

# Экосистемы: круговорот веществ и поток энергии

Как работают живые системы и почему они устойчивы?



# Почему экосистемы устойчивы

Экосистема держится на двух процессах: вещества постоянно возвращаются в круговорот, а энергия проходит через трофические уровни и рассеивается. Баланс поддерживают продуценты, консументы, редуценты и абиотические условия среды.



# Экосистема и её основные компоненты

## Биотоп

Это неживая часть экосистемы, задающая условия существования организмов: освещённость, температуру, влажность, свойства почвы, кислотность и солёность. Именно биотоп определяет, какие виды смогут здесь жить.

## Биоценоз

Это сообщество всех живых организмов участка: растений, животных, грибов и бактерий. Между ними действуют пищевые связи, конкуренция и обмен веществ, формирующие структуру экосистемы.

## Три группы организмов

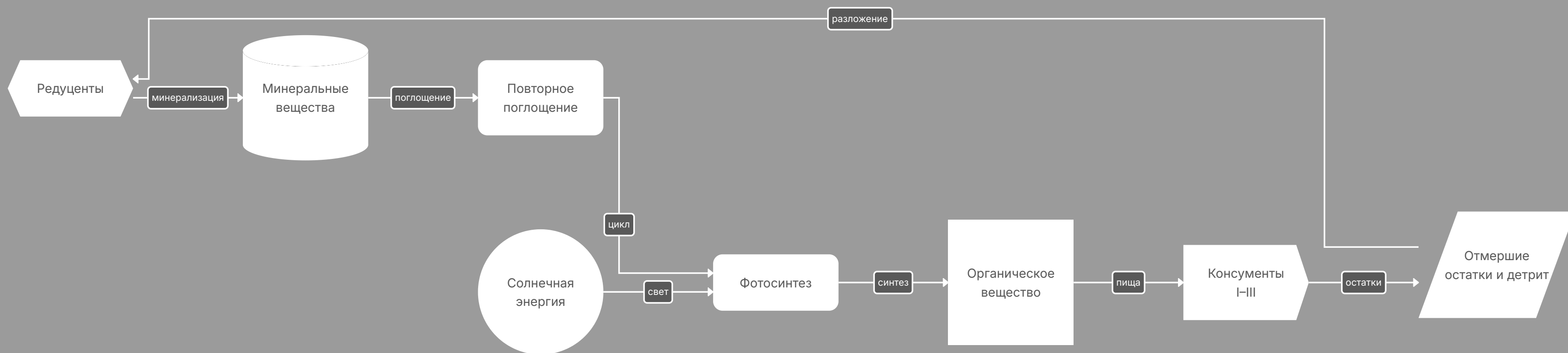
Продуценты создают органическое вещество, консументы используют готовую органику, а редуценты разлагают остатки до минеральных соединений. Вместе они обеспечивают непрерывность круговорота веществ.

## Сложность и продуктивность

Чем разнообразнее виды и прочнее связи между ними, тем выше продуктивность и устойчивость экосистемы. Нарушение одного компонента обычно отражается на всей системе.

# Путь вещества в экосистеме

Схема показывает, как вещество переходит между живой и неживой природой и возвращается к растениям.



# Продуценты как источник первичной биомассы

5

## Кто относится к продуцентам

К этой группе относят зелёные растения, водоросли и цианобактерии. Они первыми связывают энергию света и создают органические вещества из неорганических соединений.

## Основа пищевых цепей

Именно первичная продукция продуцентов становится стартовым ресурсом для консументов всех уровней. Без этого звена в экосистеме не было бы устойчивого поступления пищи и энергии.

## Примеры в природе

В лесу это зелёный ярус растений, на поверхности водоёмов — фитопланктон, а в наземных сообществах — листья и травянистая растительность, активно ведущие фотосинтез.



# Пирамида энергии в пищевой цепи

- Передача энергии между уровнями крайне неэффективна: значительная её часть расходуется на жизненные процессы и не переходит дальше.
- Чем выше трофический уровень, тем меньше доступная энергия; поэтому длинные цепи питания не могут быть многочисленными.



Учебная модель по правилу 10% передачи энергии в экологических пирамидах

0%

**энергии возвращается в круговорот  
веществ**

Энергия в экосистеме не накапливается в замкнутом цикле: она проходит через организмы и уходит в виде тепла.

