

Хемосинтез: жизнь без солнечного света

Органика из CO₂ — за счёт химической энергии, а не света.



Как учёные поняли, что жизнь может обходиться без света

В конце XIX века Сергей Николаевич Виноградский показал, что некоторые бактерии получают энергию при окислении неорганических веществ. Его работы изменили представление о том, где и как может существовать жизнь.



3

**КЛЮЧЕВЫХ ЭТАПА СВЯЗЫВАЮТ
ОКИСЛЕНИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ
Веществ с образованием
органики.**

Учебная схема процесса хемосинтеза

Энергия реакции сначала запасается в АТФ
и восстановителях, а затем расходуется на фиксацию
углекислого газа.

Где обитают хемосинтетики

Почва и вода

Хемосинтетические бактерии и археи широко распространены в почвах, болотах и водоёмах. Здесь они используют соединения азота, серы, железа или водорода как источник энергии.

Бедные светом среды

Особенно много их там, где света почти нет: в донных отложениях, подземных водах и на больших глубинах. В таких местах химическая энергия становится главным ресурсом.

Гидротермальные источники

Вокруг подводных горячих источников образуются плотные микробные сообщества. Они наглядно показывают, что первичная продукция возможна без участия солнечного света.

Экологические ниши

Хемосинтетики занимают участки, где есть неорганические субстраты и подходящие условия для окисления. Их распространение тесно связано с химическим составом среды.

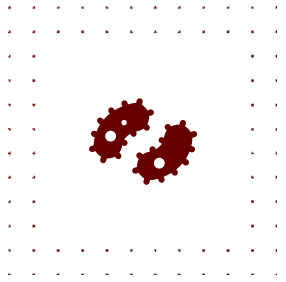


Последовательность процессов при хемосинтезе

Схема отражает общий путь превращения химической энергии в энергию биосинтеза у прокариот.

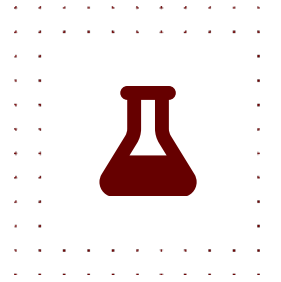


Основные группы хемосинтезирующих организмов



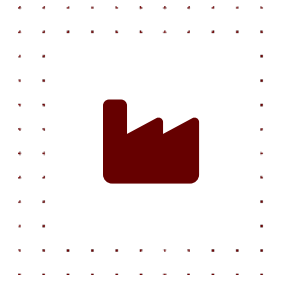
Серобактерии

Окисляют сероводород и серу, переводя их в сульфаты. Такие реакции особенно важны в серных источниках, донных отложениях и других средах с высоким содержанием соединений серы.



Нитрифицирующие бактерии

Используют аммиак как источник энергии и последовательно окисляют его до нитритов и нитратов. Эти организмы особенно значимы в почве, воде и системах биологической очистки.



