

# Общая экология

Обзорная лекция

# Вопросы лекции:

1. Предмет экологии и система экологических наук. Методы экологии.
2. Аутэкология. Классификация экологических факторов. Законы действия экологических факторов. Адаптации. Понятие жизненной формы организмов.
3. Понятие о популяции в экологии. Свойства популяции. Структура популяции. Гомеостаз популяции.
4. Демографические показатели популяции. Рост популяции. Динамика численности популяции. Управление природными популяциями.
5. Синэкология. Видовая структура биоценоза. Меры видового разнообразия. Межвидовые отношения в биоценозе. Экологическая ниша вида.
6. Функциональная структура биогеоценоза. Энергия в экосистемах. Продуктивность экосистем. Основные биомы Земли.
7. Учение о биосфере. Общие закономерности организации биосферы.
8. Биологический круговорот веществ. Биогеохимические циклы и их антропогенное изменение.

В наиболее простом (исходном) варианте определения экологии ее предметом можно обозначить **взаимоотношения организмов (и систем надорганизменного уровня) с окружающей (абиотической, биотической и антропогенной) средой.**

Учитывая парадигму системного подхода в современном естествознании, **экологию** можно определить **как науку о структуре и функционировании экологических систем различного ранга.**

# Предмет экологии

Организмы в их  
отношениях с  
окружающей  
средой

Среда обитания

Общие законы  
функционирования  
экосистем

**Биоэкологи  
гия**

**Средоло  
гия  
(энвироник  
а)**

**Общая  
экологи  
я**

**МЕГАЭКОЛОГИЯ**

# КУЛЬТУРА

экософия;  
экологическое право;  
экологическое образование  
и воспитание

## ОБЩАЯ

### аутэкология

(экология особи, организма);

### популяционная экология;

### синэкология

(экология сообществ  
организмов);

### экология систематических групп организмов

(например, зооэкология,  
экология растений и т.п.);

### биогеоценология;

### биосферология

(глобальная экология)

ЭК  
ОЛ  
ОГИ  
ИИ

социальная  
экология

СОЦ  
ИОЛ  
ОГИЯ

ГЕОГРА  
ФИЯ

геоэкол  
огия

ЯД  
РО

## ЭКОЛОГИЯ

инженерная экология;  
сельскохозяйственная экология;  
промышленная экология;  
рекреационная экология;  
медицинская экология

ПРИКЛАДНЫЕ НАУКИ

# Методы экологии

## Общенаучные

### Теоретические

анализ и синтез  
дедукция и  
индукция

### Эмпирические

наблюдение  
эксперимент

## Специальные

**Экологическое моделирование**  
(имитация экологических явлений с помощью лабораторных, логических, математических или натуральных моделей)

**Экологический мониторинг**  
(система наблюдений, оценки, контроля и прогноза состояния окружающей среды)

**Методы смежных наук:**  
физики, химии, географии, геохимии и др.

Влияние среды на организм осуществляется через воздействие ее компонентов – экологических факторов.

**Экологический фактор** – любой элемент среды, способный оказать прямое или косвенное воздействие на организм.

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

## Абиотические

**Климатические** (свет, влажность, давление и др.)

**Географические** (рельеф, природные барьеры – реки, ледники и т.п.)

**Эдафические** (свойства почв, субстратов)

**Гидрологические** (водная среда)

## Биотические

**Внутри-  
видовые**

**Межвидовые**

средовые  
пищевые  
половые

средовые  
пищевые

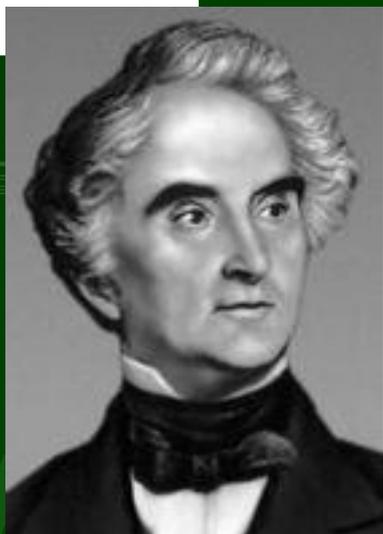
## Антропогенные

# По продолжительности действия **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ**

**Разовые**  
(падение метеорита, снаряда)

**Постоянные**  
(сила тяготения, состав океана, атмосферы)

**Изменчивые**  
**регулярно-периодические**  
(суточная, сезонная ритмика)  
**нерегулярно-периодические**  
(погодные условия, бури, ливни, обвалы, землетрясения)  
**эпизодические**  
(многие антропогенные)  
**длительно направленные**  
(зарастание водоемов, потепление климата)



# Немецким химиком Ю. Либихом в 1840 г. сформулирован закон минимума

Урожай (его величина и устойчивость во времени) определяется питательным веществом, находящемся в почве в минимальном количестве

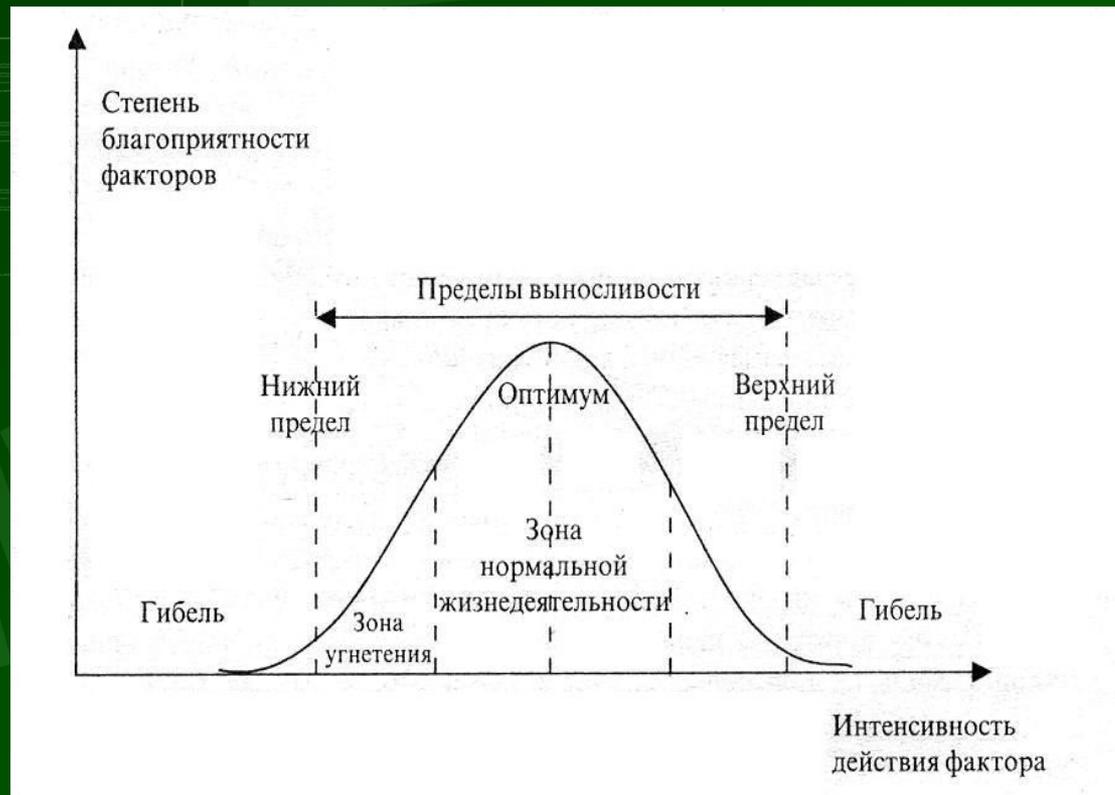


озднее было установлено (**Ф. Блекманом**), что не только минимальное, но и максимальное воздействие какого-либо фактора среды действует угнетающе на организмы.

Согласно **закону лимитирующего фактора**, экологические факторы, присутствующие как в недостатке, так и в избытке (по отношению к оптимальным требованиям организма), ограничивают или прекращают его развитие и даже существование.



# Закон толерантности (В. Шелфорд, 1913 г.)



Согласно данному закону, каждый фактор характеризуется **зоной оптимальных значений** для данного вида организмов и имеет пределы положительного влияния. Приближение интенсивности действия фактора к критическим точкам – пределам выносливости, происходит угнетение жизнедеятельности организма (**зона пессимума**).

**Закон компенсации экологических факторов** сформулирован Э. Рюбелем в 1930 г.: отсутствие или недостаток некоторых экологических факторов могут быть компенсированы другим близким (аналогичным) фактором.

Однако отсутствие фундаментальных факторов (света, воды, биогенных элементов) не может быть заменено другими факторами (**закон незаменимости фундаментальных факторов** – В.Р. Вильямс, 1949 г.)

**Правило взаимодействия и компенсации факторов:** все экологические факторы действуют совместно, и могут либо усиливать, либо компенсировать действие друг друга.

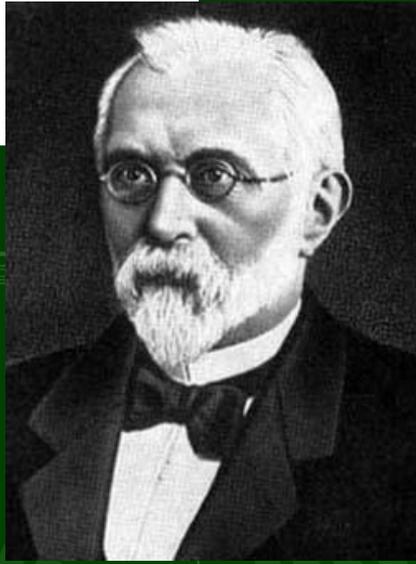
Изменение условий обитания во временном (историческом) или пространственном (географическом) аспекте вызывает приспособительные реакции организма (**адаптации**)

## Адаптации

Поведенческие

Морфологические

Физиологические



Термин «жизненная форма» предложен в 1884 г. датским ботаником Е. Вармингом. Под жизненной формой Варминг понимал «форму, в которой вегетативное тело растения (индивида) находится в гармонии с внешней средой в течение всей его жизни, от колыбели до гроба, от семени до отмирания».

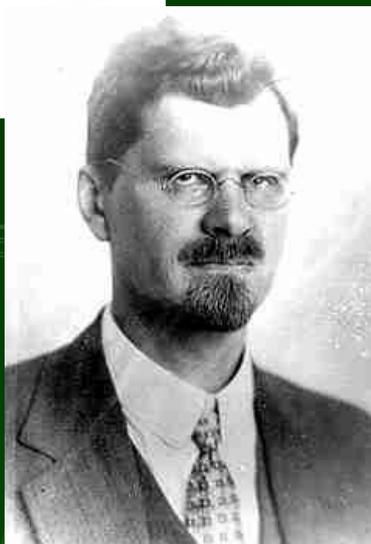
Жизненная форма отражает приспособленность растения ко всему комплексу факторов внешней среды во все периоды

Серебряков дает следующее развернутое определение: «**Жизненную форму** у высших растений с эколого-морфологической точки зрения можно определить как своеобразный общий облик (габитус) определенной группы растений (включая их подземные органы), возникающий в их онтогенезе в результате роста и развития в определенных условиях среды. Исторически этот габитус развился в данных почвенно-климатических условиях как выражение приспособленности растений к этим условиям». По И.Г. Серебрякову, жизненную форму растения создает система его вегетативных органов. Жизненная форма – категория морфологическая и экологическая.

