

Обзор: фотосинтез и хемосинтез — значение для жизни

Фотосинтез и хемосинтез — ключевые процессы преобразования энергии и материи в биосфере.



Фотосинтез и хемосинтез: основы и значение



Фотосинтез — процесс синтеза органических веществ с использованием света. Хемосинтез — получение органики через окисление неорганических веществ в бактериях. Оба процесса лежат в основе жизненных циклов и экосистем.

Основные этапы открытия фотосинтеза

XVII век — Ян ван Гельмонт

Выявил роль воды в питании растений, положив начало пониманию фотосинтеза.

XIX век — Сенебье и де Соссюр

Обоснована фиксация углекислого газа растениями в процессе создания органики.

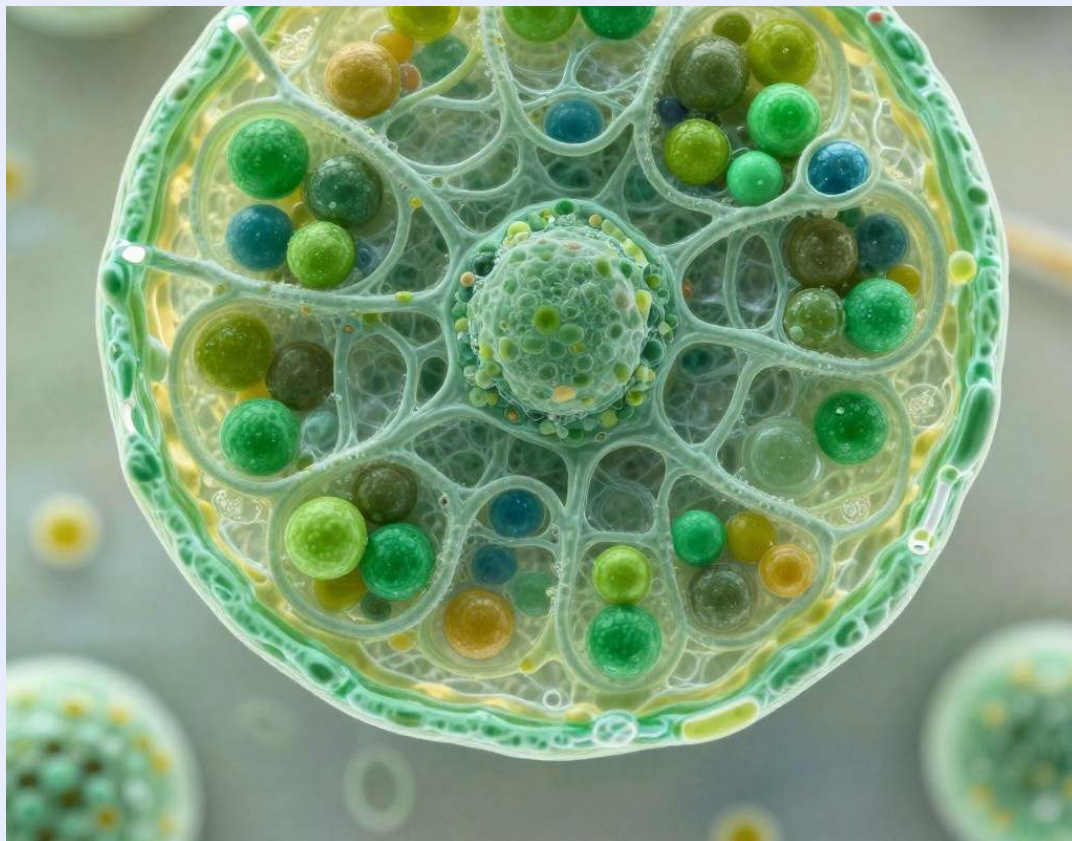
XVIII век — Пристли и Ингенхауз

Доказали выделение кислорода растениями при освещении, связанное с фотосинтезом.