Железобактерии

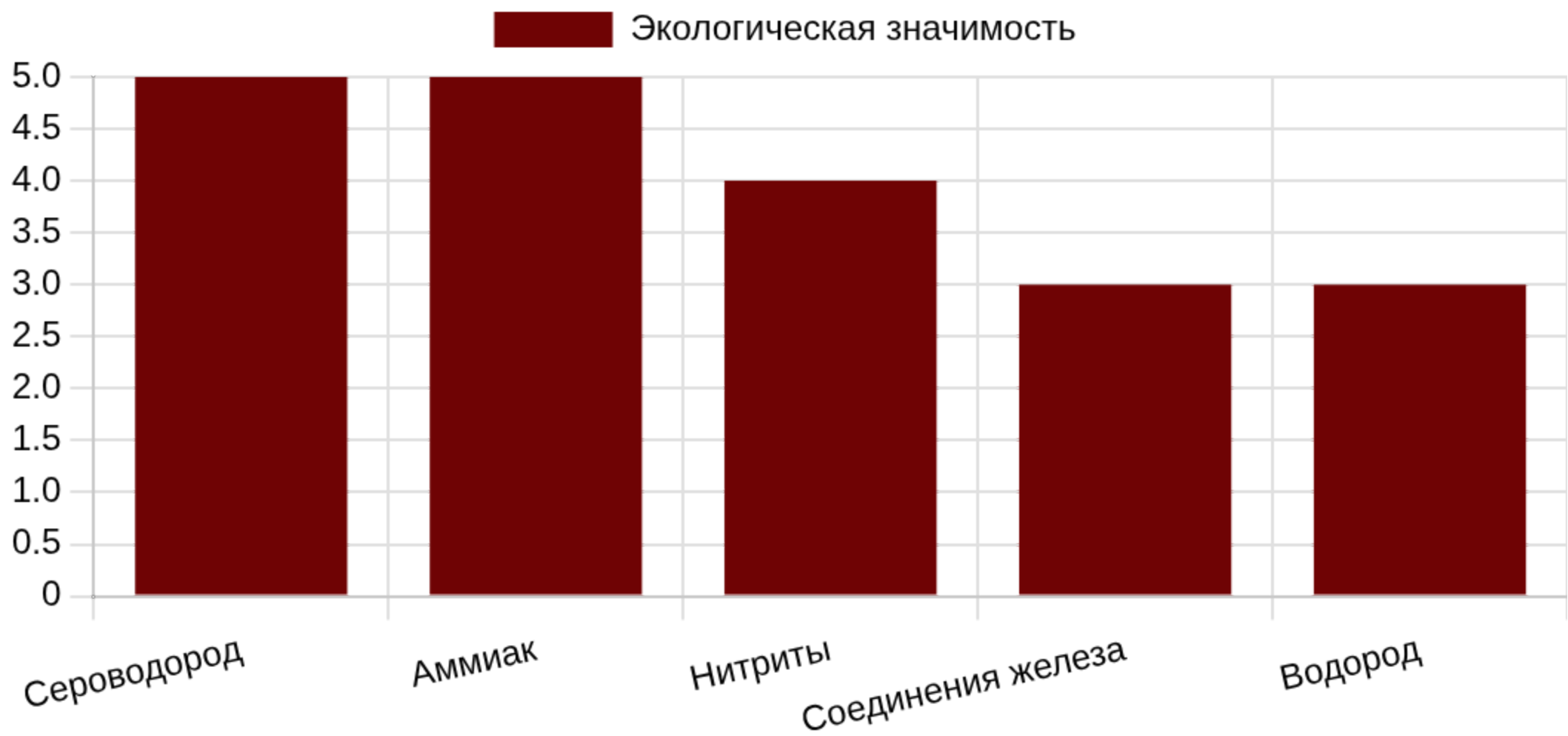
Получают энергию при окислении Fe^{2+} до Fe^{3+} . Они участвуют в преобразовании соединений железа и могут влиять на состав грунтовых вод, осадков и рудных отложений.



Водородные бактерии

Окисляют молекулярный водород и используют высвобождающуюся энергию для синтеза органических веществ. Как и другие хемосинтетики, это в основном прокариоты без хлорофилла.

Источники энергии хемосинтеза



Учебная оценка по распространённости и экологической роли субстратов

Субстраты отличаются не только химической природой, но и распространённостью в среде. Наиболее заметны соединения серы и азота, потому что они постоянно вовлечены в природные круговороты.

Наибольшую роль играют соединения серы и азота; именно они чаще всего поддерживают хемосинтез в природных экосистемах.

Хемосинтез и круговорот азота

1. Окисление аммиака

Нитрифицирующие бактерии переводят NH_3 в нитриты NO_2^- . На этом этапе азот меняет форму и становится менее токсичным для многих организмов.

2. Образование нитратов

Далее нитриты окисляются до NO_3^- . Нитраты легко усваиваются растениями, поэтому нитрификация повышает плодородие почв и поддерживает круговорот азота.

Хемосинтез и круговорот серы

1. Источник энергии

Сероводород служит для серобактерий исходным субстратом. При его окислении высвобождается энергия, которая используется для синтеза АТФ и образования органических веществ.

2. Переход к сульфатам

В ходе реакции H_2S превращается в сульфаты. Такое окисление снижает токсичность сероводорода в воде, осадках и зонах выхода подземных вод.

3. Бактериальные маты

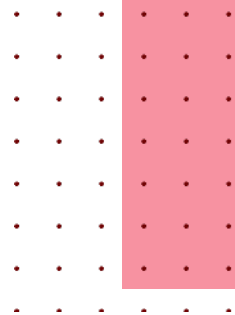
В местах выхода серосодержащих соединений серобактерии часто образуют плотные сообщества. Эти маты заметны визуально и служат основой локальных пищевых цепей.

