

**Экология сообществ и  
концепция экосистемы.**

***Динамическая  
ландшафтная экология***

# Биогеоценология

## Экосистема и биогеоценоз

**Экосистема** (1935 г.) (от греч. oikos - жилище, местопребывание и systema - сочетание, объединение) - совокупность всех популяций разных биологических видов, проживающих на общей территории вместе с окружающей их неживой средой.

**Биогеоценоз** (1942 г.) - участок территории однородный по экологическим условиям и занятый одним биоценозом

1) биogeоценоз - понятие **территориальное**, относится к конкретным участкам суши и имеет определенные границы, совпадающие с границами фитоценоза. Характерная особенность биogeоценоза, на которую указывают Н.В. Тимофеев-Ресовский, А.Н. Тюрюканов (1966) – **через территорию биogeоценоза не проходит ни одна существенная биоценотическая, почвенно-геохимическая, геоморфологическая и микроклиматическая граница.**

- понятие экосистемы шире, чем понятие биogeоценоза; оно применимо к биологическим системам разной сложности и размеров; экосистемы часто не имеют определенного объема и строгих границ;

2) в биogeоценозе органическое вещество всегда продуцируют растения, поэтому **основной компонент биogeоценоза – фитоценоз;**

- в экосистемах органическое вещество не всегда создается живыми организмами, нередко поступает извне.

# Особенности экосистем

- **Открытая** (есть входящий и исходящий потоки энергии)
- **Автономная**. Если ее изолировать и обеспечить приток энергии, то она сможет существовать практически неограниченное время.
- **Проявляет способность к саморегуляции и самоподдержанию**, т.е. у нее есть буферность.
- **Обладает гомеостазом** – относительной устойчивостью во времени и пространстве.
- **Размытость границ, как по вертикали, так и по горизонтали**.
- **Может существовать без какого-либо компонента**. Например, в болотных экосистемах нет почвы, в подземных (пещеры) нет притока световой энергии.

## Экосистема

### Экосистемы

Экосистемы суши · Морские экосистемы · Пресноводные экосистемы · Типы экосистем · **Биогеоценоз** · Биом · Биосфера · Природный территориальный комплекс · Искусственные экосистемы

### Функциональные компоненты

Автотрофы · Гетеротрофы · Миксотрофы · Редуценты

### Структурные компоненты

Зооценоз · Фитоценоз · Биоценоз · Синузия · Ценоячейка · Эдификатор · Консорция

### Абиотические компоненты

Биогенные элементы · Микроклимат · Физические факторы · Экотоп · Климатоп · Биотоп

### Функционирование

Сукцессия · Сукцессионный ряд · Деградация экосистем · Эволюция экосистем

### Загрязнение экосистем

Загрязнение пресных вод · Загрязнение океанов · Загрязнение атмосферы · Загрязнение почв

## Особенности систем, относящихся к надорганизменному уровню организации жизни (Тишлер В.):

Сообщества всегда возникают, складываются из готовых частей, имеющих в окружающей среде.

Части сообщества заменяемы. Один вид может занять место другого со сходными экологическими требованиями.

Существует за счёт уравнивания противоположно направленных сил.

Размеры определяются внешними причинами.

Особь формируется путём постепенного дифференцирования зачатков.

Части (органы) любого организма уникальны.

Поддерживается постоянная координация, согласованность деятельности его органов.

Размеры ограничиваются наследственной информацией.

# Классификация экосистем

## По размерам

- **Макро экосистемы.** Например, море, океан, континент...
- **Мезо экосистемы.** Например, участок леса, поле, луг, река, озеро.... Такие экосистемы обычно называют биогеоценозами.
- **Микро экосистемы** (опушка, поляна, лужа...).

## По происхождению:

- Естественные – образованные спонтанно (тундра, степь, лес...).
- Искусственные – образованы в результате человеческой деятельности

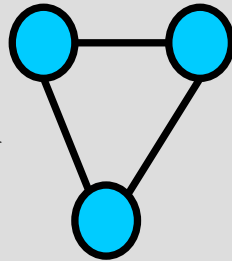
## Компоненты экосистемы

**Биоценоз** – биотическая составляющая

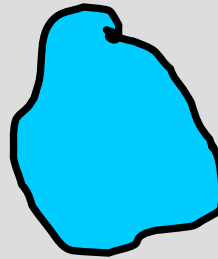
**Биотоп** – абиотическая составляющая



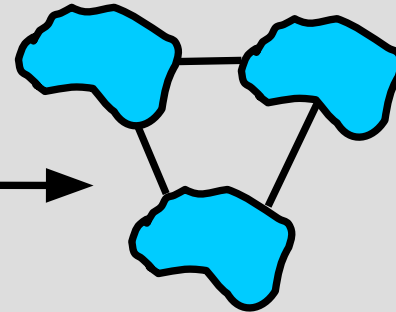
# Иерархия экосистем



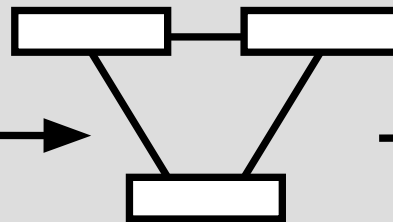
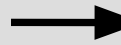
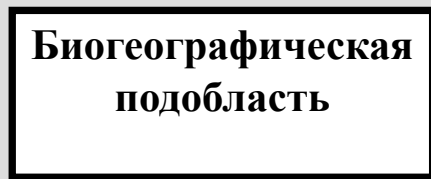
БГЦ комплекс



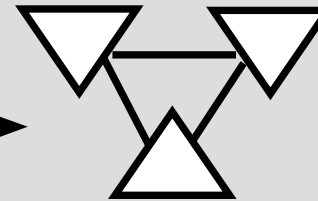
Ландшафт



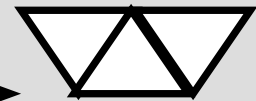
Биом



Биогеографическая  
область



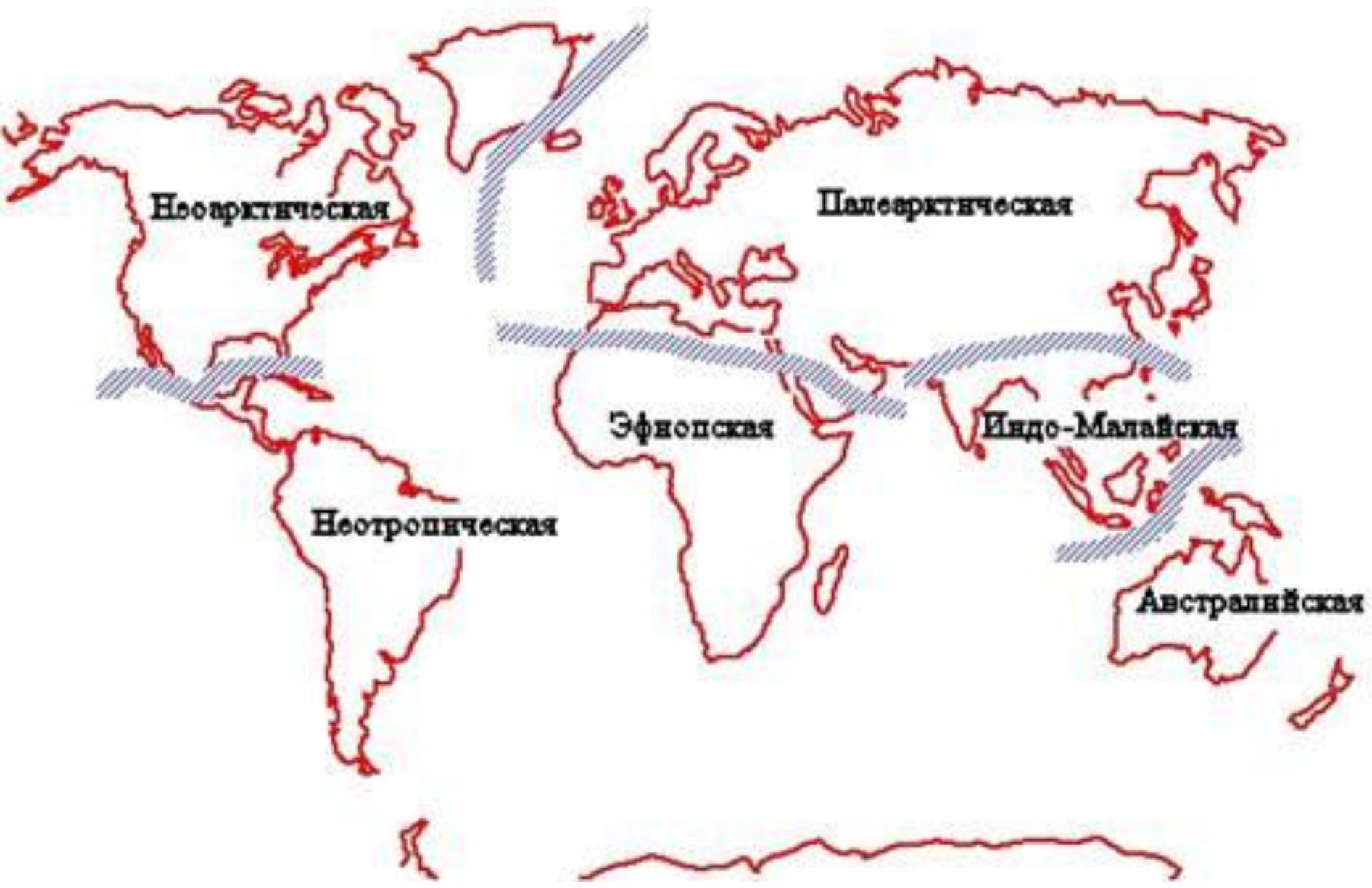
Макроэкосистемы  
суши и моря



Биосфера

- **Ландшафт** - общий вид местности.
- **Биом (англ. biome)** - совокупность различных групп организмов и среды их обитания в определенных природных зонах и поясах, напр., в умеренном поясе степь, тайга, в аридном поясе пустыня.
- **Биогеографическая область** — крупное по площади флористико-фаунистическое подразделение земного шара, выделяемое главным образом по общности историко-эволюционного развития фауны и флоры, которые, как правило, в пределах области более или менее однородны.

**Выделяют 6 областей:** Австралийская, Неоарктическую, Неотропическая, Эфиопская, Палеарктическая, Восточная



Неоарктическая

Палеарктическая

Неотропическая

Эфиопская

Индо-Малайская

Австралийская

# СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ БИОЦЕНОЗА

Для существования сообщества важна не только численность видов, но и видовое разнообразие в природе.

Под БИОРАЗНООБРАЗИЕМ понимается разнообразие особей в рамках вида, разнообразие видов и экосистем.

Различают ВИДОВУЮ, ПРОСТРАНСТВЕННУЮ и ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ структуру биоценоза

# *ВИДОВАЯ СТРУКТУРА*

1) ВИДОВАЯ СТРУКТУРА – это число видов, образующих данный биоценоз, и соотношение их численности или массы. Показателями значимости каждого отдельного вида в видовой структуре биоценоза являются:

- обилие вида,
- частота встречаемости
- степень доминирования

*Видовое разнообразие* – число видов в данном сообществе. Встречаются бедные и богатые видами биоценозы. Видовое разнообразие зависит от возраста сообщества (молодые сообщества беднее, чем зрелые) и от благоприятности основных экологических факторов – температуры, влажности, пищевых ресурсов (биоценозы высоких широт, пустынь и высокогорий бедны видами).

Р. Уиттекер предложил различать следующие типы биоразнообразия:  $\alpha$ -разнообразие – видовое разнообразие в данном местообитании;  $\beta$ -разнообразие – сумма всех видов всех местообитаний в данном районе;  $\gamma$ -разнообразие – разнообразие ландшафтов (объединение  $\alpha$ - и  $\beta$ -разнообразия).

**Законы разнообразия Жаккара** – 1) видовое разнообразие территории ( $\gamma$ -разнообразие) прямо пропорционально разнообразию ее экологических условий; 2) видовое богатство сообщества ( $\alpha$ -разнообразие) растет одновременно с расширением площади и уменьшается по мере увеличения однородности последней.