## ЖИЗНЕННАЯ ФОРМА

1) в ботанике - внешний облик (габитус) растения, отражающий приспособленность к условиям среды. Ж.ф. также называют единицу экологической классификации растений - группу растений со сходными приспособительными структурами, необязательно связанных родством (напр., кактусы и молочаи образуют Ж.ф. стеблевых суккулентов). Ж.ф. у растений изменяется в ходе индивидуального развития. Один и тот же вид растения в разных условиях может иметь разные Ж.ф. Син.: Биоморфа;

2) в зоологии понятие Ж.ф. стало применяться лишь в XX в. и еще не достаточно разработано. При выделении Ж.ф. и классификации по ним организмов используют наличие сходных морфоэкологических, физиологических, поведенческих и т.д. приспособлений для обитания в одинаковой среде. Так, Д.Н. Кашкаров (1944) предложил следующую систему форм животных: плавающие, роющие, наземные, древесные лазающие, воздушные.



Индивиды любого вида живого всегда представлены в природной среде не изолированными отдельностями, а только их определённым образом организованными совокупностями - **правило объединения в популяции**, сформулированное С. С. Четвериковым в 1903 г.

**Популяция** (население – лат.) – это группа организмов одного вида, занимающая определенную территорию и обычно в той или иной степени изолированная от других сходных групп.

Термин впервые использовал в 1903 г. датский генетик Йогансен, чтобы обозначить группу сходных по набору генов особей.

← Главные критерий выделения популяции – способность к свободному обмену генетической информацией – **панмиксия**. В связи с этим возможен такой вариант определения термина «популяция»:

Под популяцией понимается совокупность особей определенного вида, в течение достаточно длительного времени (большого числа поколений) населяющих определенное пространство, внутри которого осуществляется та или иная степень панмиксии.

# Выделяют 3 категории

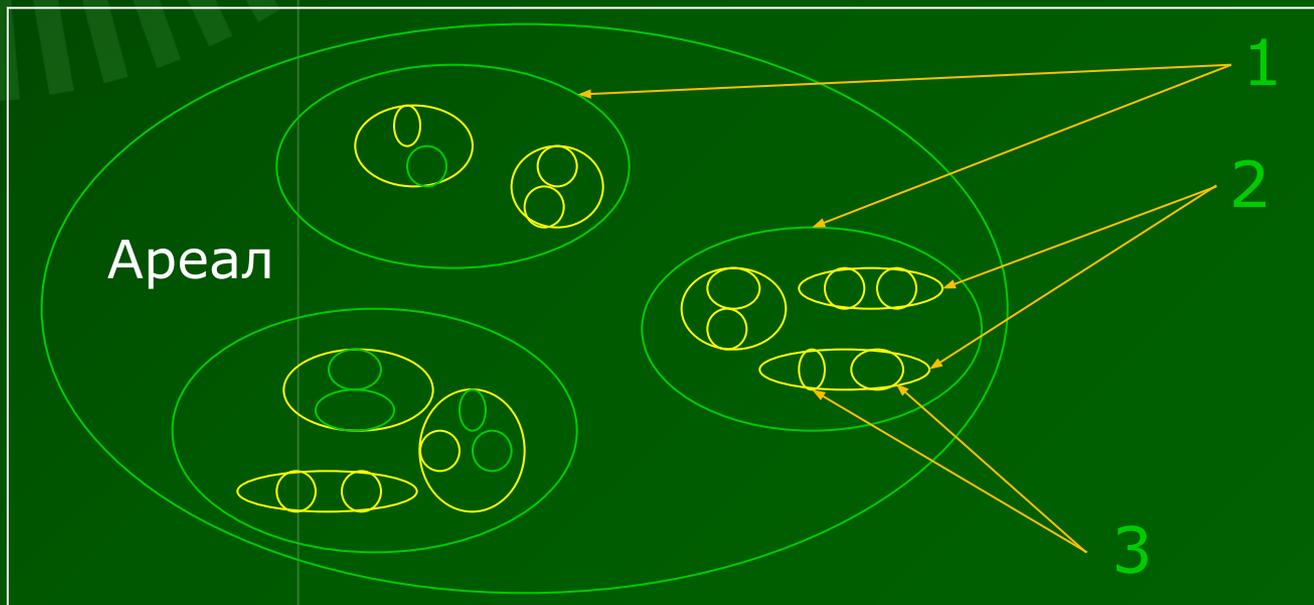
## популяций:

**1. Географические популяции** – занимают территорию

обширных географических зон, но сохраняют способность к панмиксии. Характеризуются общностью приспособлений к климату и ландшафту.

**2. Экологические** – населяют определенный биотоп;

**3. Элементарные** (локальные) – населяют часть биотопа (например, опушечные популяции, «парцеллярные»).



популяция характеризуется следующими основными свойствами:

- ❖ популяция представляет собой **форму существования вида**;
- ❖ **целостность** (территориальная общность, генотипическая и фенотипическая общность);
- ❖ **разнокачественность особей** в популяции;
- ❖ **саморегуляция.**

## Возрастная структура популяции –

определенное соотношение возрастных групп и поколений популяции (поколения – особи, родившиеся в разные сезоны).

Возраст особи принято делить на стадии:

- преподрепродуктивный (подрепродуктивный);
- репродуктивный (генеративный);
- пострепродуктивный (сенильный).

У растений: проростки, ювенильные, имматурные, подрепродуктивные, молодые генеративные, средневозрастные генеративные, старые генеративные, субсенильные, сенильные, отмирающие.

Выделяют также латентный период (семена).

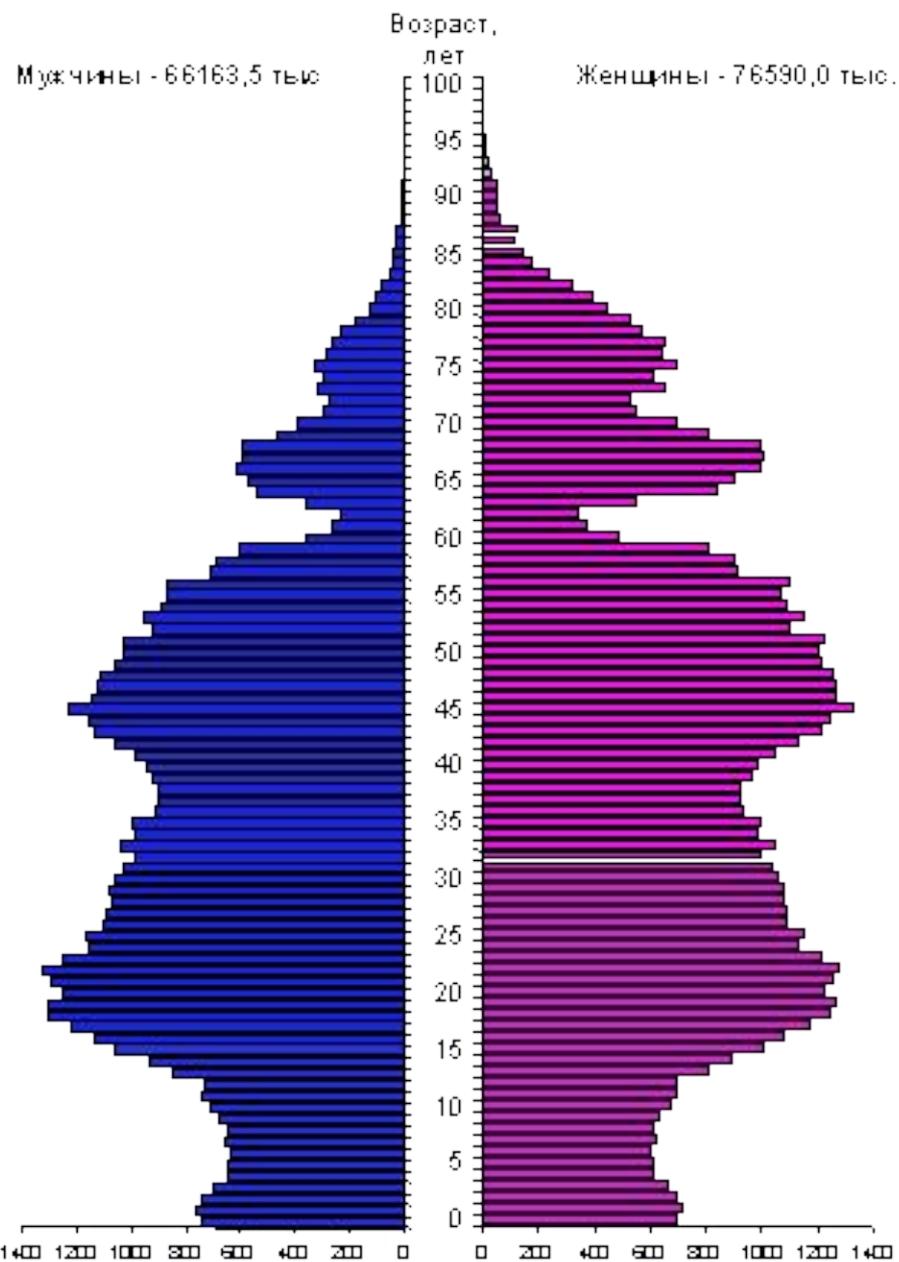


Рис. 2. Типы популяций: 1 – растущая (поползень), 2 – стабильная (барсук), 3 – сокращающаяся (тигр амурский)

**Половая структура популяции** –  
соотношение особей мужского и женского пола.

Значение половой структуры:

- биологическое, связанное с рекомбинацией генетической информации;
- адаптационное, связанное с разнокачественностью особей мужского и женского пола на биохимическом, физиологическом уровне;
- разделение ролей в обеспечении выживаемости молодняка.



**Гомеостаз** – это динамическое равновесие процессов, протекающих в организме, популяции, биоценозе, экосистеме.

В основе поддержания устойчивости экологических систем лежат механизмы популяционного гомеостаза.

Их можно разделить на 3 функциональные категории:

- поддержание адаптивной пространственной структуры популяции.
- поддержание генетической структуры.
- регуляция плотности населения.

демографическим показателям популяции относятся:

- темп полового размножения;
- плодовитость особей;
- скорость отмирания и продолжительность жизни в популяции;
- общая численность (общая биомасса – для растений).

