

# ЭКОЛОГИЯ

**Мошаров Сергей Александрович**

кандидат биологических наук

доцент кафедры Э-9 МГТУ им. Н.Э. Баумана

## Лекция 7

## Экология популяции



# Экология популяции

**Популяция – группа организмов одного вида, способная поддерживать свою численность длительное время, занимающая определенное пространство и функционирующая как часть биотического сообщества экосистемы.**

Биотическое сообщество представляет собой совокупность популяций организмов разных видов, функционирующих как целостная система в определенном физико-географическом пространстве среды обитания.

## Групповые свойства популяции:

плотность (численность), рождаемость, смертность, возрастная структура, распределение в пространстве, генетическая приспособленность и репродуктивная непрерывность (т. е. вероятность оставления потомков на протяжении длительного периода времени)

# Численность популяции

Численность популяции обычно характеризуется как плотность.

**Плотность популяции** – это численность популяции, отнесенная к единице пространства.

Например, 500 деревьев на 1 га, 5 млн микроводорослей на 1 м<sup>3</sup> воды или 200 кг рыбы на 1 га поверхности водоема.

**Средняя плотность** –

величина популяции, отнесенная к единице пространства в географических пределах обитания популяции.

**Удельная, или экологическая плотность** –

численность или биомасса на единицу обитаемого пространства, т. е. фактически доступного для организмов конкретной популяции.

# Численность популяции

Плотность популяции не является постоянной величиной – она изменяется с течением времени в зависимости от условий обитания, сезона года и т. д.

Плотность – одно из важнейших свойств популяции.

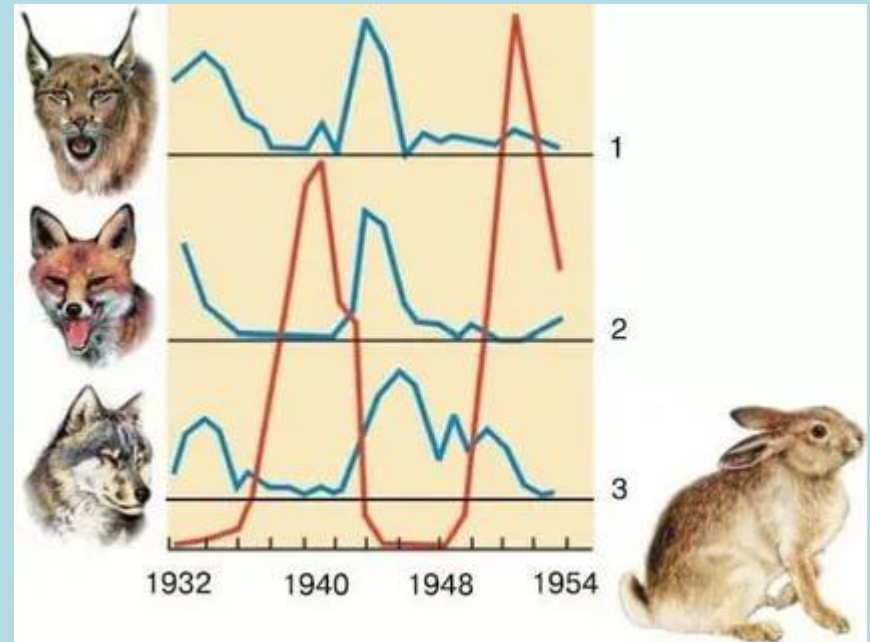
От плотности популяции зависят основные функции организмов, входящих в нее:

- дыхание,
- питание,
- размножение,
- поведение,
- физиологическое состояние (здоровье)
- и др.

Чрезмерная плотность популяции ухудшает условия ее существования, снижая обеспеченность организмов пищей, водой, жизненным пространством и т. д.

# Численность популяции

Главный механизм поддержания плотности популяции на оптимальном уровне – **саморегуляция** численности популяции по принципу обратной связи с количеством ограниченных жизненных ресурсов, в частности пищи.



Динамика численности популяций хищников и жертв

Численность популяции определяется в основном двумя противоположными явлениями – **рождаемостью и смертностью**.

# Рождаемость

**Рождаемость** – это способность популяции к увеличению численности.

*Абсолютная (общая) рождаемость* - общее число новых молодых особей ( $\Delta N$ ), появившихся в популяции за единицу времени ( $\Delta t$ ).

*Удельная рождаемость* ( $b$ ) - число новых особей на одну особь в единицу времени:

$$b = \frac{\Delta N}{\Delta t N}$$

*Удельная рождаемость* используется для сравнения рождаемости разных популяций.

Так, для популяций человека в качестве показателя удельной рождаемости используют количество новорожденных детей, родившихся за 1 год на 1 тыс. населения.



# Рождаемость

## *Максимальная (потенциальная) рождаемость*

– это теоретический максимум скорости появления новых особей в идеальных условиях (когда скорость размножения не снижается под действием лимитирующих экологических факторов).

Максимальная рождаемость – величина постоянная для данной популяции, она генетически predetermined .

## *Экологическая (реализованная) рождаемость*

представляет собой увеличение числа особей в популяции в конкретных условиях среды обитания.

Экологическая рождаемость – величина непостоянная и сильно варьирует в зависимости от плотности популяции и условий среды обитания.



# Смертность

*Смертность* –

количество особей в популяции, погибших за определенный период.

Понятие смертности противоположно понятию рождаемости.

*Абсолютная (общая) смертность* –

общее число погибших особей ( $\Delta N$ ) за единицу времени ( $\Delta t$ ).

*Удельная смертность ( $d$ )* –

число особей ( $\Delta N$ ), погибших в единицу времени ( $\Delta t$ ) в расчете на одну особь:

$$d = \frac{-\Delta N}{\Delta t N}$$



# Смертность

Теоретическая *минимальная смертность* – величина постоянная, характеризующая гибель особей (от старости) в идеальных условиях среды (т. е. в отсутствие лимитирующего влияния факторов среды обитания).

*Экологическая (реализованная) смертность* – число погибших особей в конкретных природных условиях.

Как и экологическая рождаемость, она не постоянна и зависит от особенностей окружающей среды.



# Выживаемость

Часто при описании динамики численности популяции используют понятие **выживаемости**, т. е. доли выживших особей ( $1 - d$ ) за определенный период.

Выживаемость у многих организмов в значительной степени варьируют с возрастом.



Различные типы кривых  
выживания

Кривые выживания характеризуют изменения числа выживших для каждой возрастной группы для конкретного вида.

1 — низкая смертность молодняка и высокая смертность в конце жизни особей (крупные животные),

2 — высокая смертность в молодом возрасте и низкая для взрослых особей (земноводные, рыбы)

3 — равномерная смертность во всех возрастах (многолетние растения).

# Возрастная структура популяции

**Возрастная структура популяции** – это соотношение в популяции особей разного возраста.

Экологически значимым является выделение *трех возрастных групп* относительно их способности к размножению, т.е. обеспечение роста популяции:

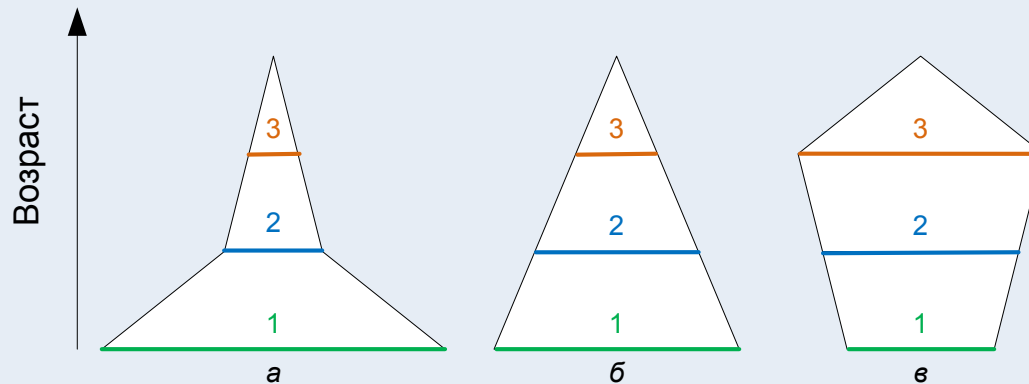
**предрепродуктивная группа** – молодые особи, еще не способные участвовать в размножении,

**репродуктивная группа** – половозрелые особи, способные к размножению,

**пострепродуктивная группа** - старые особи, утратившие способность к размножению.

# Возрастная структура популяции

Соотношение возрастных групп в конкретной популяции определяет ее способность к увеличению численности и, соответственно, судьбу популяции.



Три типа возрастных пирамид, с высокой (а), умеренной (б) и низкой (в) относительной численностью молодых особей (% от общей численности популяции):

1 - препопродуктивная возрастная группа,  
2 – репродуктивная, 3 - пострепродуктивная

Судьба популяций в соответствии с возрастной структурой:

(а) растущая популяция;

(б) стабильная популяция;

(в) сокращающаяся популяция.

# Рост популяции и кривые роста

Рост численности популяции определяется превышением рождаемости над смертностью.

**Биотический потенциал** – генетически обусловленная максимальная теоретически возможная скорость роста популяции:

$$r = b - d$$

где ***b*** – максимальная (потенциальная) удельная рождаемость,

***d*** – минимальная (по старости) удельная смертность.

Увеличение численности популяции может быть описано **кривыми роста** двух основных типов – **J-образной кривой** (экспоненциальный рост) и **S-образной кривой** (затухающий рост).

# Рост популяции и кривые роста

**Экспоненциальный рост** численности популяции характеризуется **J-образной кривой роста**.

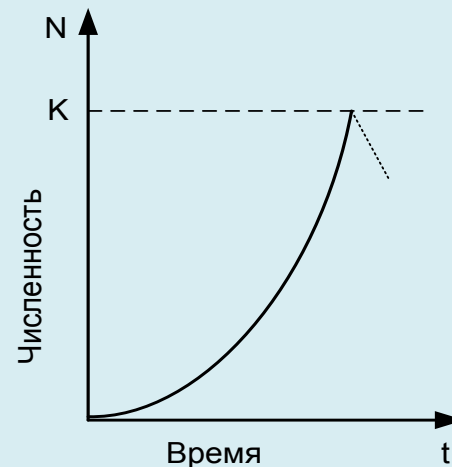
Уравнение:

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

где  $N$  – численность популяции,  
 $r$  – биотический потенциал,  
 $t$  – время.

В этом случае плотность популяции резко увеличивается по экспоненте, но при достижении  $N=K$  рост популяции внезапно прекращается.

**J-образная кривая роста**



**Примеры:**  
насекомые,  
рачки-дафнии,  
фитопланктон

**K – емкость среды** (максимально возможное число особей, способное существовать в данной среде)

# Рост популяции и кривые роста

**Затухающий рост** численности популяции характеризуется **S-образной кривой роста**.

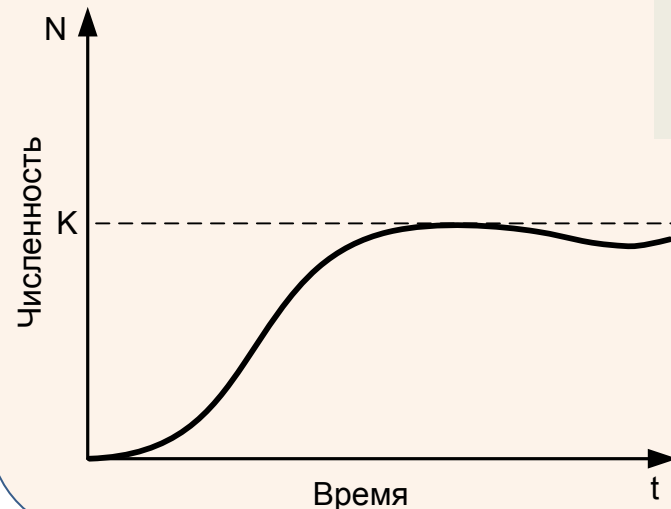
Уравнение:

$$\frac{dN}{dt} = rN \frac{(K - N)}{K}$$

где  $N$  – численность популяции,  
 $r$  – биотический потенциал,  
 $K$  – емкость среды,  
 $t$  – время.

В данном случае плотность популяции сначала медленно увеличивается, затем быстрее, но при приближении  $N$  к  $K$  рост замедляется.

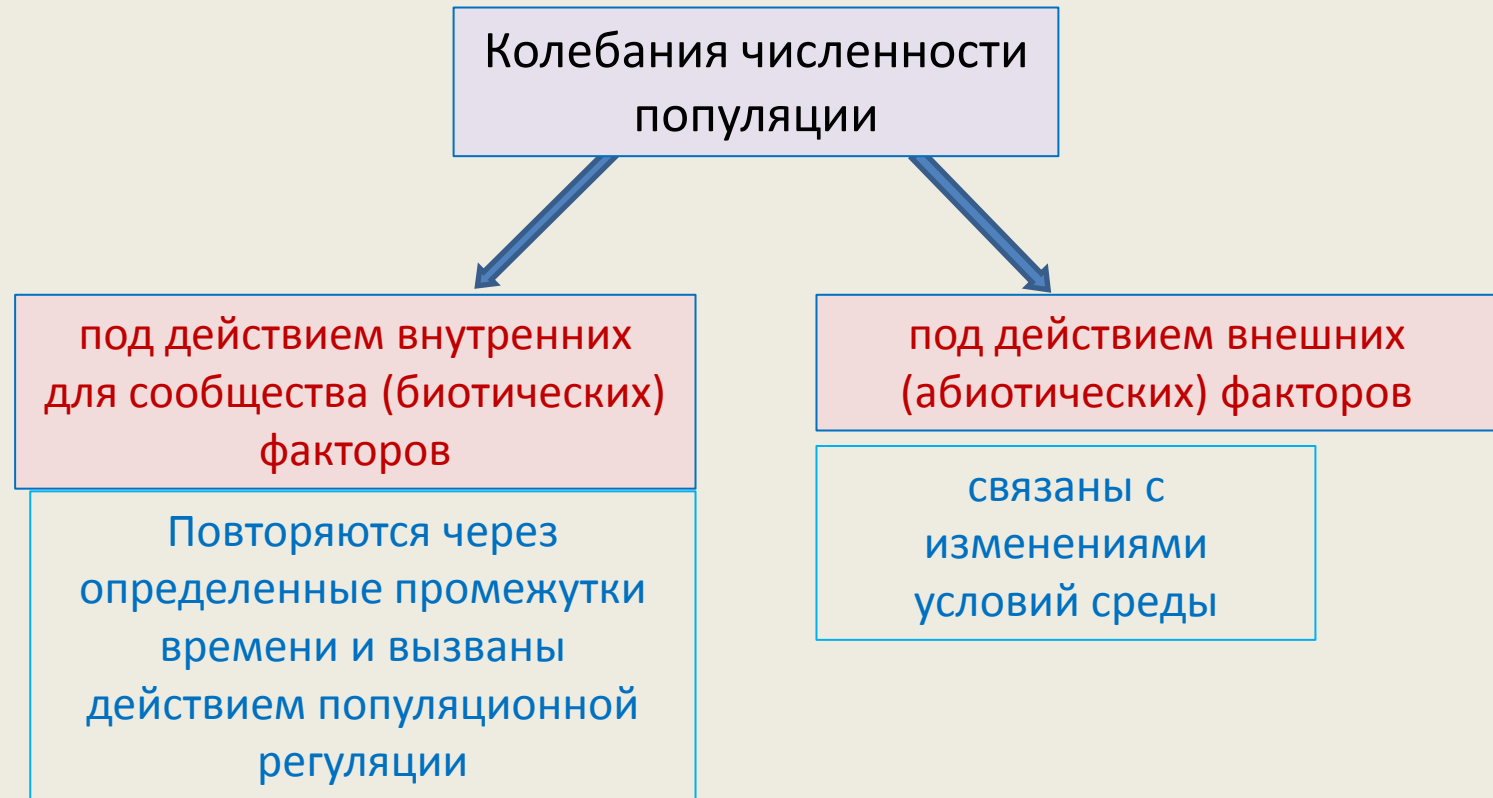
**S-образная кривая роста**



Пример:  
мелкие грызуны,  
птицы

**$K$  – емкость среды** (максимально возможное число особей, способное существовать в данной среде)

# Колебания численности популяции





# Экологические стратегии

**Экологическая стратегия вида** – это совокупность приспособлений организмов, обеспечивающих максимально возможную численность популяций данного вида в конкретном сообществе.