4. Экологическая роль

Окисление серы помогает связывать химические процессы с жизнью организмов. Благодаря этому хемосинтетики участвуют в самоочищении природных водоёмов и донных отложений.



Сравнение фотосинтеза и хемосинтеза

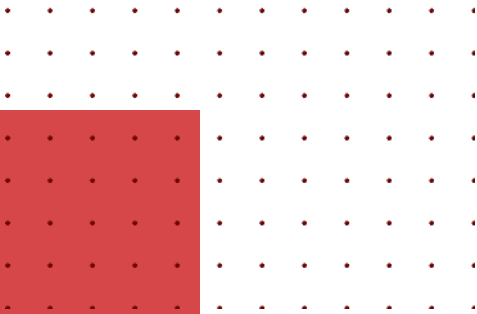


Оба процесса создают органические вещества из CO₂, но используют разные источники энергии и разные условия существования.

Фотосинтез связан со светом, а хемосинтез — с химической энергией. Оба пути обеспечивают автотрофное питание и образование биомассы.

Признак	Фотосинтез	Хемосинтез
Источник энергии	Свет	Окисление веществ
Донор электронов	Вода	H ₂ S, NH ₃
Свет нужен?	Да	Нет
Типичные организмы	Растения, водоросли	Бактерии, археи

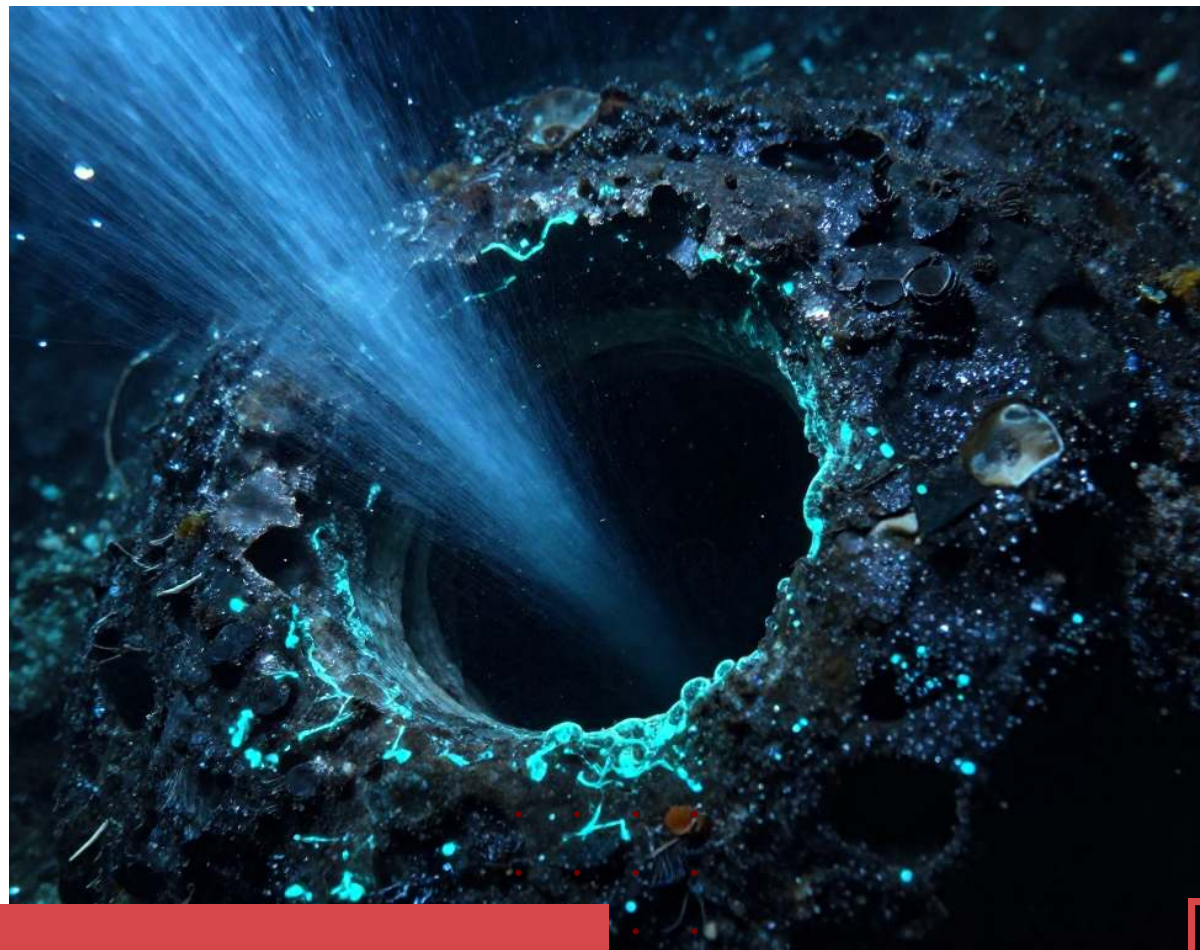
Учебное сравнение процессов автотрофного питания