XX век — Открытие фотосистем и хлоропластов

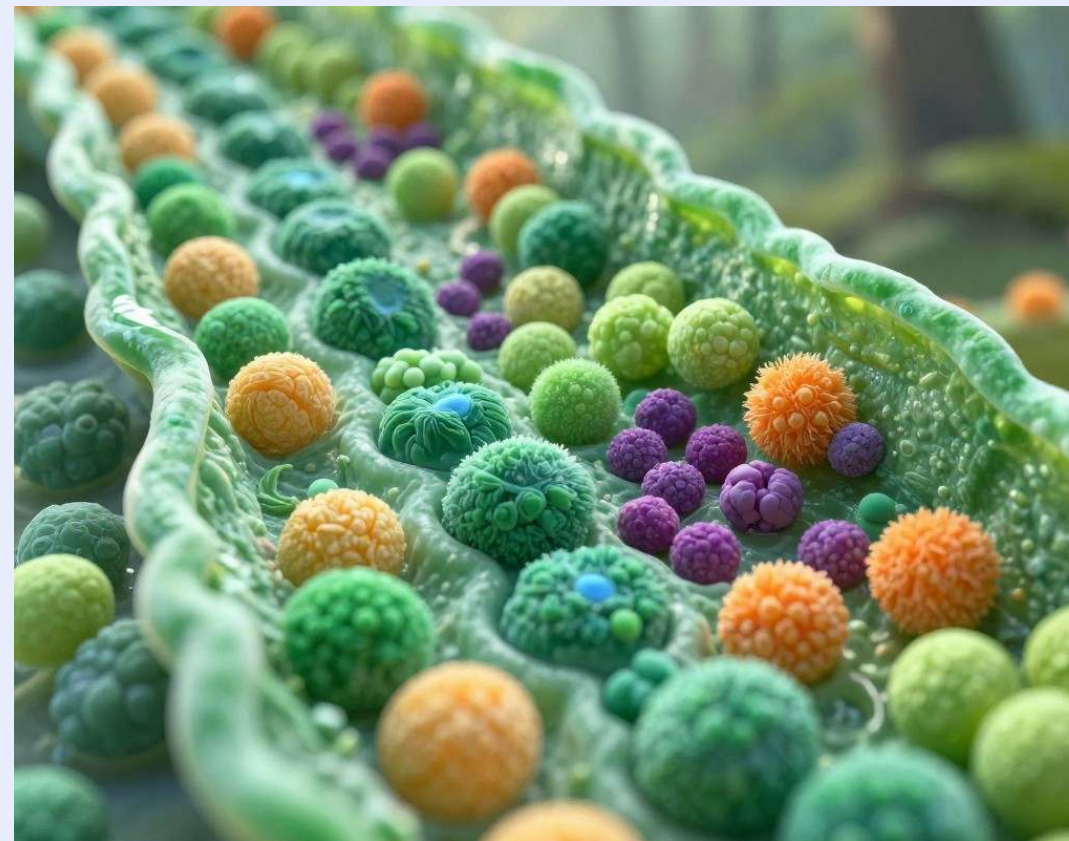
Выявлена структура фотосинтетического аппарата и механизмы переноса электронов.

Структура фотосинтетического аппарата у организмов



Хлоропласты у растений и водорослей

Фотосинтетические органеллы с двойной мембраной, содержащие пигменты и обеспечивающие фиксацию света и углекислого газа.



Пигменты и их роль

Хлорофилл а и b, а также каротиноиды поглощают свет, а бактериохлорофиллы работают у фотосинтетических бактерий.