*Закон сохранения энергии и основы экологии*

# Сравнение круговоротов воды, углерода и азота

| Вещество | Резервуары           | Процессы                    | Скорость  |
|----------|----------------------|-----------------------------|-----------|
| Вода     | океаны,<br>атмосфера | испарение, осадки           | быстрая   |
| Углерод  | атмосфера,<br>биота  | фотосинтез, дыхание         | средняя   |
| Азот     | атмосфера,<br>почва  | фиксация,<br>денитрификация | медленная |

- Три важных круговорота отличаются резервуарами, механизмами переноса и скоростью обновления.
- Вода циркулирует быстрее всего, а азотный цикл наиболее сложен и зависит от деятельности бактерий.

# Круговорот воды как основа переноса веществ

1

## Испарение и транспирация

Вода поступает в атмосферу с поверхности водоёмов, почвы и через испарение с листьев растений. Этот поток запускает дальнейшее перемещение влаги в системе.

2

## Конденсация и осадки

Водяной пар охлаждается, конденсируется и образует облака, из которых затем выпадают осадки. Так влага возвращается на сушу и в водоёмы.

3

## Сток и просачивание

Часть воды стекает по поверхности, часть уходит в грунт и формирует подземные потоки. Именно так вода связывает атмосферу, почву и гидросферу.

4

## Роль для организмов

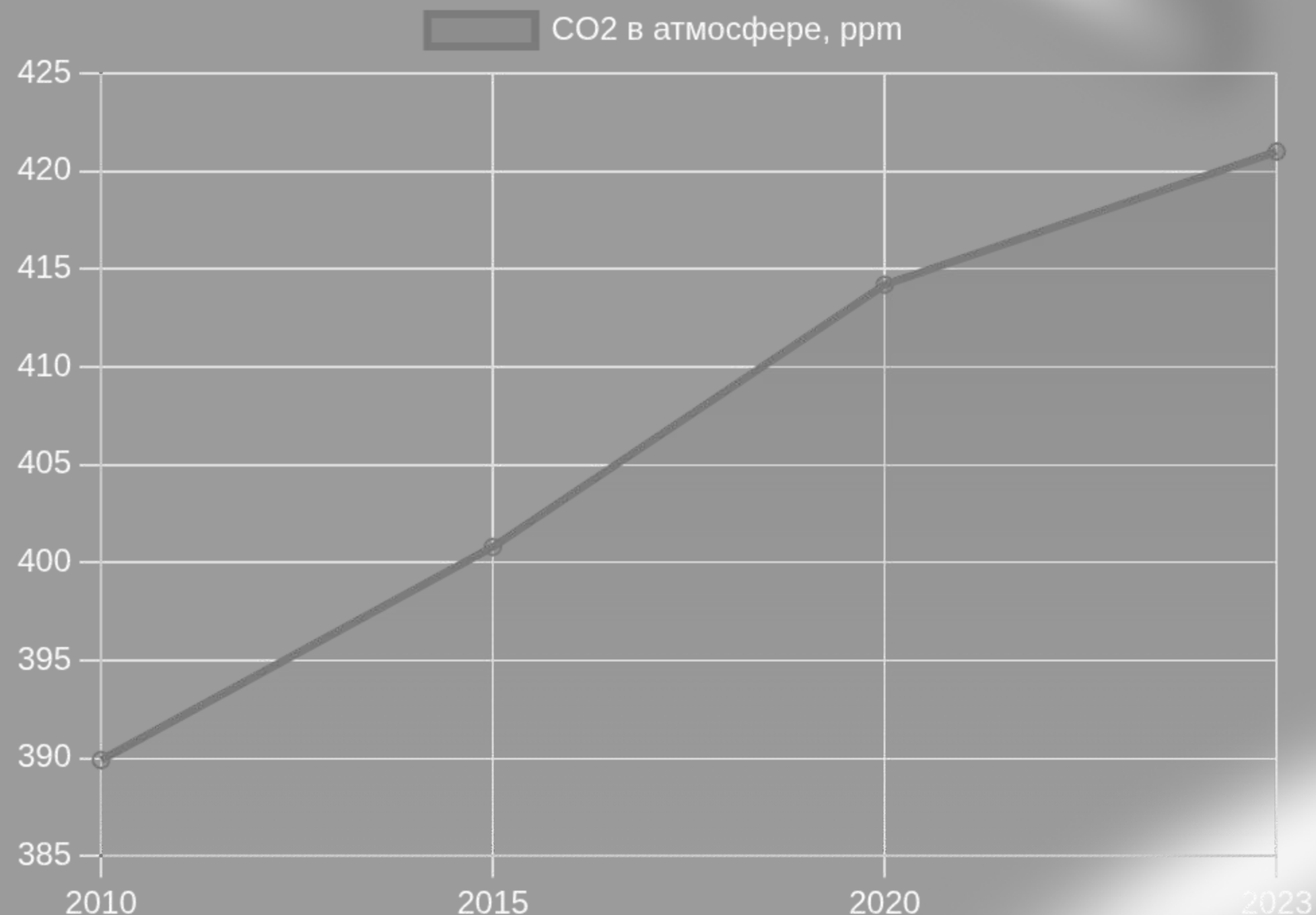
Вода переносит растворённые минеральные вещества, участвует в терморегуляции и обеспечивает транспорт веществ в клетках и тканях живых организмов.