Различают два типа экологических стратегий –  $r$ - и  $K$ -стратегии.

- 1.  $r$ -стратегия** присуща видам с высокой скоростью размножения (т.е. с высоким уровнем биотического потенциала  $r$ ) ( **$r$ -виды**). Это стратегия большого числа потомков с низким выживанием.

Примеры:



# Экологические стратегии

**2. *K-стратегия*** характерна для видов с низкой скоростью размножения, но с высокой устойчивостью к действию факторов среды (т.е. с приспособлением к величине емкости среды  $K$ ) (***K-виды***). Это стратегия малого числа потомков с высоким выживанием.

Примеры:



# Экологические стратегии

## Характерные особенности $r$ - и $K$ -стратегий

Параметры и характеристики	$r$ - стратегия	$K$ - стратегия
Рождаемость	Высокая и независимая от плотности популяции	Низкая и зависимая от плотности популяции
Конкурентноспособность	Низкая	Высокая
Кривая выживания	Обычно 2-го типа	Обычно 1 и 3-го типов
Кривая роста популяции	$J$ -образная кривая	$S$ -образная кривая
Продолжительность жизни	Короткая, обычно менее одного года	Долгая, обычно более одного года
Расселение	Быстрое и широкомасштабное	Медленное
Забота о потомстве	Нет	Есть
Примеры	Бактерии, тли, однолетние растения, грызуны	Млекопитающие, из растений Дубы, буки, грабы, секвойи

## Рекомендуемая литература к лекции

Экология: учеб. Пособие для вузов / Александров А.А., Корсак М.Н., Мошаров С.А., [и др.] . – 4-е изд., испр. – М.: изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 280 с.

Шилов И.А. Экология: учебник для бакалавров. – 7-е изд. – М.: Юрайт, 2012. – 511 с.

# ЭКОЛОГИЯ

**Мошаров Сергей Александрович**

кандидат биологических наук

доцент кафедры Э-9 МГТУ им. Н.Э. Баумана

## Лекция

## Структура и функции экосистем



**Экосистема** – сообщество живых существ и их среда обитания, образующие единое функциональное целое на основе причинно-следственных связей между отдельными экологическими компонентами.

Любая экосистема состоит из двух блоков .

- 1) **Биоценоз** – комплекс взаимосвязанных между собой популяций живых организмов.
- 2) **Экотоп** – совокупность факторов среды обитания.

**Основные свойства экосистем определяются их способностью:**

- осуществлять круговорот веществ,
- создавать биологическую продукцию (т.е. синтезировать органические вещества).
- поддерживать постоянство своего состояния (*гомеостаз – саморегуляция*)

## Иерархия экосистем.

Крупные экосистемы включают в себя экосистемы меньшего ранга. В зависимости от размеров занимаемого пространства экосистемы обычно подразделяют на:

*микроэкосистемы* (небольшой водоем, ствол упавшего дерева в стадии разложения, аквариум и т. д.).

*мезоэкосистемы* (лес, пруд, озеро, река и т. д.);

*макроэкосистемы* (океаны, континенты, природные зоны и т. д.);

*глобальную экосистему* (биосфера в целом).

### **Биомы.**

Крупные наземные экосистемы, характерные для определенных географических природных зон, называются биомами (например, тайга, степь, пустыня и т. д.).

Каждый биом включает целый ряд меньших по размерам, связанных друг с другом экосистем.

Экосистема является **функциональной единицей живой природы**, включающей биотическую (**биоценоз**) и абиотическую (**среда обитания, экотоп**) части экосистемы, связанные между собой непрерывным круговоротом (обменом) химических веществ, энергию для которых поставляет Солнце.





# Автотрофы и гетеротрофы

Любая экосистема включает в себя две группы организмов: *автотрофы* и *гетеротрофы*, которые обеспечивают круговорот веществ в рамках биоценоза.

**Автотрофные организмы** (фотосинтезирующие высшие растения и микроводоросли) -

синтезируют органические вещества из минеральных компонентов почвы, воды и воздуха, используя энергию солнечного света. За счет этих веществ растения создают свою биомассу и обеспечивают энергией свою жизнедеятельность.

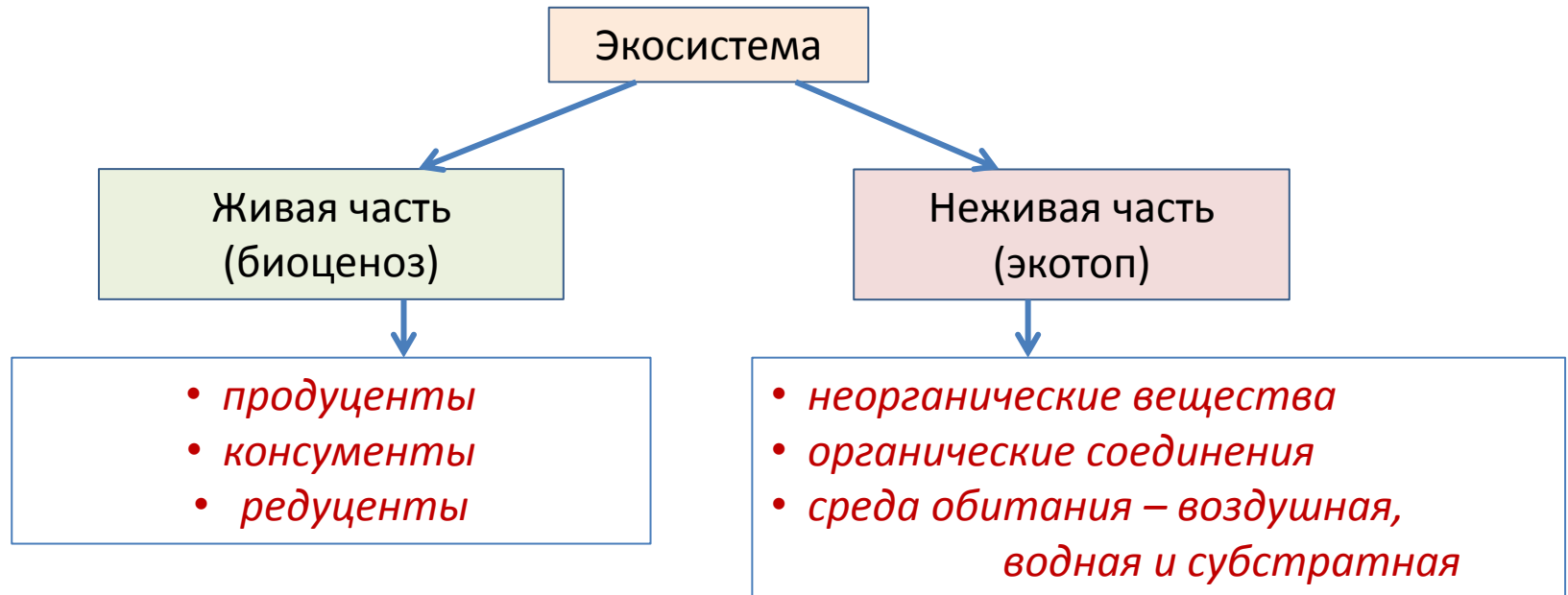
**Гетеротрофные организмы** (животные, бактерии, грибы) -

в процессе питания используют биомассу растений для создания своей биомассы и в качестве источника энергии. При этом происходит минерализация органического вещества до диоксида углерода, воды, нитратов, фосфатов, которые вновь потребляются автотрофами.

# Структура экосистемы

Структура любой системы определяется закономерностями в соотношении и связях ее частей. В экосистеме структуру определяет система взаимоотношений между организмами, а также между биоценозом и средой обитания.

В составе любой экосистемы можно выделить следующие основные компоненты:



# Структура экосистемы

1. Экотоп — совокупность абиотических условий неорганической среды данного участка, представляющего собой местообитание конкретного сообщества.

В составе экотопа выделяют следующие основные компоненты:

*неорганические вещества* — минеральные формы углерода, азота, фосфора, вода и другие химические соединения, необходимые для жизнедеятельности организмов и вступающие в круговорот.

*органические соединения* — белки, жиры углеводы и др. в мертвом органическом веществе (детрите).

*среда обитания* — воздушная, водная или субстратная среда обитания, включая физико-химические свойства среды, климатический режим (сочетание температуры и влажности), ландшафт и т.д.

## Структура экосистемы

2. **Биоценоз** (сообщество живых организмов) — исторически сложившийся комплекс взаимосвязанных между собой популяций живых организмов, включающий автотрофные и гетеротрофные организмы, которые населяют однородное жизненное пространство (участок суши или водный объем).

В биоценозе выделяют три основных компонента:

**продуценты** — комплекс автотрофных организмов (**фитоценоз**), создающих органическую пищу из простых неорганических веществ за счет энергии Солнца (фотоавтотрофы).

Главным образом — зеленые растения на суше и одноклеточные микроводоросли в воде.

**консументы** — комплекс гетеротрофных травоядных и хищных организмов (**зооценоз**), подающих другие организмы.

Главным образом — животные.

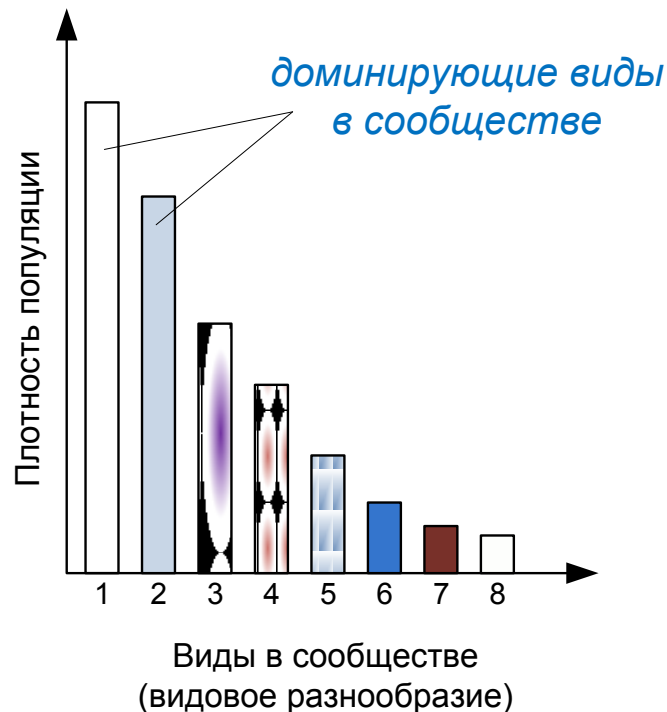
**редуценты** (деструкторы) — комплекс гетеротрофных микроорганизмов (**микробиоценоз**), разлагающие мертвое органическое вещество (детрит) и тем самым возвращая минеральные компоненты в круговорот. Бактерии и грибы.

# Основные структурные характеристики экосистемы

1. Видовая структура экосистемы
2. Трофическая (функциональная) структура экосистемы
3. Пространственная структура экосистемы

# Видовая структура биоценоза

**Видовая структура биоценоза** – видовой состав входящих в него организмов и количественное соотношение видовых популяций



Чем богаче условия, тем больше видов (высокое **видовое разнообразие**).

В тропических лесах – тысячи видов.

В пустынных районах – десятки видов.

В биоценозе – несколько **доминирующих видов**, на которые приходится основная часть биомассы или численности.

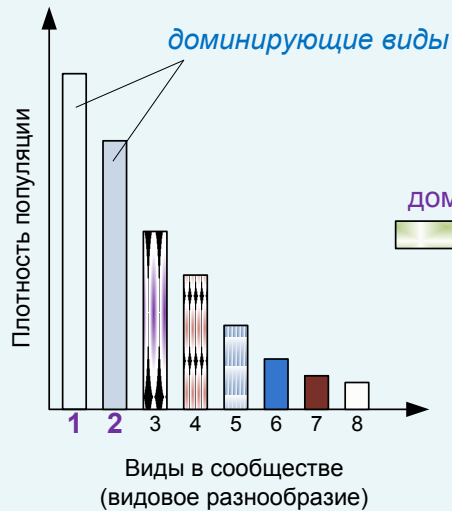
**Виды-эдификаторы** – средообразующие доминирующие виды.

