм. Фотосинтез

Преизобильноеращение тучных деревьев, которые на бесплодном песку корень свой утверждали, ясно изъясляет, что листьями жирный тук из воздуха впитывают.

М.В. Ломоносов

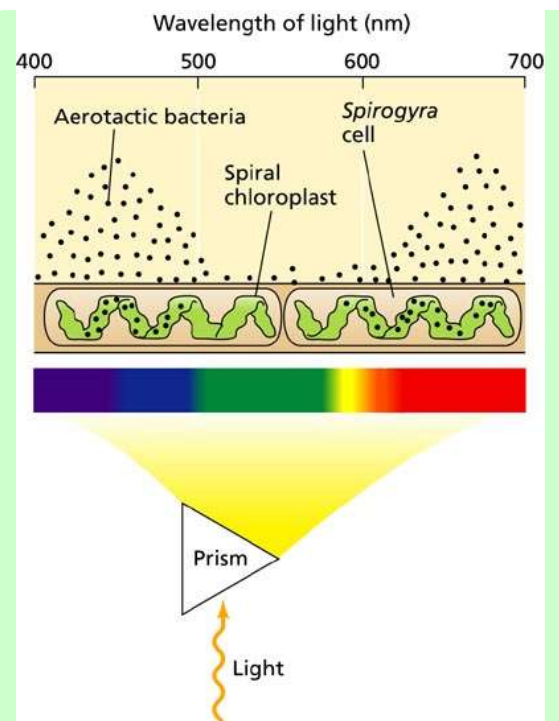


**Опыт/  
исследование**

1882 году Т. Энгельман поставил такой опыт. Он освещал нитчатую водоросль *спирогиру* светом, пропущенным через призму. В среду были запущены также подвижные бактерии-аэробы. Бактерии собирались возле участков водоросли, которые освещались фиолетово-синим и красным светом.



**Как можно объяснить подобную избирательность бактерий?**



## Метаболизм

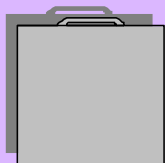
Метаболизм (*греч.* превращение, изменение), обмен веществ и энергии — полный процесс превращения химических веществ в организме, обеспечивающих его рост, развитие, деятельность и жизнь в целом.

Обмен веществ представляет собой комплекс биохимических и энергетических процессов, обеспечивающих использование пищевых веществ для нужд организма и удовлетворения его потребностей в строительных (пластических) и энергетических веществах, и состоит из двух противоположно направленных, но одновременно протекающих процессов. Первый — **анаболизм** (пластический обмен или ассимиляция) — объединяет реакции синтеза необходимых веществ, в первую очередь – макромолекул биополимеров, их усвоения и использования. Вторым — **катаболизм** (энергетический обмен или диссимиляция) — включает реакции расщепления веществ, их окисления и выведения из организма продуктов распада, и получения энергии в формах, удобных для использования (например, в виде молекул АТФ – см. § 10).

Белки, жиры, углеводы и другие высокомолекулярные соединения, поступившие в многоклеточный организм извне (как пища), расщепляются на более простые низкомолекулярные вещества. Поступая в кровь и ткани, они подвергаются дальнейшим превращениям — анаэробному и аэробному окислению, окислительному фосфорилированию и др. В ходе этих превращений (наряду с полным окислением до углекислого газа и воды происходит использование промежуточных продуктов для синтеза аминокислот и других важных *метаболитов*. Таким образом, окисление сочетает в себе элементы распада и синтеза и является связующим звеном в обмене белков, жиров, углеводов и других веществ.

В организме *все* молекулы участвуют в обмене веществ. В среднем у человека каждые 80 дней меняется половина всех тканевых белков, ферменты печени (в ней идут особенно интенсивные реакции) обновляются через 2-4 часа, а некоторые – даже через несколько десятков минут.

Обмен веществ обеспечивает присущее живому организму как системе динамическое равновесие, при котором взаимно уравниваются синтез и разрушение, размножение и гибель. В основе реакций обмена веществ лежат физико-химические взаимодействия между атомами и молекулами, подчиняющиеся единым для живой и неживой материи законам.



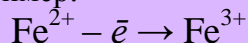
*Термин  
параграфа*

### Окисление

Окисление – химический процесс, связанный с утратой электронов атомом или ионом (донором) и передачей их другому атому или иону (акцептору). Таким образом, любое уравнение (*полууравнение*) окисления всегда имеет вид:



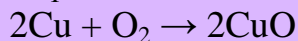
Например:



Наиболее распространенная реакция окисления – непосредственно путем присоединения кислорода:



Например:



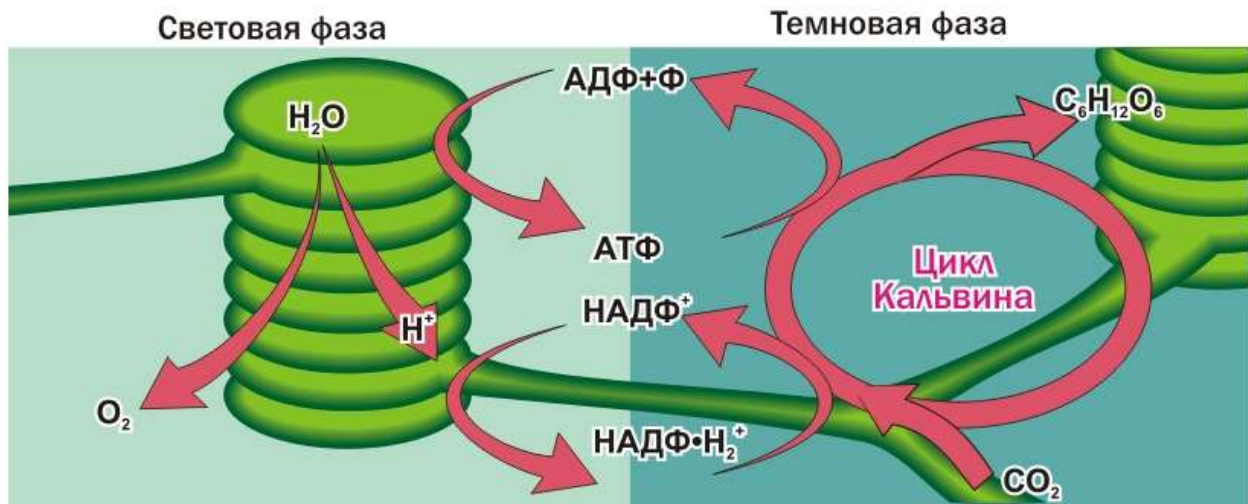
Другой реакцией окисления, даже более распространенной в биосистемах, является отнятие водорода, дегидрирование:



В этой реакции в клетках принимают участие переносчики водорода (вещество В). В клетках разных царств присутствуют разные молекулы-переносчики водорода, которые могут находиться в двух состояниях – окисленном (В) и восстановленном (ВН<sub>2</sub>). По своей природе это моно- или динуклеотиды, в состав которых входят молекулы витаминов (рибофлавина – В<sub>2</sub>, никотинамида – В<sub>3</sub> или РР).

Аббревиатура	Название	Окисленная форма	Восстановленная форма
НАД	Никотинамидадениндинуклеотид	НАД <sup>+</sup>	НАД·Н+Н <sup>+</sup>
НАДФ	Никотинамидадениндинуклеотидфосфат	НАДФ <sup>+</sup>	НАДФ·Н+Н <sup>+</sup>
ФАД	Флавинадениндинуклеотид	ФАД	ФАД·Н <sub>2</sub>
ФМН	Флавинмононуклеотид	ФМН	ФМН·Н <sub>2</sub>

С обменом веществ неразрывно связан обмен энергии в организме. Живые организмы могут существовать только при условии непрерывного поступления энергии извне. Первичным источником энергии для всего живого на Земле, за редким исключением, служит солнечное излучение; а первичным источником органического вещества – сложная совокупность биохимических процессов, получивших название – **фотосинтез**.

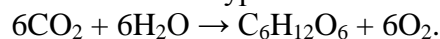


А

Рис.1. Общая схема фотосинтеза

### Общая схема фотосинтеза

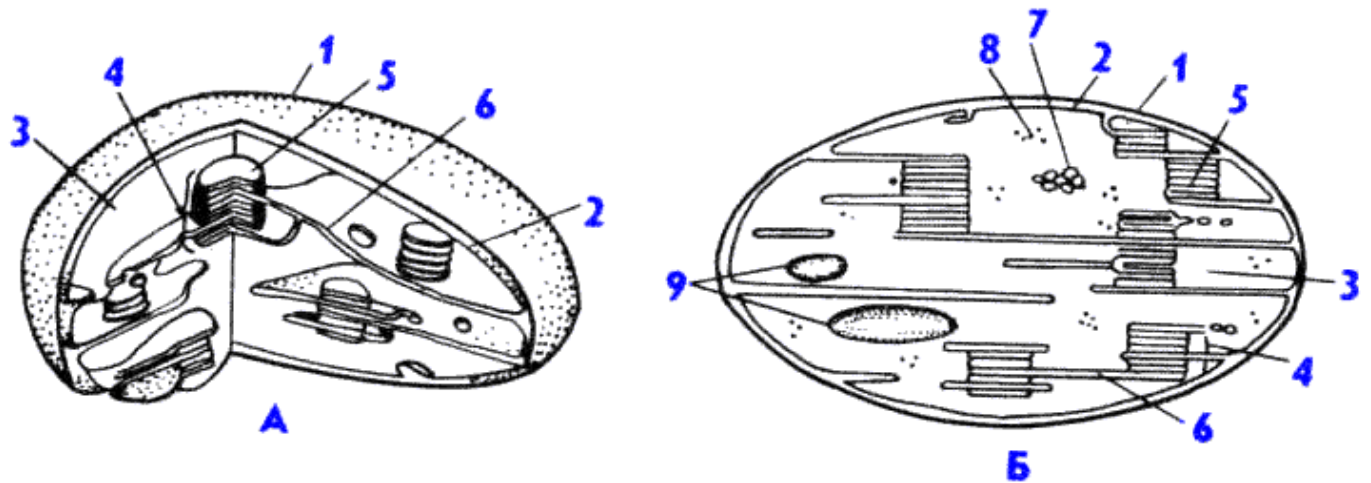
Общую схему фотосинтеза описывает химическое уравнение:



Процесс фотосинтеза включает в себя две стадии:

- получение водорода при расщеплении воды (фотолиз воды), при этом кислород выделяется как побочный продукт реакции – **световая фаза**; она проходит в хлоропластах на мембранах тилакоидов.
- синтез глюкозы (восстановление углекислого газа) – **темновая фаза**; она проходит во

внутренней среде (строме) хлоропластов.

