

# Фотосинтез: как свет превращается в химическую энергию

Свет становится запасённой энергией органических веществ.



# Почему фотосинтез изучают в 10 классе

Фотосинтез показывает, как устроены превращения энергии, работа ферментов и связь строения клетки с её функцией. Он объясняет питание растений, дыхание организмов и круговорот углерода в природе.



# Общее уравнение фотосинтеза и его смысл

## 1. Суммарная запись

Уравнение  $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{свет} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$  показывает общий результат множества реакций, а не один химический акт.

## 2. Две взаимосвязанные фазы

Световая стадия образует АТФ и НАДФН, а затем эти молекулы используются в цикле Кальвина для построения углеводов из углекислого газа.

## 3. Откуда берётся кислород

Молекулярный кислород появляется при расщеплении воды, поэтому именно вода служит источником  $\text{O}_2$ , а не углекислый газ из воздуха.

## 4. Энергетический смысл

Фотосинтез переводит энергию света в химическую форму, доступную для дальнейшего использования клеткой, тканью и всей экосистемой.



# Хлоропласт как место фотосинтеза

## Двойная оболочка

Хлоропласт ограничен двумя мембранами, которые отделяют его внутреннюю среду от цитоплазмы и обеспечивают упорядоченную организацию всех этапов фотосинтеза.

## Тилакоидная система

Внутри находятся тилакоиды, собранные в граны; именно их мембраны содержат пигменты и белки, необходимые для захвата света и переноса электронов.

## Роль стромы

В строме расположены ферменты, которые осуществляют реакции фиксации углекислого газа и последующий синтез углеводов.

## Связь строения и функции

Разделение хлоропласта на мембранные и жидкие зоны делает возможным точное разделение световых процессов и ферментативных реакций.

# Пигменты фотосинтеза и их функции

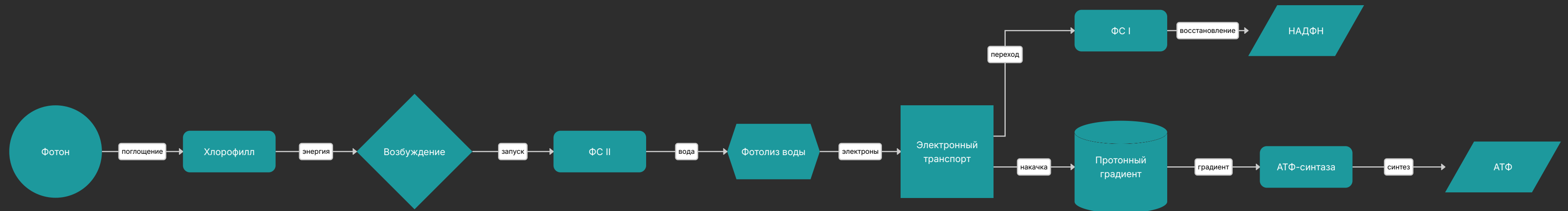
Таблица показывает, какие пигменты поглощают свет и какую роль они выполняют в фотосинтетическом аппарате.

Основной вклад в запуск реакции вносит хлорофилл а, а дополнительные пигменты расширяют спектр поглощения и защищают клетки от избытка света.

| Пигмент     | Цвет              | Функция        |
|-------------|-------------------|----------------|
| Хлорофилл а | зелёный           | Основной       |
| Хлорофилл b | желтовато-зелёный | Дополнительный |
| Каротиноиды | жёлто-оранжевые   | Защитный       |

# Световая фаза: от фотона к АТФ и НАДФН

Последовательность реакций световой стадии в мембранах тилакоидов.



# Фотолиз воды и образование кислорода



## Источник электронов

Фотосистема II использует энергию света, чтобы расщепить молекулу воды и восполнить электроны, необходимые для дальнейшего переноса по цепи.



## Продукты реакции

При фотолизе образуются электроны, протоны и молекулярный кислород; последние два компонента по-разному используются в хлоропласте и за его пределами.



## Значение кислорода

Выделяемый кислород — побочный продукт световой стадии, но именно он поддерживает атмосферу Земли и обеспечивает дыхание большинства организмов.

# Фотосистема II и фотосистема I: различия и связь

Обе фотосистемы встроены в мембраны тилакоидов, но решают разные задачи. Их последовательная работа обеспечивает непрерывное движение электронов и образование восстановительной силы.