(деревья – лесные экосистемы, коралловые полипы – экосистемы коралловых рифов)

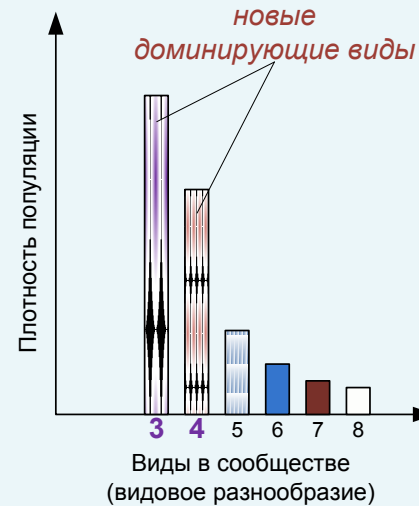
Наземные экосистемы чаще всего называются по видам-эдификаторам или доминирующим видам растений (ельник-черничник, злаково-разнотравные степные экосистемы)

# Видовая структура биоценоза

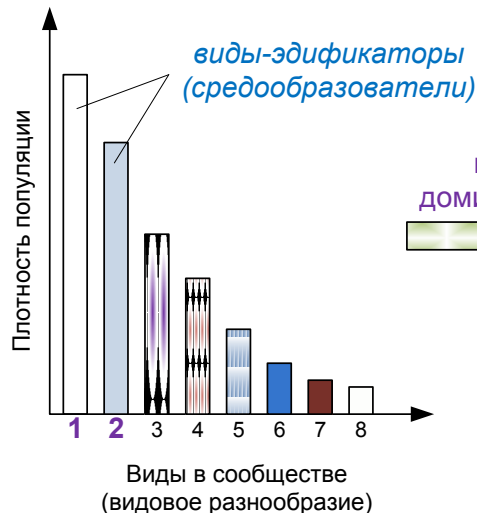
## Роль видов-эдификаторов в формировании видовой структуры сообщества



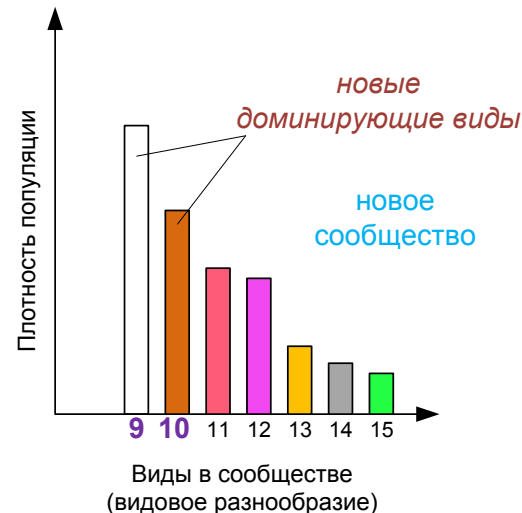
исчезновение  
доминирующих видов



При исчезновении  
прежде  
доминировавших  
видов – начинают  
доминировать другие  
виды того же  
сообщества  
(среда не изменилась)



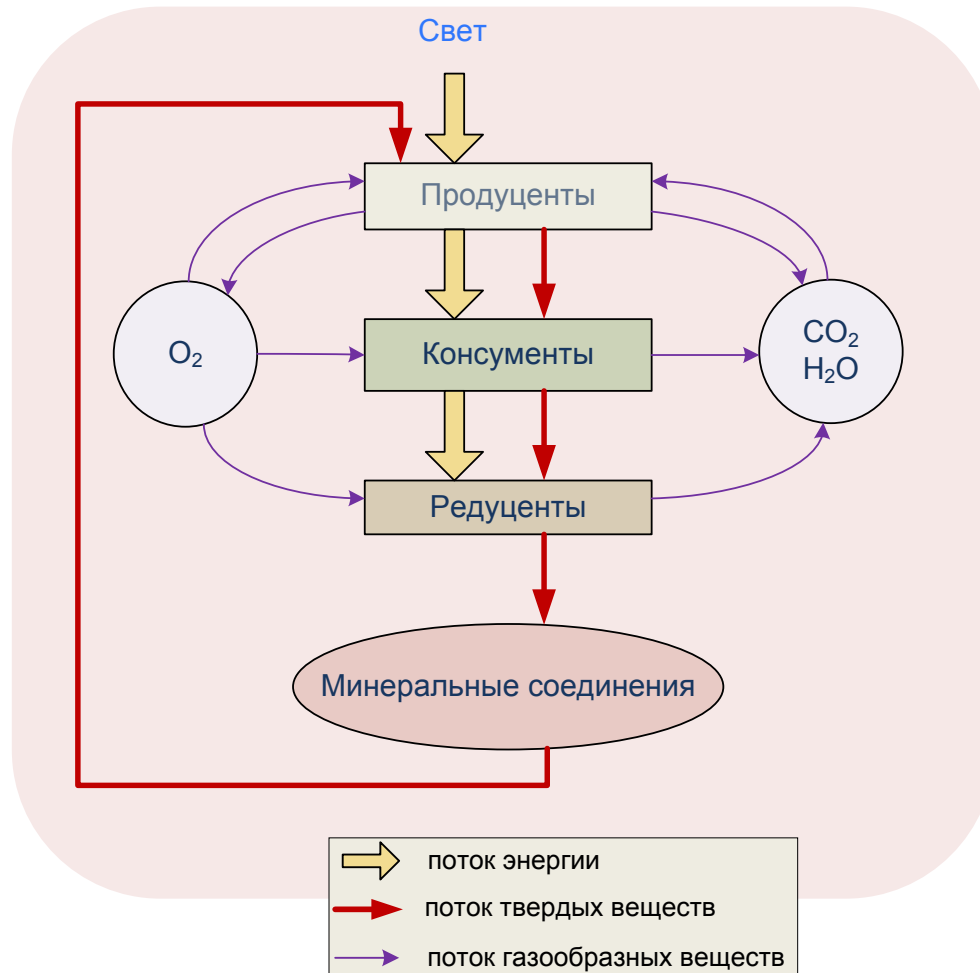
исчезновение  
доминирующих видов



При исчезновении  
видов-эдификаторов  
среда существенно  
изменяется –  
сообщество  
полностью  
замещается другим.

# Трофическая структура экосистемы

**Трофическая структура** – система пищевых взаимоотношений между организмами в сообществе.  
(греч. *trophe* – питание)



Все организмы получают с пищей необходимые вещества и энергию для жизни.

Пищевые взаимодействия – основа для существования биоценоза и круговорота веществ в экосистеме.

**Поток энергии** через экосистему – энергия используется однократно.

**Круговорот веществ** – биогенные элементы и вода могут использоваться в экосистеме многократно.



# Пространственная структура экосистемы

*Пространственная структура* – закономерное расположение видов в биотопе, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях .

Общая черта экосистем (и наземных, и водных) – *ярусность*, т.е. пространственное вертикальное разделение **автотрофов** (продуцентов) и **гетеротрофов** (консументов и редуцентов).

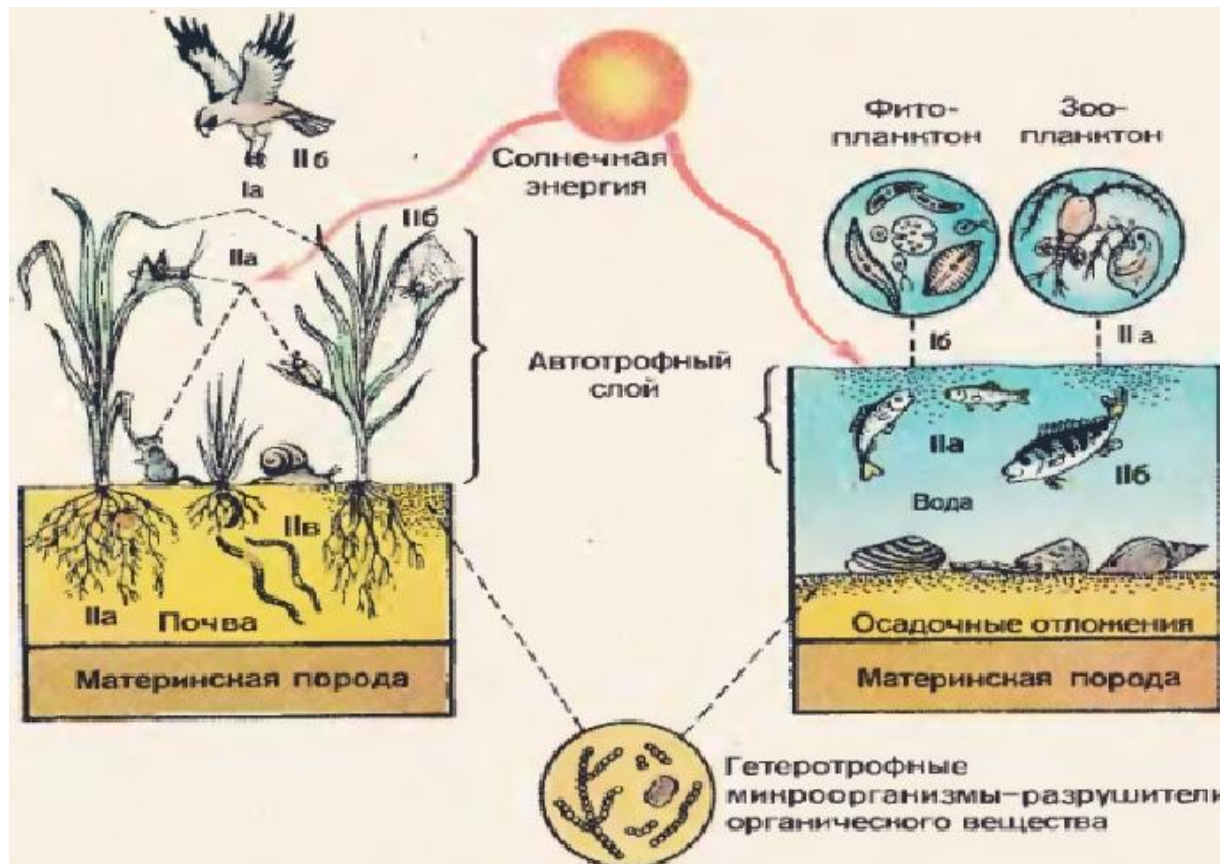
**Автотрофные процессы** (фотосинтез органического вещества растениями) наиболее активно протекают в верхней части любой экосистемы, т.е. там, где больше солнечного света. Это верхний автотрофный ярус («**зеленый ярус**»).

**Гетеротрофные процессы** (биологические процессы, связанные с потреблением органического вещества) наиболее интенсивно протекают в нижнем ярусе, в почвах и осадках, где накапливаются органические вещества («**коричневый ярус**»)

# Пространственная структура экосистемы

В связи с пространственным разделением функционирование автотрофов и гетеротрофов в большинстве случаев разделено и во времени.

Использование продукции автотрофных организмов гетеротрофами может происходить не сразу, а с существенной задержкой (недели, месяцы, годы).



## Пищевые (трофические) цепи

**Пищевая цепь** – упрощенная последовательность организмов, обусловленная пищевыми взаимодействиями.

Иначе говоря – ряд видов организмов, в котором каждый последующий вид питается предыдущим.

Пищевые цепи разделяют на два типа:

- 1) *Пастбищные*
- 2) *Детритные*

### Пастбищные пищевые цепи

начинаются с зеленого растения, формирующего свою биомассу в процессе фотосинтеза.

**Детритные пищевые цепи** начинаются с мелких детритоядных организмов, питающихся (и соответственно формирующих свою биомассу) мертвым органическим веществом (детритом).



## Пищевые (трофические) цепи

Каждое звено цепи называется *трофическим уровнем*.

Первый трофический уровень – организмы, использующие первичный источник энергии (зеленые растения в пастбищной цепи и детроеды детритной цепи).

Второй — консументы I порядка (растительноядные животные),

Третий — консументы II порядка — хищники, питающиеся растительноядными животными),

Четвертый — консументы III порядка, питающиеся хищниками II порядка и т.д.

Последний трофический уровень – редуценты, разлагающие органическое вещество до минеральных соединений.

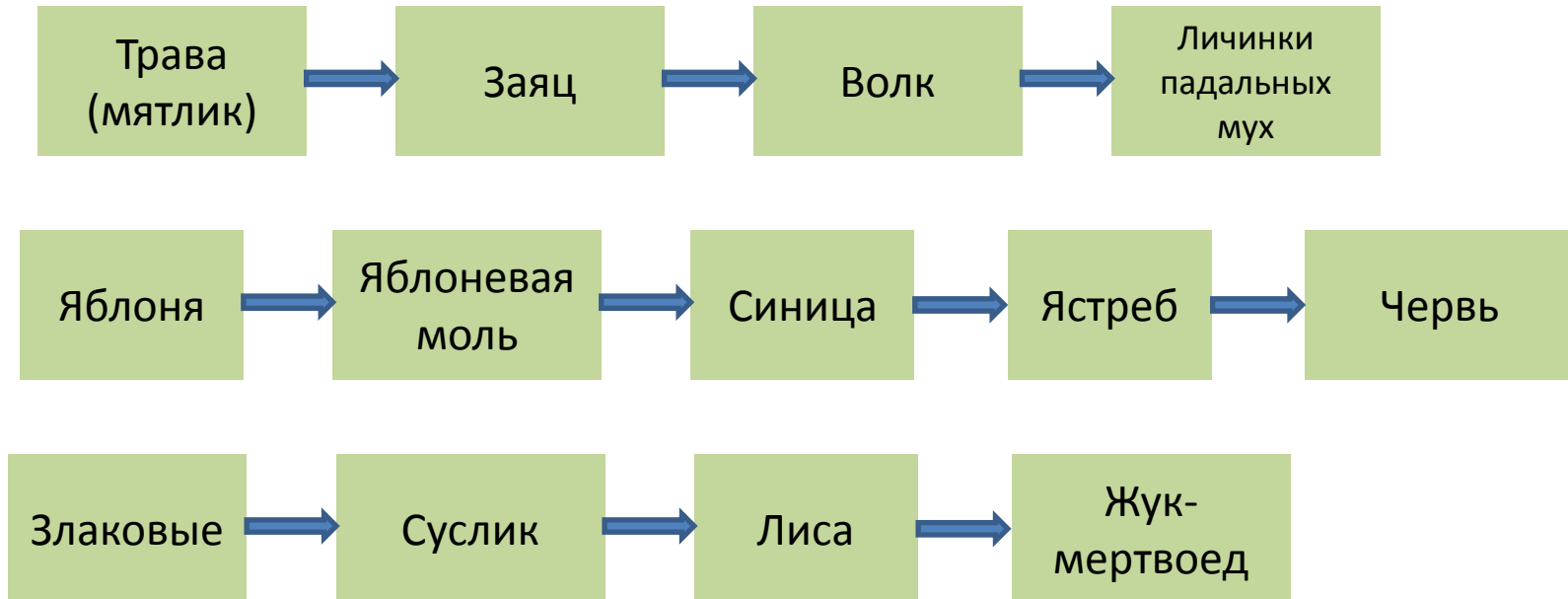
Главное свойство пищевой цепи – *перенос энергии пищи* от ее источника через ряд организмов, происходящий путем поедания одних организмов другими.