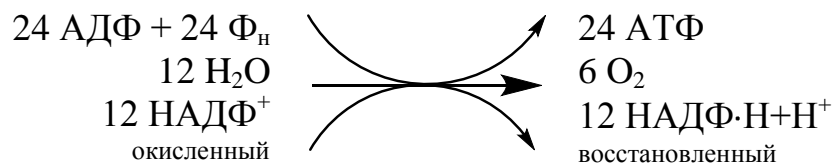


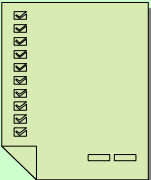
**Рис.2.** Строение хлоропластов: 1 - наружная мембрана, 2 - внутренняя мембрана, 3 - строма, 4 - грана, 5 - тилакоид граны (уплощенный мембранный пузырек), 6 - ламелла, 7 - ДНК, 8 - рибосомы хлоропласта, 9 - гранулы крахмала.

### Световая фаза фотосинтеза. Фотопигменты. Синтез АТФ

Первая стадия фотосинтеза протекает на свету. Кванты света дают электронам энергию, необходимую для их переноса их от входящего в состав хлорофилла атома магния на окисленную форму переносчика водорода, НАДФ<sup>+</sup>, которая, взаимодействуя *попутно* с ионами водорода, восстанавливается до НАДФ·Н+Н<sup>+</sup>. В ходе первой стадии из АДФ (аденозиндифосфата) и иона фосфорной кислоты синтезируется АТФ (аденозинтрифосфат); синтез АТФ за счёт энергии света называется **фотофосфорилированием**. Этот процесс может быть **циклическим** (в реакции «работают» одни и те же электроны) и **нециклическим** (электроны в конце концов доходят до НАДФ<sup>+</sup> и образуют НАДФ·Н+Н<sup>+</sup>); кислород как побочный продукт реакции выделяется только во втором случае.

Суммарно уравнение реакций световой фазы фотосинтеза у высших растений может быть представлено следующим образом:





### Молекула параграфа

## Хлорофиллы

<http://www.nyu.edu/pages/mathmol/library/photo/chlorophyll.pdb>

(от греч. χλωρός, зелёный и φύλλον, лист) — группа зелёных пигментов, обуславливающих окраску растений в зелёный цвет. При его участии осуществляется процесс фотосинтеза. По химическому строению хлорофиллы — магниевые комплексы различных *тетрапирролов*. Хлорофиллы структурно близки гему.

Известны различные формы хлорофиллов: *a*, *b*, *c* и *d*. У всех растений, водорослей и цианобактерий присутствуют хлорофилл *a*. Кроме того, высшие растения, зеленые водоросли и эвгленовые содержат хлорофилл *b*. У бурых и диатомовых водорослей, кроме хлорофилла *a* присутствует хлорофилл *c*, а у многих красных водорослей - *d*. У бактерий, которые в качестве донора водорода используют не воду, а другие вещества, зарегистрированы бактериохлорофиллы.

**Хлорофилл *a*** имеет сине-зелёный цвет (это из-за него цианобактерий называли *синезелеными* водорослями), а **хлорофилл *b*** — желто-зелёный (благодаря нему окраска высших растений имеет более тёплый оттенок).

Хлорофилл имеет два уровня возбуждения (с этим связано наличие двух максимумов на спектре его поглощения):

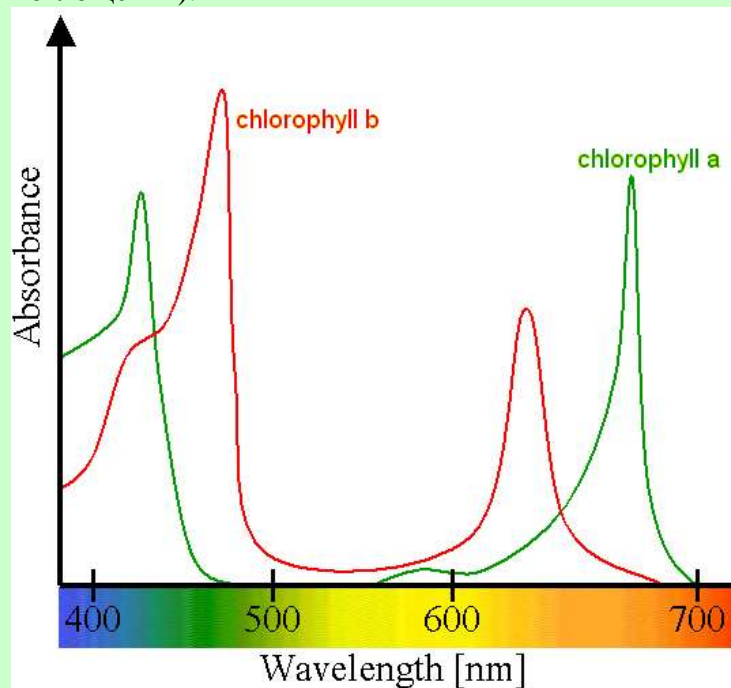
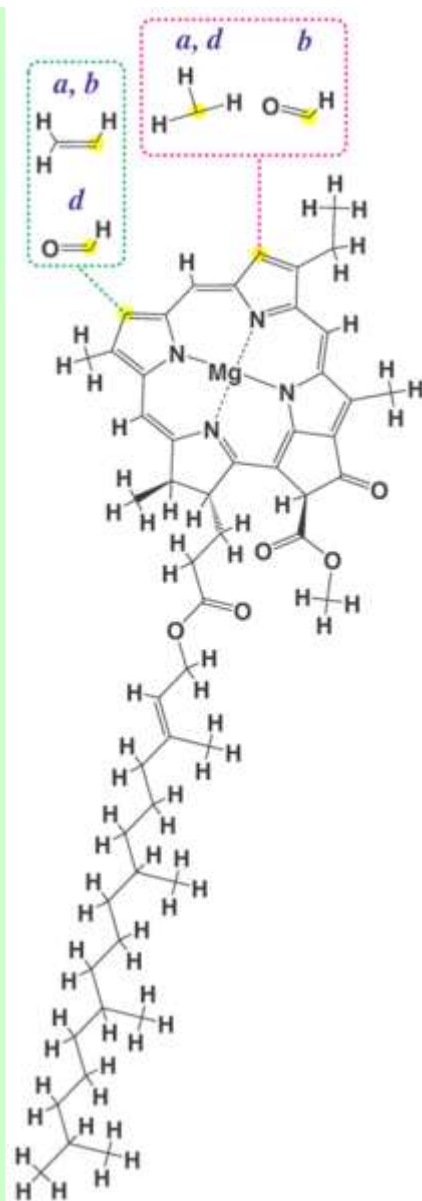
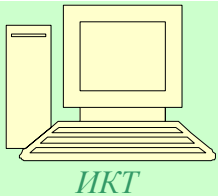