Жизнь у «черных курильщиков»

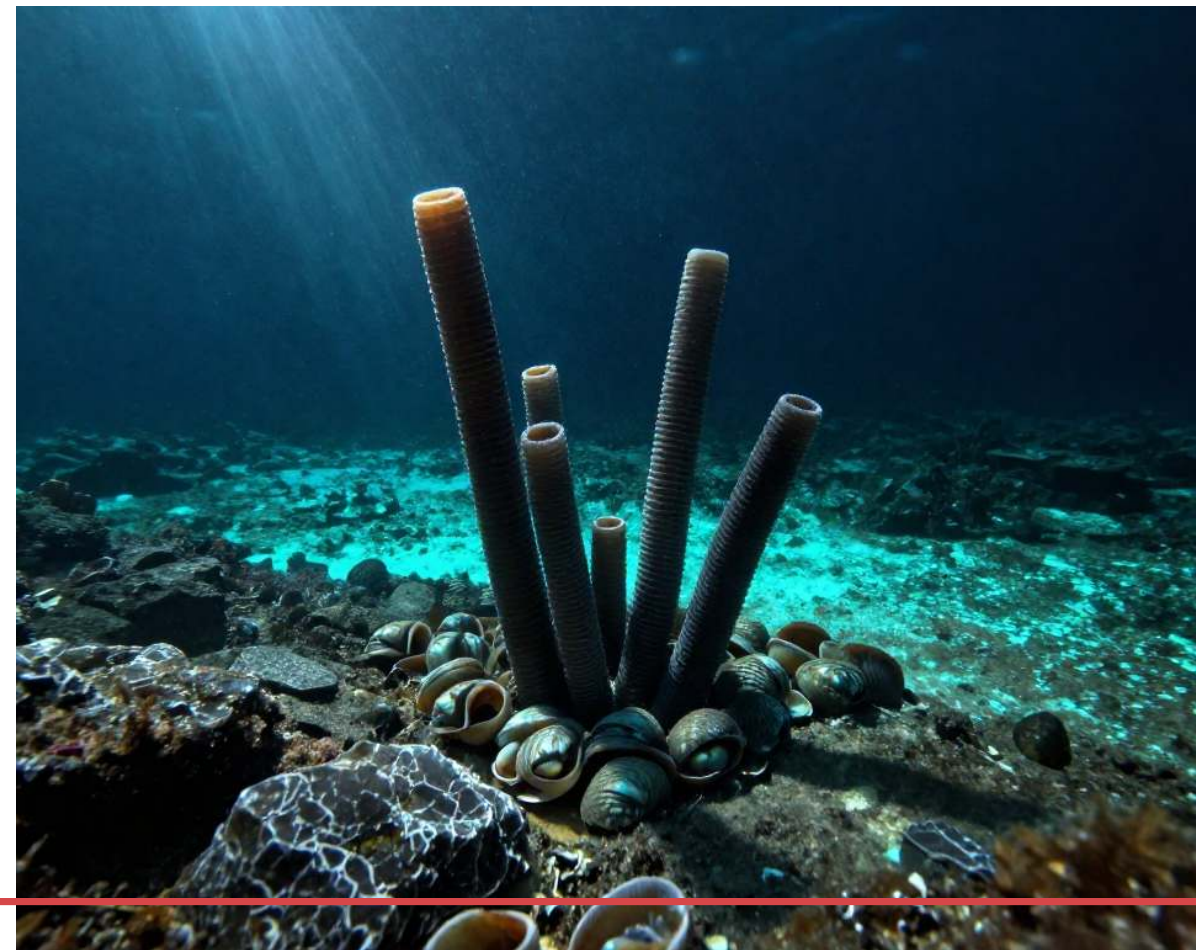
Кислород не нужен

Вокруг гидротермальных источников царит темнота, но это не мешает жизни. Здесь микробы используют химическую энергию растворённых соединений, а не свет, и создают органическое вещество, на котором держится вся экосистема.