Трофическая классификация (распределение по трофическим уровням) относится к функциям, а не к видам как таковым.

Например, медведь может питаться ягодами и плодами (2-й трофический уровень), а может и мелкими животными (3-й трофический уровень).

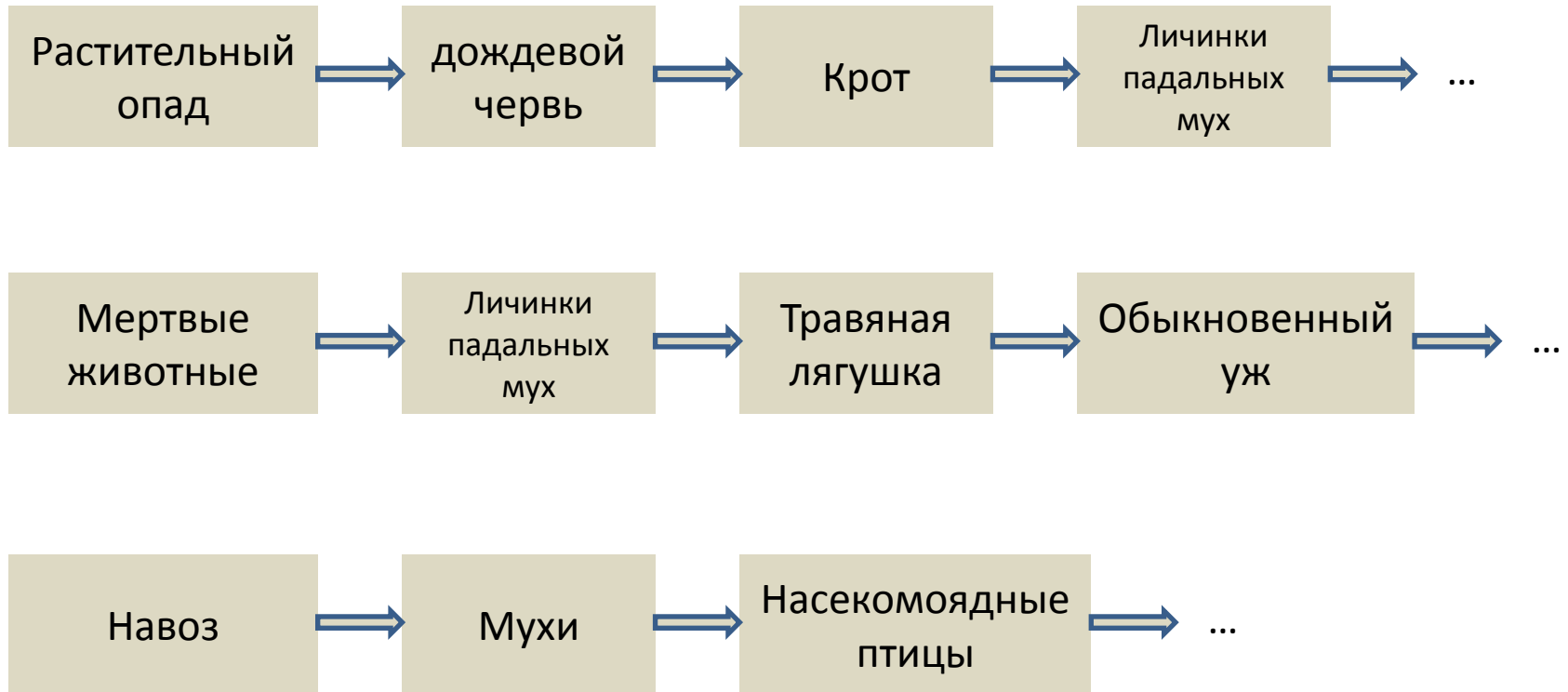
# Пищевые (трофические) цепи

## Примеры пастбищных цепей:



## Пищевые (трофические) цепи

### Примеры детритных цепей:



## Пищевые (трофические) сети

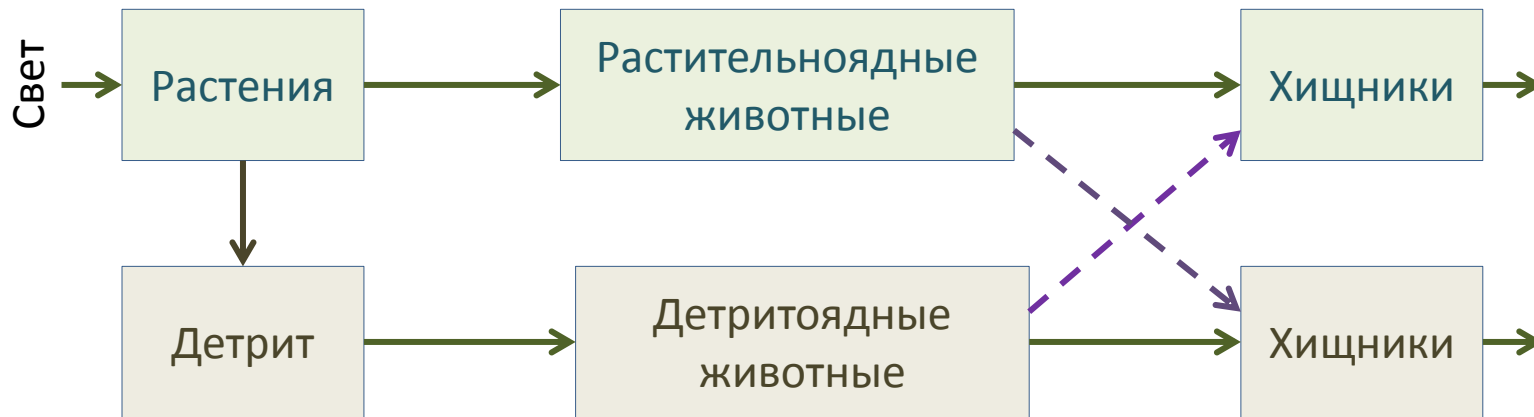
Пищевые цепи любого типа не изолированы друг от друга, а тесно переплетены, образуя пищевые сети.

У каждого вида – несколько консументов.



# Связь между пастбищной и детритной пищевыми цепями.

Модель потока энергии, показывающая связь между пастбищной и детритной пищевыми цепями:



Эта модель более реалистична, т.к. :

- 1) она соответствует основной ярусной структуре экосистемы;
- 2) прямое потребление живых растений и их детрита обычно разделены в пространстве и времени;
- 3) макроконсументы и микроконсументы сильно различаются по особенностям обмена веществ.

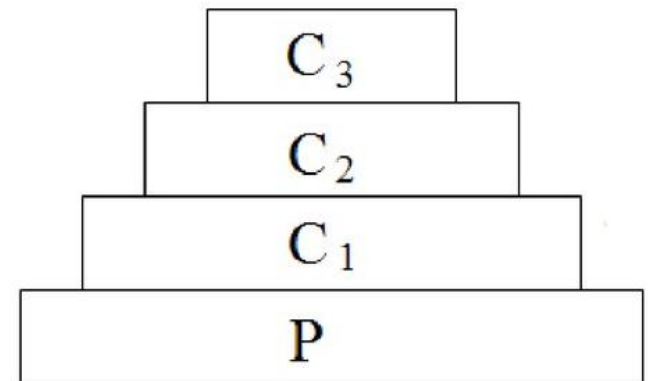
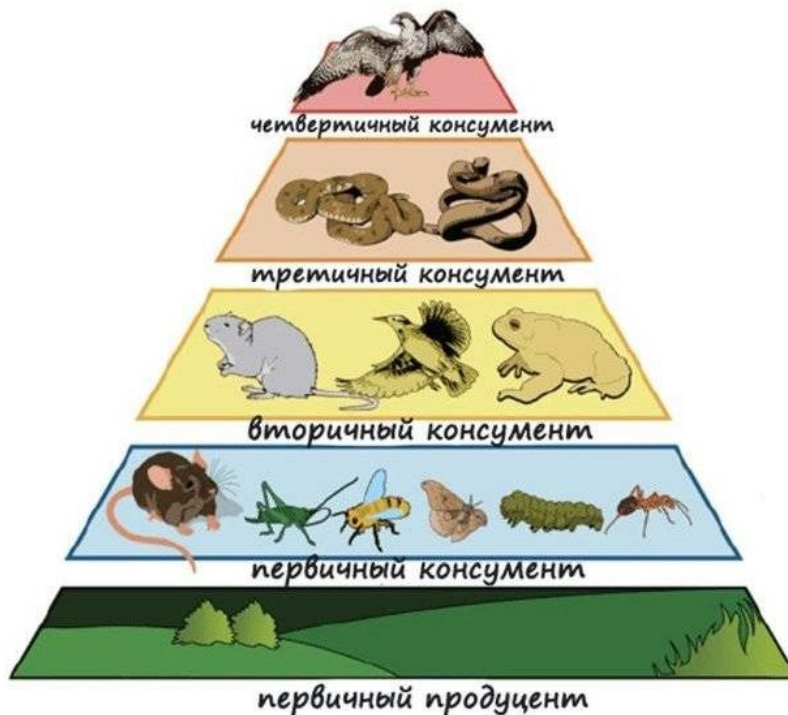


# Экологические пирамиды

**Экологические пирамиды** - способ графического отображения соотношения различных трофических уровней в экосистеме.

Основанием экологической пирамиды служит первый трофический уровень (продуценты), а последующие уровни образуют этажи.

Экологические пирамиды характеризуют степень уменьшения биологических параметров с переходом от одного трофического уровня к другому.



# Экологические пирамиды

Три типа экологических пирамид:

## **1) пирамида численности**

отражает численность организмов на каждом трофическом уровне,

## **2) пирамида биомассы**

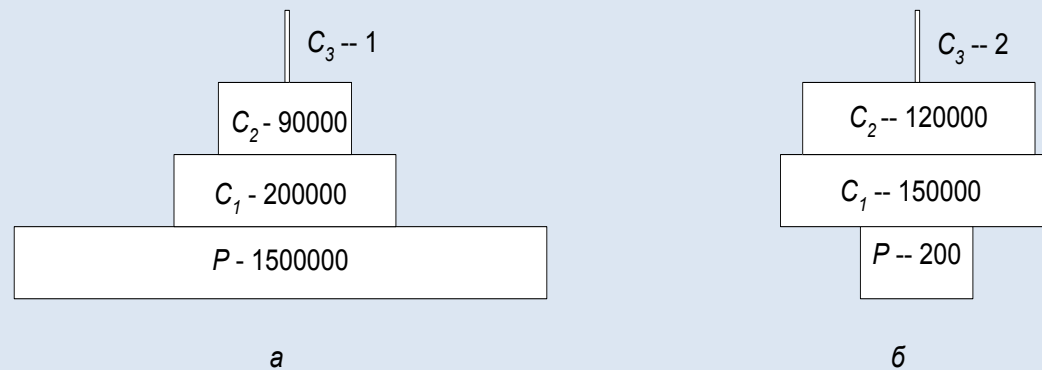
характеризует общую биомассу организмов на каждом трофическом уровне,

## **3) пирамида энергии**

показывает величину потока энергии или продуктивности на последовательных трофических уровнях

# Экологические пирамиды

Основания каждого уровня **пирамиды численности** пропорциональны количеству организмов на данном трофическом уровне.

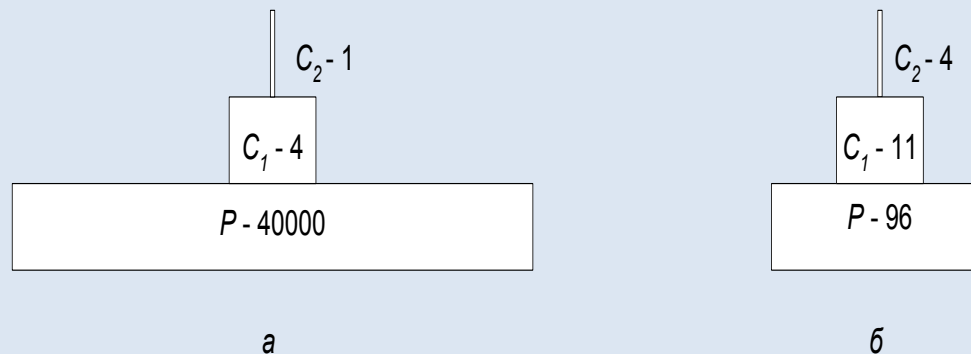


Пирамиды численности организмов для степи (а) и леса умеренной зоны (б)

Формы пирамид численности сильно различаются для разных сообществ в зависимости от размеров организмов.

# Экологические пирамиды

**Пирамида биомасс** показывает соотношение биомасс организмов разных трофических уровней, изображённых графически таким образом, что длина или площадь прямоугольника, соответствующего определённому трофическому уровню, пропорциональна его биомассе.



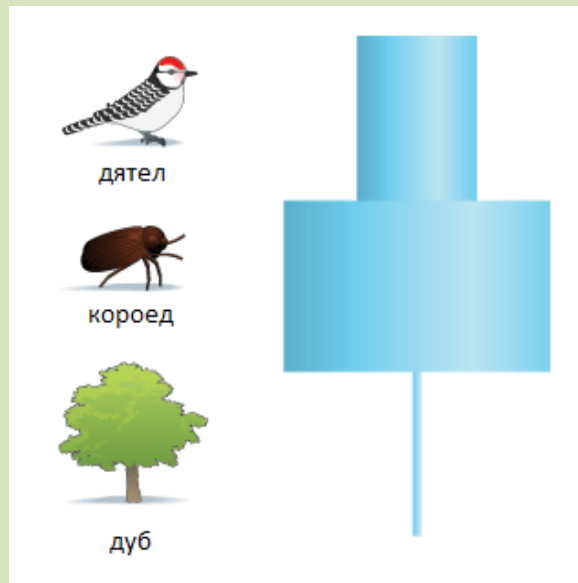
Пирамиды биомасс организмов для экосистем тропического леса (а) и озера (б)

# Перевернутые экологические пирамиды

Величина численности и биомассы трофического уровня не дает никакого представления о скорости ее образования (продуктивности) и потребления.