Рис. 3. Спектр поглощения хлорофиллов *a* и *b*.

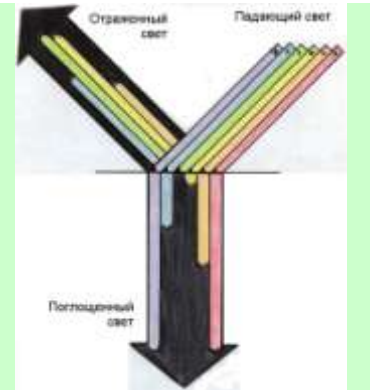


Почему хлорофилл зеленый? Цвет вещества зависит от того, какие лучи света она поглощает, а какие — отражает<sup>1</sup>. Хлорофилл, основной фотосинтетический пигмент, отражает зеленые лучи, а поглощает фиолетовые, красные и синие. Впервые это доказал в 1882 году Т. Энгельман, поставивший очень элегантный опыт. Он освещал нитчатую водоросль спирогиру светом, пропущенным через призму. Датчиков, которые могли бы показать, в какой части спектра фотосинтез идет быстрее, в то время еще не было. Вместо них Энгельман использовал подвижных гетеротрофных бактерий, нуждающихся в кислороде (*азробов*). Бактерии собирались возле участков водоросли, которые освещались фиолетово-синим и красным светом.



## Поглощение и отражение света хлорофиллами

Перестройте в любом графическом редакторе (хоть в **MS Paint**) кривую поглощения света хлорофиллами *a* и *b* (Рис. 2) в схему, на которой показаны тремя широкими стрелками, состоящими из 6-7 полос разного цвета каждая, потоки падающего, поглощенного и отраженного света. Перестроенная таким образом диаграмма наглядно показывает, почему листья имеют зеленый цвет. Диаграмма может, например, иметь такой вид (рис. справа).



Кроме хлорофиллов, на цвет фотосинтезирующих организмов существенное влияние оказывают и другие пигменты. Так, водорастворимые пигменты **фикобилины** (красные фикоэритробилины и сине-голубые фикоцианобилины) встречаются у красных водорослей, некоторых простейших и у цианобактерий. Жирорастворимые пигменты **каротиноиды** встречаются у всех фотосинтетических организмов, и весьма характерны для высших растений. Эти пигменты имеют красный, оранжевый или желтый цвет (придавая попутно окраску осенним листьям, плодам хурмы или помидорам, и даже креветкам и фламинго).