# Круговорот углерода и рост концентрации CO<sub>2</sub>

10

- Обмен углерода между биотой, почвами и океаном идёт постоянно, но антропогенные выбросы усиливают накопление углекислого газа в атмосфере.
- Тренд показывает устойчивый рост CO<sub>2</sub>; это подтверждает нарушение естественного баланса углеродного цикла деятельностью человека.



NOAA Global Monitoring Laboratory; глобальные среднегодовые значения CO<sub>2</sub>, 2010–2023

# Азот: элемент, который должен быть превращён в доступную форму

11



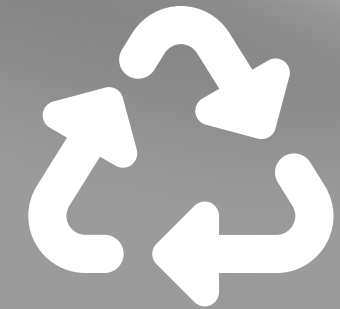
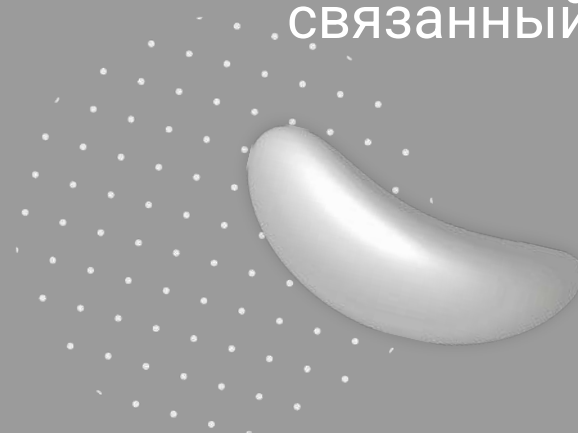
## Азот атмосферы

Хотя азот составляет основную часть воздуха, молекула  $N_2$  химически очень устойчива. Поэтому подавляющее большинство организмов не способно усваивать его напрямую и зависит от специальных превращений в природе.



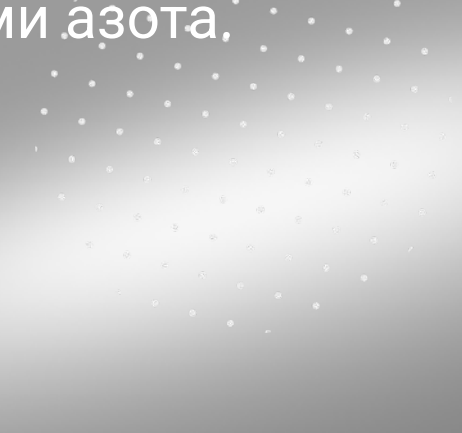
## Фиксация бактериями

Азотфиксирующие бактерии переводят атмосферный азот в соединения, доступные растениям. Они живут свободно в почве или в клубеньках на корнях бобовых, помогая экосистеме получать связанный азот.