Фотосистема II инициирует процесс, а фотосистема I завершает его; вместе они превращают энергию света в химический потенциал.

Схема по учебному материалу о световой фазе фотосинтеза

# 2

**фотосистемы действуют  
последовательно,  
создавая поток  
электронов.**

Именно их согласованная работа позволяет накопить протонный градиент и синтезировать АТФ, которая затем используется в цикле Кальвина.

*Учебник биологии по теме фотосинтеза*

# Цикл Кальвина: фиксация углекислого газа

1.

## Фиксация CO<sub>2</sub>

Фермент RuBisCO присоединяет углекислый газ к рибулозо-1,5-бисфосфату, запускает цепь превращений и образует первые органические соединения цикла.

2.

## Восстановление

Промежуточные молекулы восстанавливаются за счёт АТФ и НАДФН, полученных на световой стадии, поэтому процесс зависит от её результатов.

3.

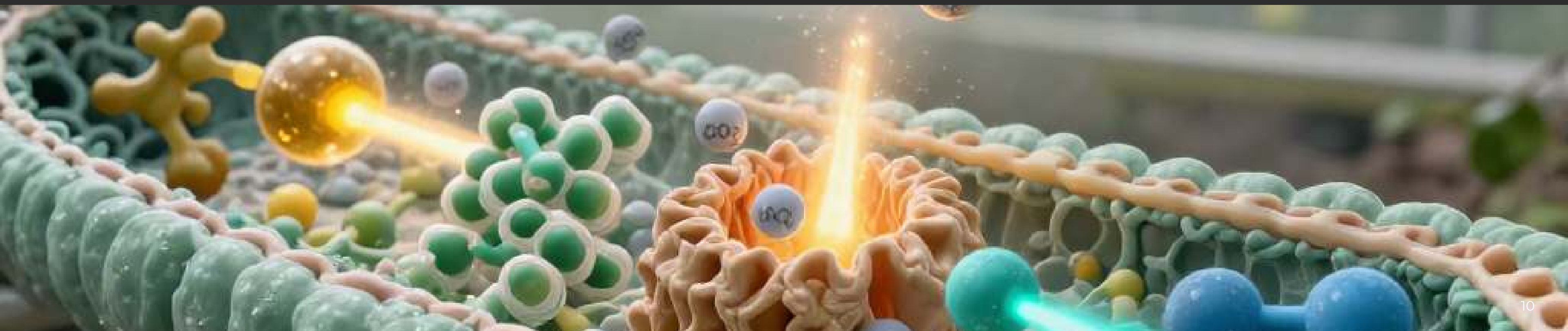
## Образование триоз

Часть продуктов цикла превращается в триозофосфаты — исходный материал для синтеза глюкозы, сахарозы, крахмала и других углеводов.

4.

## Регенерация акцептора

Оставшаяся часть молекул идёт на восстановление рибулозо-1,5-бисфосфата, чтобы цикл мог продолжаться и снова связывать CO<sub>2</sub>.



# Сравнение световой и темновой стадий

| Признак           | Световая                   | Темновая                     |
|-------------------|----------------------------|------------------------------|
| Место             | тилакоиды                  | строма                       |
| Исходные вещества | свет, H <sub>2</sub> O     | CO <sub>2</sub> , АТФ, НАДФН |
| Продукты          | АТФ, НАДФН, O <sub>2</sub> | углеводы                     |

Стадии фотосинтеза различаются по месту, исходным веществам и продуктам, но работают как единый процесс: одна обеспечивает энергией и восстановителем, другая — синтезом углеводов.

Световая стадия создает энергетический ресурс, а темновая использует его для фиксации углерода; разделение функций повышает эффективность процесса.

Школьный курс биологии: фотосинтез в хлоропластах.

# Факторы, ограничивающие скорость фотосинтеза

## 1. Освещенность

При слабом освещении фотосистемы поглощают меньше квантов света, поэтому замедляются перенос электронов, образование АТФ и НАДФН. До определенного уровня именно свет остается главным лимитирующим фактором процесса.

## 2. Углекислый газ

Если концентрация  $\text{CO}_2$  низкая, цикл Кальвина идет медленнее, поскольку фермент RuBisCO получает меньше субстрата. В результате даже при хорошем освещении синтез углеводов ограничивается нехваткой углерода.