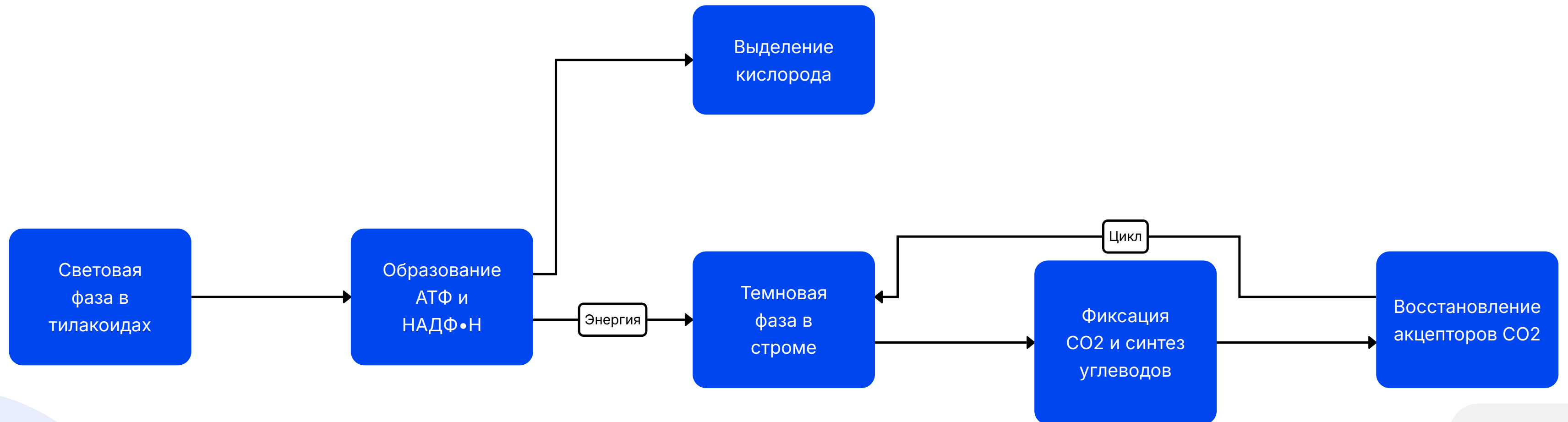


Внутренняя структура хлоропластов

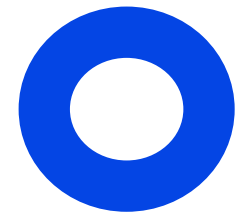
Включает тилакоиды, строма и хранящиеся гранулы крахмала, что обеспечивает порядок фотосинтетических реакций.

Фазы фотосинтеза: световая и темновая

Основные этапы и взаимосвязь в хлоропласте



Уравнение фотосинтеза и его энергетика



Фотосинтез: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{свет} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Это фундаментальный процесс преобразования неорганики в органику.



Энергия света преобразуется в химическую связь глюкозы, служащую источником топлива для жизнедеятельности.