**Правило географической обусловленности изменений разнообразия Де Кандоля-Уоллеса** – по мере продвижения с севера на юг, как правило, наблюдается увеличение видового разнообразия сообществ.

**Правило Дарлингтона** – уменьшение площади острова в 10 раз, как правило, сокращает число живущих на нем животных вдвое.

2) **ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА БИОЦЕНОЗА** – это распределение организмов разных видов в пространстве (по вертикали и горизонтали).

Пространственная структура образуется прежде всего **РАСТИТЕЛЬНОЙ ЧАСТЬЮ** биоценоза.

Различают ЯРУСНОСТЬ, или вертикальную структуру биоценоза и МОЗАИЧНОСТЬ, или структуру биоценоза по горизонтали.

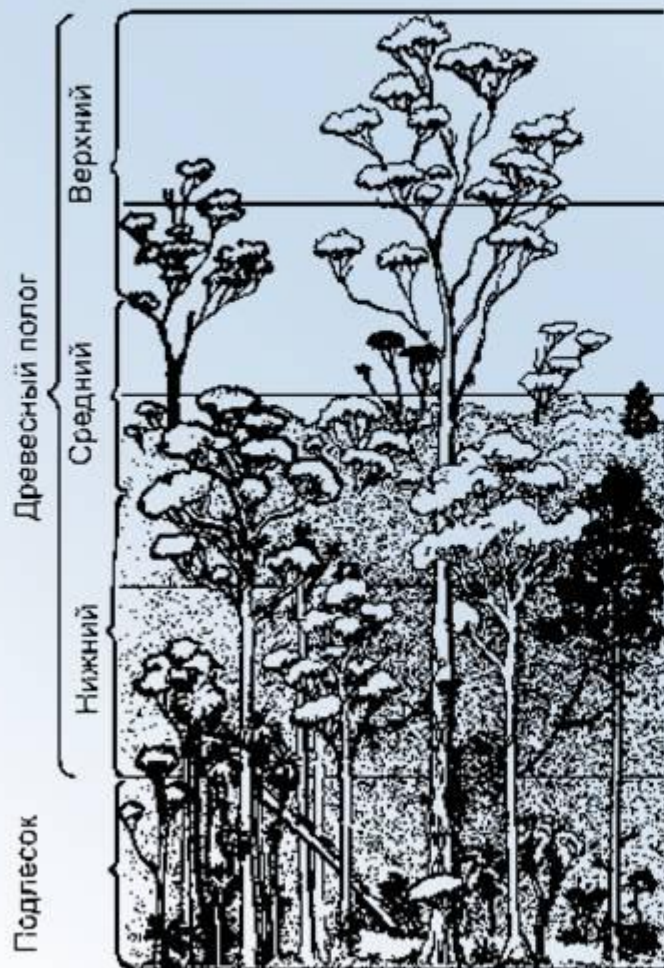
Например, в широколиственных лесах выделяются следующие ярусы:

- деревья первой величины (дуб, липа, вяз)
- деревья второй величины (рябина, яблоня, груша);
- подлесок кустарниковый (крушина, жимолость, бересклет, высокие травы);
- низкие травы.



# Структура биоценозов

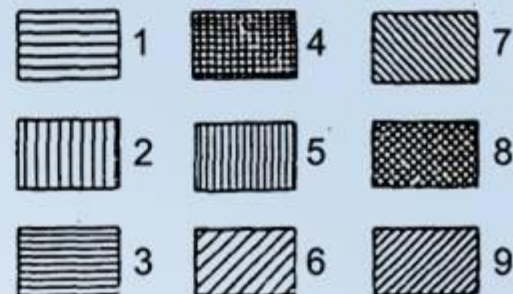
## Пространственная структура фитоценоза



Ярусность



Микрогруппировки



Мозаичность

# Пространственная структура биоценозов

**Ярусное сложение** – ассимилирующие надземные органы растений и подземные их части располагаются в несколько слоёв, по – разному используя и изменяя среду.

- Ярусность позволяет более полно использовать световой поток;
- Под пологом высоких растений могут существовать теневыносливые растения, вплоть до тенелюбивых, перехватывая даже слабый солнечный свет

# Мозаичность – расчленённость в горизонтальном направлении

**Причины:** неоднородность среды,

- средообразующее влияние растений,
- биологические особенности растений.

**Структурные единицы** (микрогруппировки, микроценозы) различаются видовым составом, количественным соотношением разных видов, продуктивностью, сомкнутостью.

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЭКОСИСТЕМЫ

**Экологическая структура** – соотношение организмов разных экологических групп. Биоценозы со сходной экологической структурой могут иметь разный видовой состав. Это связано с тем, что одни и те же экологические ниши могут быть заняты сходными по экологии, но далеко не родственными видами. Такие виды называются *замещающими* или ***викарирующими***.

Экологическую структуру сообществ отражает также соотношение таких групп организмов, как гигрофиты, мезофиты и ксерофиты среди растений или гигрофилы, мезофилы и ксерофилы среди животных, а также спектры жизненных форм. Вполне естественно, что в сухих аридных условиях растительность характеризуется преобладанием склерофитов и суккулентов, а в сильно увлажненных биотопах богаче представлены гигро- и даже гидрофиты.

**Экотон** – граница между экосистемами (биогеоценозами). Экотон всегда отличается более высоким видовым разнообразием и плотностью популяций по отношению к центральной части биогеоценоза. Например, опушка леса всегда более насыщена видами древесной, травянистой и кустарниковой растительности, по отношению к участкам, расположенным в глубине лесного массива.

# ВИДЫ ДОМИНАНТЫ И ЭДИФИКАТОРЫ

В сообществе различают следующие виды: **доминантные**, преобладающие по численности, и «второстепенные», малочисленные и редкие. Среди доминантов особо выделяют **эдификаторов** (строителей) – это виды, определяющие микросреду (микроклимат) всего сообщества. Как правило, это растения.

**Доминанты** господствуют в сообществе и составляют «видовое ядро» любого биоценоза. Доминантные, или массовые, виды определяют его облик, поддерживают главные связи, в наибольшей мере влияют на местообитание. Обычно типичные наземные биоценозы называют по доминирующим видам растений: сосняк-черничник, березняк волосистоосоковый и т. п. В каждом из них доминируют и определенные виды животных, грибов и микроорганизмов.

Основными **эдификаторами** наземных биоценозов выступают определенные виды растений: в еловых лесах – ель, в сосновых – сосна, в степях – дерновинные злаки (ковыль, типчак и др.). Однако в некоторых случаях эдификаторами могут быть и животные. Например, на территориях, занятых колониями сурков, именно их роющая деятельность определяет в основном и характер ландшафта и условия произрастания растений. В морях типичные эдификаторы среди животных – рифообразующие коралловые полипы.

# КОНСОРЦИИ, ПАРЦЕЛЛЫ И СИНУЗИИ В ЭКОСИСТЕМЕ

Важными характеристиками структуры биоценоза являются консорция, синузия и парцелла.

**Консорция** – структурная единица биоценоза, объединяющая автотрофные и гетеротрофные организмы на основе пространственных (топических) и пищевых (трофических) связей вокруг центрального члена (ядра). Например, отдельно стоящее дерево или группа деревьев (растение-эдификатор) и связанные с ним организмы. Биоценоз – это система связанных между собой консорций.

**Синузия** – структурная часть в вертикальном расчленении биоценоза, образованная сходными по жизненной форме видами и ограниченная в пространстве (или во времени). Пространственно синузия может совпадать с горизонтом, пологом, слоем, ярусом биогеоценоза. Например, в сосновом лесу можно выделить синузию сосны, синузию брусники, синузию зеленых мхов и т. д.

**Парцелла** – структурная часть в горизонтальном расчленении биоценоза, отличающаяся от других частей составом и свойствами компонентов. Парцеллу выделяют (ограничивают) по ведущему элементу растительности. Например, участки широколиственных деревьев в хвойном лесу.





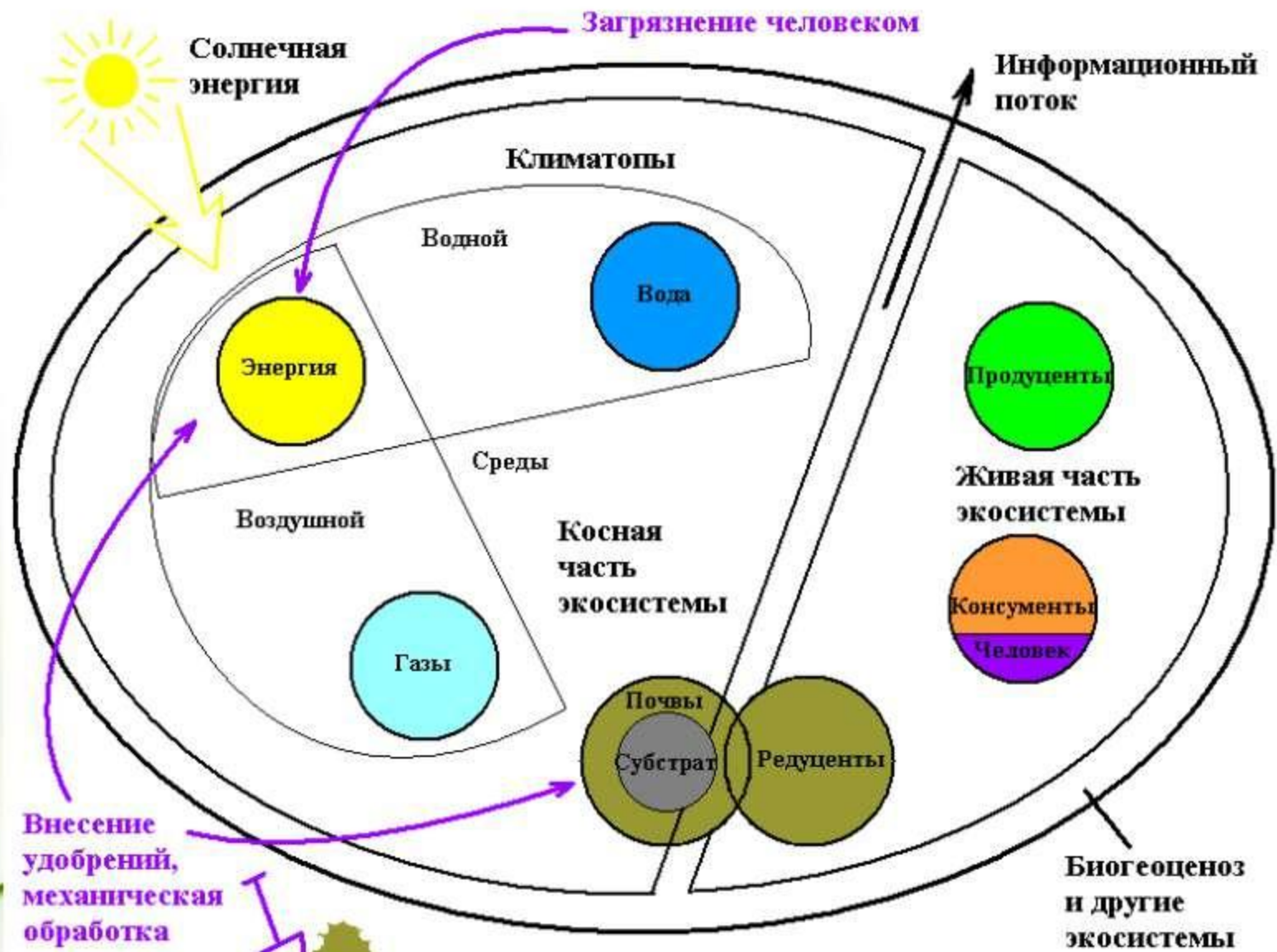
# Функциональные блоки в экосистеме

Биогеоценоз включает две компоненты: биотическую - сообщество живых растительных и животных организмов (**биоценоз**) – и абиотическую - совокупность неживых факторов среды (**экотоп**).