Сообщества на дне океана

В этих местах рядом с бактериальными матами можно встретить трубчатых червей, моллюсков и других животных. Они не добывают пищу напрямую, а зависят от хемосинтетиков, которые становятся для них первичными производителями.



Среда предельных условий

Высокое давление, резкие изменения температуры и состава воды делают такие зоны крайне суровыми для большинства организмов. Однако именно там особенно заметно, что жизнь способна существовать там, где нет солнечного света, но есть химические реакции.



Что ограничивает хемосинтез

Меньше энергии

Окисление неорганических веществ обычно даёт меньше энергии, чем фотосинтез, поэтому синтез биомассы идёт медленнее. Хемосинтетики растут не так быстро, но зато могут жить в местах, где света нет совсем.

Зависимость от субстрата

Процесс возможен только при наличии подходящих соединений — сероводорода, аммиака, нитритов, железа или водорода. Если источник энергии исчерпывается, скорость хемосинтеза резко снижается, а популяция перестаёт активно увеличиваться.

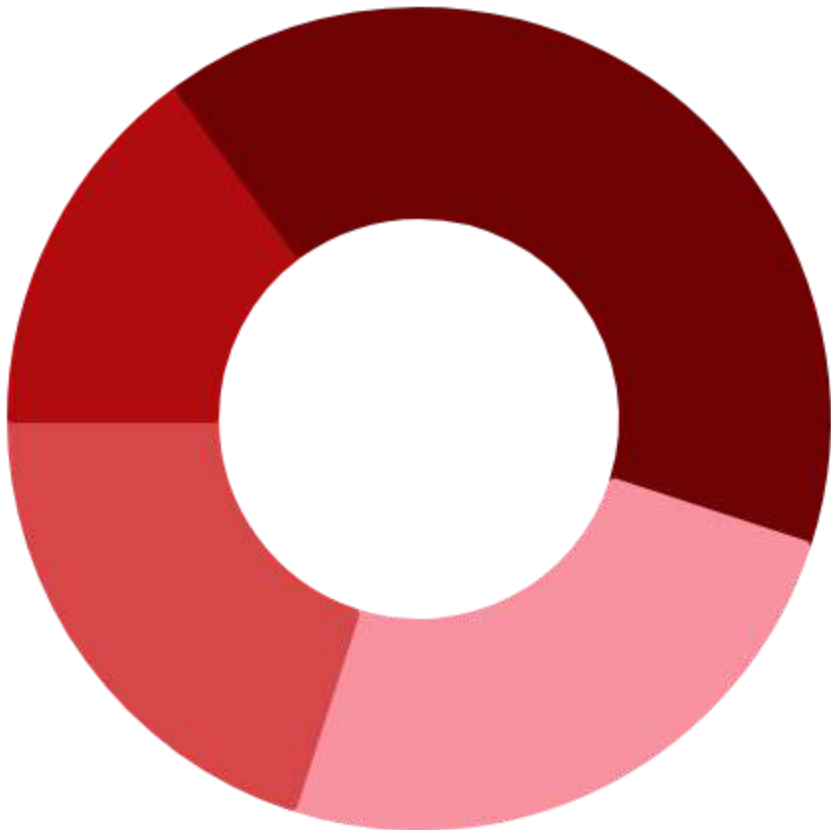
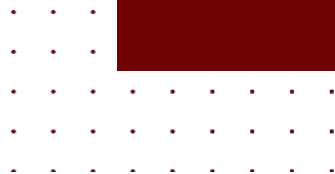
Роль кислорода

Для многих хемосинтетиков важен кислород как окислитель, поэтому его нехватка ограничивает процесс. Особенно чувствительны к этому почвенные и водные сообщества, где состав среды меняется быстро и неравномерно.