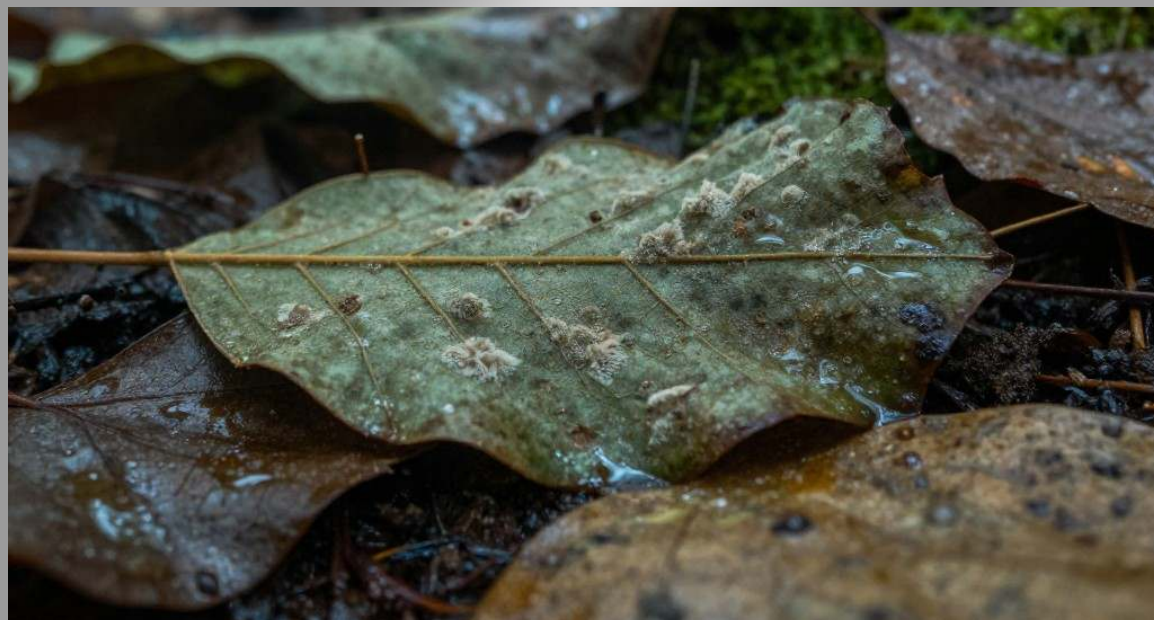


## Возврат в атмосферу

Нитрификация образует нитриты и нитраты, а денитрификация снова возвращает азот в воздух. Так замыкается круговорот, в котором растения, микроорганизмы и почва непрерывно обмениваются соединениями азота.



# Редуценты и детритные цепи



## Тихая работа лесной подстилки

Под слоем опавших листьев лес кажется неподвижным, но именно там идёт важная часть круговорота. Грибы и бактерии постепенно разрушают остатки растений, возвращая в почву минеральные вещества. Этот скрытый процесс поддерживает новое поколение деревьев и трав.



## Почва как место превращений

В почве мёртвые организмы и экскременты не исчезают, а переходят в состав детрита. Мелкие беспозвоночные, грибы и бактерии дробят и перерабатывают его, делая элементы снова доступными корням. Поэтому почвенный слой можно рассматривать как активную «фабрику» экосистемы.