Биоценоз — это совокупность представителей растительного (фитоценоз), животного (зооценоз) мира и мира микроорганизмов (микробоценоз).

Экотоп включает две главные составляющие: климат во всех его многообразных проявлениях и геологическую среду - почво-грунты, или эдафотоп (от греч. эдафос — почва). Все компоненты экотопа и биогеоценоза тесно связаны между собой, проявляют сложное и многостороннее взаимовлияние.

# Энергетический и информационный обмен экосистемы



# Пищевые цепи и сети

**Пищевая цепь** - это перенос энергии пищи от её источника — растений — через ряд организмов, происходящий путем поедания одних организмов другими (Одум, 1975).

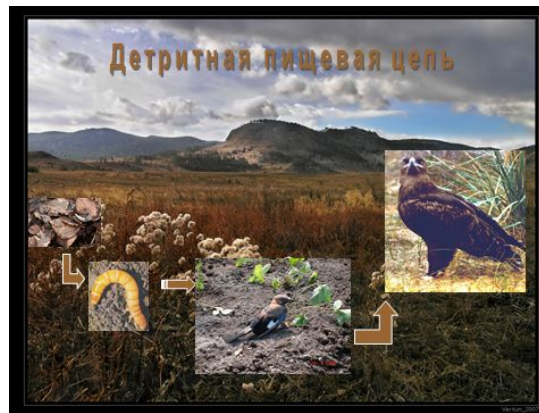
Степная пищевая цепь



Водная пищевая цепь



Детритная пищевая цепь



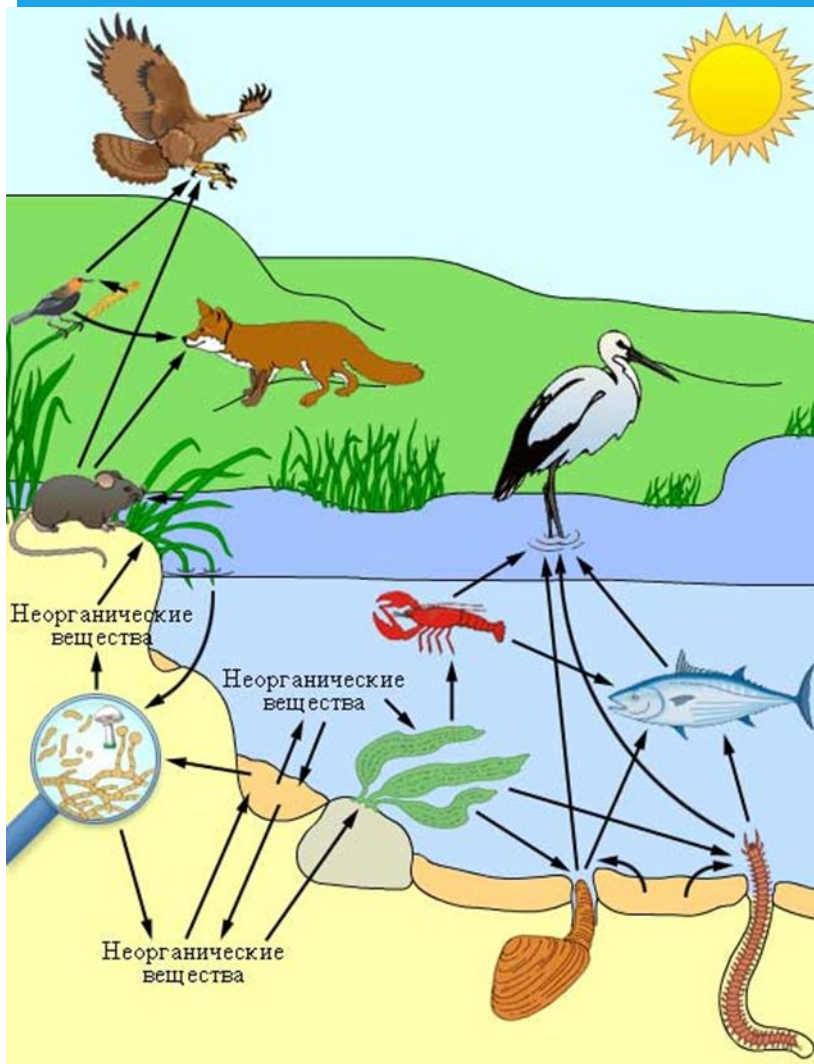
Луговая пищевая цепь



# Цепи питания

- \* Классификация цепей питания по разным авторам различается.
- \* Так, по Дж. Вудвеллу различаются цепи выедания и цепи разложения.
- \* По Ю. Одуму различается пастбищная цепь и детритная цепь.
- \* По П. Дювиньо и М. Тангу - цепи хищников, цепи паразитов, цепи сапрофагов.
- \* По Р. Дажо цепи хищников и цепи паразитов слиты в одну цепь и вводится ещё одно звено - деструкторы, или разрушители. Эта детритная цепь состоит из двух звеньев - детрит и консументы детрита.

# Пищевая сеть



Понятие **пищевая сеть** относится к сложно переплетенным трофическим взаимоотношениям между популяциями различных видов в биоценозе. Изучение пищевой сети очень сложно и возможно лишь по установлению отдельных основных деталей. С другой стороны, установлена возможность объединения обширных групп животных организмов в отдельные звенья единой цепи питания. Пищевая цепь расценивается как важная функциональная структурная единица функциональной организации биоценоза и биогеоценоза в целом.

# *ПРОДУКТИВНОСТЬ ЭКОСИСТЕМЫ*

– это скорость усвоения продуцентами солнечного света в процессе фотосинтеза и образования органического вещества, которое может быть использовано затем в качестве пищи.

Органическая масса, создаваемая продуцентами в единицу времени, называется ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИЕЙ, а прирост в единицу времени массы консументов – ВТОРИЧНОЙ продукцией.

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПИРАМИДА

- Трофическая структура экосистемы может быть представлена в виде ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПИРАМИДЫ, основанием которой служит уровень продуцентов, а последующие уровни питания образуют этажи и вершину пирамиды.
- Различают следующие уровни пирамид:
  - - пирамида чисел (Элтона), отражающая численность организмов на каждом уровне;
  - - пирамида биомассы, отражающая массу живого вещества;

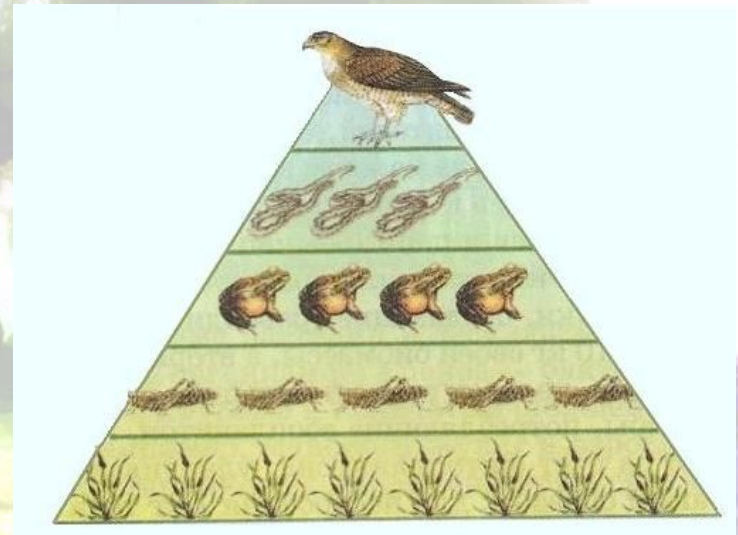
# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПИРАМИДЫ

В первичную продукцию переходит всего лишь около 1% лучистой энергии Солнца, падающей на поверхность продуцентов.

Затем, далеко не вся образовавшаяся первичная продукция достаётся консументам.

Далее, из той величины первичной продукции, которая была потреблена консументами первого порядка, на образование их собственной (вторичной) продукции идёт обычно **не более четверти**. В итоге, вторичная продукция консументов первого порядка обычно оказывается на порядок величин меньше величины первичной продукции этой же экосистемы.

В свою очередь, продукция консументов первого порядка переходит в продукцию консументов второго порядка примерно с такими же большими потерями и уменьшается ещё на один порядок величин.





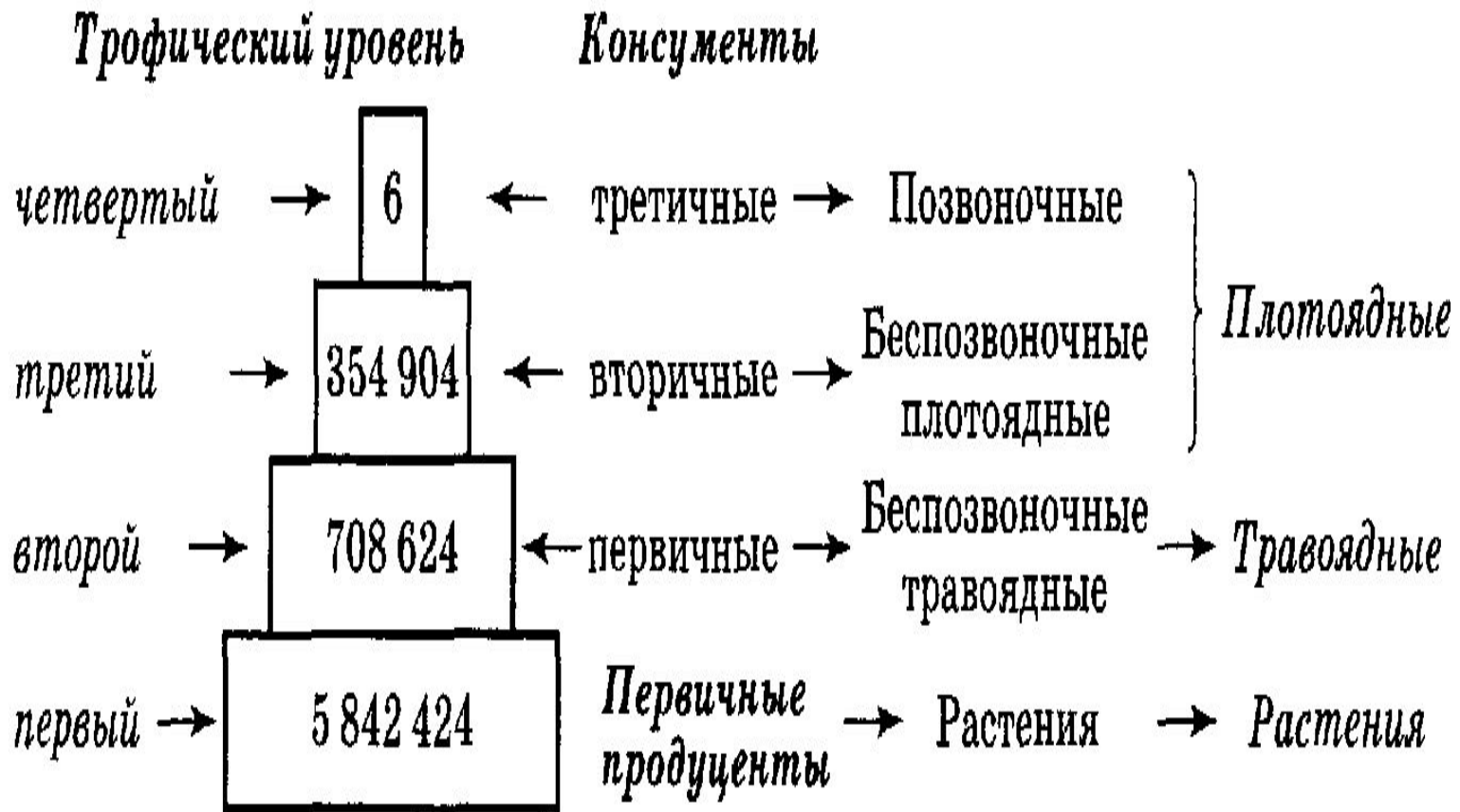
# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПИРАМИДА

ТРОФИЧЕСКИЕ УРОВНИ

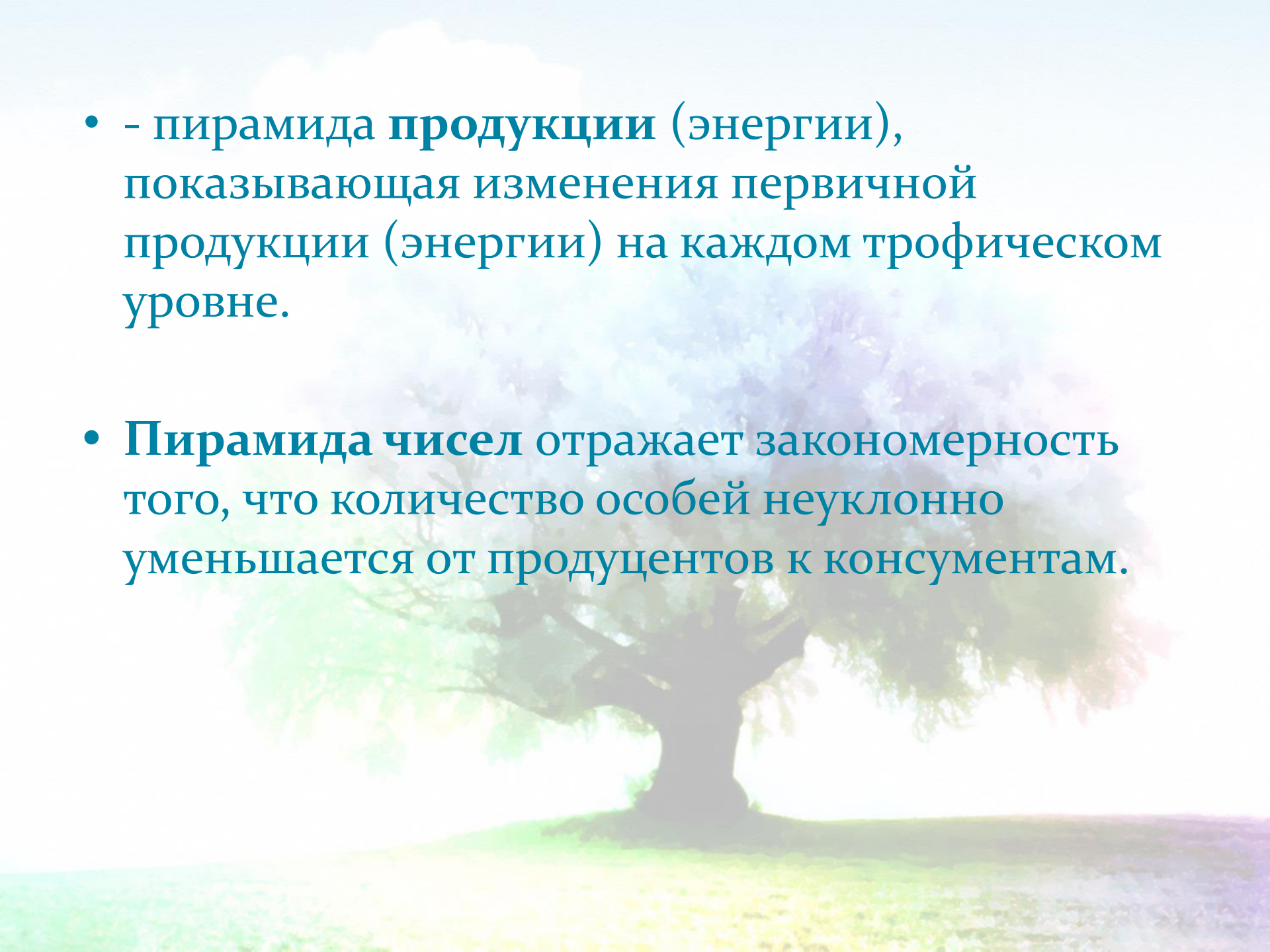


Таким образом, каждый переход вещества и энергии от предыдущего звена трофической цепи к последующему сопровождается их примерно десятикратными потерями. Поэтому масса последующих звеньев трофических цепей намного меньше массы предыдущих звеньев. Эта закономерность называется «**правилом экологической пирамиды**».

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПИРАМИДА ЧИСЛЕННОСТИ ДЛЯ ЛУГА, ПОРОСШЕГО ЗЛАКАМИ: ЦИФРЫ – ЧИСЛО ОСОБЕЙ.



- - пирамида **продукции** (энергии), показывающая изменения первичной продукции (энергии) на каждом трофическом уровне.
- **Пирамида чисел** отражает закономерность того, что количество особей неуклонно уменьшается от продуцентов к консументам.



**ПИРАМИДЫ БИОМАСС БИОЦЕНОЗОВ  
КОРАЛЛОВОГО РИФА (А) И ПРОЛИВА ЛА-МАНШ (Б).  
ЦИФРЫ ОЗНАЧАЮТ БИОМАССУ В ГРАММАХ СУХОГО  
ВЕЩЕСТВА, ПРИХОДЯЩЕГОСЯ НА 1 КВ.М.**

**Плотоядные**

**11**

**Растительноядные**

**132**

**Продуценты**

**703**

**а)**

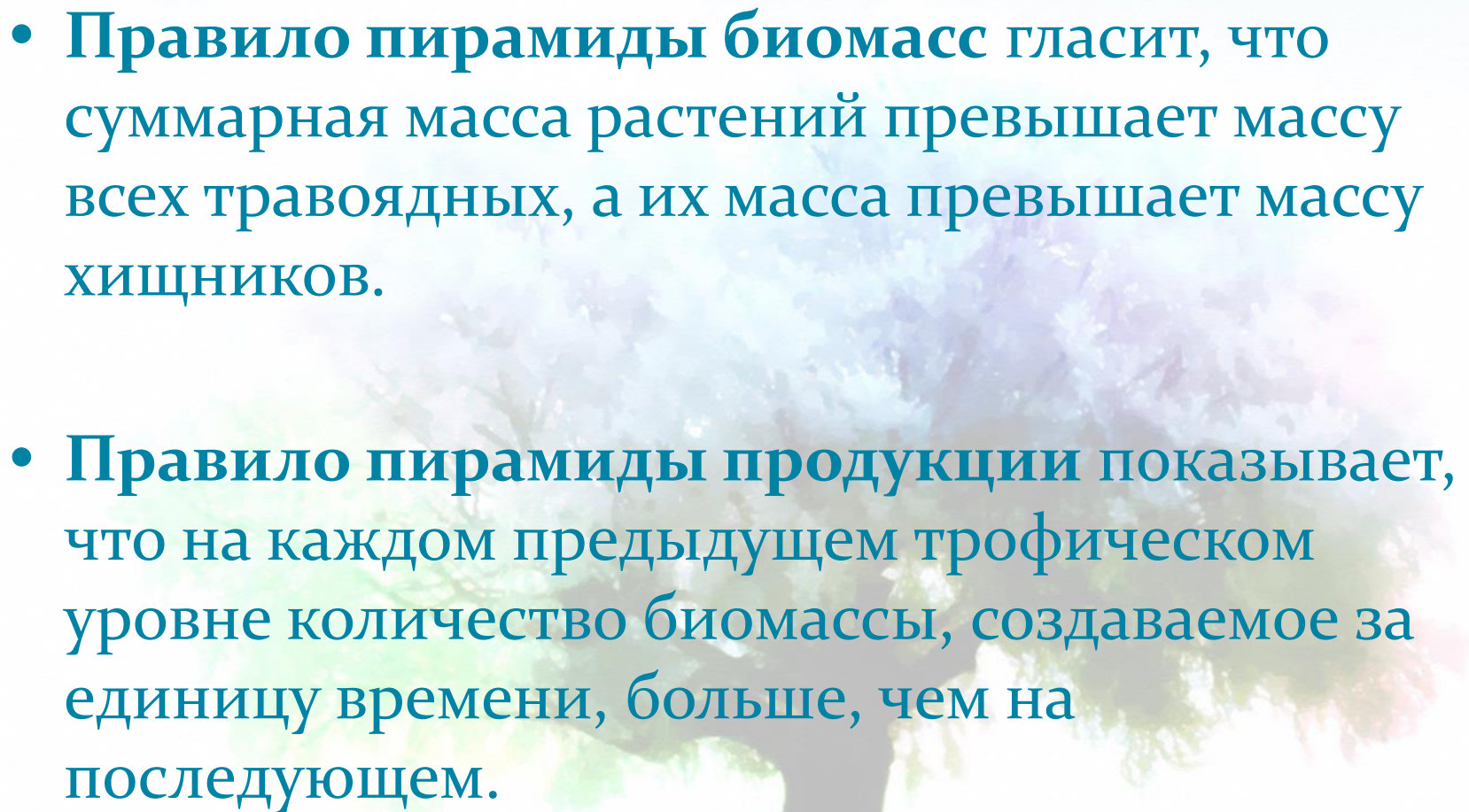
**Зоопланктон**

**21**

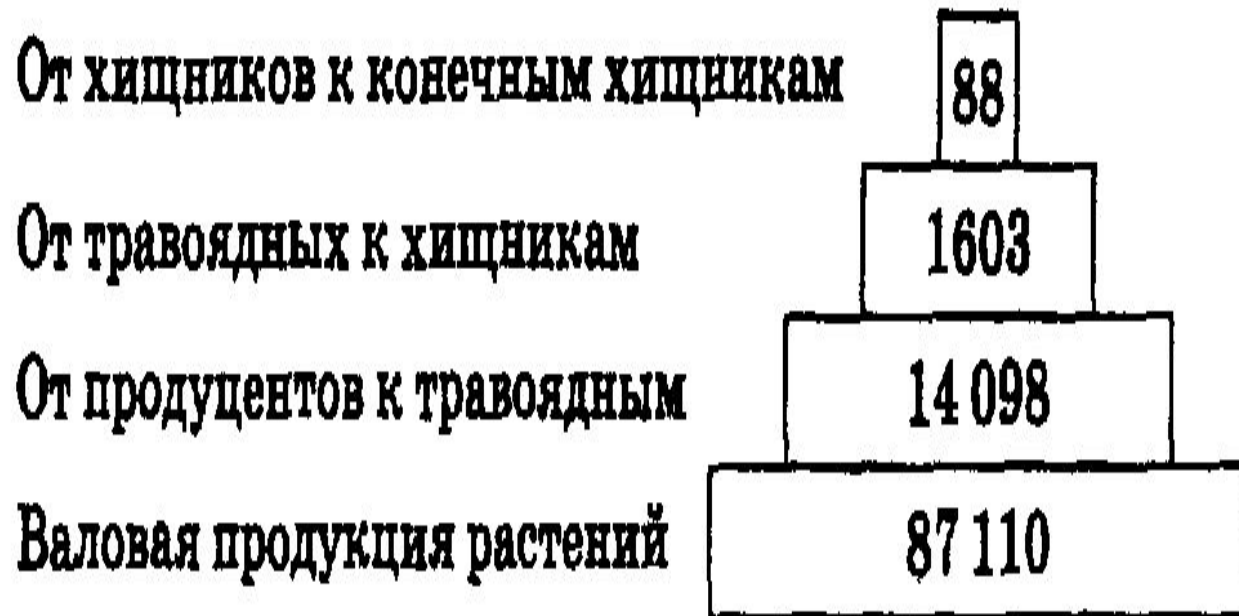
**Фитопланктон**

**4**

**б)**

- 
- A large, leafy tree stands in a field under a bright sky. The tree is the central focus, with its branches spreading out. The background is a soft, hazy landscape with a green field and a bright sky. The text is overlaid on the left side of the image.
- **Правило пирамиды биомасс** гласит, что суммарная масса растений превышает массу всех травоядных, а их масса превышает массу хищников.
  - **Правило пирамиды продукции** показывает, что на каждом предыдущем трофическом уровне количество биомассы, создаваемое за единицу времени, больше, чем на последующем.