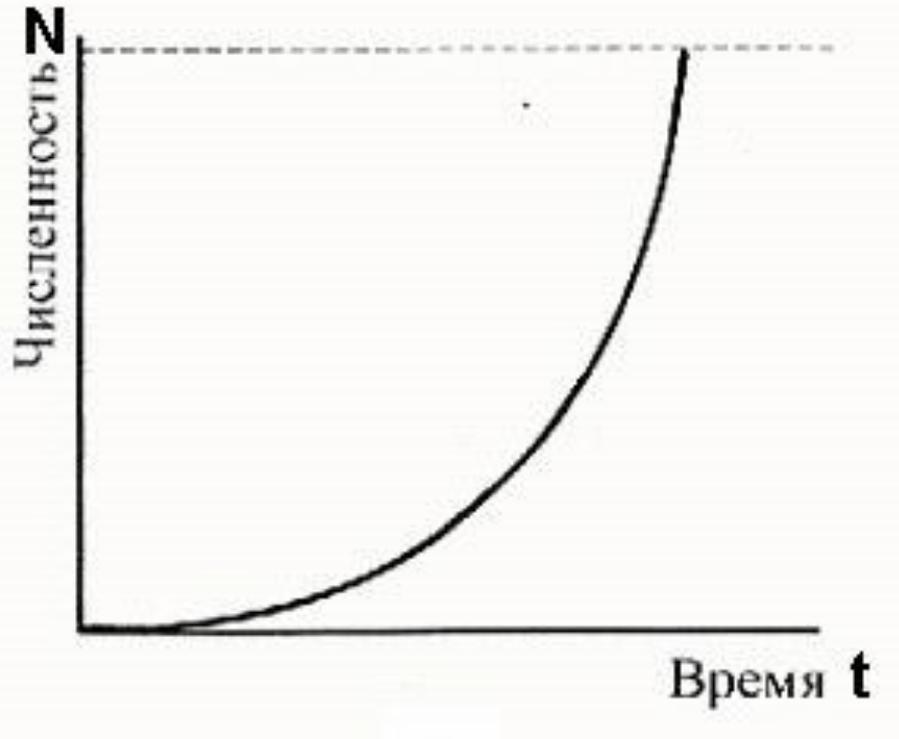
Если при незначительной эмиграции и иммиграции рождаемость превышает смертность, то популяция будет расти. Рост популяции является непрерывным процессом, если в ней существуют все возрастные группы.

Уравнение функции,  
описывающей рост:

$$N_t = N_0 \cdot e^{rt}$$

Скорость роста:

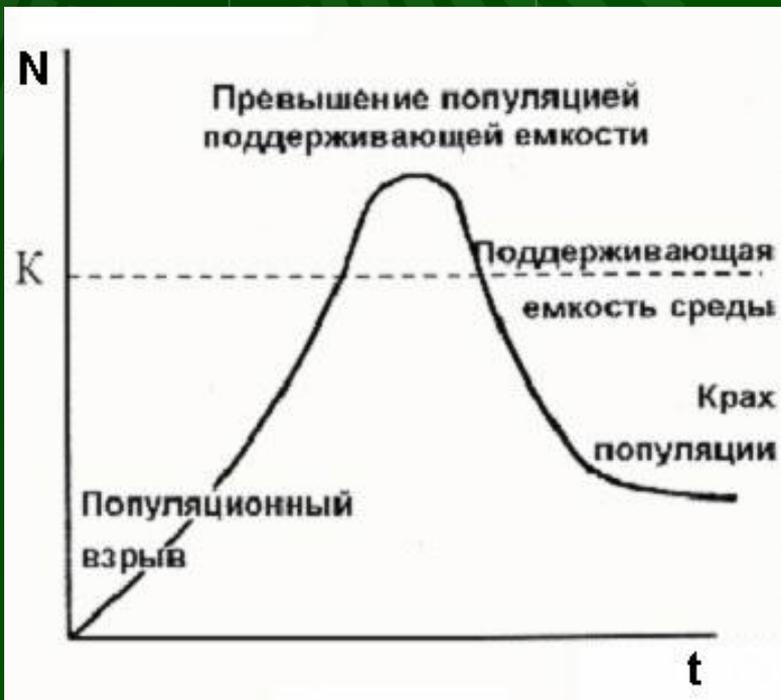
$$\frac{dN}{dt} = N_0 \cdot r$$



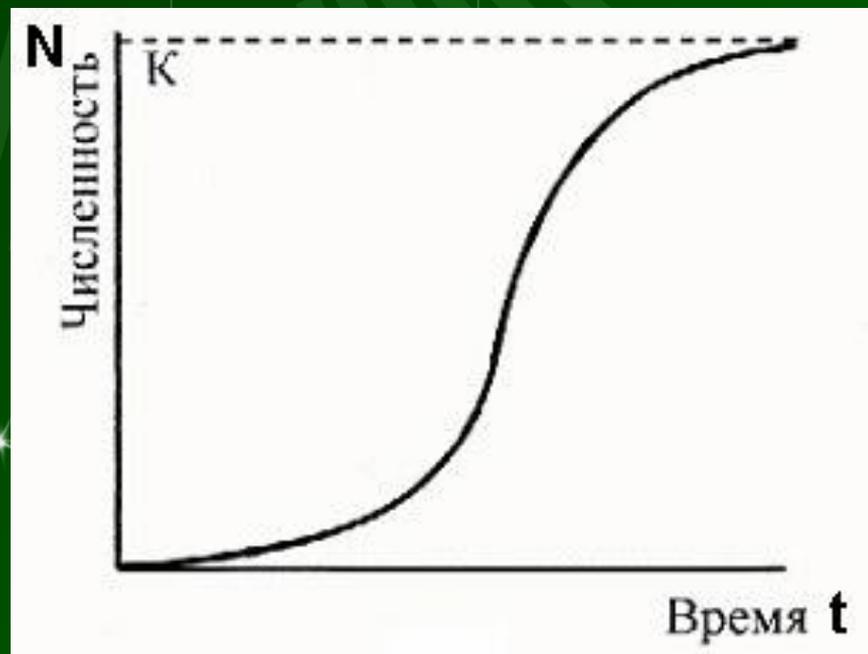
$N$  – плотность популяции;  
 $N_0$  – начальная плотность популяции;  
 $N_t$  – плотность на момент времени  $t$ ;  
 $r$  – скорость роста популяции, обусловленная свойствами организма (потенциальная скорость роста)

Такая модель роста, называемая **экспоненциальной, или J-образной**, характерна для популяций, не испытывающей ограничений в росте. Считают, что почти любой вид теоретически способен увеличить свою численность до заселения всей Земли при достатке пищи, воды, пространства, постоянстве условий среды и отсутствии хищников.

Однако неограниченный рост ведет к популяционной нестабильности. После достижения некоторого уровня  $K$  (поддерживающей емкости среды или предельной нагрузки на среду), после экспоненциального роста («бума») наступает резкий спад численности – «крах» популяции» (модель «бума и краха»):



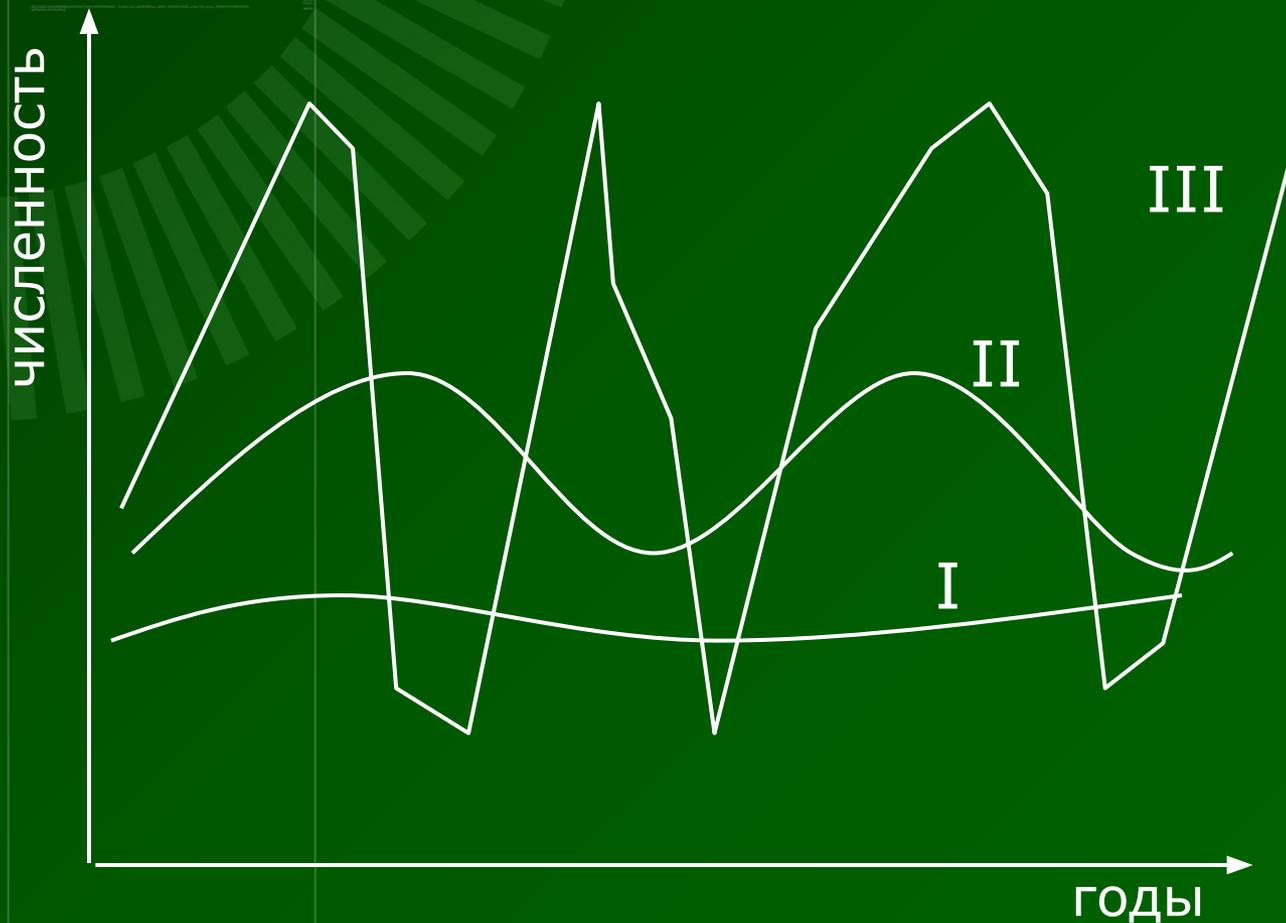
возможен и другой сценарий роста популяции: скорость роста снижается и становится нулевой при достижении предельной численности популяции (уровень  $K$ ). Такой рост популяции описывается **сигмоидной кривой (S-образной)**, например, **логистической функцией**:



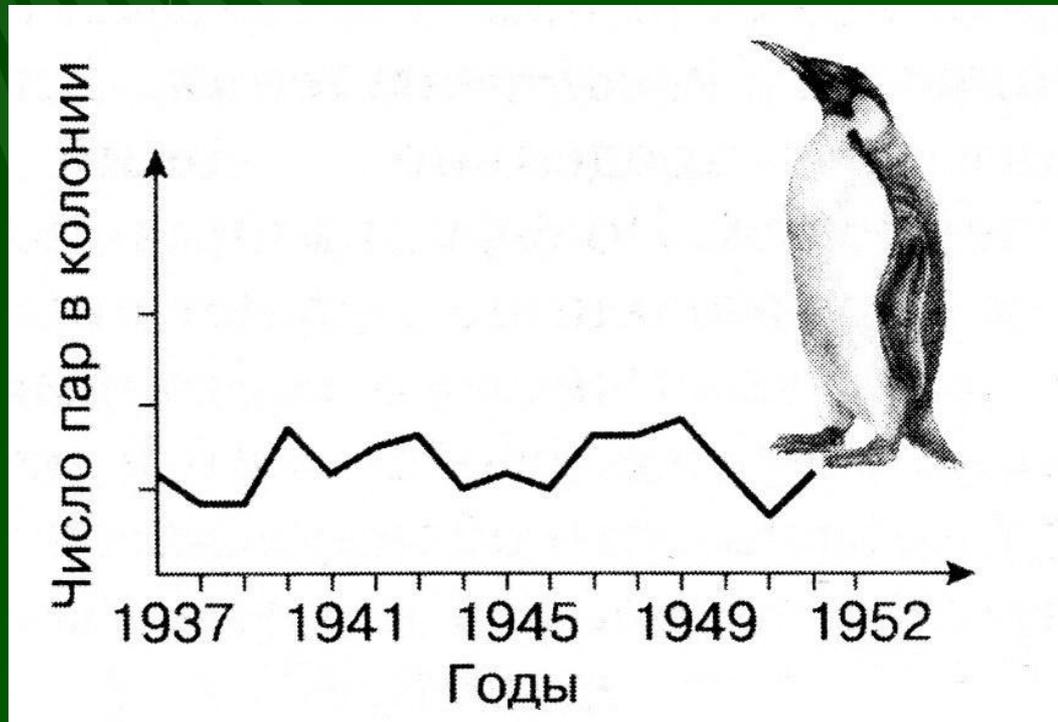
$$N_t = \frac{K}{1 + \left( \frac{K - N_0}{N_0} \right) \cdot e^{-rt}}$$

$$\frac{dN}{dt} = rN \cdot \left( 1 - \frac{N}{K} \right)$$

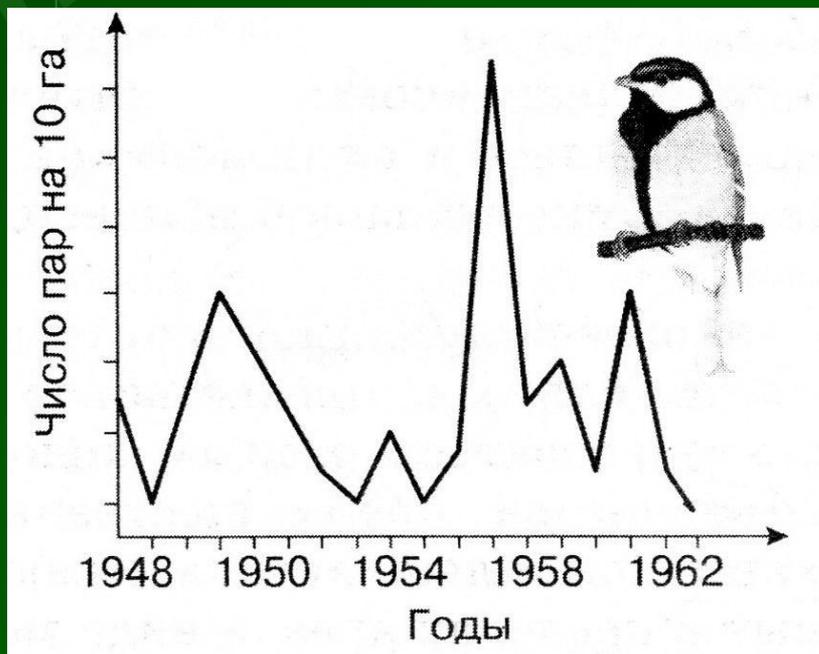
В 40-х годах С.А. Северцовым проанализирован многолетний ход численности у большого числа млекопитающих и птиц. Оказалось, что существуют различные типы динамики численности популяций.



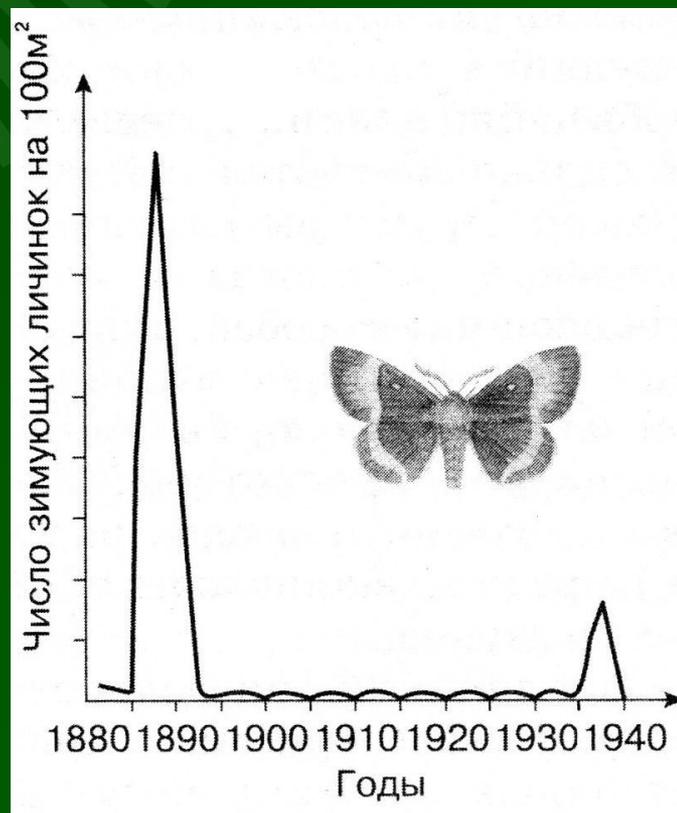
**Стабильный тип:** малая амплитуда и длительный период колебаний численности (10-20 лет). Характерно для крупных животных с большой продолжительностью жизни, низкой плодовитостью и высоким уровнем адаптации (китообразные, копытные, крупные рептилии).



**Лабильный тип:** более высокая амплитуда, продолжительность жизни 5-11 лет. Характерен для животных с меньшими размерами, меньшей продолжительностью жизни. Норма смертности таких животных выше, обилие повышается в периоды размножения. Примером могут быть крупные грызуны, зайцеобразные, некоторые хищники, птицы, рыбы, насекомые с длительным циклом развития.



**Эфемерный тип:** вспышки рождаемости сменяются периодами депрессии, амплитуда очень высокая. Длина цикла до 4-5 лет. Характерно для короткоживущих видов с несовершенной адаптацией, очень плодовитых, но и с высокой смертностью (мелкие грызуны, насекомые).



Управление природными  
популяциями

```
graph TD; A[Управление природными популяциями] --> B[Контроль численности]; B --> C[Подавление]; B --> D[Поддержание (охрана)]; B --> E[Обеспечение роста];
```

Контроль численности

Подавление

Поддержание  
(охрана)

Обеспечение  
роста

# Меры борьбы

```
graph TD; A[Меры борьбы] --> B[Биологические]; A --> C[Небиологические];
```

## Биологические

использование  
фитофагов,  
хищников,  
паразитоидов,  
паразитов,  
патогенов

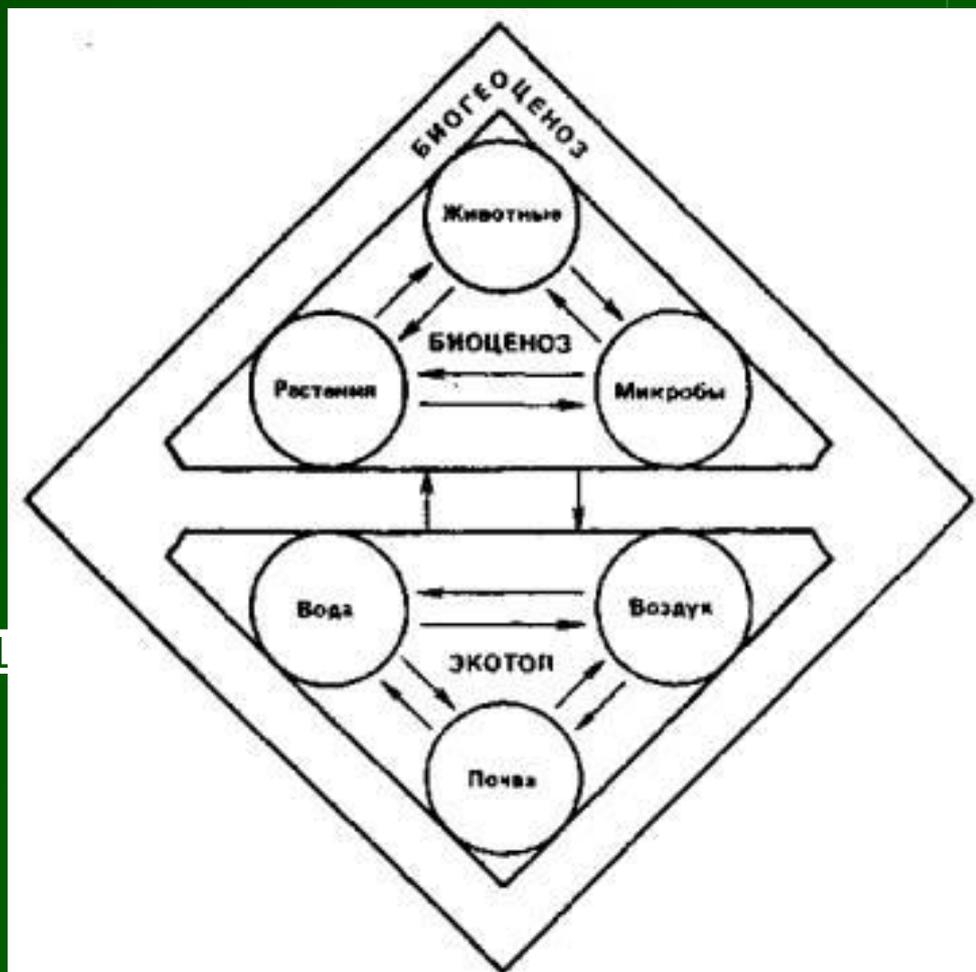
## Небиологические

- Генетический
- Этолого-физиологический
- Агротехнический
- Химический
- Механический
- Карантин

**биоценоз** – исторически сложившиеся сообщества живого населения биосферы, заселяющие общие места обитания, возникшие на основе биогенного круговорота и обеспечивающие его в конкретных природных условиях.