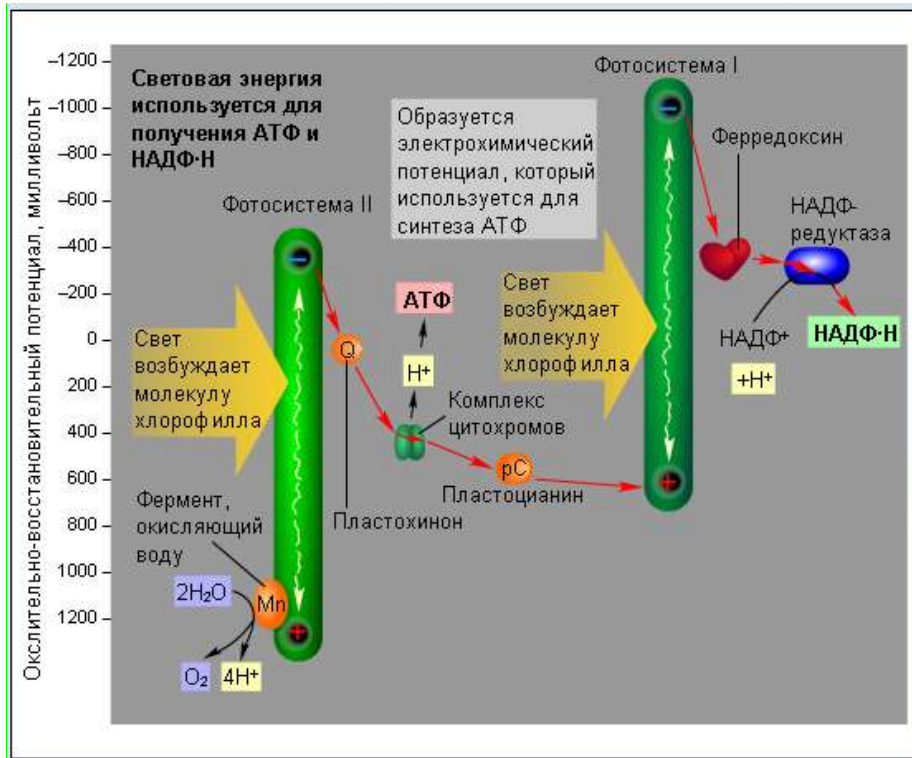
Различные пигменты имеют максимумы поглощения в разных частях спектра, что позволяет организмам более эффективно использовать энергию солнечного света. Возможность использовать зеленый свет особенно важна для водорослей, так как вода сильнее задерживает фиолетово-синие и красные лучи, и глубины достигает почти исключительно зеленый и голубой свет. Однако в конечном счете энергия света с дополнительных пигментов передается на основной фотосинтетический пигмент – хлорофилл *a*. Кроме того, растениям приходится передавать энергию от одних молекул хлорофилла *a* к другим таким же молекулам – иначе попадания кванта света на каждую отдельную молекулу придется ждать довольно долго. Так что на одну молекулу хлорофилла *a*, передающую свой электрон переносчикам, приходится от 200 до 400 антенных молекул – разных видов хлорофиллов и других пигментов.

Свет выбивает электроны из молекулы хлорофилла, расположенной в белковом комплексе (фотосинтетическом центре) на мембране тилакоида. Для возврата электронов на хлорофилл происходит фотолиз воды, и образуются восстановленные переносчики, которые используются в темновой фазе, и молекулярный кислород,  $O_2$  в качестве побочного продукта. Электроны при этом

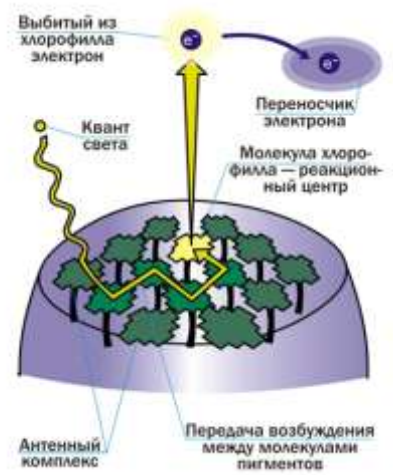
<sup>1</sup> Строго говоря, это одна из причин. Некоторые вещества могут поглощать свет (и шире – электромагнитное излучение) в одной части спектра и излучать в другой (так флуоресцируют, излучая видимый свет фиолетового оттенка, некоторые вещества при облучении ультрафиолетом). Но в случае фотосинтетических пигментов это не существенно, их цвет обусловлен в первую очередь соотношением поглощения и отражения.

передаются по белкам дыхательной цепи, расположенным в мембране тилакоида, и формируется разность концентрации протонов (*протонный градиент*), возникает заряд на мембране тилакоида. Протоны концентрируются внутри тилакоида, заряжая мембрану положительно, тогда как внутренняя среда, *строма* хлоропласта заряжается отрицательно. При возникновении достаточной разности потенциалов происходит ток протонов через фермент АТФ-синтазу, за счет энергии которого синтезируется АТФ.

В хлоропластах высших растений существует две независимых фотосистемы (группы фотосинтетических белков), отличающиеся спектром поглощения хлорофилла и путями передачи электронов – нециклическим (фотосистема I) и циклическим (фотосистема II).



А



Б

Рис.4. А. Фотосистемы Б. Фотопигменты – антенный комплекс и реакционный.