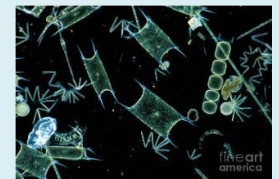
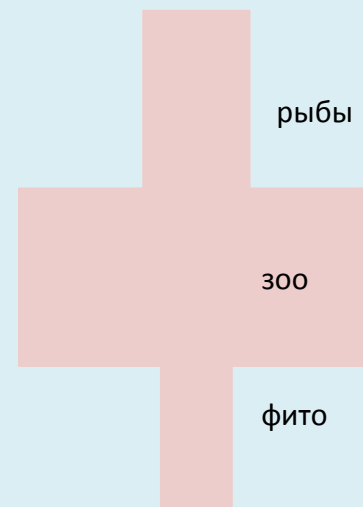
*Перевернутые пирамиды* отражают ситуацию, когда численность или биомасса продуцентов значительно меньше, чем последующих консументов.

В лесных экосистемах небольшое количество крупных продуцентов-деревьев дает пищу многочисленным консументам.



Перевернутая пирамида численности в лесной экосистеме

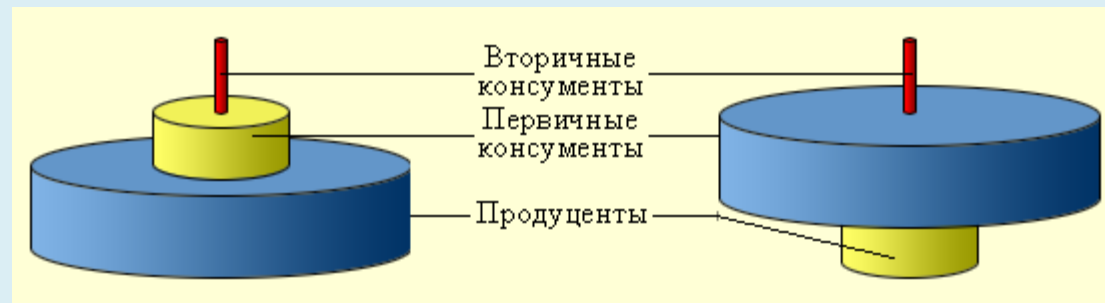
В водных экосистемах пелагиали мелкие продуценты с быстрым оборотом биомассы обеспечивают прирост биомассы (за период) консументов



Перевернутая пирамида биомассы в водной экосистеме

## Перевернутые экологические пирамиды

В водных экосистемах пелагиали *большое количество мелких продуцентов* (фитопланктон) с очень высокой скоростью размножения дают *большую биомассу* за период времени при *низкой биомассе* в конкретный момент времени в результате быстрого выедания консументами.



Пирамида численности для  
водных экосистем в пелагиали  
(водной толще)

Пирамида биомассы для  
водных экосистем в пелагиали  
(водной толще)

Подобное различие в соотношении уровней продуцентов и консументов в водной экосистеме пелагиали связано с разной продолжительностью жизни и скоростью «оборачиваемости» (размножение-выедание) биомассы на этих трофических уровнях.

# Пирамиды энергии

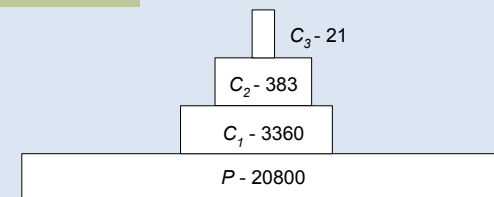
Из трех типов экологических пирамид пирамида энергии дает наиболее полное представление о функциональной организации сообщества.

**Пирамида энергии** - пирамида, показывающая величину потока энергии или продуктивность на последовательных трофических уровнях.



Р. Линдеман (1942 г.) сформулировал закон пирамиды энергий, или **правило 10%**: с одного трофического уровня экологической пирамиды

переходит на другой, более высокий ее уровень (по «лестнице» продуцент — консумент — редуцент), в среднем около 10% энергии, поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды.



Пирамида энергии (кДж/м<sup>2</sup> в год)  
для экосистемы мелководного  
водоема

# Продуктивность экосистем

**Продуктивность экосистем** – образование органического вещества в виде биомассы животных, растений и микроорганизмов, составляющих биотическую часть экосистемы, в единицу времени на единицу площади или объема.

Способность синтезировать органическое вещество (*биологическая продуктивность*) – одно из основных свойств организмов, их популяций и экосистем.

**Первичная продукция** – это скорость образования органического вещества в процессе фотосинтеза автотрофными организмами (продуцентами).

а) *валовая первичная продукция* ( $P_G$ )- это общая масса валового органического вещества, создаваемая растением в единицу времени при данной скорости фотосинтеза, включая и траты на дыхание ( $R$ ). Растения тратят на дыхание от 40 до 70% от валовой продукции.

$$P_N = P_G - R$$

б) *чистая первичная продукция* ( $P_N$ ) – величина прироста биомассы растений.



# Продуктивность экосистем

**Чистая продуктивность сообщества** – скорость накопления органического вещества, не потребленного гетеротрофами (животными и бактериями), в сообществе за конкретный период (например, прирост биомассы растений к концу летнего сезона).

**Вторичная продуктивность** – скорость накопления биомассы органического вещества энергии (в виде биомассы) на уровне консументов (животных), которые не создают органическое вещество из неорганических (как в случае фотосинтеза), а лишь используют органические вещества, полученные с пищей, часть из них расходуя на поддержание жизнедеятельности, а остальные превращая в собственные ткани.

## Энергетика экосистем

Живые организмы, входящие в экосистемы, для своего существования должны постоянно пополнять и расходовать энергию.

В отличие от веществ, непрерывно циркулирующих по разным блокам экосистемы, энергия может быть использована один раз, т.е. имеет место линейный поток энергии через экосистему.

Живые организмы при рассмотрении энергетических преобразований в экосистемах рассматриваются как потребители пищи, т.е. вещества и энергии.

Процесс приобретения энергии и вещества называется питанием.

Процесс высвобождения энергии из богатых ею органических веществ, полученных с пищей, называется дыханием.

*Энергию определяют как способность производить работу.*

Все живые организмы можно рассматривать как работающие машины, которые не могут функционировать и оставаться живыми без постоянного притока энергии.

# Энергетика экосистем

Энергия требуется для важнейших процессов жизнедеятельности:

- химический синтез веществ, необходимых для роста и восстановления органов и тканей;
  - активный транспорт веществ в клетки и из клеток;
  - электрическая передача нервных импульсов;
  - механическое сокращение мышц;
  - поддержание постоянной температуры тела;
  - биолюминисценция (светлячки)
- и др.

# Энергетика экосистем

Свойства энергии описываются следующими законами.

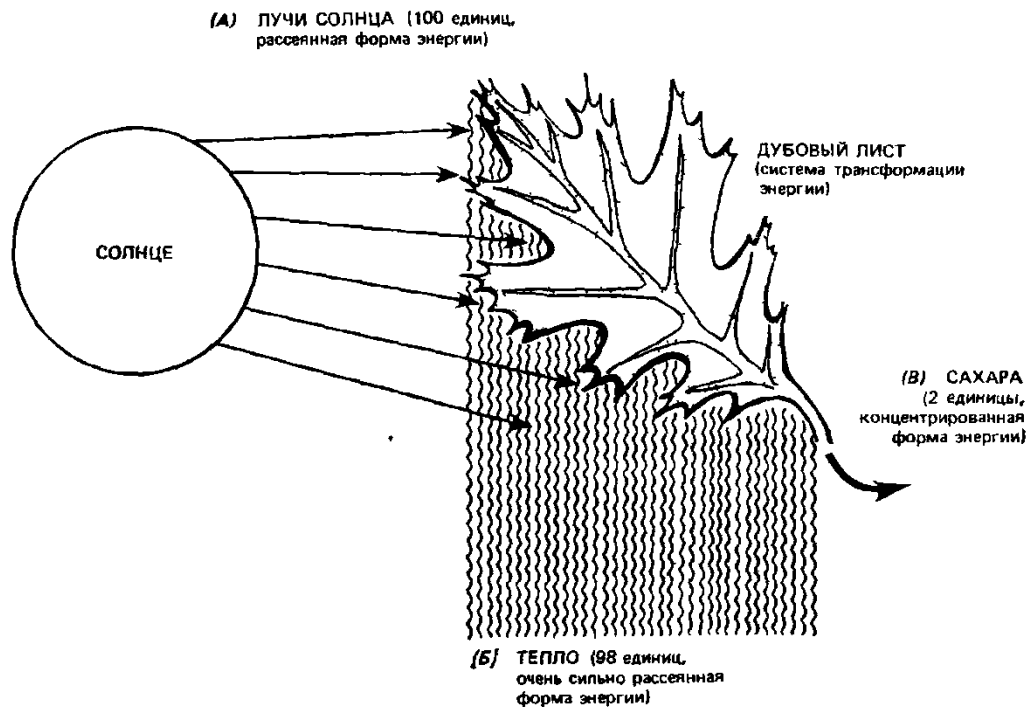
Первый закон термодинамики, или *закон сохранения энергии*, гласит, что энергия может переходить из одной формы в другую, но она не исчезает и создается заново. Т.е количество энергии при этом остается постоянным. Например, свет есть одна из форм энергии, так как его можно превратить в работу, тепло или потенциальную энергию пищи в зависимости от ситуации, но энергия при этом не пропадает.

Второй закон термодинамики, или *закон энтропии*, формулируется по-разному, в частности таким образом: процессы, связанные с превращениями энергии, могут происходить самопроизвольно только при условии, что энергия переходит из концентрированной формы в рассеянную (деградирует). К примеру, тепло горячего предмета самопроизвольно стремится рассеяться в более холодной среде.

Живые организмы являются преобразователями энергии. И каждый раз, когда происходит превращение энергии (например, переваривание пищи), часть ее теряется в виде тепла. В конечном итоге вся энергия, поступающая в биотический круговорот экосистемы, рассеивается в виде тепла.

# Энергетика экосистем

На примере превращения энергии Солнца путем фотосинтеза в энергию пищи, происходящего в листе, иллюстрируется действие двух законов термодинамики



Первый закон:

$$A = B + C$$

Второй закон:

В всегда меньше А, т.к. при трансформации энергии часть ее рассеивается в виде тепла

## Энергетика экосистем

Баланс пищи и энергии для отдельного животного организма можно представить так:

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = \mathcal{E}_{\text{д}} + \mathcal{E}_{\text{пр}} + \mathcal{E}_{\text{пв}}$$

где  $\mathcal{E}_{\text{п}}$  – энергия потребленной пищи;

$\mathcal{E}_{\text{д}}$  – энергия дыхания (т.е. выделенная при дыхании в виде тепла);

$\mathcal{E}_{\text{пр}}$  – энергия прироста (т.е. заключенная во вновь созданной биомассе);

$\mathcal{E}_{\text{пв}}$  – энергия, заключенная в продуктах выделения.

$\mathcal{E}_{\text{пв}}$  у плотоядных животных невелико, у травоядных животных – больше, а у некоторых гусениц - до 70%.

## Рекомендуемая литература к лекции

Экология: учеб. Пособие для вузов / Александров А.А., Корсак М.Н., Мошаров С.А., [и др.] . – 4-е изд., испр. – М.: изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 280 с.

Шилов И.А. Экология: учебник для бакалавров. – 7-е изд. – М.: Юрайт, 2012. – 511 с.

# ЭКОЛОГИЯ

**Мошаров Сергей Александрович**

кандидат биологических наук

доцент кафедры Э-9 МГТУ им. Н.Э. Баумана

## Лекция

## Развитие экосистем (сукцессия)





**Экологическая сукцессия** – направленное и закономерное изменение во времени видовой структуры и биоценологических процессов в экосистеме.  
(от лат. *successio* – преемственность, наследование).

Отдельные виды организмов не только сами приспосабливаются к экологической среде, но и в ходе своей совместной деятельности в экосистемах приспособляют экотоп - геохимическую среду экосистемы к своим потребностям.

Таким образом, сообщества организмов и среда их обитания развиваются как единое целое.

В ходе сукцессии происходит последовательная закономерная смена одного биотического сообщества другим во времени под влиянием природных и антропогенных факторов.

Природные факторы, определяющие сукцессию, могут быть:

- внутренние взаимодействия между популяциями данного сообщества (*аутогенная сукцессия* – саморазвивающаяся);
- внешние факторы окружающей среды (*аллогенная сукцессия*): штормы, пожары.

Антропогенные факторы: вырубка леса, создание водохранилища, распашка степи, загрязнение среды.

Процесс сукцессии начинается и протекает в результате изменений основных свойств среды обитания.

При аутогенной сукцессии эти изменения происходят под действием сообщества живых организмов (биоценоза). В процессе жизнедеятельности организмы потребляют одни вещества, выделяют другие – и окружающая среда постепенно изменяется.

В измененной среде прежние виды становятся менее адаптированными, и появляются новые более приспособленные виды.

Обычно различают следующие типы сукцессий:

- первичные и вторичные;
- автотрофные и гетеротрофные,
- аутогенные и аллогенные.

**Первичные сукцессии** начинаются всякий раз, когда заселяются пустынные места обитания, т.е. там, где отсутствуют какие-либо организмы . Это могут быть голые скалы, остывшая вулканическая лава, песчаные дюны.



Первыми, как правило, на таких пустынных местах появляются лишайники, за ними следуют мхи и неприхотливые однолетние травы, затем двухлетние и многолетние растения, кустарники и, наконец, – деревья. Течение этого процесса определяется скоростью накопления почвенного слоя и повышения влажности.

Примером первичной сукцессии могут служить исторически зафиксированные процессы восстановления экосистемы на острове Кракатау в Индонезийском море.

В ходе катастрофического извержения вулкана Кракатау в конце XIX в. большая часть острова была уничтожена взрывом, а сохранившаяся часть была покрыта 60-метровым слоем лавы и горячего вулканического пепла. Все живое на острове было уничтожено.



Вулкан Кракатау (Индонезия)

Год спустя прибывшие на остров ученые обнаружили несколько видов травянистой растительности и один вид пауков.

Через 25 лет на острове обитало уже 202 вида животных и растений; через 36 лет – 621 вид.

А через 50 лет там насчитывалось 880 видов организмов, к тому же на острове рос молодой тропический лес.

**Вторичные сукцессии** характерны для мест, где ранее существовали биологические сообщества, но были частично или полностью разрушены в результате естественных (пожары, наводнения) либо антропогенных причин (вырубки леса, загрязнение среды), и в почве сохранились семена растений, споры бактерий и грибов.

Примером вторичных сукцессионных изменений может служить зарастание заброшенных сельскохозяйственных угодий, восстановление леса или зарастание водоемов.