# ПИРАМИДА ЭНЕРГИИ: ЦИФРЫ — КОЛИЧЕСТВО ЭНЕРГИИ, КДЖ · М<sup>-2</sup> · Г<sup>-1</sup>



# Экологические сукцессии

**Экологической сукцессией** называется последовательная смена биоценозов в рамках одного биотопа.

**Закон сукцессионного замещения:** природные биотические сообщества последовательно формируют закономерный ряд экосистем, ведущий к наиболее устойчивому в данных условиях состоянию (климаксу)

**Климакс** (климаксное сообщество) - завершающая стабильная стадия развития экосистемы

## Основные стадии сукцессий

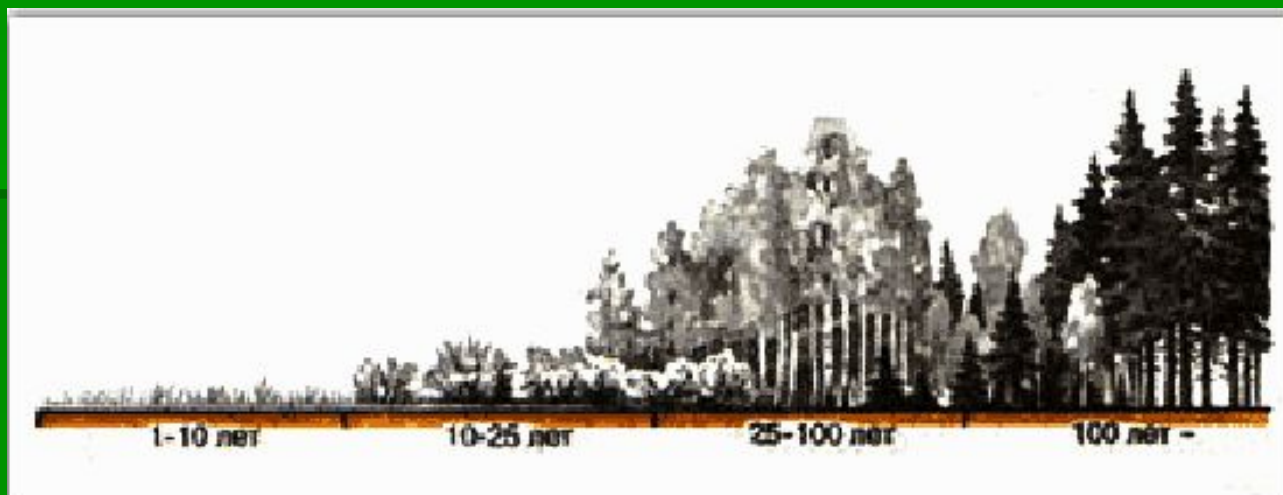
**Первопоселенцы (пионерные виды) →серии сукцессий → климаксное сообщество**

# Функционирование экосистем

**Сукцессия** – последовательная смена биоценозов на одной и той же территории в направлении повышения устойчивости экосистемы

Виды:

- первичная сукцессия
- вторичная сукцессия



Общая картина вторичной сукцессии на покинутом сельскохозяйственном участке



# Виды экологических сукцессий

## 1. По характеру биотопа

- **Первичные сукцессии.** Сукцессии на территориях, впервые осваиваемых организмами.
- **Вторичные сукцессии.** Сообщество развивается на месте, где ранее существовала хорошо развитая экосистема

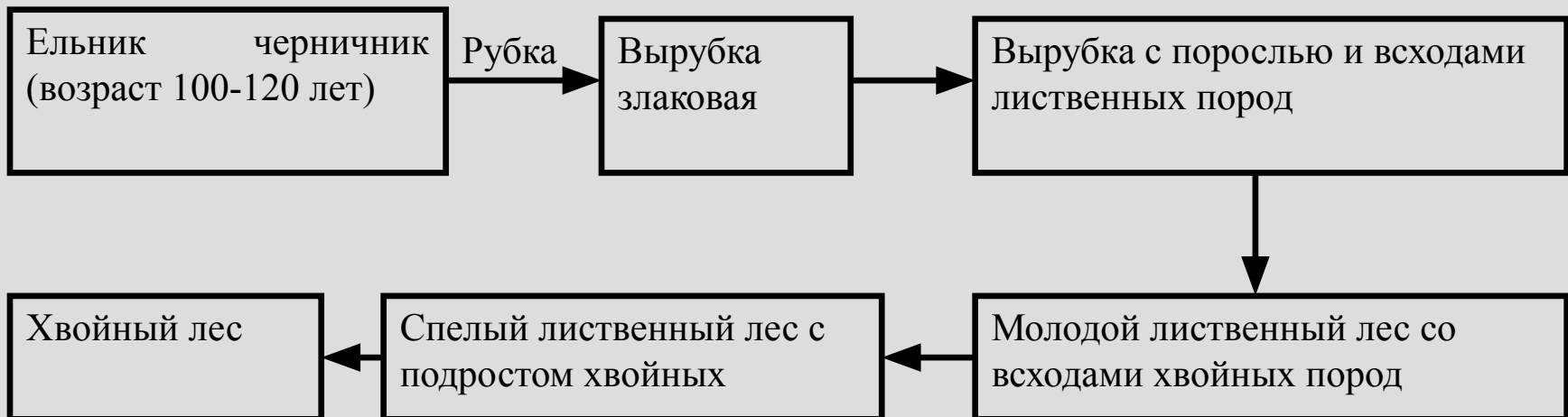
## 2. По заключительной стадии

- **Прогрессивные** - существовавшее на данном месте коренное биотическое сообщество, которое по каким либо причинам было удалено (вырубка) полностью восстанавливается
- **Регрессивные** – не завершаются конечным климаксом, коренная экосистема полностью исчезает (напр. опустынивание)

### 3. По причинам, вызывающим сукцессию

- **Экзогенные сукцессии** – связаны с действием внешних факторов
  - a) Климатические
  - b) Почвенные.
  - c) Геологические
  - d) Антропогенные.
- **Эндогенные сукцессии** – связаны с внутренними процессами экосистемы

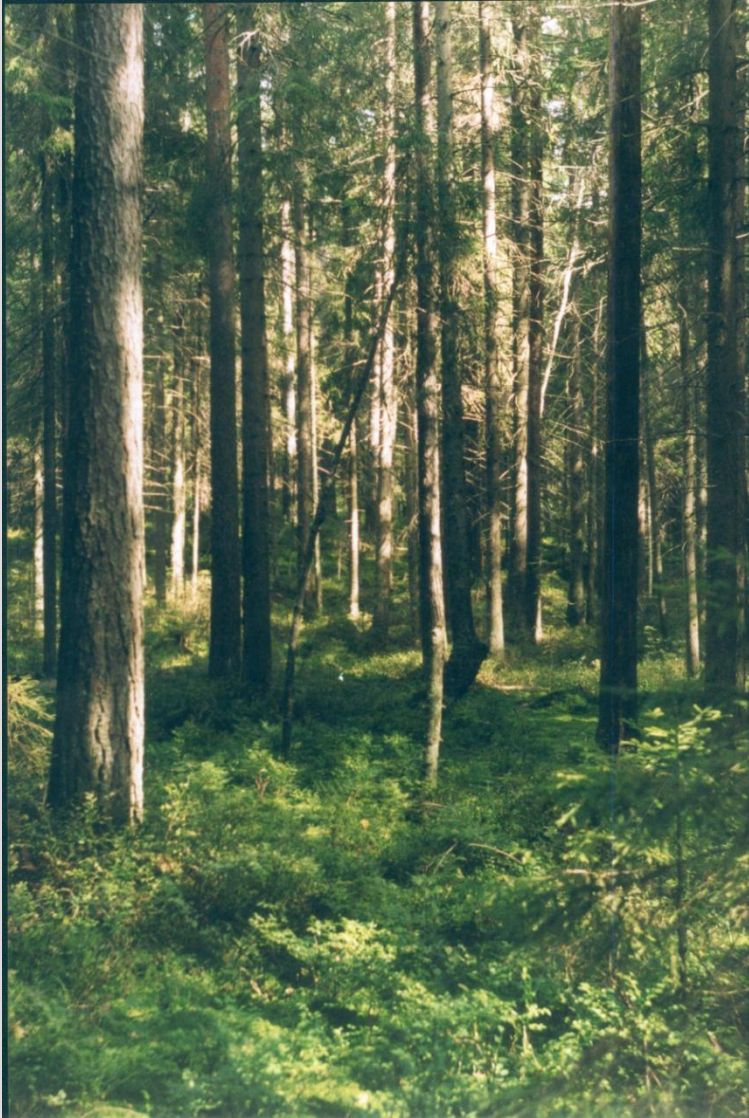
#### Примеры экологических сукцессий



# Сукцессия: «захват» территории древесной растительностью.



# Климакс



# Пример сукцессии в водной экосистеме



# Функционирование экосистем



**Гомеостаз** - способность экосистем (организмов, популяций) противостоять изменениям и сохранять равновесие

# Гомеостаз экосистем

**Гомеостаз** – способность экосистемы сохранять состояние подвижного равновесия, не смотря на внешнее воздействие.



Влияние внешних воздействий на гомеостаз экосистем. 1-3 гомеостатические плато; 4, 5 – гомеостатические скачки

# Учение о Биосфере

Жан Батист Ламарк (1744-1783г) – термин биосфера

**Вернадский В.И. (1926). Биосфера - поверхностная оболочка Земли, созданная и преобразуемая деятельностью живых организмов.**

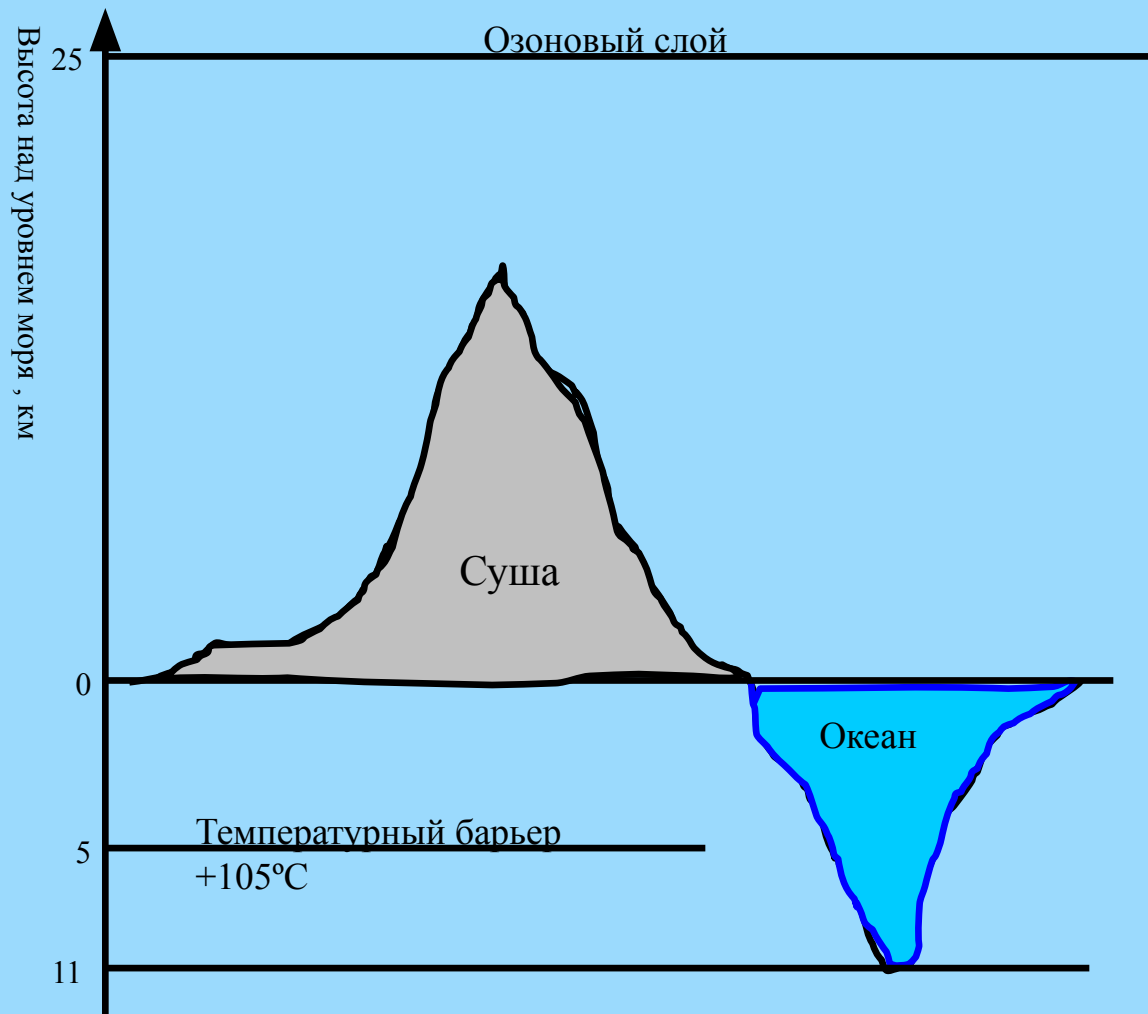
## Строение биосферы

**Атмосфера** до высоты 25 км (озоновый слой)

**Гидросфера** на всю толщу (11 км)

**Литосфера** до глубины 5 км (температурный барьер +105°C)





Расположение биосферы в гидросфере, литосфере и в атмосфере

# Характерные черты биосферы

- Наличие вещества в трех агрегатных состояниях – жидком, твердом и газообразном.
- Наличие большого количества воды в свободной форме.
- Наличие большого количества энергии, как солнечного, так и земного происхождения.