Абиотическая среда, формирующая условия существования биоценоза – это **экологический экотоп**.

**Биоценоз + Экологический экотоп = Биогеоценоз (экосистема)**



## **Видовая структура биоценоза**

определяется разнообразием и значимостью видов организмов, которые его слагают.

Видовое разнообразие – это результат эволюции сообществ, в которой «работает» 2 «отбирающих» механизма:

- Способность вида к адаптации к данным условиям обитания;
- Способность вида выполнять определенную функцию в данном сообществе (совместимость, сочетаемость видов).

Биоразнообразие повышается при улучшении условий обитания, так как возрастает экологическая емкость среды, поэтому биоразнообразие повышается от арктических и антарктических условий к тропическим.

В экологии используются **меры видового разнообразия** сообществ.

$$d = \frac{S}{\log A}$$

$$d = \frac{S}{\log N}$$

где **S** – количество видов в описании на площадке стандартного размера,

**A** – площадь учетной площадки (м<sup>2</sup>);

**N** – общее число особей в описании.

Индекс доминирования (индекс Симпсона) – показывает, какую долю в видовом составе биоценоза занимают обычные, «фоновые» виды.

$$C = \sum_{i=1}^S P_i^2$$

$$P_i = \frac{n_i}{N}$$

где С – концентрация доминирования;  
 $P_i$  – относительная значимость видов (доля 1),  
 $n_i$  – абсолютная, фактическая значимость видов, выраженная в биомассе, плотности популяции, проективном покрытии и т.п.

★ N – сумма фактической значимости всех видов.

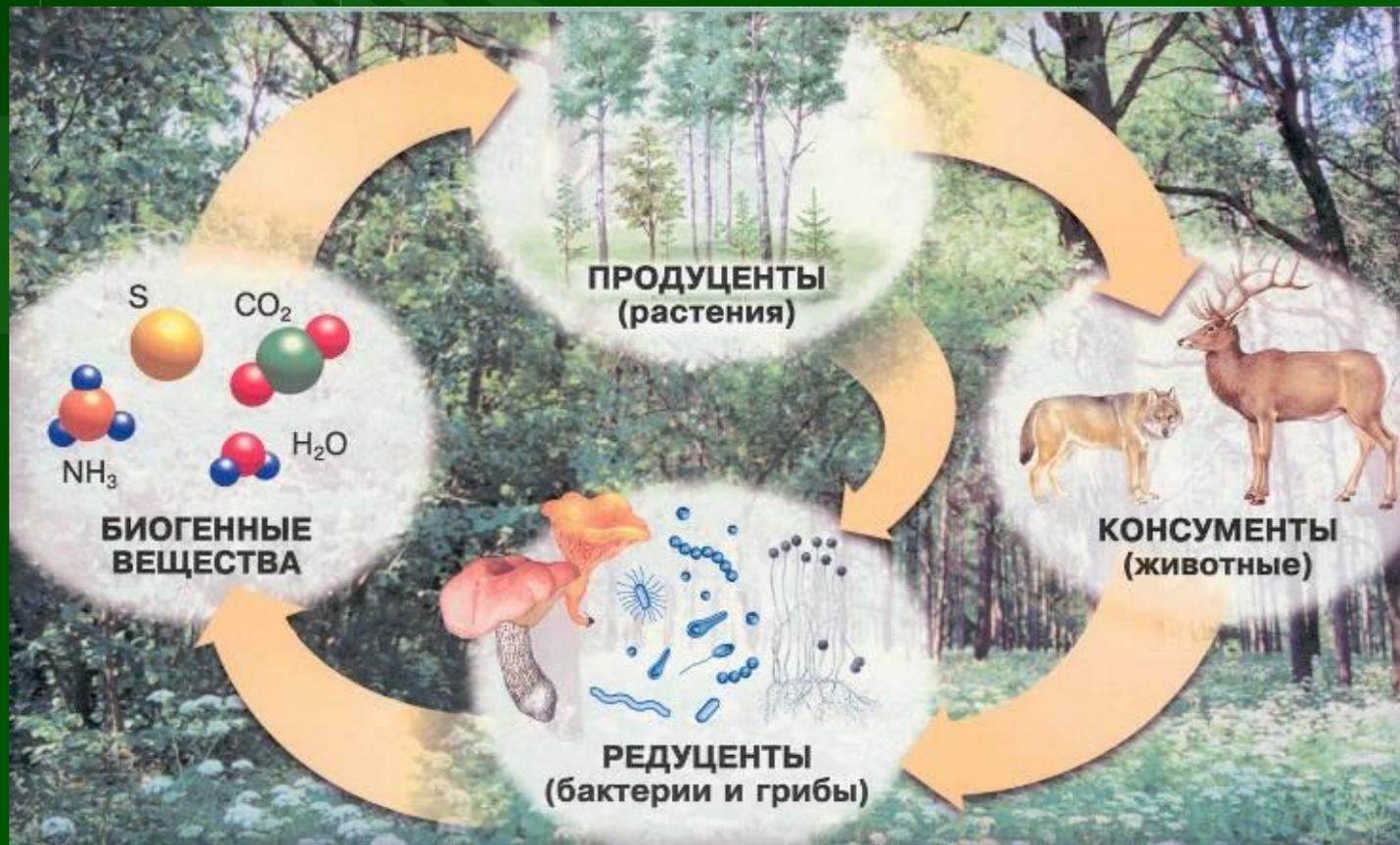
*Значимость вида* – это его участие в формировании сообщества, она может быть выражена в плотности популяции, биомассе, проективном покрытии, продукции и т.д.

## Мера равномерности распределения (индекс Шеннона–Винера)

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log P_i$$

- показывает, насколько равномерно распределены значимости видов, т.е. оценивает видовое разнообразие с учетом вклада, который делает данный вид в сообщество.

**Функциональную структуру биоценоза образуют 3 экологические группы организмов: продуценты, консументы и редуценты.**



# Классификацию межвидовых отношений можно представить в следующем виде:

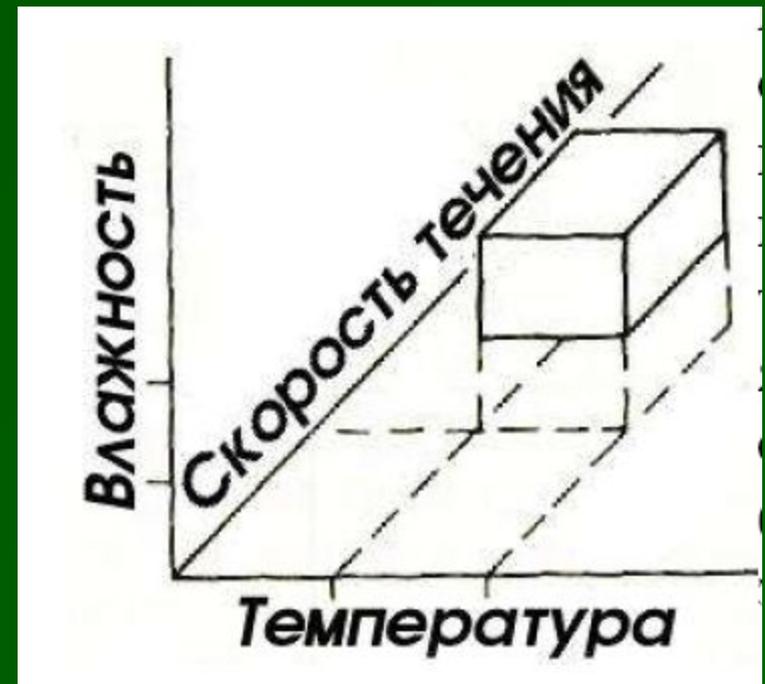


Понятие «экологическая ниша» ввел американский зоолог **Джозеф Гриннел (1914 г.)**, но под нишей он понимал положение видовой популяции в пространстве, т.е. как «адрес» популяции – это аутоэкологический подход к обоснованию понятия «экологическая ниша».

**Чарлз Элтон (1927 г.)** представил концепцию, согласно которой экологическая ниша – это место вида в трофических цепях. Это современная трактовка данного понятия.

Джордж Хатчинсон (1957 г.) сформулировал понятие экологической ниши, как всей суммы связей организмов данного вида с абиотическими условиями среды и с другими видами живых организмов.

Это «гиперпространство» вида внутри биоценоза, где каждая ось пространства определяется требованием вида к разным экологическим факторам.



# Экологическая ниша

## Фундаментальная

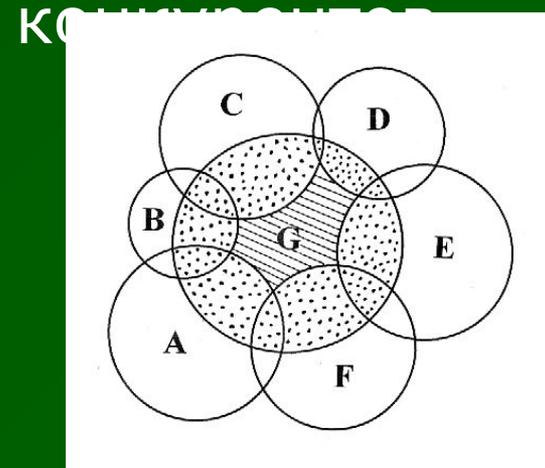
(биологические потребности вида, его требования к среде)  
Это тоже во многом аутэкологический подход.

## Перекрывание ниш

– совмещение жизненных интересов разных видов, приводящее к конкурентным отношениям.