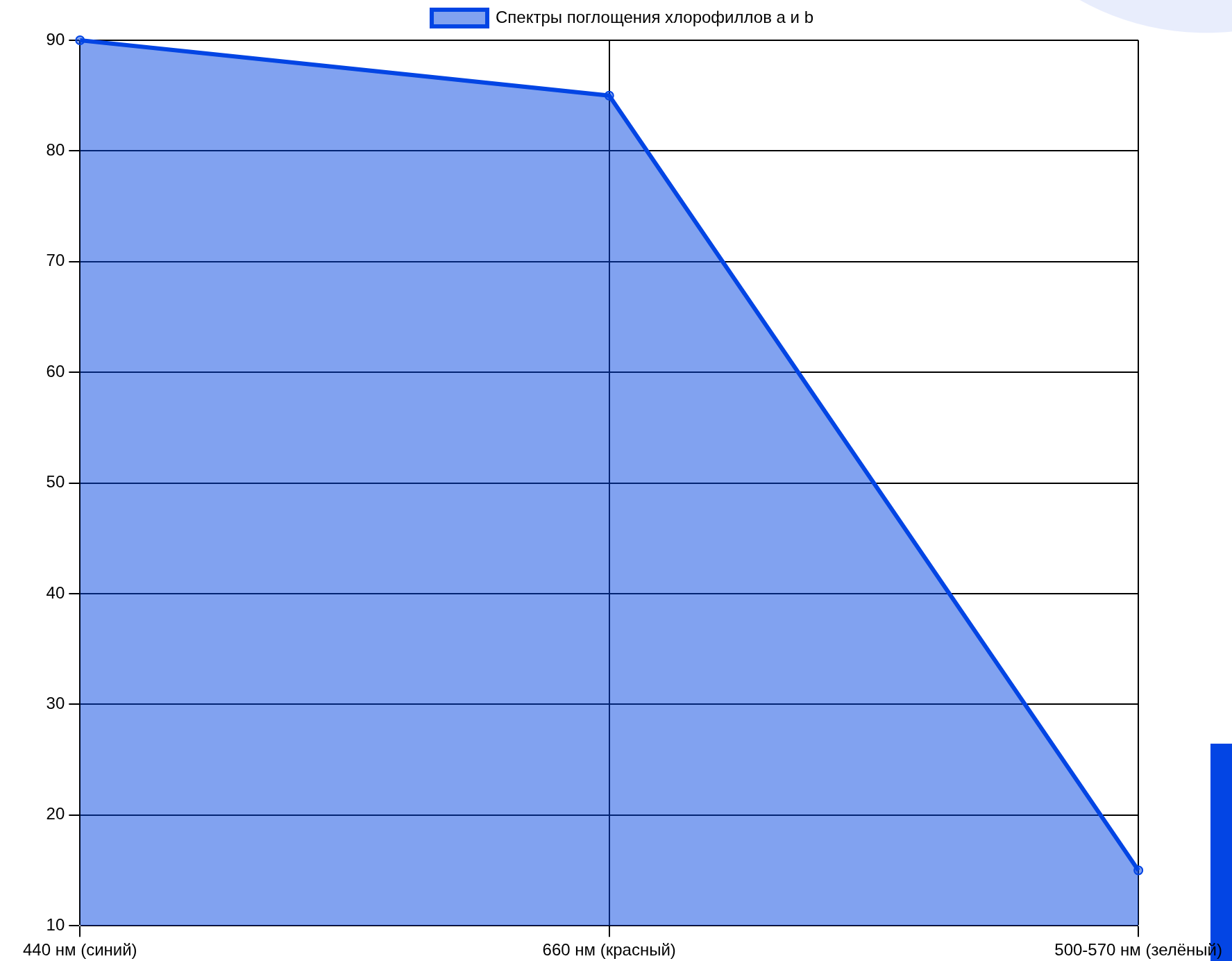


КПД фотосинтеза составляет примерно 1-5 %, большая часть энергии теряется в виде тепла или отражается.

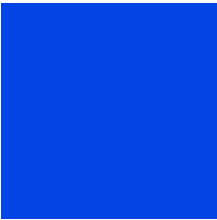
Поглощение света пигментами хлорофилла

Хлорофиллы эффективно поглощают синий и красный свет, отражая зелёные длины волн, что определяет цвет листьев.

Максимальное поглощение в ключевых спектральных зонах поддерживает высокую эффективность фотосинтеза.



Данные спектрофотометрических исследований, 2023



Влияние фотосинтеза на глобальные циклы

01

Фотосинтез поглощает CO_2 из атмосферы, уменьшая парниковый эффект и способствуя климатической стабилизации.

02

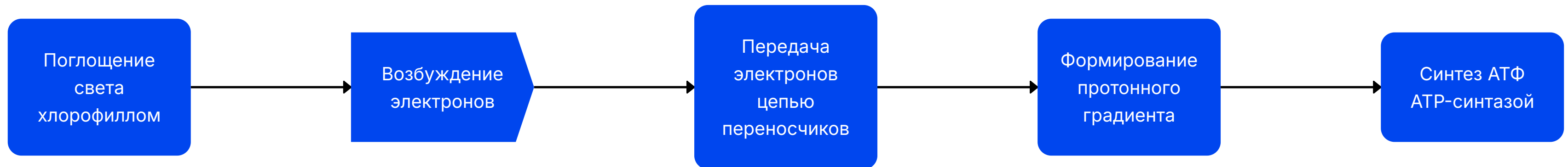
Процесс обеспечивает выделение кислорода, который поддерживает дыхание аэробных организмов.