## Основные компоненты биосферы

1. **Живое вещество** – вся сумма живых организмов, находящихся на планете в данный исторический период.
2. **Биогенное вещество** – органическое или органо-минеральное вещество, созданное организмами далекого прошлого и представленное в виде каменного угля, горючих сланцев, горючих газов, торфа, сапропеля, нефти
3. **Биокосное вещество** – неорганические вещества, преобразованные деятельностью организмов (вода, воздух, железная и марганцевая руды).

# Живое вещество планеты и его биогеохимические функции

## Распределение живого вещества по планете

Показатель	Суша	Океан
Площадь	149 x 10 <sup>9</sup> км <sup>2</sup> (29%)	361 x 10 <sup>9</sup> км <sup>2</sup> (71%)
Биомасса	2420 x 10 <sup>9</sup> т (99,87%)	3,2 x 10 <sup>9</sup> т (0,13%)
Растения	99,2%	6,3%
Животные	0,8%	93,7%

- Захват и запасание солнечной энергии в процессе фотосинтеза
- Создание органического вещества и его перенос по планете
- Концентрация химических элементов
- Отложение органического вещества на длительный период (известняки, мел, каменный уголь, нефть, и.т.д.)

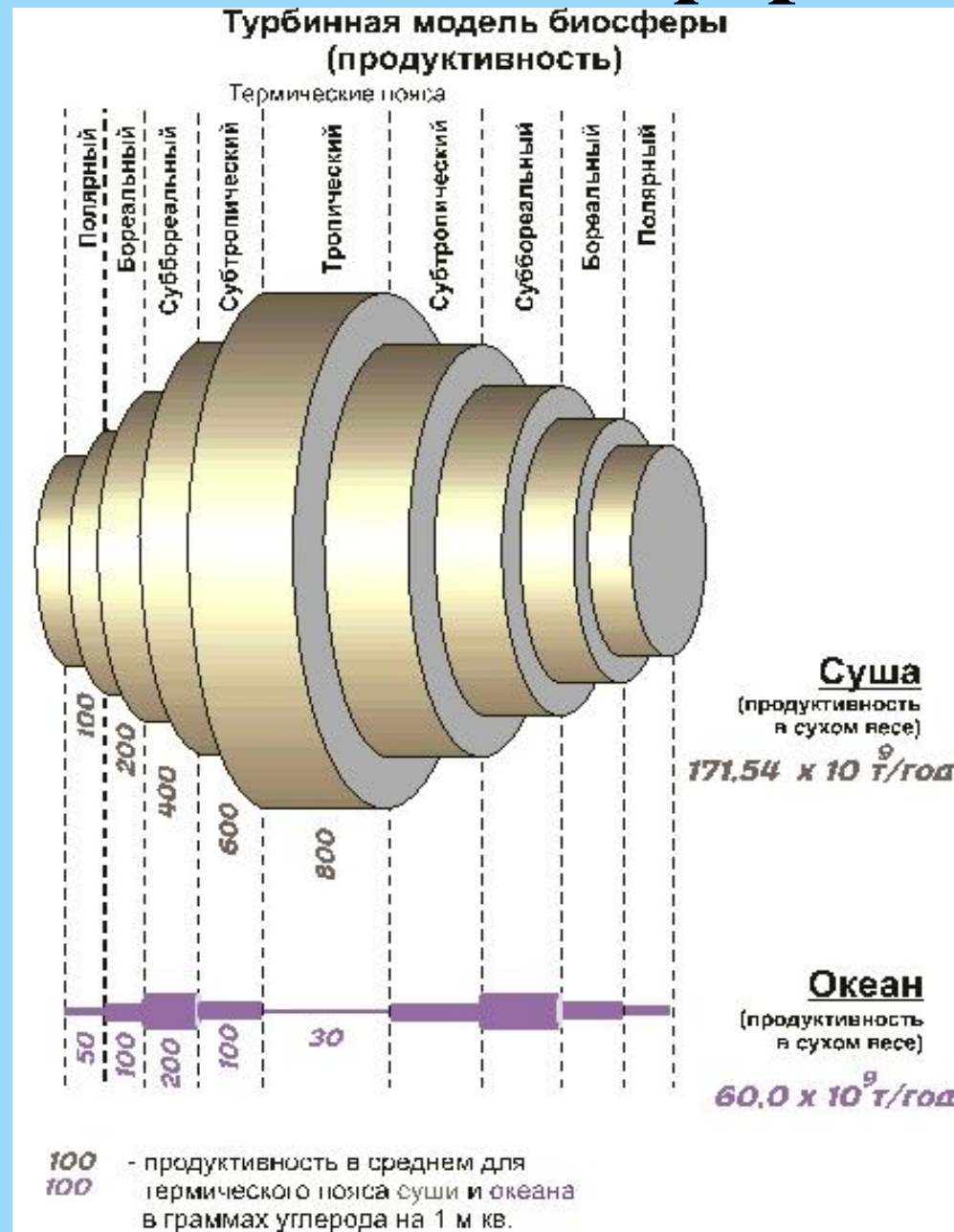
- Окислительно-восстановительная активность (анаэробные и аэробные организмы)
- Создание почвы и ее плодородного слоя
- Санитарно-очистительная функция (разложение мертвых органических остатков)

### Концентрация химических элементов организмами

Химические элементы	Содержание химического элемента в атмосфере, литосфере и гидросфере, %	Содержание химического элемента в телах организмов, %	
		Растения	Животные
Углерод	0,18	3,00	18,00
Азот	0,03	0,28	3,00
Кислород	50,02	79,00	65,00
Водород	0,95	10,00	10,00

# Понятие о продуктивности биосферы

- **Низкая продуктивность** –  $0,1 \dots 0,5 \text{ г/м}^2$  в сутки характерна для зоны пустынь и для арктического пояса
- **Средний уровень продуктивности** –  $0,5 \dots 3 \text{ г/м}^2$  в сутки характерен для тундры, лугов, полей и некоторых лесов умеренной зоны
- **Высокий уровень продуктивности** – более  $3 \text{ г/м}^2$  в сутки характерен для экосистем тропических лесов, для пашни, морских мелководий.



# **Биогеохимические циклы в биосфере**

**Биогеохимический цикл** - циркуляционное движение неорганических веществ и химических элементов между биоценозом и биотопом.

## **Составные части БГХЦ**

**Геологический круговорот веществ** – это многократно повторяющийся процесс совместного, взаимосвязанного превращения и перемещения веществ в природе, имеющий более или менее циклический характер

**Биологический круговорот веществ:**

- **аккумуляция элементов в живых организмах;**
- **минерализация в результате разложения мертвых организмов.**

# Макроэлементы

Необходимы организмам в больших количествах: углерод, водород, кислород, азот, фосфор, калий, магний, кальций, сера

# Микроэлементы

Необходимы в ничтожных количествах. Это большинство элементов периодической системы.

## Основные понятия

**Оборот** - отношение пропускания к содержанию

**Скорость оборота** - это та часть общего количества данного вещества в данном компоненте экосистемы, которая освобождается или поглощается за определенное время

**Время оборота** - это время, необходимое для полной смены всего количества этого вещества в данном компоненте экосистемы

**Резервный фонд**

**Обменный фонд**

**С точки зрения существования биосферы  
биогеохимические циклы делят на:**

- круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере или гидросфере;
- осадочный цикл с резервным фондом в земной коре.