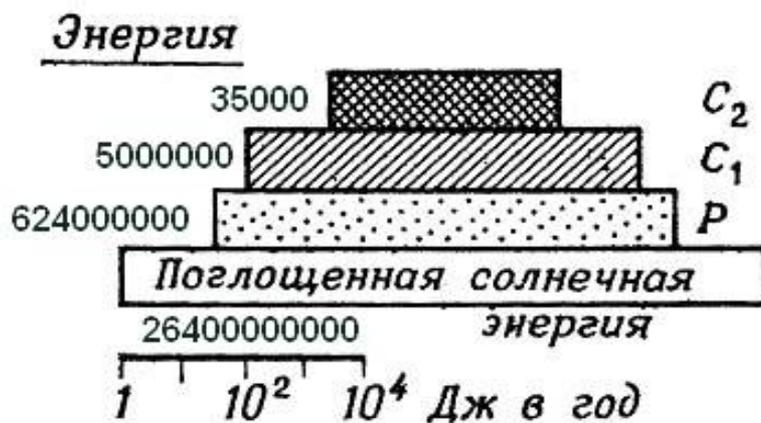
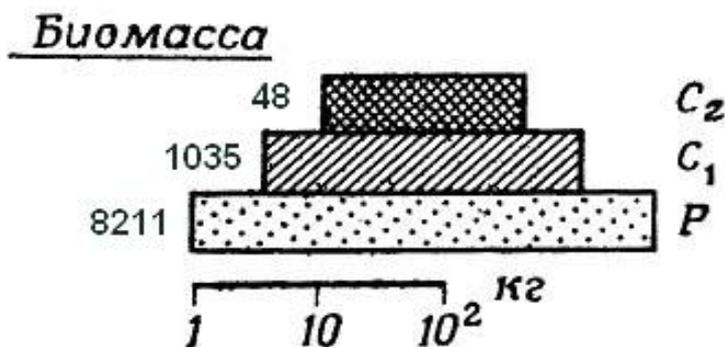
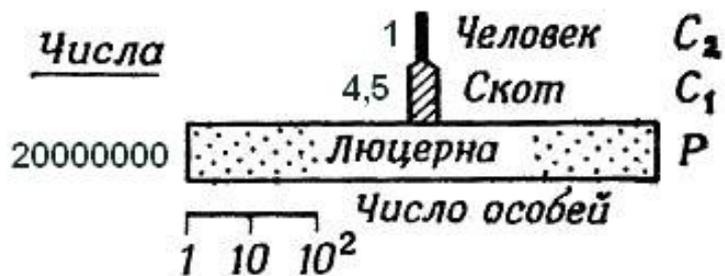
## Реализованная

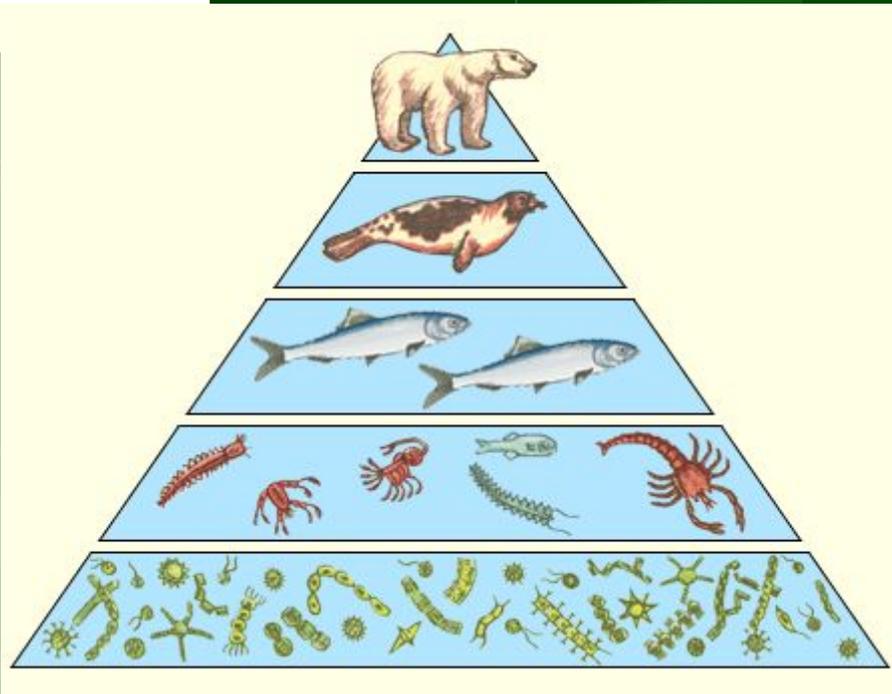
(реальное положение вида в биоценозе, обычно меньше фундаментальной)  
= «экологическое пространство вида» - в котором вид не имеет конкурентов



Функциональную структуру биогеоценоза формируют трофические уровни, на которых происходит последовательное преобразование вещества и энергии.

Трофические уровни экосистем графически представляются в виде **экологических пирамид**, в которых ширина отдельных уровней-прямоугольников пропорциональна емкости соответствующих уровней. Выделяют **пирамиды чисел**, **пирамиды биомассы** и **пирамиды энергии**.



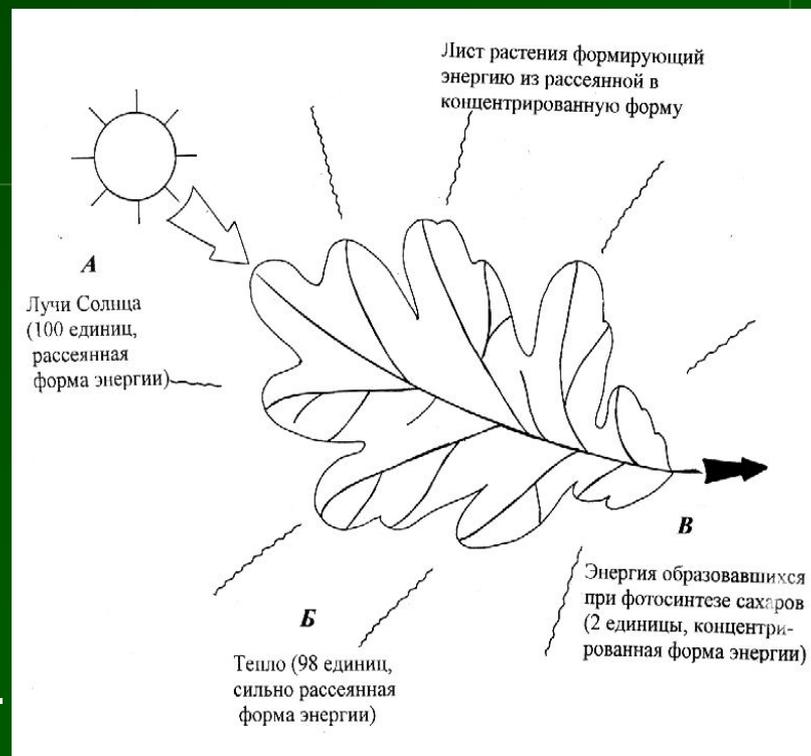


Переход вещества и энергии с одного трофического уровня на другой связан с потерями. Считается, что на каждом последующем уровне усваивается лишь 10% вещества и энергии предыдущего уровня.

Эта закономерность получила название **правила 10-ти % (правило Линдемана)**.

превращения энергии в экосистеме подчиняется законам термодинамики: **в соответствии с первым законом (законом сохранения энергии)** происходит переход энергии солнечного излучения (электромагнитной) в энергию химических связей, которая затем может быть превращена в работу и тепло.

**В соответствии со вторым законом термодинамики**, поток энергии в экосистеме характеризуется однаправленностью: переходя с одного трофического уровня на другой, энергия постоянно теряется.

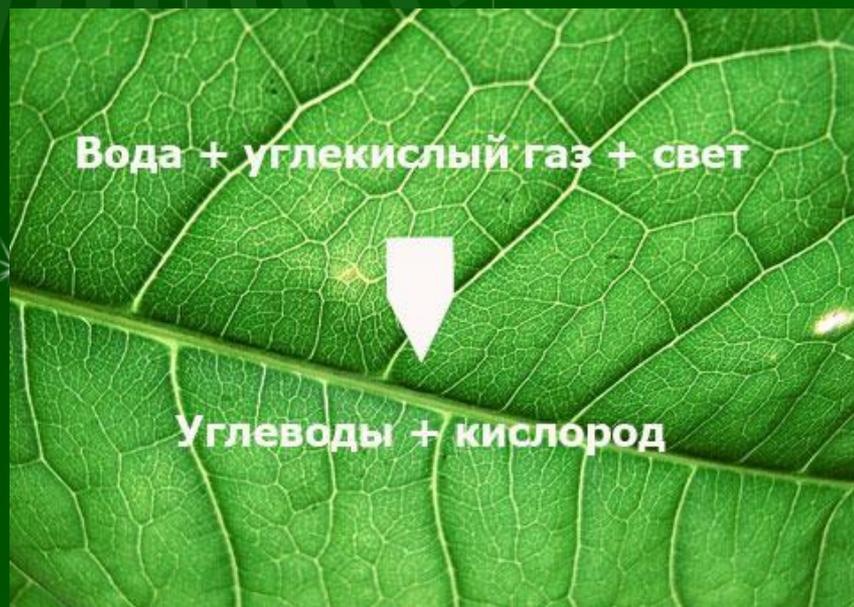


$A = B + B$  - первый закон термодинамики;

$B < A$  - второй закон термодинамики

**Продуктивность** – это способность живых организмов и экосистемы в целом производить органическое вещество. Измеряется в количестве продукции, образуемой на единице земной поверхности за единицу времени ( $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$  или  $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{год}$ ).

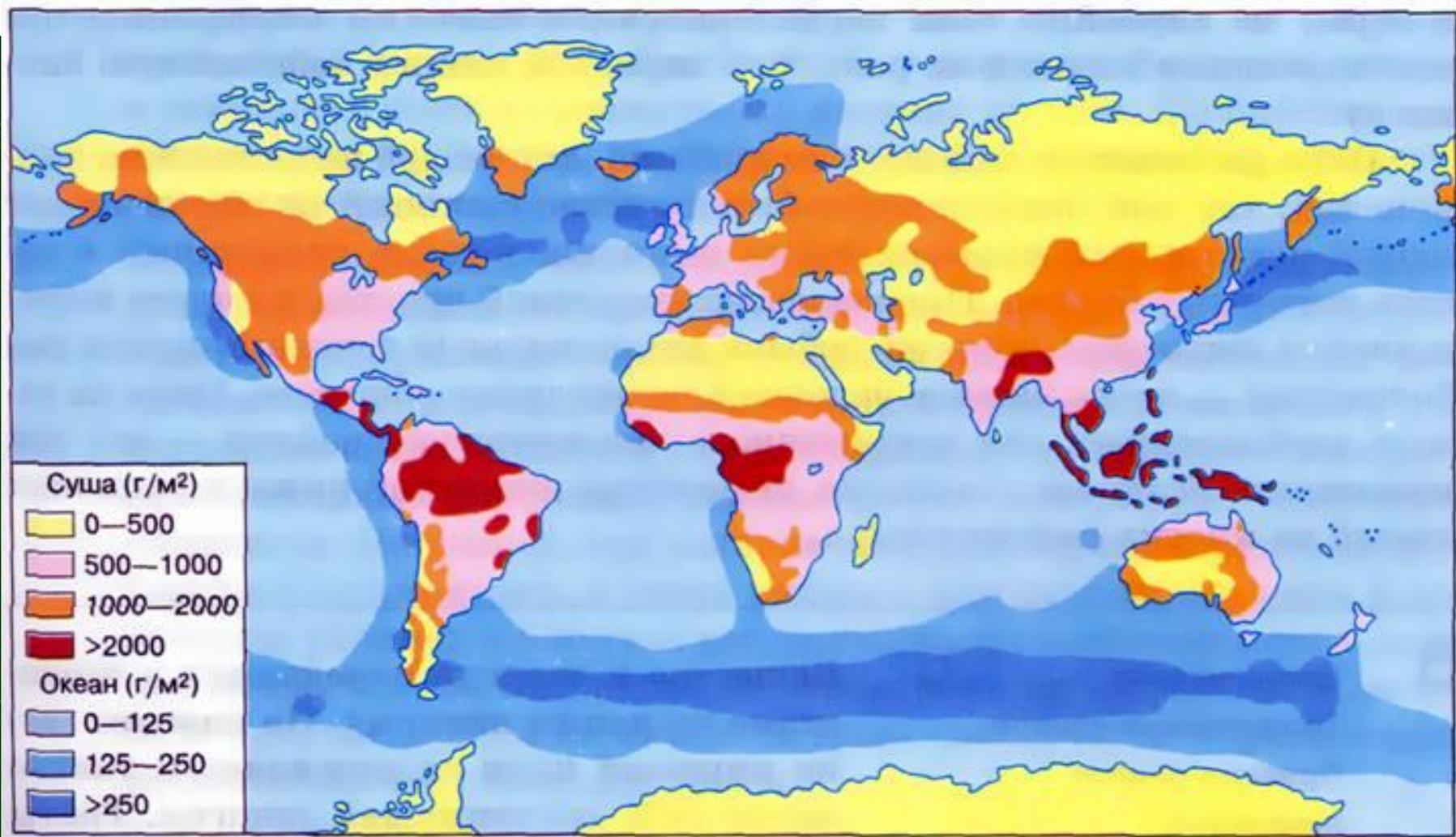
**Первичная продукция** – результат фотосинтеза растений, а также фотосинтеза и хемосинтеза бактерий.