03

Транспирация растений регулирует циркуляцию воды, влияя на влажность и атмосферные процессы.

Световые процессы: превращение энергии в фотосинтезе

Этапы энергетического каскада и синтеза АТФ



Подробности световой фазы фотосинтеза

1.

Фотосистема II инициирует фотолиз воды с выделением кислорода и поступлением электронов в цепь переносчиков.

2.

Возбуждённые фотоны обеспечивают перенос электронов через цитохромы и ферредоксин, создавая протонный градиент.

3.

Протонный градиент движет АТФ-синтазу, синтезируя АТФ — основной энергетический носитель.

4.

Фотосистема I завершает поток электронов, восстанавливая НАДФ до НАДФ•Н для темновой фазы.



Темновая (синтетическая) фаза фотосинтеза

В строме хлоропласта происходит фиксация CO_2 с помощью фермента рубиско, где углекислый газ соединяется с рибулозо-1,5-бисфосфатом в начале цикла Кальвина.

Цикл Кальвина включает последовательные этапы карбоксилирования, восстановления и регенерации, использующие энергию АТФ и восстановительные эквиваленты НАДФ•Н для построения углеводных молекул.

В результате образуются шестиуглеродные сахара, которые являются исходным материалом для синтеза глюкозы и других органических веществ, с одновременным восстановлением исходных соединений в цикле.

Глобальные масштабы фотосинтеза и его вклад

Огромный глобальный синтез органики

Ежегодно фотосинтезирует около 170 миллиардов тонн органического вещества по сухому весу. Главная доля этого приходится на растения и водоросли, что подчеркивает их ключевую роль в формировании биомассы.



Обеспечение кислородом атмосферы

До 60% кислорода в атмосфере Земли возникло благодаря фотосинтезу. Этот процесс не только поддерживает аэробную жизнь, но и изменяет химический состав воздуха в масштабе планеты.

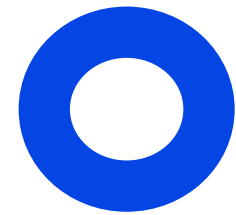


Распределение продуктивности на Земле

Спутниковые данные демонстрируют распределение интенсивности фотосинтеза по регионам, отражая влияние климата и экосистем на биопродуктивность и поглощение CO₂.



Экологическое и эволюционное значение фотосинтеза



Фотосинтез лежит в основе пищевых цепей, обеспечивая первоначальный синтез органических веществ и энергии для всех последующих трофических уровней.