**Цикл углерода**

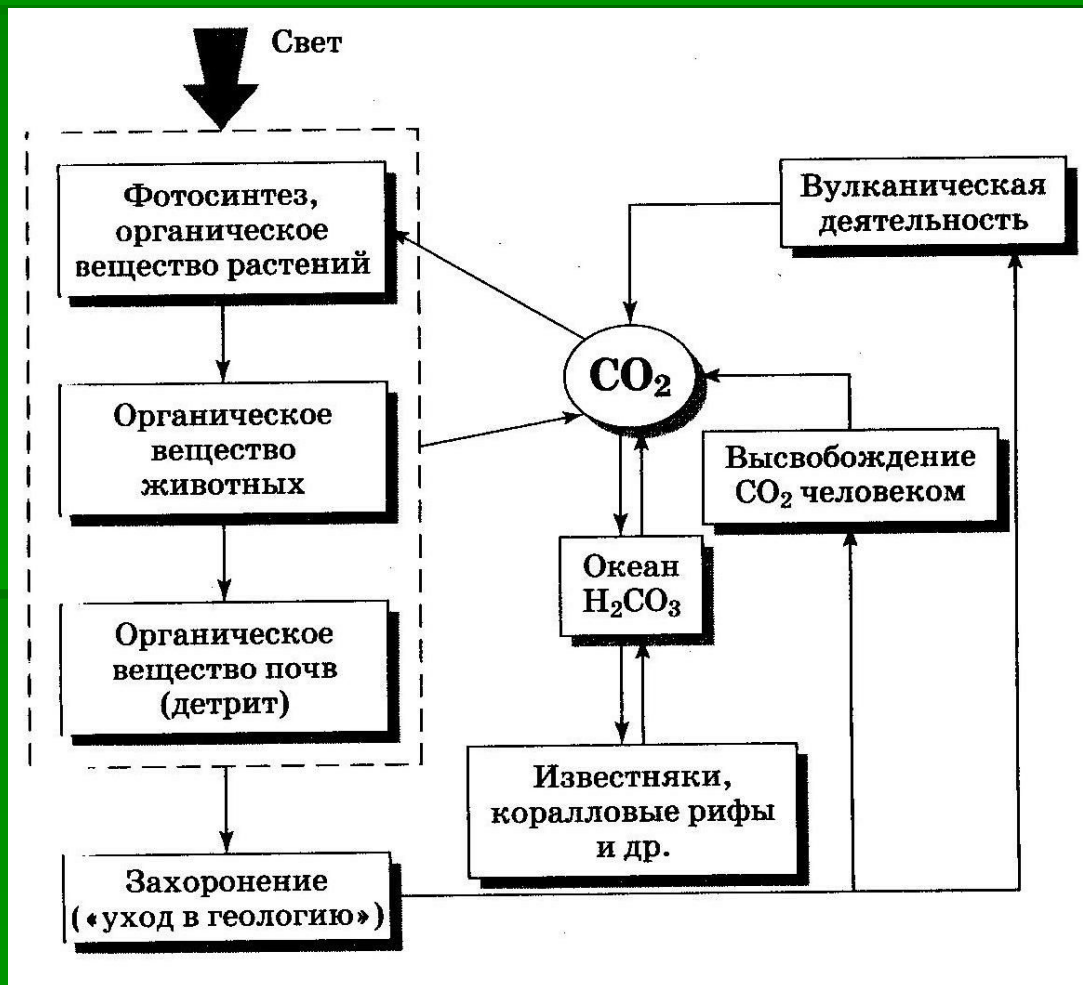
**Геологический круговорот**

**Биологический круговорот**

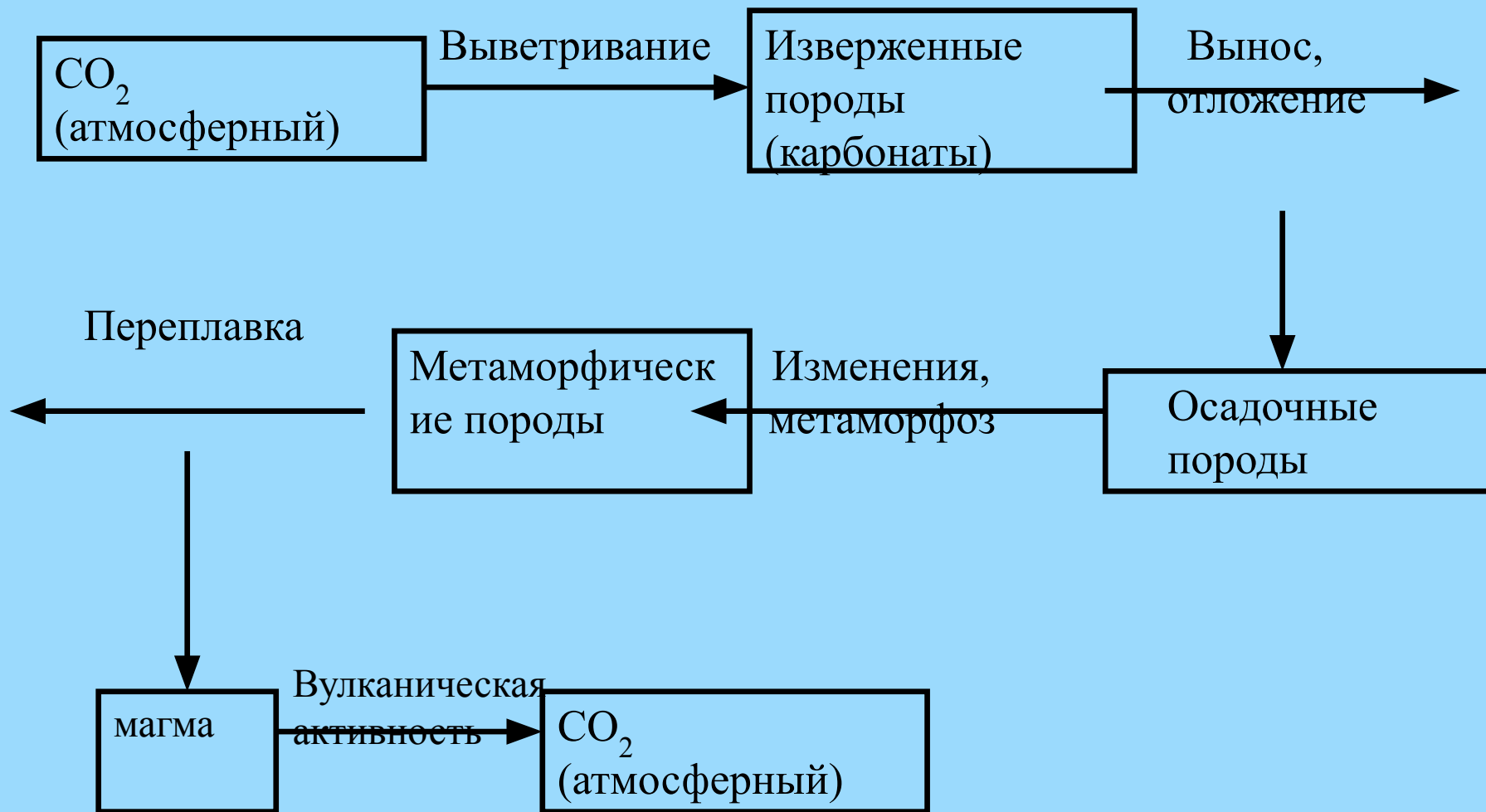
**Техногенный круговорот**



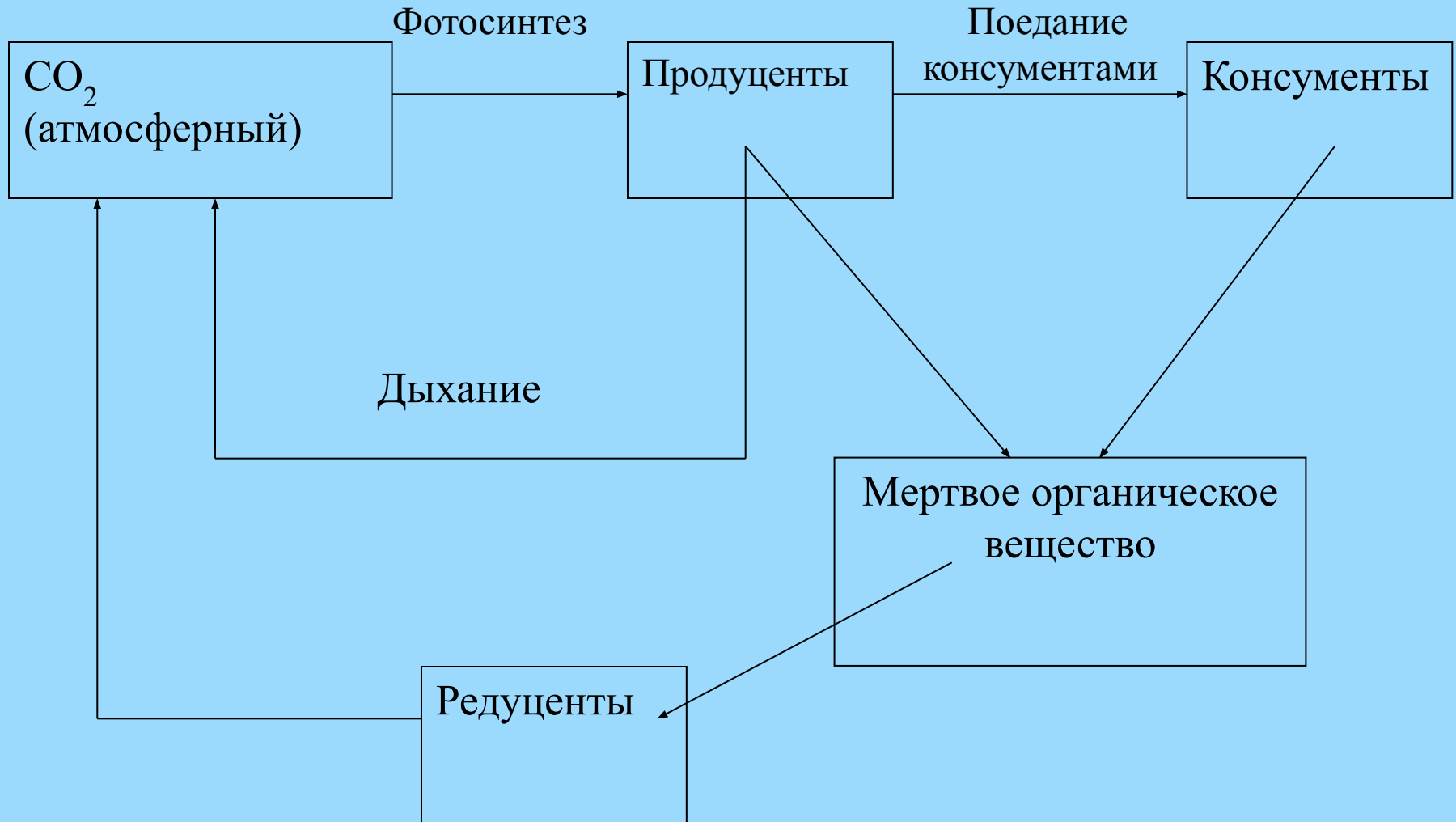
# Круговорот углерода



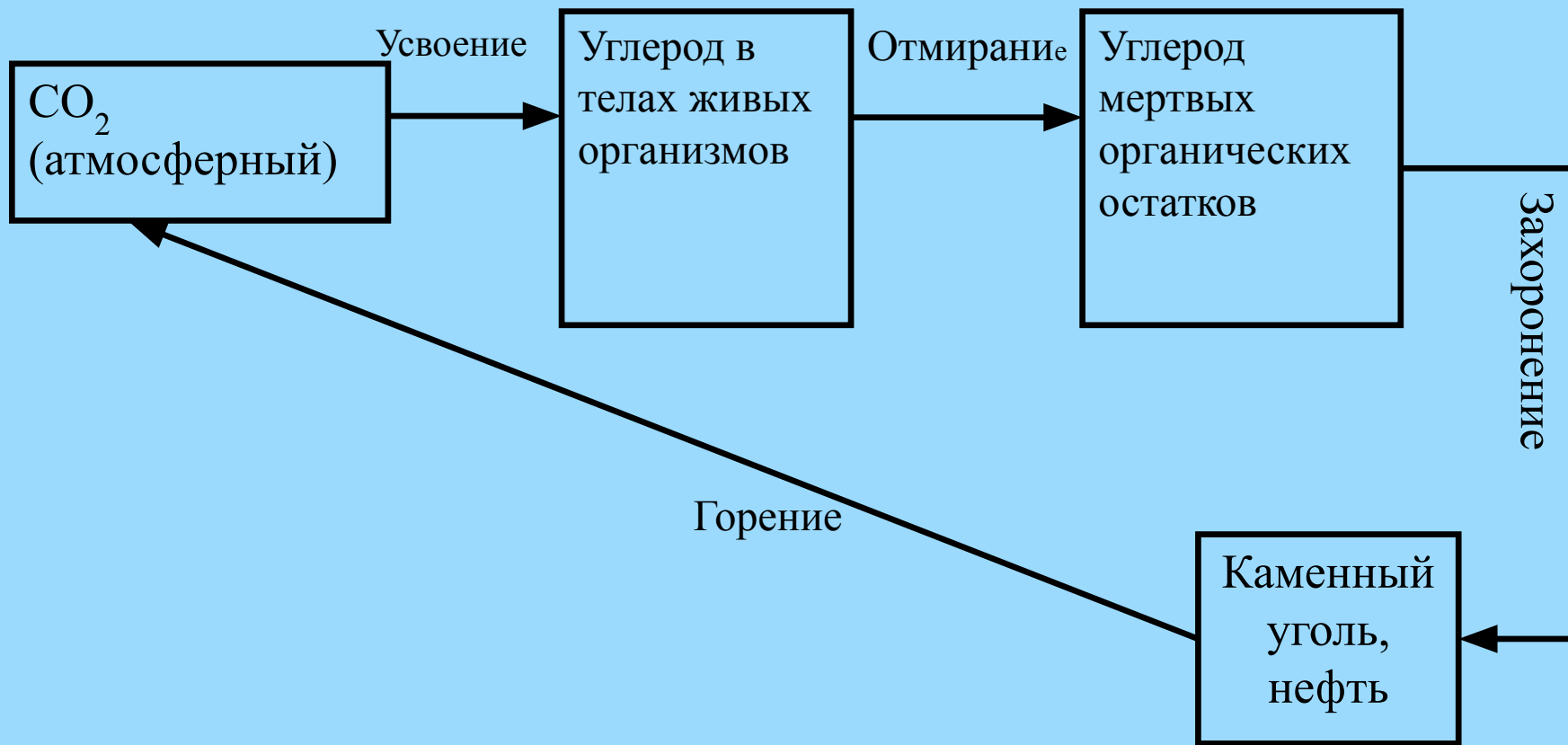
# Геологический круговорот



# Биологический круговорот



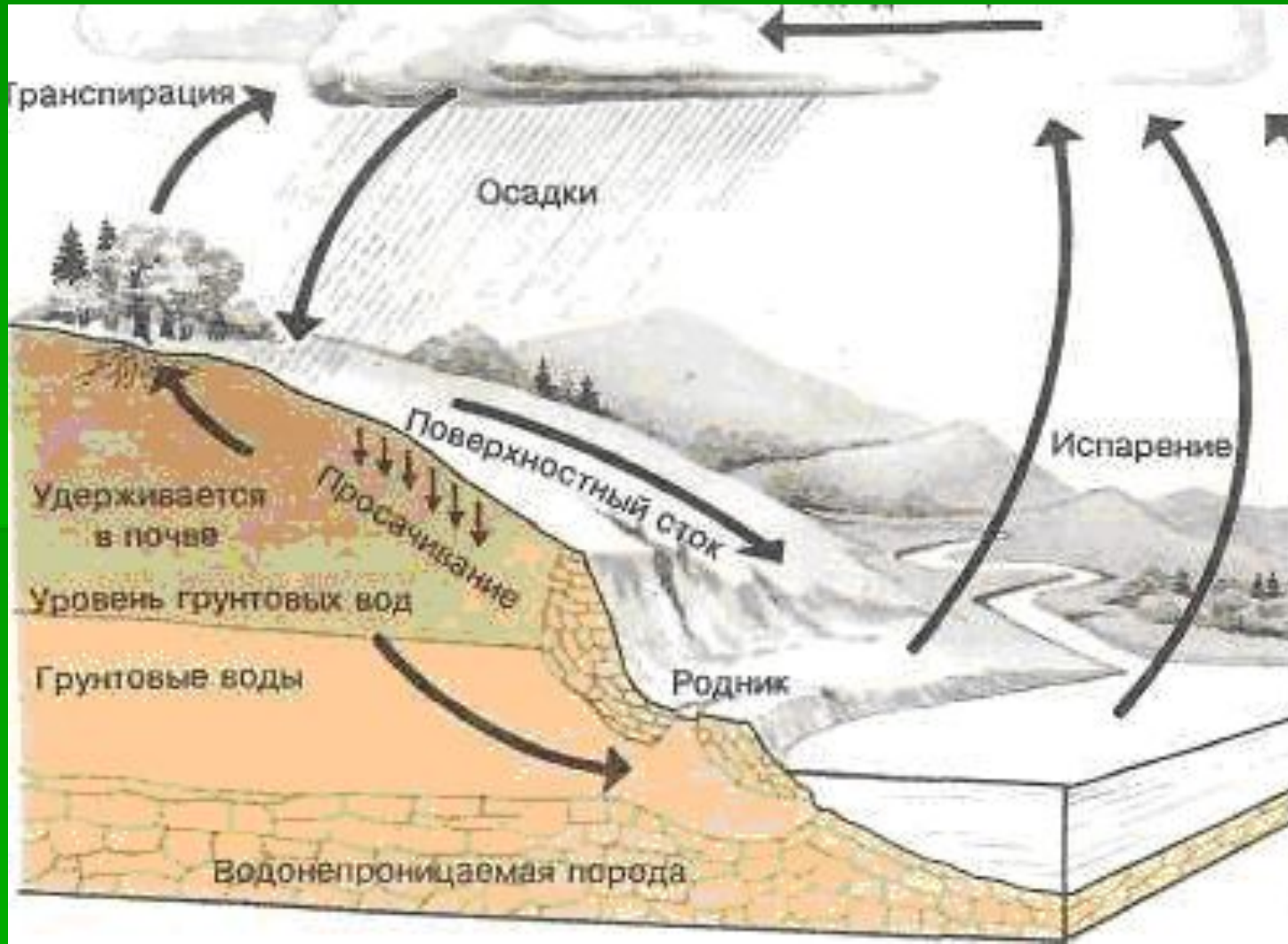
# Техногенный круговорот



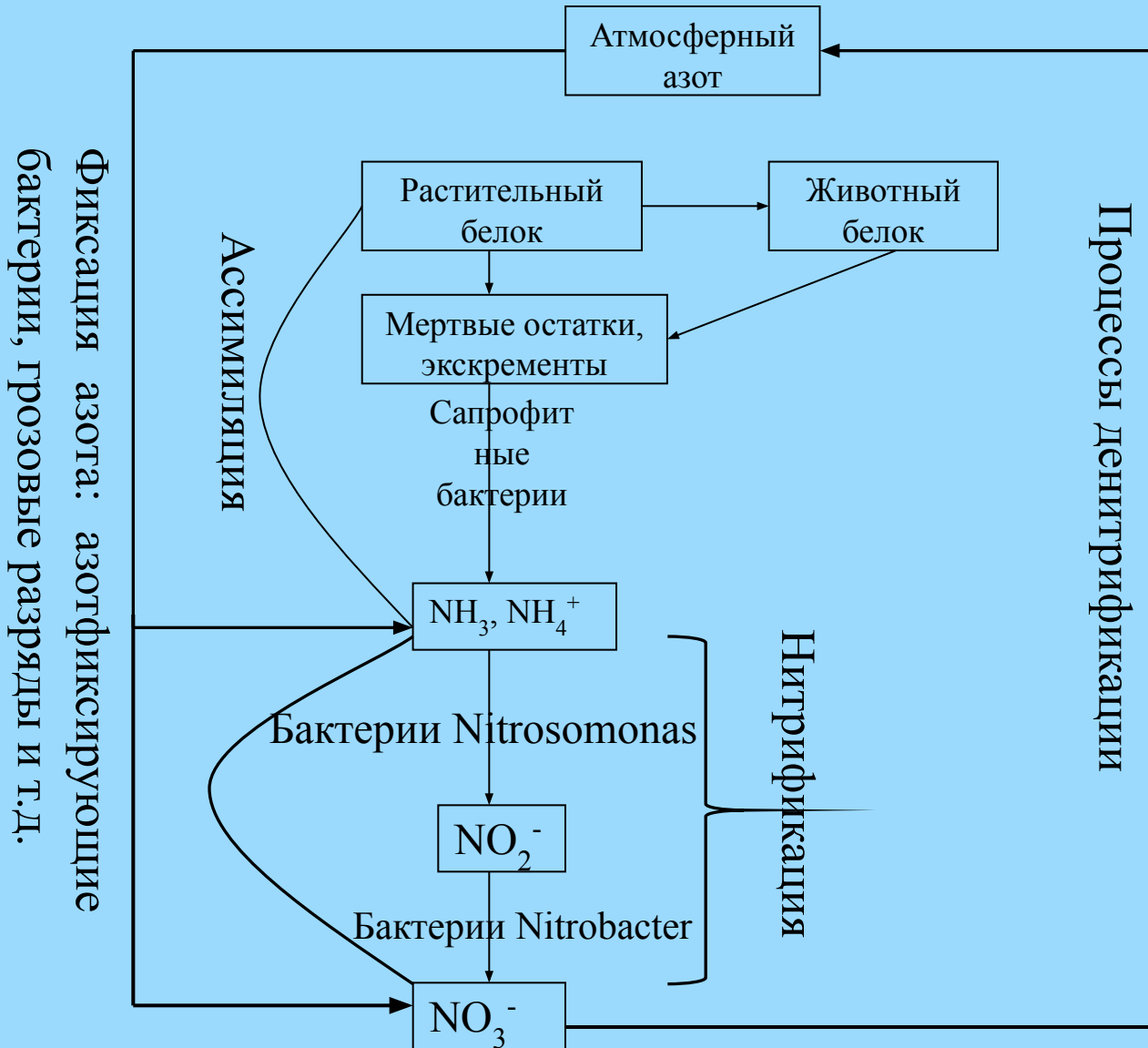