## 3. Температура

Ферменты фотосинтеза чувствительны к температуре: при охлаждении реакции замедляются, а при перегреве нарушается их работа. Поэтому скорость процесса имеет оптимум и резко падает вне благоприятного диапазона.

## 4. Вода

Недостаток воды приводит к закрытию устьиц, и поступление  $\text{CO}_2$  в лист уменьшается. Одновременно ослабевают фотолиз воды, а это снижает образование электронов и кислорода в световой фазе.

# Рост скорости фотосинтеза при увеличении освещенности

Кривая показывает, что прирост особенно заметен в зоне слабого света, где каждый дополнительный фотон повышает интенсивность реакций.

После точки насыщения свет уже не лимитирует процесс: дальнейший рост почти отсутствует, потому что ограничение переходят к  $\text{CO}_2$ , температуре и ферментам.

Схематическая учебная зависимость, отражающая обобщенную модель светового насыщения фотосинтеза.

# Два типа листьев — две стратегии использования света

## Лист на солнце: максимум мощности

У светолюбивых растений лист обычно плотнее и толще: в нем лучше развита палисадная ткань, а сама пластинка нередко меньше по площади. Такая конструкция помогает эффективно работать при ярком освещении и снижать потери воды.



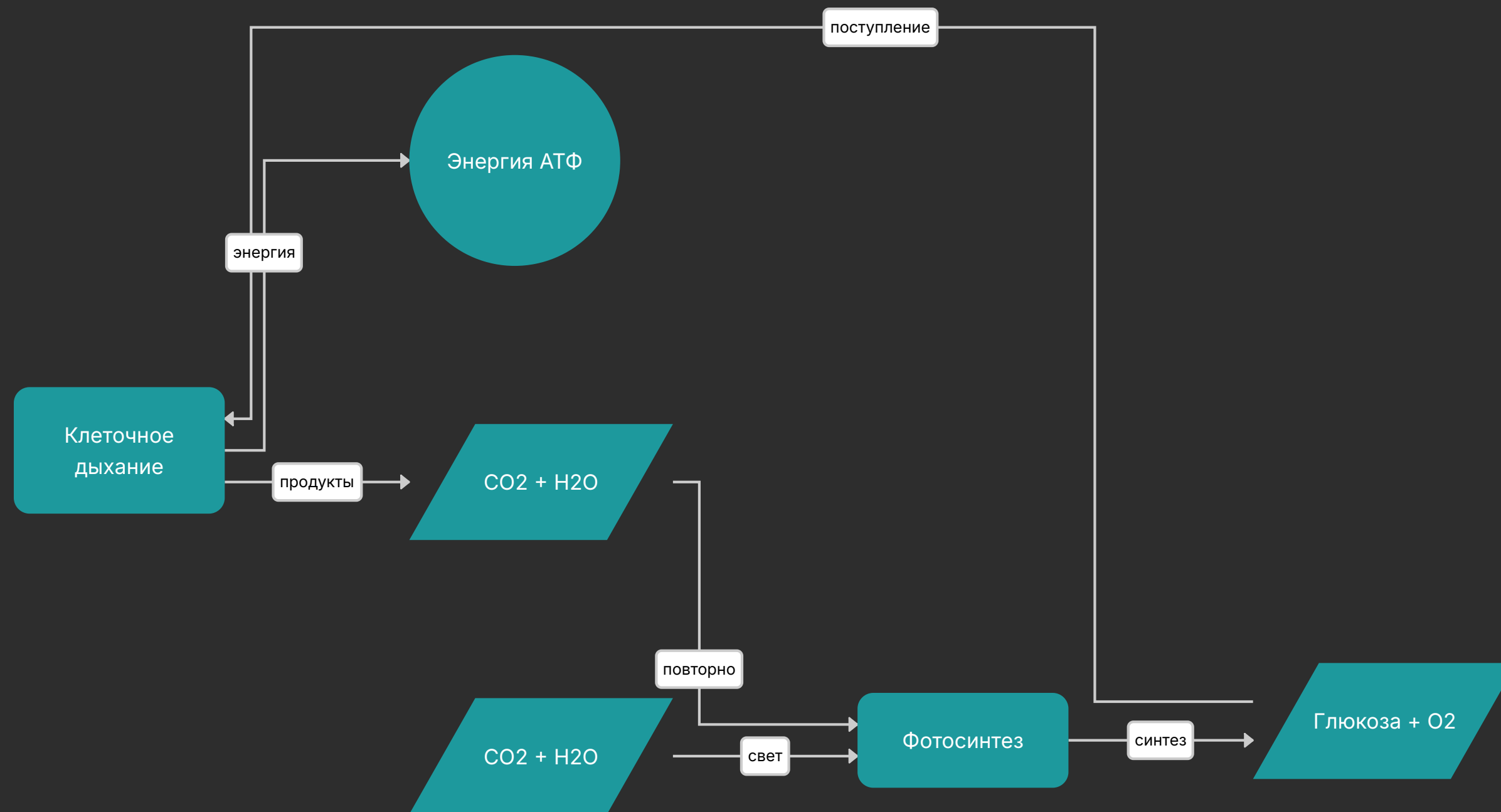
## Лист в тени: экономия и чувствительность