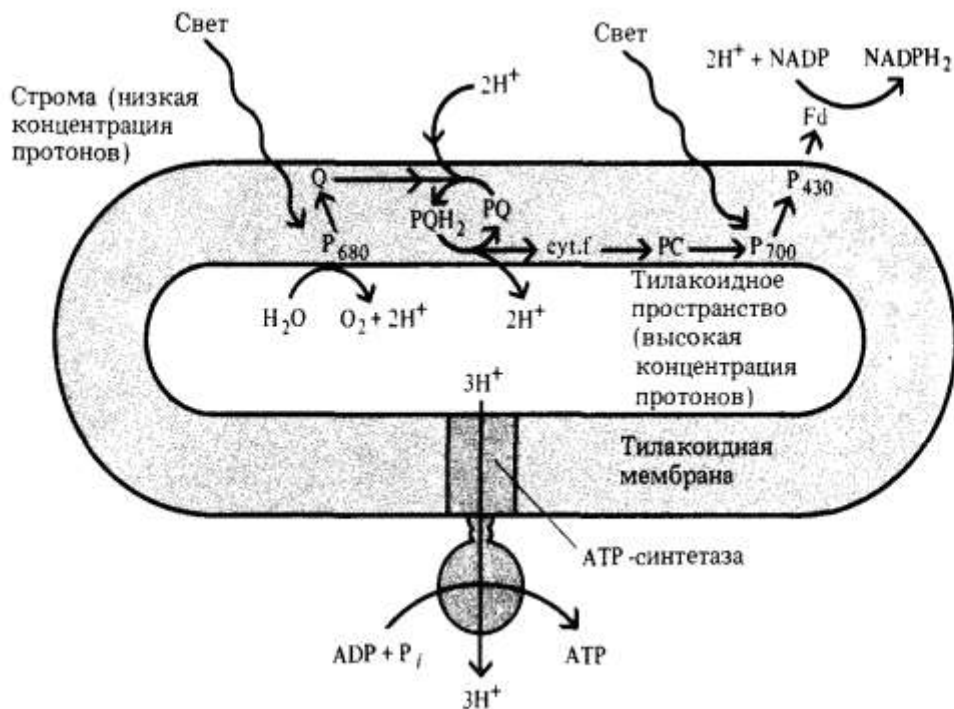


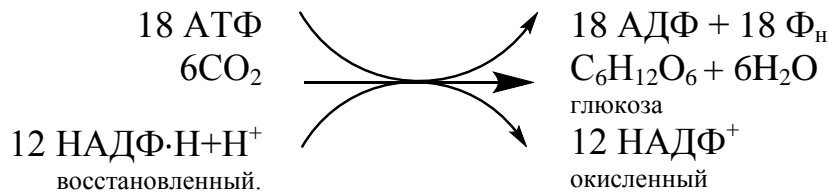
Рис.5. Синтез АТФ

### Темновая фаза фотосинтеза – фиксация углерода

Для реакций второй стадии свет не нужен (о чем говорит ее название – темновая фаза; впрочем, это не означает, что она протекает обязательно в темноте). В этой фазе фотосинтеза происходит восстановление углекислого газа за счет энергии АТФ и накопленного в световой фазе восстановителя НАДФ·Н+Н<sup>+</sup> и включение его в органические вещества, в первую очередь – углеводы. Иными словами, углекислый газ **фиксируется**, переводится из свободного состояния в связанное: углерод включается в молекулы органических веществ. Молекула углекислого газа присоединяется к фосфорилированному пятиуглеродному сахару рибулозо-1,5-бисфосфату (катализирующий эту реакцию фермент, *рибулозобисфосфаткарбоксилаза*, является белком, суммарная масса которого в биосфере превышает массу любого другого белка), образуя две молекулы трёхуглеродной фосфоглицериновой кислоты (ФГК). Молекулы фосфоглицерата изменяются ферментами, восстанавливаются с помощью НАДФ·Н+Н<sup>+</sup> и в конечном итоге превращаются в вещества, из которых может синтезироваться глюкоза (и некоторые другие углеводы). Часть таких молекул действительно используется на синтез глюкозы, а из других образуется тот самый пятиуглеродный рибулозо-1,5-бисфосфат, который необходим для фиксации углекислого газа. Так преобразования углеводов на темновой фазе фотосинтеза являются циклическими, и заканчиваются тем же самым веществом, с которого начались. Совокупность этих реакций называется **циклом Кальвина**, в честь описавшего их американского ученого Мелвина Кальвина. Благодаря цикличности этих процессов в условиях поступления исходных веществ и изъятию конечных продуктов они могут идти неограниченно долго без истощения запаса промежуточных веществ.

Этот процесс получил название С<sub>3</sub>-фотосинтеза (по трёхуглеродным *полупродуктам* фиксации углекислого газа). Суммарно в результате восстановления шести молекул углекислого газа образуется молекула глюкозы. Для синтеза одной молекулы глюкозы необходимо 6 молекул углекислого газа, 18 молекул АТФ и 12 - НАДФ·Н+Н<sup>+</sup>:





### Разновидности фотосинтеза (C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, САМ-фотосинтез)

При высокой температуре у многих растений фотосинтез затрудняется. Как отмечалось выше, фиксацию углекислого газа осуществляет фермент **рибулозобисфосфаткарбоксилаза**, причем углерод фиксируется в виде трехуглеродных соединений. Растения, которые осуществляют такой фотосинтез (его можно считать типичным) называют C<sub>3</sub>-растениями. Однако упомянутый фермент точнее называть *рибулозобисфосфаткарбоксилаза/оксигеназа*. Дело в том, что кроме связывания своего субстрата (рибулозо-1,5-бисфосфата) с углекислотой (*карбоксилирования*), этот фермент может проводить реакцию субстрата и с кислородом (окислять – *оксигенировать* его). С повышением температуры сродство фермента к кислороду повышается. Кислород окисляет пятиуглеродный рибулозо-1,5-бисфосфат и вместо двух C<sub>3</sub>-молекул ФГК получается только одна, и двухатомная фосфогликолевая кислота, нуждающаяся в энергозатратной утилизации. Этот процесс (**фотодыхание**) в условиях высокой температуры (выше 25 °С) снижает эффективность фотосинтеза C<sub>3</sub>-растений почти вдвое.

Почему столь важный фермент имеет столь серьезный недостаток? Вероятно, причина в том, что фотосинтез является очень древним эволюционным «изобретением», возникшим тогда, когда свободного кислорода в атмосфере еще не было. Когда фотодыхание стало достаточно вероятным процессом, существенное изменение структуры рибулозо-1,5-бисфосфата стало невозможным. Как исправить описанный недостаток самого распространенного в биосфере белка? Растения используют два решения этой проблемы, которые можно назвать разобщением фиксации углекислого газа и ее включения в цикл Кальвина. Это разобщение может осуществляться в пространстве (у C<sub>4</sub>-растений растений) или во времени (у растений с САМ-фотосинтезом). Рассмотрим эти приспособления подробнее.