# Функционирование экосистем

- Круговорот биогенных элементов (биогеохимический круговорот). Наиболее важные: вода, кислород, углерод, азот и фосфор.
- Основной принцип функционирования экосистем: Получение ресурсов и переработка отходов происходит в процессе круговорота всех элементов.

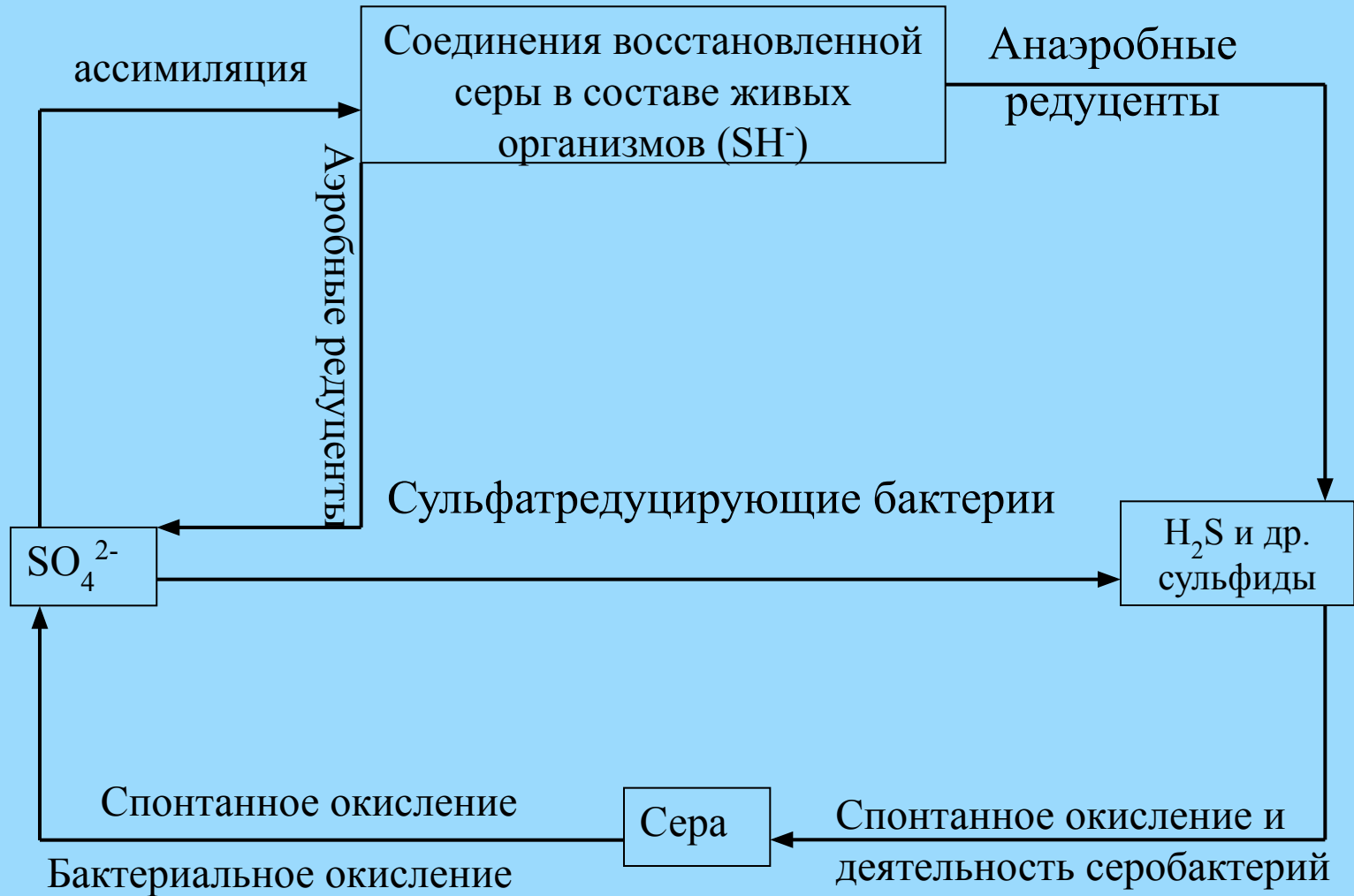
# Круговорот воды в биосфере



# Цикл азота



# Цикл серы





# Цикл фосфора.