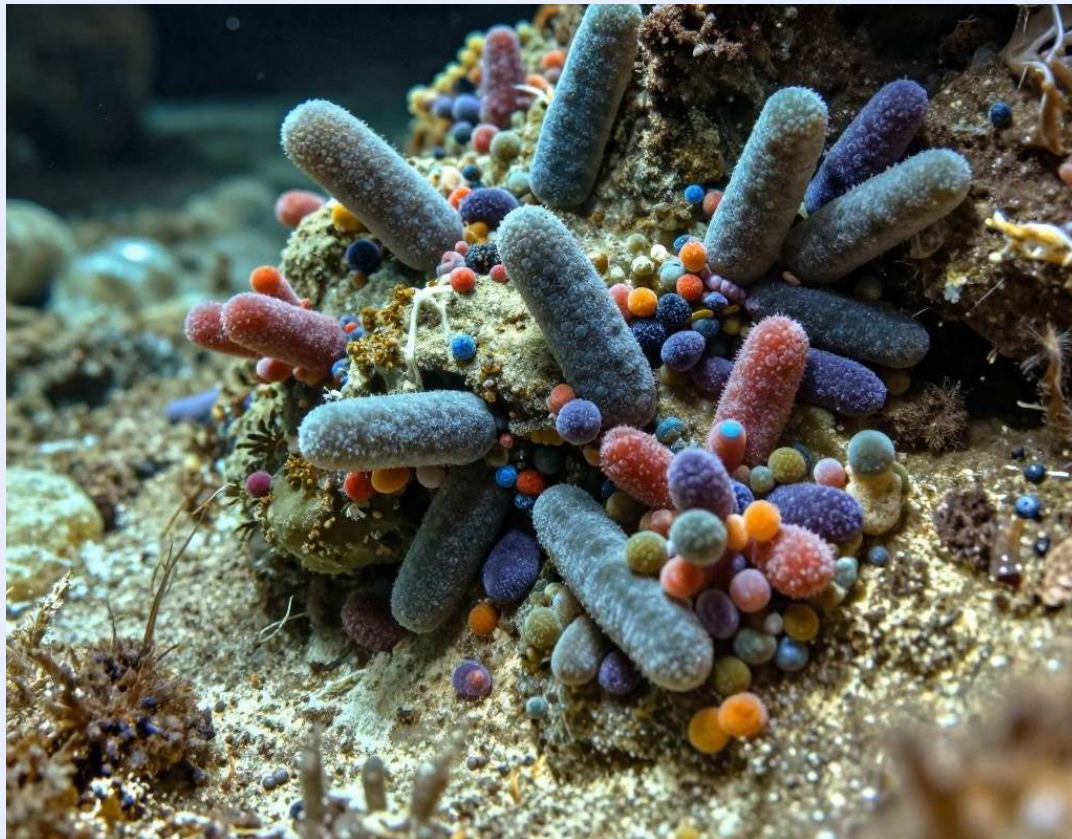


Возникновение фотосинтеза стимулировало эволюцию аэробных организмов и развитие сложных экологических систем, сформировав биологическое разнообразие.



Процесс поддерживает стабильный уровень кислорода в атмосфере и снижает концентрацию парникового газообразного CO_2 , способствуя климатической устойчивости.

Хемосинтез: определение и типы организмов



Энергия из окисления неорганики

Хемосинтез использует энергию химических реакций, а не свет, осуществляя синтез органики за счёт окисления соединений, таких как аммиак, сероводород и железо. Это уникальный способ выживания бактерий.



Обитатели экстремальных условий

Хемосинтетические бактерии встречаются в гидротермальных источниках, глубоководных экосистемах и почвенных слоях, где свет либо отсутствует, либо недостаточен для фотосинтеза.



Разнообразие бактерий

К основным группам хемосинтетиков относятся нитрифицирующие бактерии, серобактерии и железобактерии, каждая из которых использует специфические химические соединения для получения энергии.



Примеры организмов и реакции хемосинтеза

Различные группы хемосинтетиков используют специфические субстраты, приводя к образованию органики и различных продуктов окисления. Это позволяет функционировать экосистемам без солнечного света.

Хемосинтез разнообразен по субстратам и обеспечивает энергию для жизни в средах без солнечного освещения.

Тип бактерии	Исходный субстрат	Конечный продукт	Энергетическая эффективность
Nitrosomonas	NH_3	NO_2^-	Умеренная
Beggiatoa	H_2S	S	Высокая
Gallionella	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Средняя
Hydrogenobacter	H_2	H_2O	Высокая