Влияние среды

Температура, pH и солёность влияют на активность ферментов и устойчивость клеток. Поэтому хемосинтез наиболее эффективен не в любых условиях, а там, где параметры среды находятся в допустимых пределах.

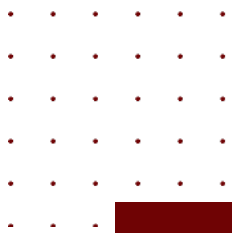
Почему хемосинтез важен для биосферы



Хемосинтез особенно заметен там, где свет недоступен, но его роль не ограничивается глубиной океана. Он поддерживает обмен веществ между живыми организмами и средой.

Главный вклад связан с круговоротами элементов, а продукция и детоксикация дополняют эту функцию, обеспечивая устойчивость природных сообществ.

Схематическая оценка по материалам школьного курса биологии



Как Виноградский раскрыл хемосинтез

1.

Новые объекты исследования
Виноградский обратил внимание на серобактерии и нитрифицирующие бактерии как на организмы, которые получают энергию не от света, а при окислении неорганических соединений.

2.

Опытное доказательство
Наблюдения за ростом микробов в средах с серой, аммиаком и другими веществами показали, что они способны жить за счёт химических превращений и самостоятельно синтезировать органику.

3.

Научный результат
Эти работы изменили представление о питании микроорганизмов и связали их жизнедеятельность с круговоротами веществ в почве, воде и осадках.

4.

Долговременное значение
Именно исследования Виноградского стали основой почвенной микробиологии и экологии микроорганизмов, а также помогли сформулировать понятие хемолитоавтотрофии.

Типичные реакции хемосинтеза

Источник	Продукт	Эффект
NH3	NO2-	Нитрификация
H2S	SO42-	Снижение токсичности
Fe2+	Fe3+	Окисление железа

Сведения школьного курса биологии и общей микробиологии

Таблица показывает, какие неорганические вещества служат источником энергии, во что они превращаются и какой экологический эффект это даёт.

Разные реакции меняют состав среды и одновременно дают клетке энергию для синтеза АТФ и фиксации CO2.

Как хемосинтез работает в технологиях

Схема показывает два практических направления: биологическую очистку воды и биовыщелачивание руд.

Как хемосинтетики поддерживают экосистемы

Основа пищевых цепей

В местах без света хемосинтетики становятся первичными производителями и обеспечивают органическим веществом всё сообщество. Без них многие глубоководные и подземные экосистемы просто не смогли бы существовать.

Симбиозы с животными

Некоторые животные живут в тесной связи с хемосинтетическими микроорганизмами и получают от них питательные вещества. Такой симбиоз особенно важен в глубоководных сообществах и вокруг гидротермальных источников.