Теневыносливые и тенелюбивые растения строят лист иначе: он чаще тоньше, мягче и содержит больше хлорофилла b. Это повышает способность улавливать рассеянный свет и поддерживать фотосинтез там, где его мало.



# ЕДИНСТВО ФОТОСИНТЕЗА И ДЫХАНИЯ

Схема показывает круговорот веществ и направление потока энергии от Солнца к клеткам и обратно в виде  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .



# Почему фотосинтез важен для экосистем



## Источник биомассы

Фотосинтез создает первичную органическую массу, из которой строятся все последующие звенья пищевых цепей. Без него не возникало бы устойчивого потока вещества и энергии в экосистемах.



## Кислород атмосферы

Выделяемый при фотосинтезе кислород поддерживает дыхание большинства организмов. Именно этот процесс сформировал современный состав атмосферы и сделал возможной аэробную жизнь.



## Круговорот углерода

Растения и фитопланктон связывают CO<sub>2</sub>, переводя углерод из атмосферы в органические соединения. Так фотосинтез регулирует баланс углерода в природе и влияет на климат.



## Стабильность климата

Когда фотосинтез активно идет в лесах и океанах, снижается концентрация углекислого газа, а значит, ослабевает парниковый эффект. Поэтому процесс важен и для долгосрочной устойчивости биосферы.

# Как знание фотосинтеза применяется на практике

Фотосинтез важен не только как школьная тема: его закономерности используют в сельском хозяйстве, лесоводстве, биотехнологиях и экологическом анализе.

Знание механизмов фотосинтеза помогает управлять урожайностью, оценивать состояние экосистем и создавать более устойчивые сорта культур.

| Сфера              | Что учитывают                 | Практический эффект |
|--------------------|-------------------------------|---------------------|
| Сельское хозяйство | свет, вода, питание           | рост урожайности    |
| Лесоводство        | продуктивность, баланс CO2    | оценка экосистем    |
| Биотехнологии      | селекция, стрессоустойчивость | улучшение культур   |

Приложения биологии растений и экологии в сельском хозяйстве и природопользовании.

# Куда уходит энергия света

Диаграмма отражает преобразование энергии: сначала она запасается в химических переносчиках, а затем расходуется на синтез органических молекул.

Основная часть энергии сохраняется в химических связях; потери неизбежны, но они не отменяют высокой эффективности фотосинтетического преобразования.

Схематическая модель распределения энергии в фотосинтезе по учебным представлениям.

# Что часто понимают неверно

## Фотосинтез не только у растений

Этот процесс характерен не только для деревьев и трав. Его осуществляют также водоросли и цианобактерии, поэтому фотосинтез широко распространен среди организмов, использующих свет как источник энергии.

## Кислород образуется из воды

Молекулярный кислород, выделяющийся при фотосинтезе, возникает в результате фотолиза воды. Углекислый газ служит источником углерода для органических веществ, но не источником  $O_2$ .

## Темновая стадия не требует темноты

Цикл Кальвина не зависит от света напрямую, но использует АТФ и НАДФН, созданные в световой фазе. Поэтому он может идти и при освещении, если необходимые молекулы доступны.

# Фотосинтез — фундамент биосферы

Фотосинтез связывает энергию Солнца с химией жизни: он образует органические вещества, поддерживает кислородную атмосферу и делает возможными пищевые цепи, дыхание и устойчивое существование биосферы.