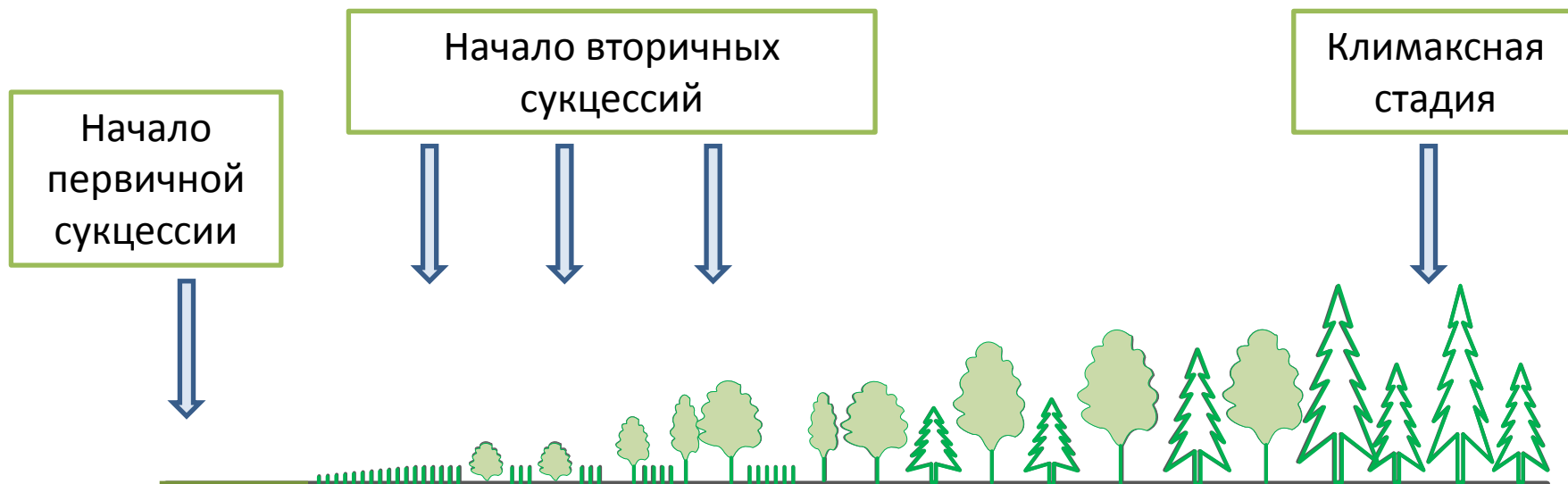


Сменяющие друг друга сообщества в процессе сукцессии формируют сукцессионный ряд (серию).

Смена стадий сукцессии идет в соответствии с определенными правилами.

- Каждая предыдущая стадия сукцессии подготавливает среду для возникновения последующей.
- В экосистеме постепенно возрастают видовое многообразие и ярусность.
- Вслед за растениями в сукцессию вовлекаются представители животного мира, а развивающийся биоценоз становится более богатым видами.
- Цепи питания в нем усложняются, развиваются и превращаются в сети питания.
- При стабильных внешних условиях ряд завершается относительно устойчивым сообществом (*климаксным сообществом*), имеющим сбалансированный при данных факторах среды обмен.

## Этапы типичной сукцессии зоны тайги



Годы	0-10	10-15	15-20	20-50	50-70	70-90	90-120
Состав фитоценоза	Водоросли, лишайники	Травы	Травы и кустарники	Береза, осина	Лиственный лес с подростом ели	Смешанный лес	Еловый лес
Этапы сукцессии	1	2	3	4	5	6	7

Зооценоз (условно)		Комплекс А	Комплекс А + Б	Комплекс Б	Комплекс Б + В	Комплекс Б + В + Г	Комплекс Г
--------------------	--	------------	----------------	------------	----------------	--------------------	------------



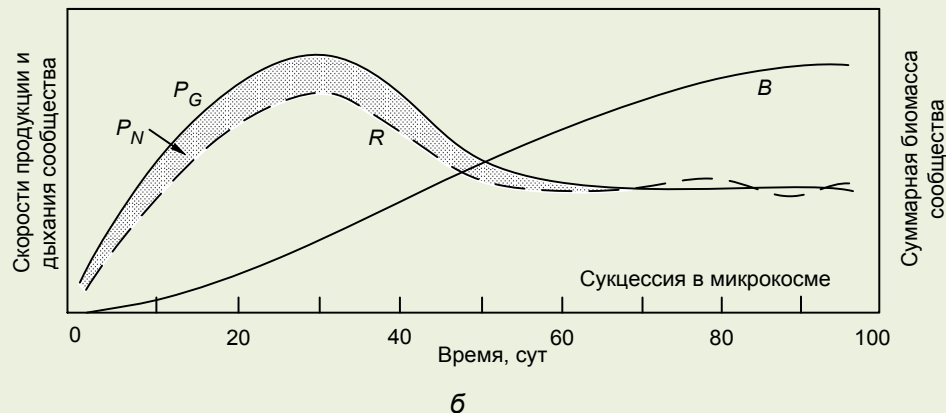
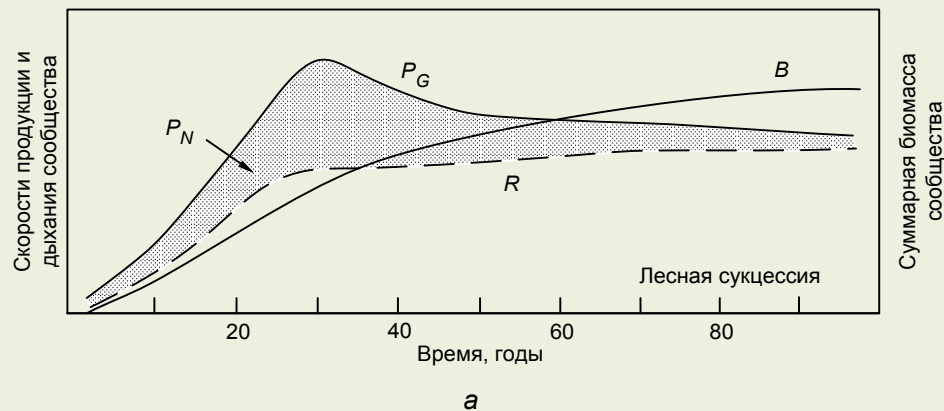
При **автотрофной сукцессии** на ранних стадиях преобладают растения, и суммарная валовая первичная продукция ( $P$ ) превышает ее потребление (суммарное дыхание сообщества,  $R$ ).

$$P > R, \text{ или } P/R > 1$$

Автотрофная сукцессия характерна для случаев заселения новых территорий.

По мере развития экосистемы скорости этих процессов сравниваются и отношение  $P/R$  стремится к 1, что свидетельствует о сбалансированности процессов синтеза и распада органического вещества в зрелой стадии развития экосистемы.

Общие закономерности автотрофной сукцессии можно наблюдать и в природной лесной экосистеме, и в условиях лабораторных микроэкосистем (микрокосмов): величины чистой первичной продуктивности органического вещества возрастают на ранних стадиях развития сообщества, слегка убывают – на средних и затем сохраняются на одном стабильном уровне.



Примеры автотрофных сукцессий:

$a$  – в лесу;  $b$  – в лабораторных условиях;

$P_G$  – валовая первичная продуктивность;

$P_N$  – чистая продуктивность;

$R$  – суммарное дыхание сообщества;

$B$  – суммарная биомасса

**Гетеротрофная сукцессия** начинается тогда, когда образуется значительный запас доступного мертвого органического вещества, доступного гетеротрофным организмам (животным). Растения (продуценты) на начальных стадиях практически отсутствуют, а преобладают гетеротрофы.

В этом случае затраты на дыхание сообщества ( $R$ ) на начальной стадии развития экосистемы сообщества превалируют над валовой первичной продуктивностью ( $P$ ).

$$P < R, \text{ или } P/R < 1$$

По мере развития экосистемы появляются продуценты и возрастает первичная продукция - отношение  $P/R$  стремится к 1, т.е. скорости продукции и потребления органического вещества в сообществе также сравниваются.

Гетеротрофная сукцессия начинается, например, при образовании водохранилищ, когда вода заполняет территории, богатые накопленным органическим веществом (почва).

## Климаксное сообщество

Терминальным, или стабильным сообществом, развивающейся серии является *климаксное сообщество*, находящееся в равновесии с физическим местообитанием.

Процесс сукцессионных изменений в экосистеме всегда направлен в сторону выравнивания или сбалансированности процессов новообразования и разрушения органического вещества.

Дальнейшие изменения видового состава в таком сообществе не происходят, и оно может существовать неопределенно долгое время.

***Облик климаксной экосистемы*** определяется местными климатическими условиями.

При отсутствии лимитирующих факторов все сукцессионные изменения заканчиваются климаксом. Тайга, тундра, саванна, степь, пустыня - примеры климаксных экосистем, характерных для конкретных природных зон.

На широте Москвы климаксным сообществом считается дубрава.

Но севернее Москвы преобладают хвойные леса. На суглинистых вязких почвах это темнохвойные еловые леса, без подлеска. На участках с песчаными рыхлыми почвами вырастет светлохвойный сосновый лес.

### Примеры климаксных сообществ для разных природных зон



Темнохвойный лес – климаксное сообщество на суглинистых почвах севера России



Сосновый лес – климаксное сообщество на песчаных почвах



Разнотравно-злаковые степи – климаксное сообщество центрально-чернозёмной полосы

## Изменение сообщества в ходе сукцессии.

В ходе сукцессии более простые биологические сообщества, характерные для начальных стадий развития сукцессии (с низким видовым разнообразием, простой пространственной структурой, несбалансированным приходом и расходом энергии и вещества), сменяются сообществами с более сложной структурой.

Виды, являющиеся *r-стратегами*, первыми захватывают освободившиеся участки территорий с избытком пищевых ресурсов, но позднее, когда свободных ресурсов становится меньше и усиливаются конкурентные взаимоотношения между видами, *r-стратеги* вытесняются *K-стратегами*.

## Изменения в энергетическом балансе экосистемы в ходе автотрофной сукцессии

- возрастают биомасса ( $B$ ) и количество мертвого органического вещества (детрита);
- возрастает валовая первичная продуктивность ( $P_G$ ) – скорость образования органического вещества в ходе фотосинтеза;
- увеличивается дыхание сообщества ( $R$ ) – скорость разрушения органического вещества в ходе процессов дыхания и жизнеобеспечения организмов;
- уменьшается величина чистой продуктивности ( $P_N$ ) органического вещества ( $P_N = P_G - R$ );
- увеличивается сбалансированность процессов синтеза и распада органического вещества – величина коэффициента ( $P_G/R$ ) стремится к 1.

## Изменения круговоротов биогенных элементов в ходе автотрофной сукцессии

- круговороты биогенных элементов становятся все более замкнутыми в пределах экосистемы

(т. е. повышается эффективность трансформации и повторного использования веществ в сообществе);

- увеличиваются время оборота и запас биогенных элементов в экосистеме

(скорость оборота элементов снижается, так как большая их часть заключена в химически связанном виде в составе биомассы или детрита).



## Изменения видовой структуры сообщества в ходе автотрофной сукцессии

- изменяется видовой состав сообщества (пионерные виды, первыми заселяющие безжизненные территории, подготавливают условия для существования последующих группировок видов);

- возрастает видовое разнообразие (численность видов);

- на ранних стадиях развития экосистемы доминируют *r*-стратеги (с *J*-образным характером роста популяции), а на более поздних стадиях – *K*-стратеги (с *S*-образным характером роста популяции);

- усложняются и удлиняются жизненные циклы организмов, составляющих биоценоз экосистемы.

В результате – возрастает устойчивость и стабильность экосистемы.

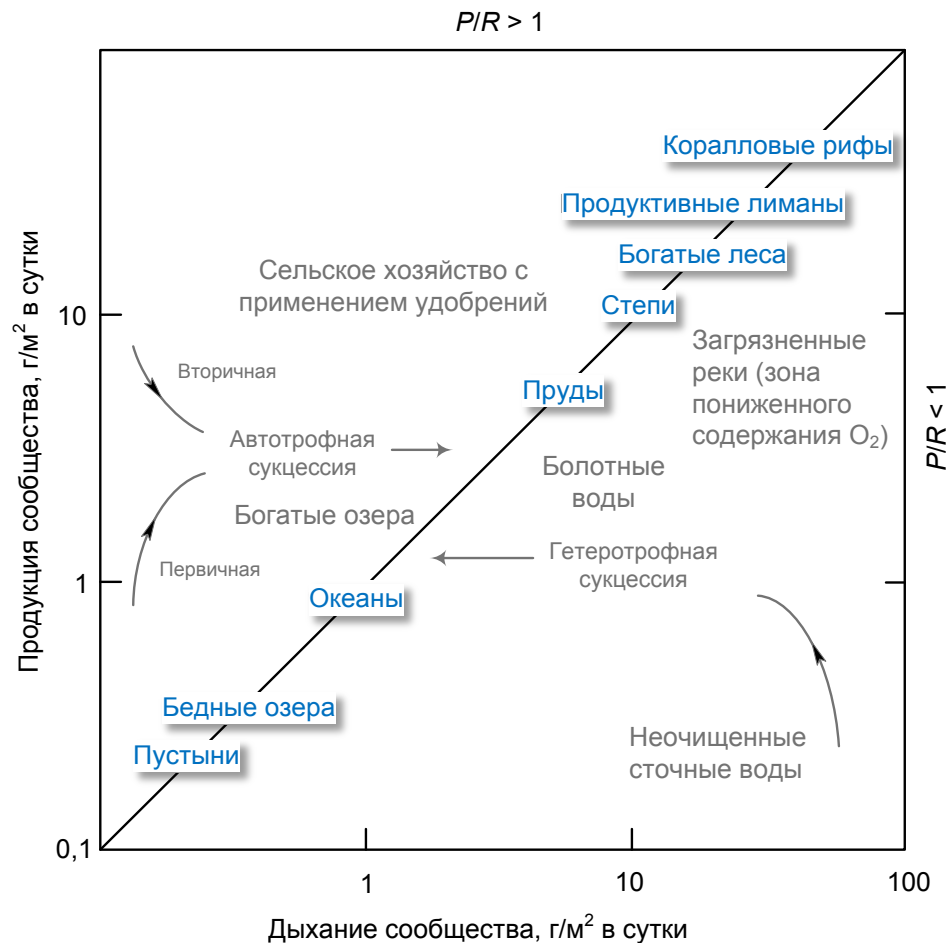
## Классификация различных типов экосистем, основанная на интенсивности метаболизма сообществ

Показатель метаболизма сообществ – соотношение синтеза и потребления органического вещества (коэффициент  $P/R$ ).

Коэффициент  $P/R$  может служить превосходным функциональным показателем стадии сукцессии и относительной зрелости экосистемы.