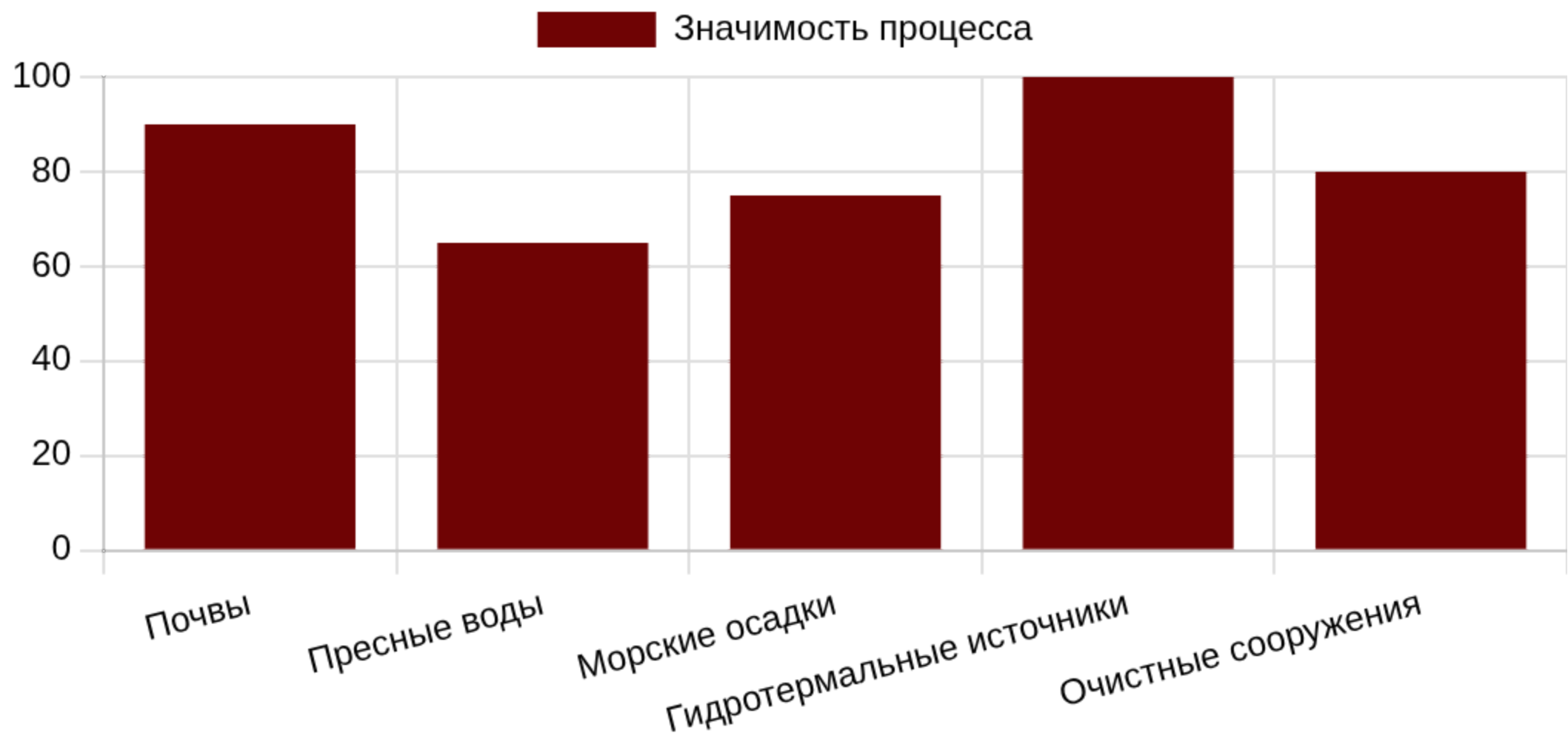
Плодородие почв

В почве хемосинтетики переводят одни формы азота и серы в другие, более доступные для растений. Это влияет на плодородие, скорость разложения веществ и общее состояние экосистемы.

Стабильность среды

Окисляя токсичные соединения, такие как аммиак или сероводород, хемосинтетики уменьшают вред для других организмов. Тем самым они помогают поддерживать химическое равновесие в воде и грунте.

Где хемосинтез наиболее заметен



Схематическая сравнительная оценка по школьному курсу биологии

Показатели на диаграмме отражают относительную роль процесса в разных средах: от почвенной нитрификации до глубоководных систем и инженерных биофильтров.

Наибольшая значимость ожидаемо приходится на среды с дефицитом света и высоким содержанием неорганических субстратов, особенно на гидротермальные источники.

Главные свойства хемосинтеза

1. Без света

Хемосинтез не требует солнечного излучения, поэтому возможен в почве, донных отложениях и глубинах океана. Это делает его важным путём образования органических веществ в тёмных средах.

2. Химическая энергия

Источником энергии служит окисление неорганических соединений, таких как сероводород, аммиак, нитриты или железо. Полученная энергия запасается в молекулах АТФ и используется клеткой.

3. Прокариотическая природа

Процесс характерен главным образом для бактерий и некоторых архей. У них нет хлорофилла, но есть ферментные системы, позволяющие использовать неорганические вещества как источник энергии.

4. Экологическая связь

Хемосинтез соединяет геохимию и биологию: одни вещества превращаются в другие, а живые организмы получают питание и одновременно меняют среду, в которой обитают.



Хемосинтез показывает, что ЖИЗНЬ НЕ ЗАВИСИТ ТОЛЬКО ОТ СВЕТА

Этот процесс подтверждает, что органическое вещество может образовываться за счёт химической энергии, поддерживая круговороты элементов, необычные экосистемы и важные технологии, связанные с очисткой среды и биопроизводством.