Экосистемы, основанные на хемосинтезе: гидротермальные источники

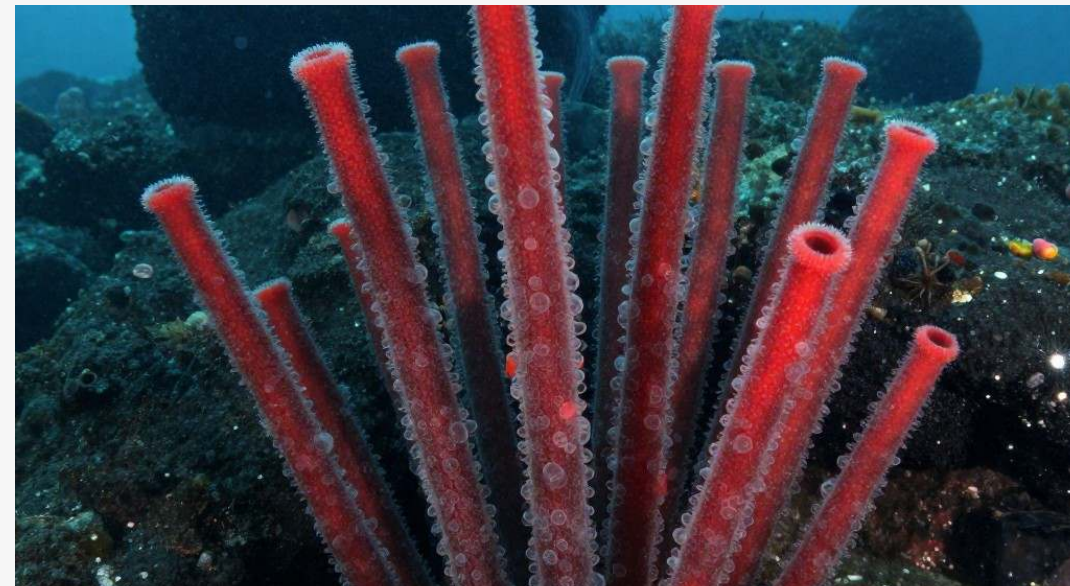
Жизнь у «чёрных курильщиков»

Гидротермальные источники на глубине более 2000 метров образуют уникальные сообщества, где жизнь поддерживается хемосинтезом, а не светом. Это исключительные экосистемы с жёлтыми и красными минералами.



Симбиоз термальных червей и бактерий

Крупные колонии трубчатых червей *Riftia pachyptila* живут благодаря симбиозу с хемосинтетическими бактериями, которые добывают энергию из сероводорода, обеспечивая хозяина питательными веществами.



Биологическое разнообразие глубоководных экосистем

Вокруг гидротермальных источников обнаруживается богатое разнообразие организмов — моллюски *Bathymodiolus*, ракообразные и другие, формирующие сложные пищевые цепи, основанные на хемосинтезе.



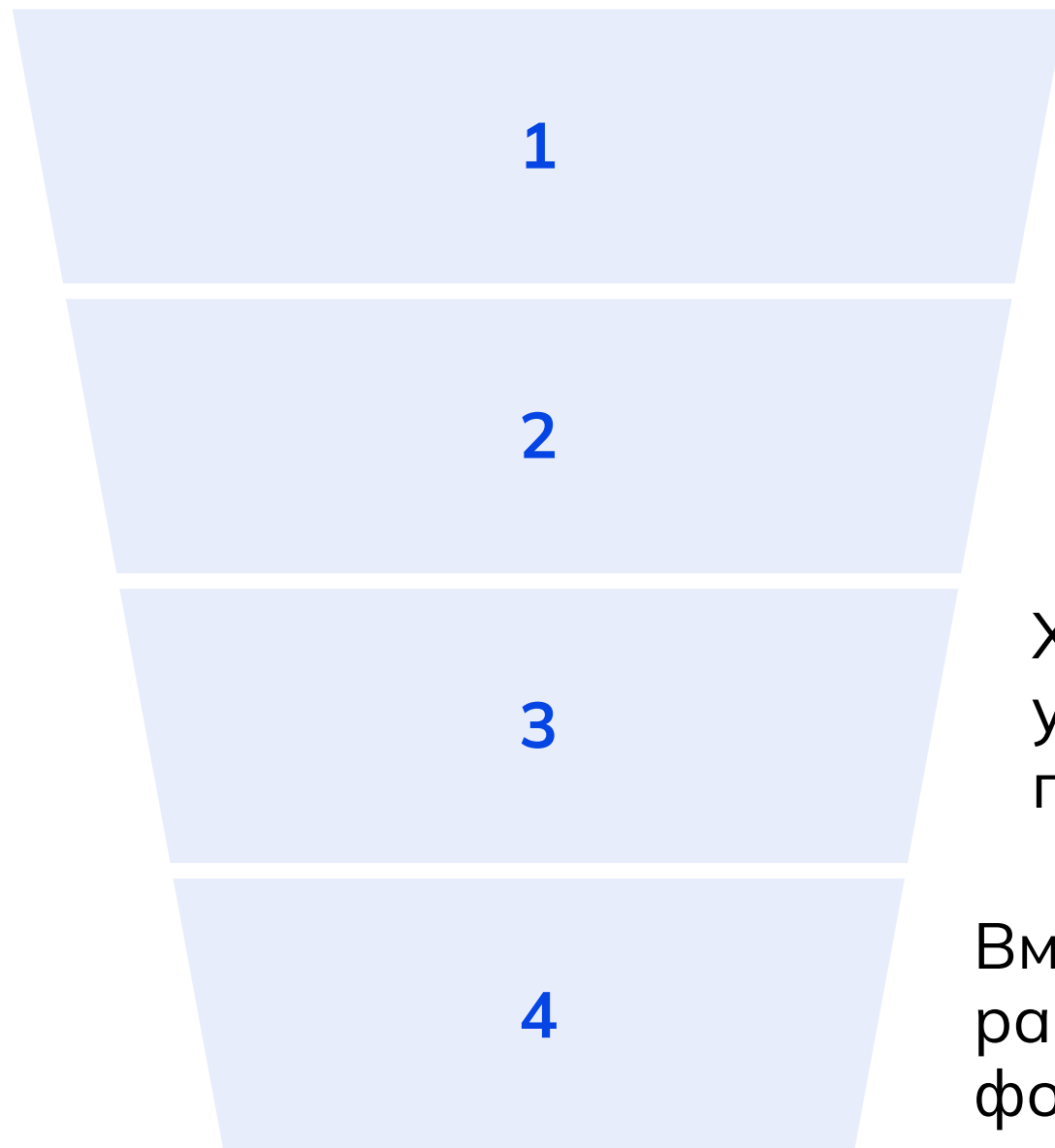
Сравнительный анализ фотосинтеза и хемосинтеза