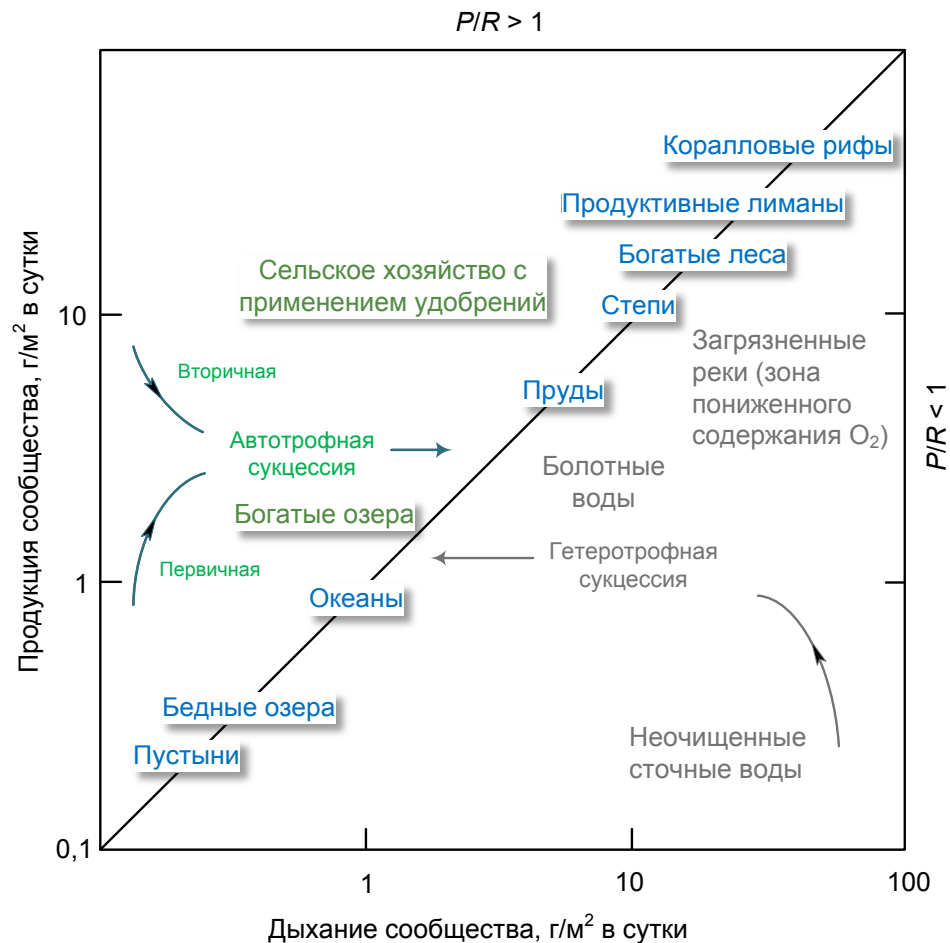
Чем ближе значение  $P/R$  к 1, тем более сбалансированная и устойчивая экосистема, в которой наблюдается динамическое равновесие между скоростью образования органического вещества автотрофами (валовая продуктивность органического вещества –  $P$ ) и скоростью потребления и разрушения органического вещества всем биоценозом (суммарное дыхание сообщества –  $R$ ).

## Положение разных экосистем в классификации, основанной на метаболизме (Г. Одум, 1956)



Графически равновесные (климаксные) состояния экосистемы при разных уровнях продуктивности и скорости дыхания в сообществах размещены на диагонали ( $P/R = 1$ )

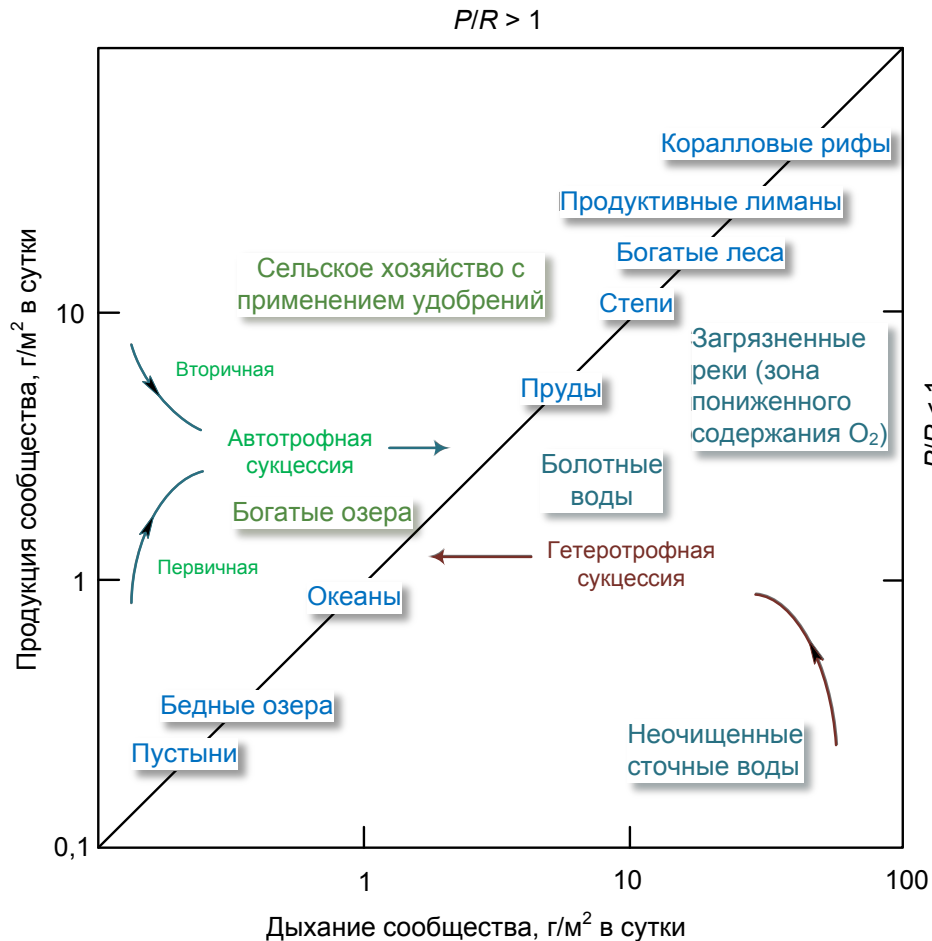
## Положение разных экосистем в классификации, основанной на метаболизме (Г. Одум, 1956)



Выше диагональной линии располагается область существования **автотрофных сообществ** (находящихся на разной стадии автотрофной сукцессии).

Здесь валовая первичная продукция ( $P$ ) превышает дыхание сообщества ( $R$ ) и  $P/R > 1$ .

## Положение разных экосистем в классификации, основанной на метаболизме (Г. Одум, 1956)



Ниже диагональной линии располагается область существования **гетеротрофных сообществ** (находящихся на разной стадии автотрофной сукцессии).

Здесь дыхание сообщества ( $R$ ), т.е. потребление накопленного органического вещества (детрита), превышает валовую первичную продукцию ( $P$ ) и  **$P/R < 1$** .

## Устойчивость

**Климаксные сообщества** обладают большим видовым разнообразием, сложной трофической структурой, сбалансированностью процессов новообразования продукции и распада органического вещества. В связи с этим они обладают высокой устойчивостью к негативным воздействиям природных и антропогенных факторов.

## Урожайность

**Молодое биотическое сообщество** (на ранней стадии сукцессии) способно с высокой скоростью продуцировать новую биомассу при низком ее потреблении, т.е. давать высокий прирост. Поэтому с экономической точки зрения для получения большого количества возобновимых биологических ресурсов (урожая) человек наиболее эффективно использует молодые развивающиеся экосистемы, находящиеся на ранних стадиях сукцессии.

## Рекомендуемая литература к лекции

Экология: учеб. Пособие для вузов / Александров А.А., Корсак М.Н., Мошаров С.А., [и др.] . – 4-е изд., испр. – М.: изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 280 с.

Шилов И.А. Экология: учебник для бакалавров. – 7-е изд. – М.: Юрайт, 2012. – 511 с.

# ЭКОЛОГИЯ

**Мошаров Сергей Александрович**

кандидат биологических наук

доцент кафедры Э-9 МГТУ им. Н.Э. Баумана

## Лекция

### Экологический мониторинг и нормирование качества окружающей среды





**МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ** – долгосрочные наблюдения за состоянием окружающей природной среды, ее загрязнением и происходящими в ней явлениями, а также оценку и прогноз состояния природной среды и ее загрязнения.

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ** – информационная система наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, созданная с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов.

**НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ** – установление рациональных, экологических приемлемых нормативов воздействия человека на окружающую среду.

## Экологический мониторинг

В 1972 г. в Стокгольме на международной конференции по охране окружающей среды под эгидой ООН было принято решение о создании комплексной системы *мониторинга* (наблюдений) за качеством атмосферного воздуха, воды и почвы с целью оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под влиянием антропогенных факторов.

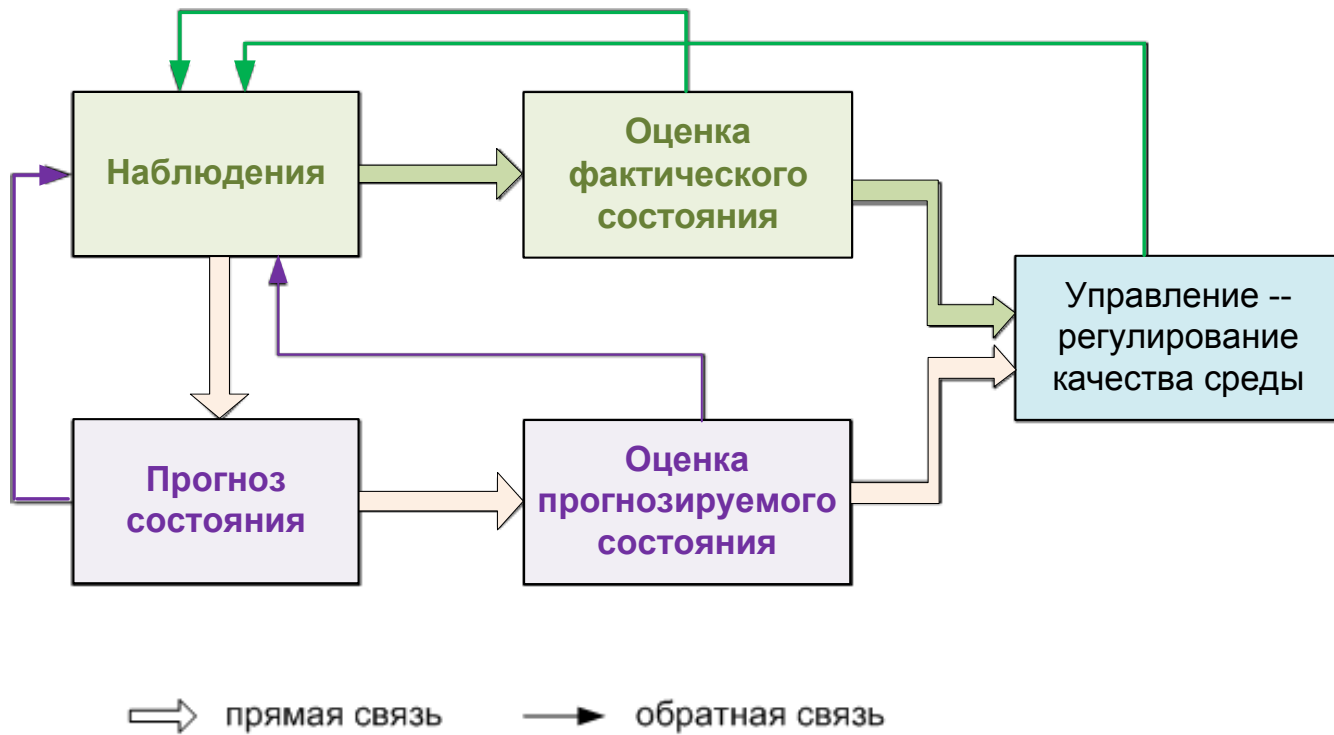
### Основными задачами экологического мониторинга являются:

- наблюдение за состоянием и загрязнением окружающей среды и оценка фактического состояния среды (воздушной и водной среды, почв);
- прогноз изменения состояния окружающей среды и оценка прогнозируемого состояния;
- выявление факторов и источников антропогенного воздействия на окружающую среду и оценка этого воздействия.

## **Объектами экологического мониторинга являются:**

- окружающая среда в целом и отдельные ее элементы в частности;
- негативные изменения качества окружающей среды, способные оказать отрицательное влияние на здоровье и имущество людей, безопасность территорий;
- виды деятельности, оцениваемые законодательством как представляющие потенциальную угрозу для окружающей среды, здоровья людей и экологической безопасности территорий;
- оборудование, технологии, производственные и иные технические объекты, существование, использование, преобразование и уничтожение которых представляют опасность для окружающей среды и здоровья людей;
- чрезвычайные и иные внезапно возникшие физические, химические, биологические и иные обстоятельства — аварии, инциденты, иные нештатные ситуации, способные оказать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье людей;
- обладающие особым правовым статусом территории и объекты.

## Схема экологического мониторинга



## Виды мониторинга:

По территориальному признаку – *локальный, региональный, глобальный.*

По используемым методам – *стационарный (лабораторный и автоматический), авиационный, судовой, космический.*

По объектам наблюдений – *геофизический, биологический, климатический, мониторинг здоровья населения* и т.д.

**Локальный (импактный) мониторинг** относится к отдельным объектам, наиболее подверженным антропогенным нагрузкам, либо к крупным источникам загрязнения (пром. предприятия).

**Региональный мониторинг** охватывает большие районы (рекреационные зоны вокруг городов, природные охраняемые территории и т.д.)

**Глобальный (биосферный) мониторинг** собирает информацию о биосфере в целом и об отдельных биосферных процессах в глобальном масштабе (изменение климата, глобальный перенос загрязняющих веществ в атмосфере и Мировом океане).

## Глобальная система мониторинга окружающей среды (ГСМОС) – сеть

наблюдений за источниками воздействия и за состоянием биосферы,

охватывающая весь земной шар.

Программы наблюдений ГСМОС

формируются на основе выбора

*приоритетных* (подлежащие

первоочередному определению)

загрязняющих веществ и

интегральных показателей.