Многие из растений жаркого климата фиксируют углекислоту в одних клетках (в клетках мякоти листа, *мезофилла* в виде четырехуглеродных соединений – оксалоацетата, превращаемого затем в яблочную кислоту, малат; используемый для фиксации углекислого газа эволюционно «молодой» фермент *фосфоенолпируваткарбоксилаза* не имеет сродства к кислороду), а включают в цикл Кальвина в других (клетки обкладки проводящего пучка; в них малат распадается с выделением CO<sub>2</sub>, создавая высокую концентрацию последнего). Это C<sub>4</sub>-растения (кукуруза, сахарный тростник, сорго и др.). При высокой температуре фотосинтез C<sub>4</sub>-растений эффективнее, чем у C<sub>3</sub>-растений (пшеницы, ржи и других распространенных культур).

Однако разобщая фиксацию углекислого газа и цикл Кальвина пространственно, C<sub>4</sub>-растения решают только одну проблему, связанную с высокой температурой. Но C<sub>4</sub>-растения (как и C<sub>3</sub>-) в условиях высокой температуры страдают от избыточной потери воды. С повышением температуры усиливается способность воды к испарению, в том числе и из тканей листьев. Листья высших растений контролируют свой газообмен при помощи устьиц. Чтобы пропустить внутрь листа углекислый газ, устьица нужно открыть; испарение воды является неизбежной расплатой за это. Чтобы не терять воду при фиксации углекислоты, нужно делать это в условиях прохлады, например, ночью. Но ночью невозможна световая фаза фотосинтеза. Решение этой проблемы нашли растения семейства Толстянковых (*Crassulaceae* – каланхое, бриофиллюма, очитка). Они фиксируют

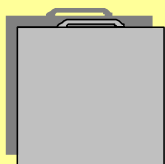
углекислый газ ночью, в виде тех же соединений, что и  $C_4$ -растения — оксалоацетата, который превращается в малат. Для запасания малата у таких растений служат особые ткани. Днём, на ярком свете, эти растения закрывают устьица и осуществляют фотосинтез, наработывая ночной запас «сырья» для включения в цикл Кальвина (и темновая фаза фотосинтеза протекает действительно в темноте!). Такой тип фотосинтеза называется *фотосинтезом по типу толстянковых* или САМ-фотосинтезом (от *англ.-лат. Crassulaceae Acid Metabolism*). Он характерен для многих растений засушливых и жарких местообитаний, причем не только толстянковых, но и кактусов, молочаев и представителей других семейств.

Раз в условиях жары  $C_4$ - и САМ-фотосинтез эффективнее  $C_3$ -фотосинтеза, почему столь многие растения принадлежат к «неэффективному»  $C_3$ -типу? За преодоление связанных с жарой проблем приходится «расплачиваться» усложнением структуры листьев, развитием дополнительных тканей для фиксации углекислоты и накопления промежуточных продуктов. В тех случаях, когда выигрыш от увеличения эффективности фотосинтеза оправдывает эти затраты, преимущества получают  $C_4$ - и САМ-растения, а во всех прочих —  $C_3$ -растения.



**Рис. 6.** Толстянковые

*Die Pflanzenwelt* by Otto Warburg. Leipzig & Wien, Bibliographisches Institut, 1921, new impression, volume 2, plate 7. Chromolithograph with outlines and captions of figures on flimsie (250 x 170 mm).



### Это важно

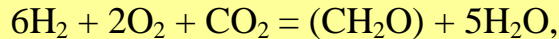
#### Хемосинтез

«Врезка»

**Хемосинтез** – это тип питания, свойственный некоторым бактериям, способным усваивать углекислый газ как источник углерода за счёт энергии окисления неорганических соединений. Открытие хемосинтеза в 1887 г. (С.Н. Виноградский) существенно изменило представления об основных типах обмена веществ у живых

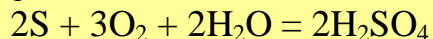
организмов. В отличие от фотосинтеза, при хемосинтезе используется не энергия света, а энергия, получаемая при окислительно-восстановительных реакциях. Бактерии, способные к хемосинтезу, систематизируются в зависимости от используемого неорганического субстрата. Среди них встречаются микроорганизмы, окисляющие водород, окись углерода, восстановленные соединения серы, железа, аммиак, нитриты, сурьму. Таким образом, бактерии играют важную роль в биогеохимических циклах серы, азота и железа, в т.ч. геологическую: например, железобактерии принимают участие в образовании железомарганцевых конкреций.

**Водородные бактерии** — наиболее многочисленная и разнообразная группа хемосинтезирующих организмов; осуществляют реакцию:

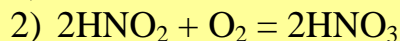
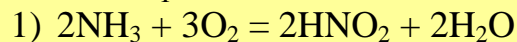


где  $(\text{CH}_2\text{O})$  — условное обозначение образующихся органических веществ. По сравнению с другими автотрофными микроорганизмами, водородные бактерии характеризуются высокой скоростью роста и могут давать большую биомассу.