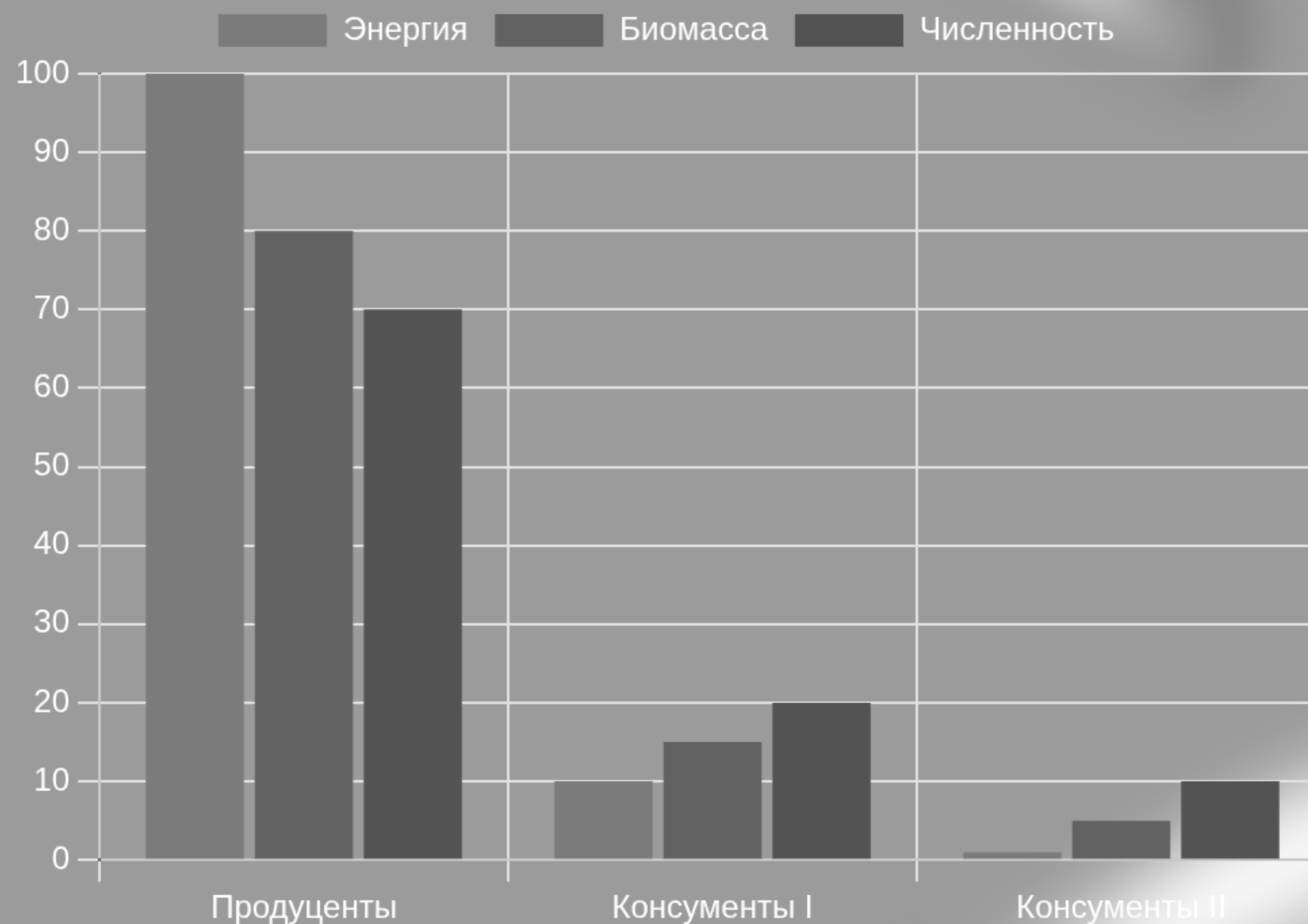


## Невидимые звенья питания

Детритные цепи особенно заметны там, где много опада и влажной подстилки. Здесь энергия и вещество проходят через разложение, а не только через поедание живых организмов. Именно поэтому грибы часто оказываются важнее, чем кажется на первый взгляд.

# Экологические пирамиды: энергия, биомасса и численность

- Пирамиды показывают не только состав сообщества, но и направление переноса ресурсов между уровнями. Их форма зависит от особенностей среды и размеров организмов.
- Энергетическая пирамида всегда убывает; биомасса и численность меняются в зависимости от экосистемы и строения цепи питания.



Схематическая учебная модель по теме «Экология». Показатели условные, для сравнения форм пирамид.



# Трофические уровни и пищевые сети

## Не одна цепь, а сеть

В природе организм обычно связан не с одной добычей и не с одним хищником. Поэтому реальное сообщество точнее описывает пищевая сеть, а не отдельная линейная цепь питания.

## Один вид — несколько ролей

В разных условиях один и тот же вид может быть и потребителем, и добычей, а иногда занимать сразу несколько трофических уровней. Это особенно заметно у всеядных животных.