Класс приоритетности	Загрязняющее вещество	Среда	Тип программы (уровень мониторинга)
1	Диоксид серы, взвешенные частицы	Воздух	И, Р, Ф*
	Радионуклиды	Пища	И, Р
2	Озон	Воздух	И, Ф
	Хлорорганические соединения и диоксины	Биота, человек	И, Р
	Кадмий	Пища, вода, человек	И
3	Нитраты, нитриты	Вода, пища	И
	Оксиды азота	Воздух	И
4	Ртуть	Пища, вода	И, Р
	Свинец	Воздух, пища	И
	Диоксид углерода	Воздух	Ф
5	Оксид углерода	Воздух	И
	Углеводороды нефти	Морская вода	Р, Ф
6	Фториды	Пресная вода	И
7	Асбест	Воздух	И
	Мышьяк	Питьевая вода	И
8	Микробиологические загрязнения	Пища	И, Р

\*Обозначение типа мониторинга:

И – импактный (локальный);

Р – региональный;

Ф – фоновый (глобальный)

Определение приоритетов при организации систем мониторинга зависит от цели и задач конкретных программ.

### **1. Контроль уровня загрязнения среды.**

Осуществлять мониторинг содержания и распространения всех химических веществ в окружающей среде невозможно.

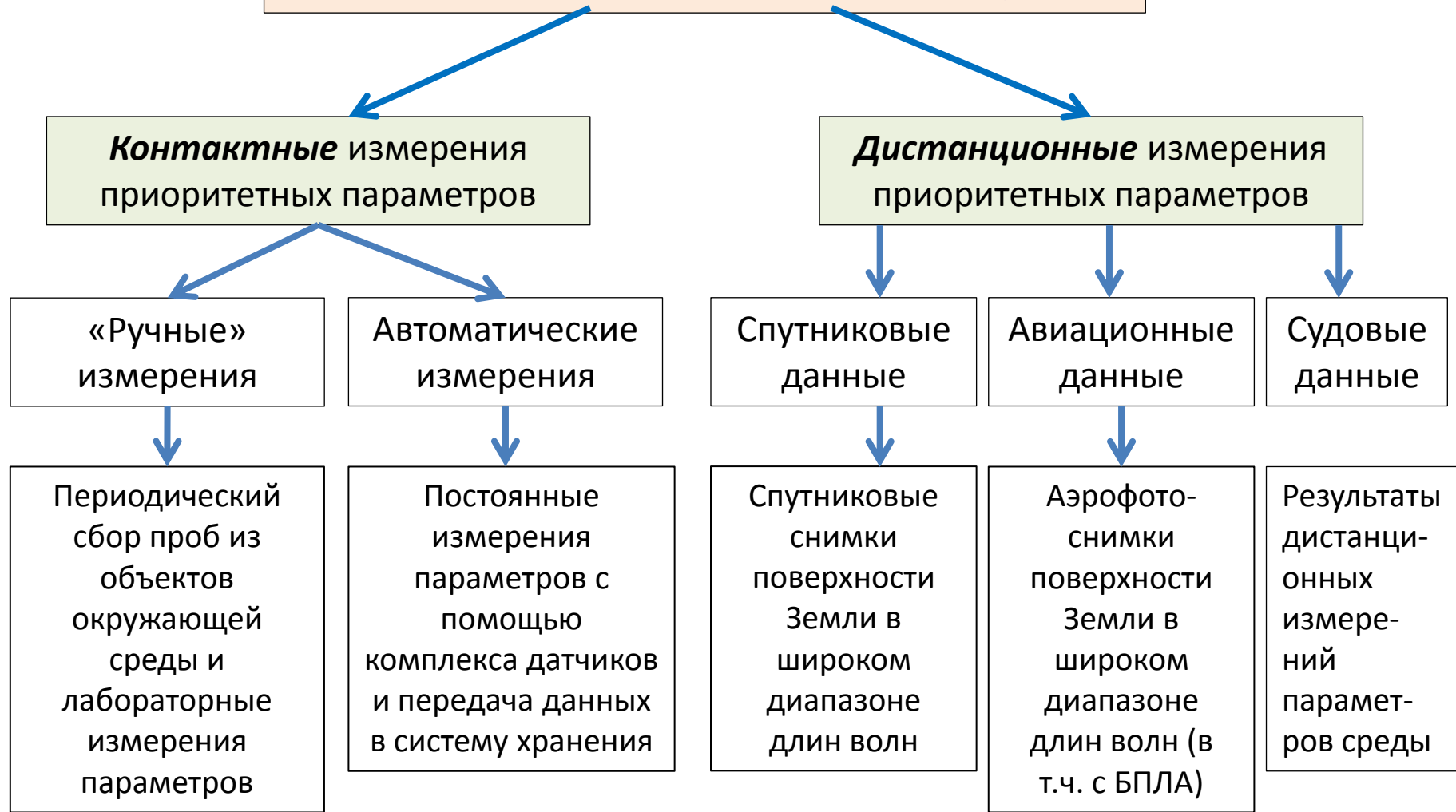
Поэтому контролируют содержание только **наиболее опасных соединений**, определяемых по таким критериям:

- высокая токсичность для человека,
- большие объемы поступления в окружающую среду,
- вероятность трансформации в более токсичные соединения.

### **2. Контроль негативных последствий антропогенного воздействия.**

Для этого контроля выбираются **наиболее чувствительные интегральные показатели** состояния отдельных компонентов окружающей среды – структура и функциональность биологических объектов, физико-химические свойства водной, воздушной и почвенной сред.

# Методы экологического мониторинга





## Достоинства и недостатки методов экологического мониторинга

Метод	Достоинства	Ограничения
<b>Контактные методы</b>		
«Ручные» методы	Точное измерение параметров	Ограниченное число точек на площади и во времени
Автоматические измерения датчиками	Непрерывное измерение и передача потоковых данных	Ограниченное число точек на площади и небольшой набор параметров
<b>Дистанционные методы</b>		
Спутниковые наблюдения	Глобальный охват за короткое время	Низкое разрешение измерений в точке, влияние атмосферы
Аэрофотосъемка	Широкий охват за короткое время , более высокое разрешение	Применение только на локальном уровне
Судовые дистанционные измерения	Высокое разрешение и относительная точность измерений , возможность совмещения с контактными измерениями	Ограничения по погоде, применение на локальном уровне

**НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ** – установление рациональных, экологических приемлемых нормативов воздействия человека на окружающую среду.

**Под качеством окружающей среды для человека** понимают степень соответствия среды жизни человека его потребностям. Окружающей человека средой является природные условия, условия на рабочем месте и жилищные условия. От ее качества зависит продолжительность жизни, здоровье, уровень заболеваемости населения и т.д.

**Под качеством окружающей среды с точки зрения экологической стабильности** понимают степень соответствия природной среды потребностям существующего биоценоза.

**Цель нормирования – установление предельно допустимых норм** (экологических нормативов) воздействия человека на окружающую среду.

Соблюдение экологических нормативов должно обеспечить экологическую безопасность населения, сохранение генетического фонда человека, растений и животных, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов.

Нормативы предельно допустимых вредных воздействий, а также методы их определения, носят временный характер и могут совершенствоваться по мере развития науки и техники с учетом международных стандартов.

Для рационального использования биосферы для существования человеческой цивилизации необходима всесторонняя регламентация :

- использование научно-обоснованных количественных оценок состояния природной среды;
- контроль и законодательное регулирование антропогенной нагрузки на природные экосистемы.

## Основные экологические нормативы качества окружающей среды и воздействия на нее следующее.

- **Нормативы воздействия** (производственно-хозяйственные):
  - предельно допустимый выброс (ПДВ) вредных веществ;
  - предельно допустимый сброс (ПДС) вредных веществ.
- **Нормативы качества** (санитарно-гигиенические или экологические):
  - предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ;
  - предельно допустимый уровень (ПДУ) вредных физических воздействий: радиации, шума, вибрации, магнитных полей и др.
- **Комплексные нормативы:** предельно допустимая экологическая (антропогенная) нагрузка на окружающую среду.

В России существует два типа нормирования, регулирующие допустимые антропогенные нагрузки на природную среду и обеспечивающие безопасность окружающей среды для человека:

**санитарно-гигиеническое нормирование** (регламентация допустимой нагрузки для здоровья человека).

**экологическое нормирование** (регламентация допустимой нагрузки для экосистем и отдельных ее компонентов);

*Под антропогенным воздействием в российском законодательстве понимается деятельность, связанная с реализацией экономических, рекреационных, культурных интересов и вносящая физические, химические, биологические изменения в природную среду.*

Допустимой считается такая нагрузка, под воздействием которой отклонение от нормального состояния системы не превышает естественных изменений и, следовательно, не вызывает нежелательных последствий у живых организмов и не ведет к ухудшению качества окружающей среды.

Как *экологическое*, так и *санитарно-гигиеническое нормирование* основано на знании воздействий, оказываемых разнообразными факторами на живые организмы и здоровье населения.

Одним из важных понятий в токсикологии и в нормировании качества окружающей среды является понятие **вредного вещества**.

*Вредность рассматривается как свойство загрязнителей, вызывающее нежелательные, опасные или губительные изменения в живом веществе (человек, растения, животные, экосистема, биосфера).*

Вредность загрязняющих веществ определяется на основе следующих критериев опасности:

- потенциальная токсичность, устанавливаемая в токсикологических экспериментах на лабораторных животных;
- устойчивость в окружающей среде, связанная с химическим и физическим строением загрязнителей, скоростью их биологического разрушения или выведения из экосистемы в процессе самоочищения;
- биоаккумулятивность, т. е. способность накапливаться в тканях и органах живых организмов;
- распространенность загрязнителей в окружающей среде, связанная, прежде всего с основными путями их транспорта;
- масштаб производства загрязнителей человеком, связанный с их долевым содержанием в отходах промышленности и сельского хозяйства.

Нормативы качества окружающей среды питания базируются на концепции **пороговости воздействия**.

Порог вредного действия – это минимальная доза вещества, которая вызывает в организме изменения, выходящие за пределы физиологических и приспособительных реакций, или скрытую (временно компенсированную) патологию.

Нормативы, ограничивающие вредное воздействие различных факторов, устанавливаются и утверждаются специально уполномоченными государственными органами в области охраны окружающей природной среды, санитарно-эпидемиологического надзора и совершенствуются по мере развития науки и техники с учетом международных стандартов.

В основе нормирования лежит понятие **предельно допустимой концентрации**.



**Предельно допустимая концентрация (ПДК)** – максимальная концентрация загрязняющего химического вещества в окружающей среде, которая при повседневном влиянии в течение длительного времени не вызывает негативных последствий для живых организмов (в том числе человека) и их потомков.

В рамках *санитарно-гигиенического нормирования* разработаны **нормативы** условий среды, приемлемых для человека.

В рамках *экологического нормирования* существуют **единичные нормы** условий среды, приемлемых для компонентов экосистем, в первую очередь, имеющих экономическое значение (рыбное хозяйство, сельское хозяйство) .

Существуют различные (по значениям ПДК) нормативы:

- ПДК в воздухе рабочей или жилой зоны;
- ПДК в рыбохозяйственных водоемах;
- ПДК в водоемах водоснабжения;
- ПДК в продуктах питания и т.д.

Экологическое и санитарно-гигиеническое нормирование является основой для законодательной и организационной природоохранной деятельности с целью обеспечения экологической безопасности.

Иными словами, законодательное определение предельно допустимых норм антропогенного воздействия (ПДК , ПДВ, ПДУ) позволяет **формализовать оценку** влияния промышленного производства или иной хозяйственной деятельности на окружающую среду и определить **критерии опасности** такого влияния.

На основе формальных критериев устанавливается юридическая ответственность.

## Малоэффективность экологического нормирования на основе ПДК

1. При установлении ПДК учитывается только **прямое токсикологическое воздействие** и игнорируются реально существующие косвенные факторы, которые могут обусловить возможные отдаленные негативные последствия.

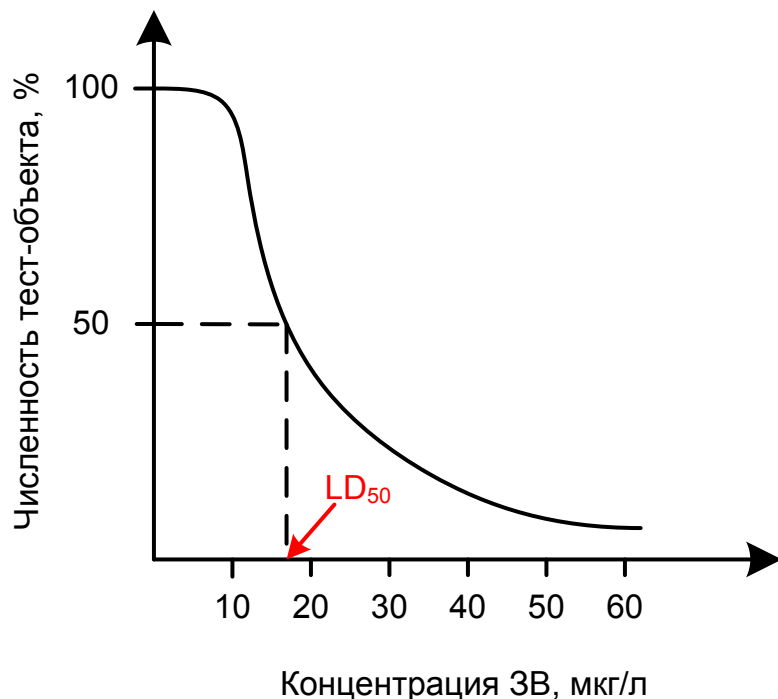
2. На сегодняшний день установлено всего около **1000 ПДК** вредных веществ для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и около **700 ПДК** загрязняющих веществ для рыбохозяйственных водоемов.

Число загрязняющих веществ антропогенного происхождения превысило **миллион наименований** и ежегодно синтезируется свыше четверти миллиона новых химических веществ.

3. Для определения ПДК используются методы биотестирования – экспериментальное определение токсичности для выбранного тест-объекта (одного вида). Очевидно, что влияние на весь комплекс видов в естественных условиях будет совершенно другим., что снижает точность таких определений.

## Определение ПДК методом биотестирования

**Кривая доза-эффект** (или концентрация-эффект) описывает изменение влияния некоторого вещества на биологический объект в зависимости от концентрации этого вещества.



Оценка токсичности проводится по максимальному эффекту (концентрация, при которой наблюдается полная гибель тест-объектов) и по полуэффекту (LD<sub>50</sub>) – концентрация, при которой наблюдается гибель 50% тест-объектов).

Как видно из графика, даже в пределах одного вида организмы реагируют на данное вещество по-разному.

Кроме того, токсичность меняется в зависимости от времени действия токсиканта, а также от физиологического состояния тест-объекта.