Общее количество энергии, связываемой в органическом веществе растениями – валовая первичная продукция (ВПП).

Чистая первичная продукция представляет собой разность между ВПП и затратами на дыхание (Д): **ЧПП = ВПП – Д.**

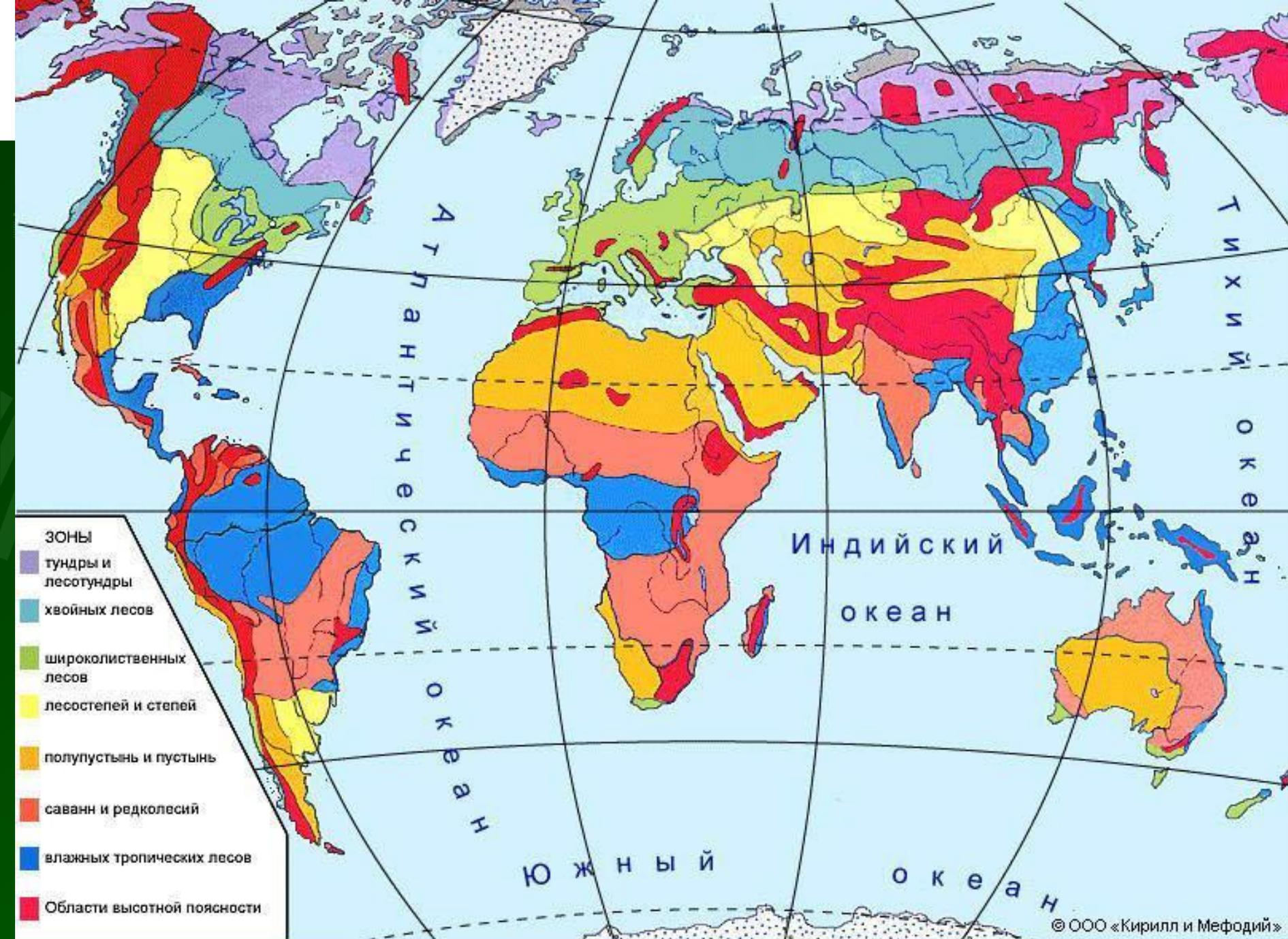
**Вторичная продукция** – продукция животных. Ее учет еще более сложен. Это связано с особенностями животных: они растут до определенного возраста, затем энергия тратится на дыхание и размножение.



**Биом** – это группа наземных экосистем данного континента, которые имеют сходную структуру или физиономию растительности и общий характер условий среды, что находит отражение в этой структуре и в характеристиках их животного населения.

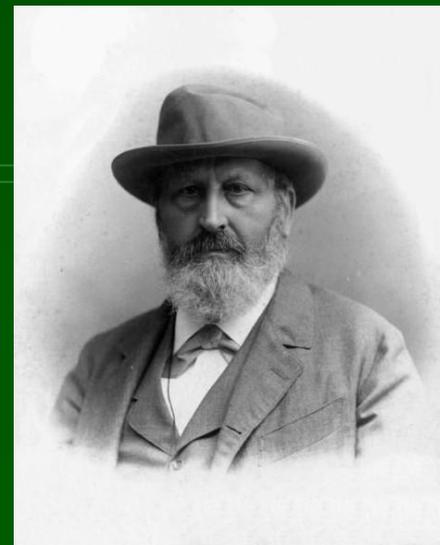
Для выделения типов биомов необходимо учитывать не только физиономические признаки, но и сходство условий среды. Всего выделяют 6 основных наземных физиономических типов:

- леса;
- злаковники;
- редколесья (невысокие деревья с несомкнутым покровом и хорошо развитым нижним ярусом);
- кустарники (проективное покрытие кустарниками > 50 %);
- семиаридные (полупустынные) кустарники (полукустарники);
- пустыни (ОПП не более 10 %).

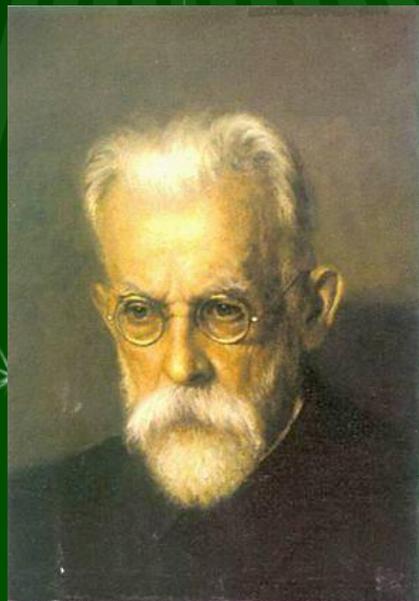


Основные биомы суши. Географическая карта.

Термин биосфера (от греч. «биос» – жизнь и «сфера» – шар) ввел в науку геолог, профессор Венского университета Эдвард Зюсс в 1875 г. для обозначения области земной поверхности, населенной жизнью.



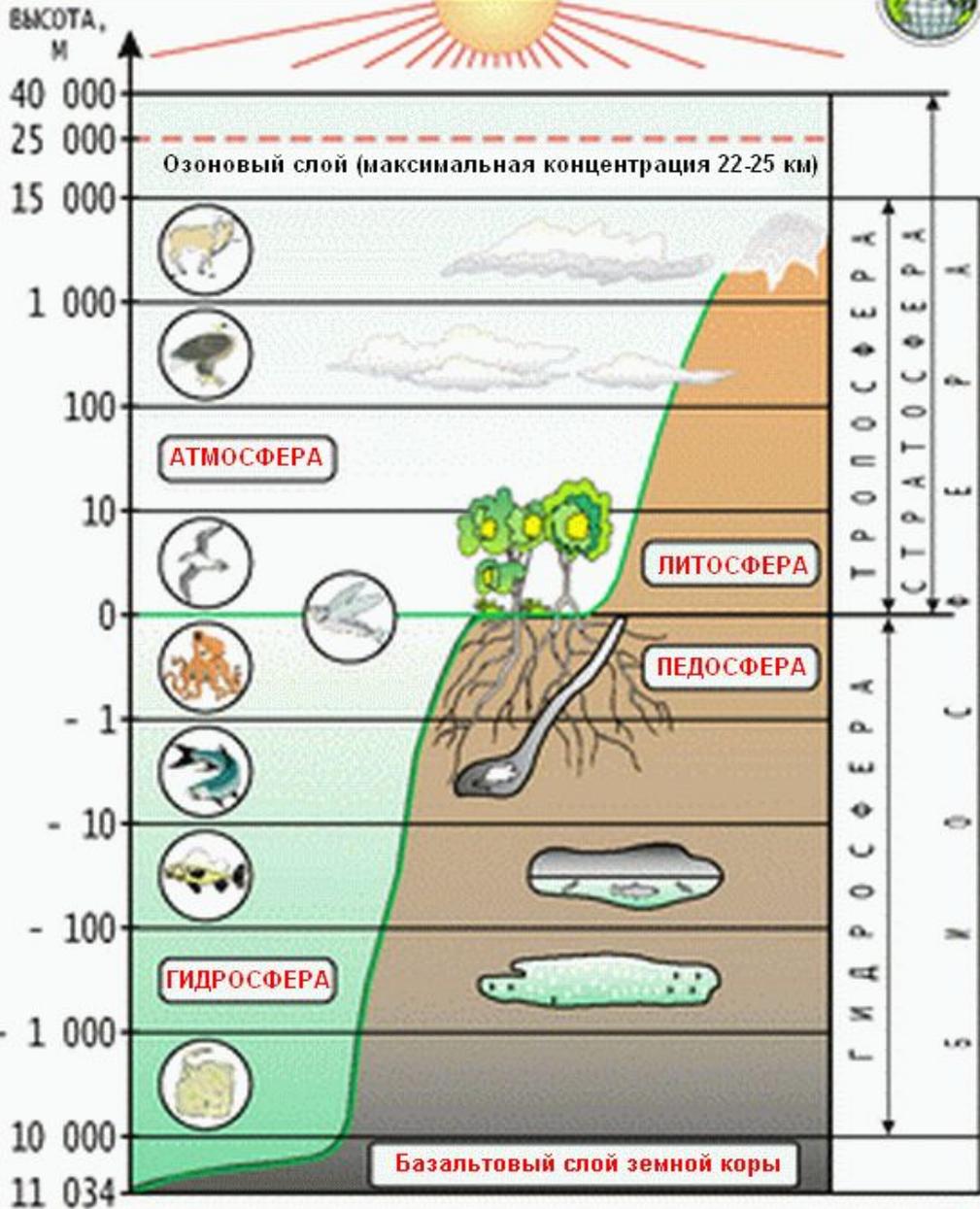
(1831-1914)



(1863-1945)

В своем главном труде «Химическое строение биосферы Земли и ее окружения» (1965) В.И. Вернадский высказал идею о том, что жизнь – важный фактор развития нашей планеты. В создании земной коры активно участвовали живые организмы; они и сейчас определяют специфику Земли.