## Сложность повышает устойчивость

Чем больше переплетаются связи между видами, тем труднее нарушить работу всей системы. Если один вид исчезает, его функции частично берут на себя другие участники сети.

## Отражение реальных связей

Пищевые сети позволяют увидеть, как на практике перераспределяются энергия и вещество. Они показывают не идеальную схему, а живую структуру биogeоценоза с множеством пересечений и зависимостей.

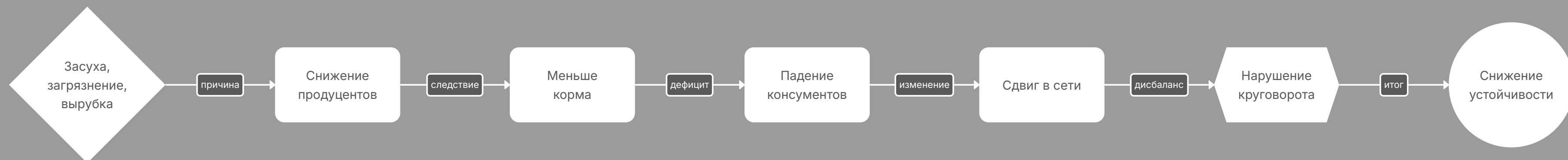
# Наземные и водные экосистемы: сравнение

- Сравнение показывает, как среда обитания влияет на тип продуцентов, форму пирамиды биомассы и скорость обмена веществ.
- На суше основную массу органики создают растения, а в воде быстрый оборот планктона может делать пирамиду биомассы обратной.

| Признак            | Наземные        | Водные            |
|--------------------|-----------------|-------------------|
| Главные продуценты | Высшие растения | Фитопланктон      |
| Биомасса           | Обычно прямая   | Возможна обратная |
| Круговорот         | Медленнее       | Быстрее           |

# Как нарушение одного звена влияет на всю экосистему

Схема отражает типичную последовательность изменений при внешнем воздействии на экосистему.



# Антропогенное воздействие на круговороты веществ

17

1

## Вырубка и распашка

Уничтожение лесов и нарушение почвенного покрова сокращают запасы углерода и ухудшают удержание влаги. В результате снижается плодородие, а восстановление экосистемы идёт значительно медленнее.

2

## Избыток удобрений

Азотные и фосфорные соединения, попадая в водоёмы, ускоряют рост водорослей. После их отмирания кислород расходуется на разложение, что создаёт опасные условия для гидробионтов.

3

## Сжигание топлива

При сжигании нефти, угля и газа в атмосферу поступает дополнительный углекислый газ. Это усиливает парниковый эффект и меняет баланс углерода между биотой, почвами и воздухом.

4

## Загрязнение и деградация

Промышленные выбросы, мусор и разрушение почв мешают естественным циклам азота, фосфора и углерода. В итоге упрощаются пищевые связи и уменьшается устойчивость экосистем.

# Биоразнообразие и устойчивость экосистем

1

## Резерв функций

Чем больше видов входит в сообщество, тем выше шанс, что при изменении условий одни организмы смогут частично заменить другие и сохранить важные экологические функции.

2

## Смягчение колебаний

Разнообразие видов делает пищевые связи менее уязвимыми к резким изменениям численности. Даже при выпадении одного звена энергия и вещество продолжают проходить по альтернативным путям.

3

## Стабильность сообщества

Сложные экосистемы лучше сохраняют структуру и продуктивность, потому что в них больше ярусов, больше ниш и больше возможностей для компенсации нарушений среды.



# Факторы, определяющие продуктивность экосистемы

- Ограничивающий фактор может меняться от природной зоны к природной зоне, поэтому высокая продуктивность всегда зависит от сочетания условий, а не от одного показателя.
- Свет и вода чаще всего определяют первичную продукцию, но в отдельных районах решающими становятся температура или минеральное питание.

Свет    Вода    Температура    Минеральное питание



Схематическая учебная диаграмма по теме продуктивности экосистем

# Жизнь экосистемы держится на круговороте и потоке

Экосистема существует, пока вещества возвращаются в оборот, а энергия непрерывно поступает извне. Стоит нарушить один элемент сети — и меняются связи, продуктивность и устойчивость всего сообщества.