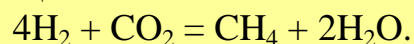
**Тионовые бактерии** окисляют сероводород, тиосульфат, молекулярную серу до серной кислоты. Некоторые из них (*Thiobacillus ferrooxidans*) окисляют сульфидные минералы, а также железо.



**Нитрифицирующие бактерии** окисляют аммиак до нитрита (1-я стадия нитрификации, *Nitrosomonas*) и нитрит в нитрат (2-я стадия, *Nitrobacter*); это аэробные бактерии. В анаэробных условиях хемосинтез наблюдается у некоторых денитрифицирующих бактерий, окисляющих водород или серу, но часто они нуждаются в органическом веществе для биосинтеза (литогетеротрофия).



Описан хемосинтез у некоторых строго анаэробных **метанообразующих бактерий** по реакции:



Биосинтез органических соединений при хемосинтезе осуществляется в результате фиксации углекислого газа (цикл Калвина) точно так же, как при фотосинтезе. В связи с большим расходом энергии хемосинтезирующие бактерии, за исключением водородных, образуют мало биомассы, но окисляют большое количество неорганических веществ. В биосфере хемосинтезирующие бактерии контролируют окислительные участки круговорота важнейших элементов и поэтому представляют исключительное значение для биогеохимии.

В 1972 году Джеймс Лавлок и Линн Маргулис предложили так называемую «гипотезу Геи» - представление о Земле, как о сверхорганизме, который поддерживает свой гомеостаз. Важнейшие параметры земной биосферы (состав атмосферы, ионный состав океана, климат) поддерживаются живыми организмами в состоянии, весьма далеком от равновесия. На протяжении длительного времени земная биосфера поддерживает на поверхности планеты благоприятные для себя условия. И значительная роль в этом принадлежит микроорганизмам т.н. «коричневого пояса», в том числе хемосинтезирующим бактериям.

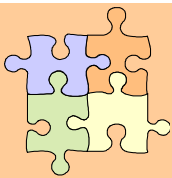
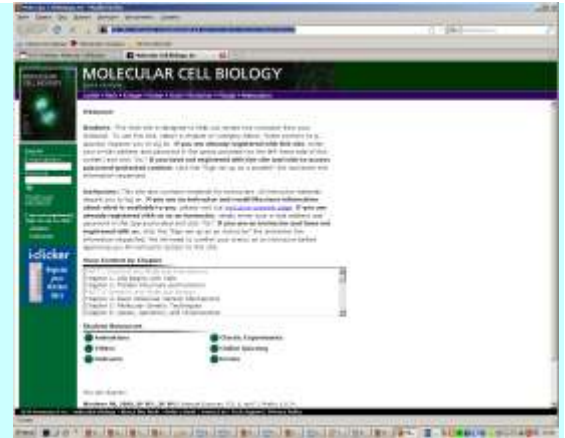


[www](http://www)

## Molecular Cell Biology

<http://bcs.whfreeman.com/lodish6e/default.asp?s=&n=&i=&v=&o=&ns=0&uid=0&rau=0>

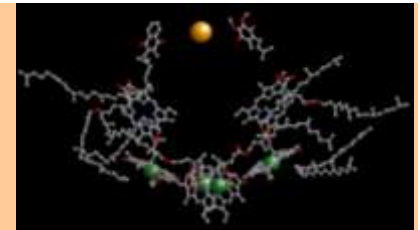
Электронный учебник по молекулярной биологии. Содержит много видеоматериалов и анимации, в частности анимационный фильм на тему «Фотосинтез»



**Задание**

## Задание для проектной/групповой работы Реакционный центр фотосинтеза

В модели реакционного центра фотосинтетического комплекса (<http://www.nyu.edu/pages/mathmol/library/photo/cytochrome.pdb>) показаны молекулы хлорофилла (с ионами магния), ион железа, феофитин и убихинон.



**Покажите, как осуществляется транспорт электронов в этих молекулах в ходе превращения световой энергии в химическую.**

См. также PDB ID Is51 – реакционный центр фотосистемы I.

## Вопросы к параграфу:

I.1. К. А. Тимирязев называл органические вещества, созданные растениями, концентратами солнечной энергии (или, попросту говоря, солнечными консервами). Почему?

I.2. Чем хемосинтез отличается от фотосинтеза? Чем он выгоднее и в каких условиях?

I.3. Как вы сформулировали бы ответы на вопросы «Что?», «Где?» и «Как?» в определениях терминов: тилакоид, фотофосфорилирование, хемосинтез.

II.1. Почему выращивание сахарного тростника экономически выгоднее, чем выращивание сахарной свеклы? Почему в Украине выращивается свекла, а не тростник?

II.2. Самый распространенный фермент – рибулозо-бисфосфаткарбоксилаза, а самое распространенное органическое вещество – целлюлоза. Связаны ли эти два факта между собой? Как?

III.1. Какие из 3 уравнений окисления (восстановления) «работают» в световой фазе фотосинтеза? В каких процессах? В темновой фазе? В реакциях хемосинтеза?

IV.1. Прочитайте первую строфу стихотворения Николая Гумилева «На Венере»:

На далекой звезде Венере  
Солнце пламенной и золотистой.  
На Венере, ах, на Венере  
У растений синие листья...

Постарайтесь изобразить в виде диаграммы (аналогично заданию выше) спектр поглощения "венерианского" хлорофилла. Правильна ли гипотеза поэта о том, что отраженный свет венерианского хлорофилла может/должен быть синим, а не зеленым?