# СТРУКТУРА БИОСФЕРЫ И ЕЕ ГРАНИЦЫ



Биосфера, по В.И. Вернадскому, это оболочка Земли, в пределах которой существует жизнь.

Большинство ученых в качестве верхней теоретической границы биосферы указывают **озоновый слой**, средняя высота которого составляет 25 км. Выше живые организмы погибают от жесткого космического излучения, хотя споры бактерий обнаруживали и на высоте **до 70 км**.

рассмотрим **основные характеристики биосферы.**

Биосфера обладает свойством **гомеостаза** – поддержания постоянства физических и химических параметров среды.

2. Биосфера – это **кибернетическая система**, т.е. система, в которой один из элементов (живое вещество) играет определяющую роль в функционировании всей системы.

3. Биосфера имеет **мозаичное и иерархическое строение** – состоит из экосистем различного типа и ранга.

4. Важной характеристикой биосферы является **биологическая миграция элементов и их биологический круговорот.**

5. Важной характеристикой биосферы является **биологическая миграция элементов и их биологический круговорот.**

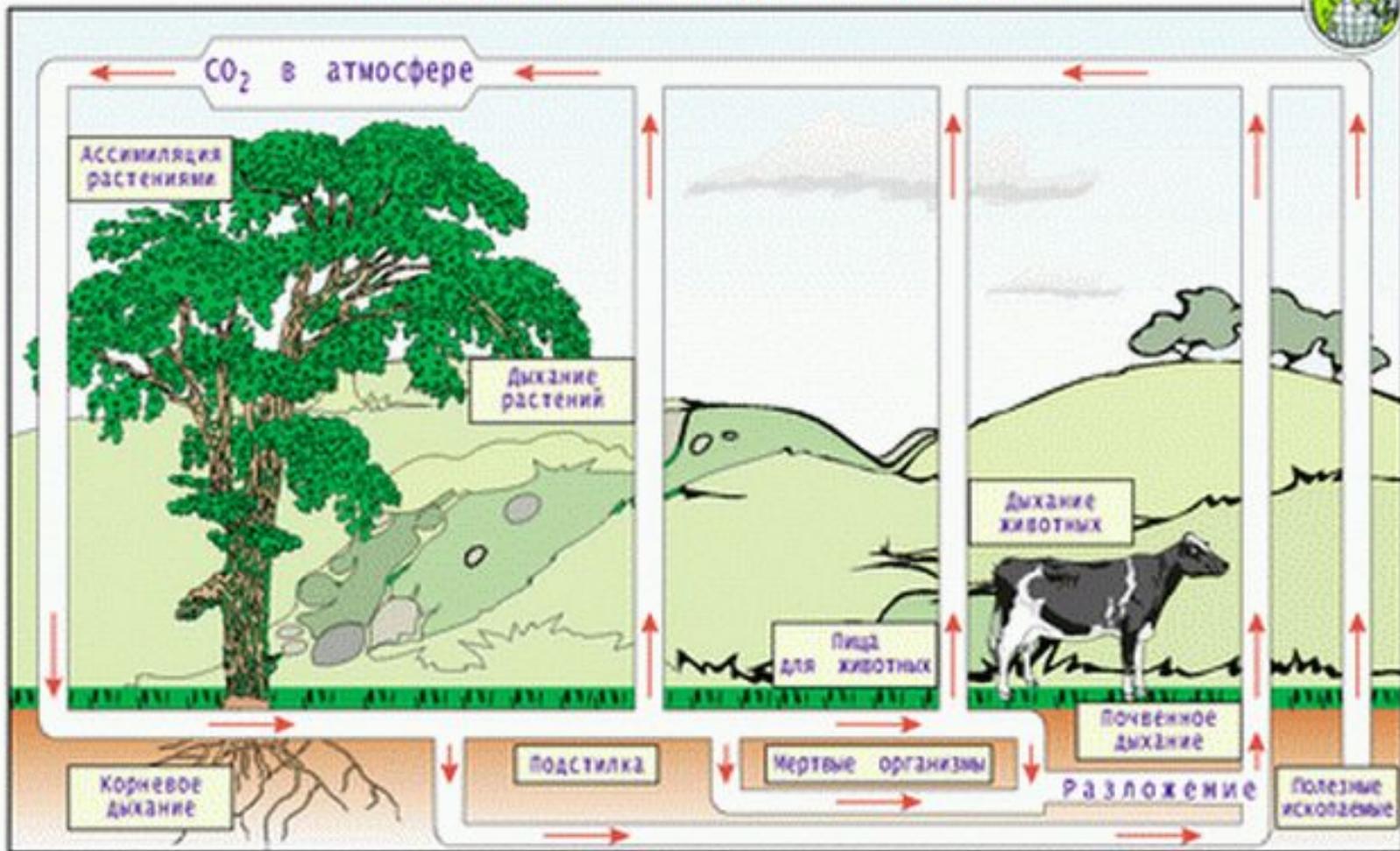
6. Живые организмы заполняют все пригодные для жизни среды. Эта закономерность отражает **«всюдность жизни».**

7. **Относительный баланс процессов образования органического вещества** в биосфере и его разложения обеспечивает **постоянство количества живого вещества.**

Постоянство биомассы и состава живого вещества на Земле обеспечивается балансом процессов биосинтеза и разложения (распада) органического вещества, а также биогенной миграцией химических элементов – **биогеохимическими циклами.**

Основным законом геохимии биосферы является **закон биогенной миграции В.И. Вернадского**: «миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой обусловлены живым веществом, как тем, которое в настоящее время населяет биосферу, так и тем, которое действовало на Земле в течение всей геологической истории».

# КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА В БИОСФЕРЕ



Атмосферный  
 $N_2$

Растения,  
микробы

Животные

Мертвая органика

$NH_3, NH_4^+$

$NO_2^-$

$NO_3^-$

А  
з  
о  
т  
ф  
и  
к  
с  
а  
ц  
и  
я

Д  
е  
н  
и  
т  
р  
и  
ф  
и  
к  
а  
ц  
и  
я



Редуценты

Отложение

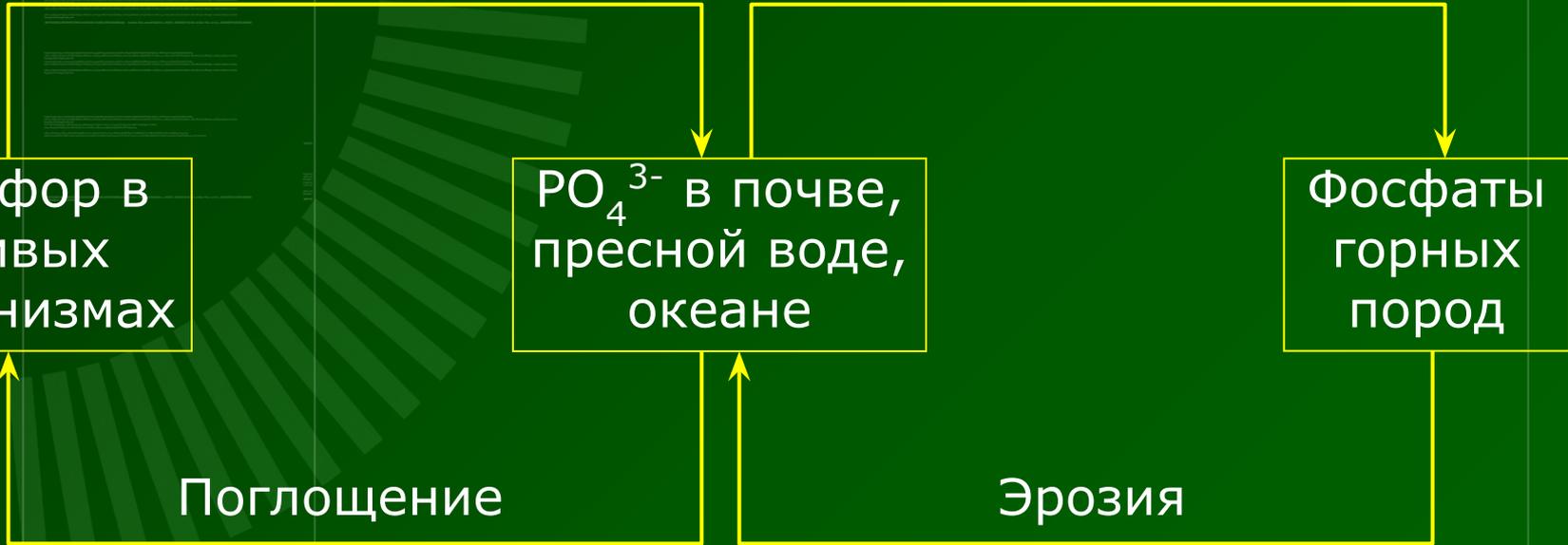
Фосфор в  
живых  
организмах

$PO_4^{3-}$  в почве,  
пресной воде,  
океане

Фосфаты  
горных  
пород

Поглощение

Эрозия



Сера в  
организмах  
(S-H-  
группы)

редуценты

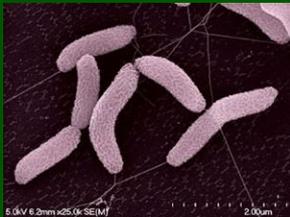
редуценты



редуценты



редуценты



редуценты