Критерий	Фотосинтез	Хемосинтез
Источник энергии	Солнечный свет	Химическая энергия окисления
Тип организмов	Растения, водоросли, цианобактерии	Специализированные бактерии
Распространённость	Повсеместно	Специфические ниши
Вклад в биосферу	Основная биомасса и кислород	Поддержание жизни в экстремальных условиях

Таблица демонстрирует принципиальные различия и сходства двух способов синтеза органических веществ в биосфере, раскрывая их экологическую и биохимическую роль.

Оба процесса фундаментальны для биосферы, но отличаются механизмами и экологическими функциями.

Роль хемосинтеза и фотосинтеза в биосфере

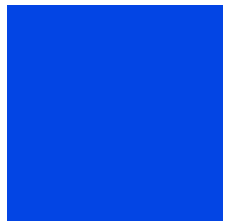


Фотосинтез преобразует световую энергию в органические вещества, поддерживая биомассу и регулируя атмосферный состав, что важно для большинства наземных и водных экосистем.

Он снижает концентрацию углекислого газа и повышает уровень кислорода, обеспечивая химическую среду, необходимую для аэробных форм жизни.

Хемосинтез обеспечивает энергетическую основу в условиях, где свет недоступен, поддерживая экосистемы глубоководных и экстремальных местообитаний.

Вместе оба процесса укрепляют устойчивость биосферы, расширяя границы жизни и поддерживая разнообразие форм и условий обитания.



Технологические и научные перспективы: новые рубежи

01

Изучение фотосинтеза стимулирует создание эффективных солнечных энергетических систем и искусственного фотосинтеза для устойчивого получения энергии.

02

Хемосинтетические бактерии используются в биоремедиации, очищая загрязнённые экосистемы и способствуя восстановлению окружающей среды.

03

Исследования хемосинтеза раскрывают потенциал для биотехнологий освоения экстремальных сред и разработки методов освоения космоса и других планет.



Заключение: жизненная ценность фотосинтеза и хемосинтеза

Фотосинтез и хемосинтез — ключевые процессы, поддерживающие жизнь на Земле, экосистемную устойчивость и эволюционное разнообразие, демонстрируя универсальность биологических систем в использовании разных источников энергии.