

Математическое  
моделирование при  
решении  
экологических  
задач

Лекция 2



Методы моделирования, если они правильно отображают протекающие в природе процессы, позволяют прогнозировать, в каких направлениях далее будет развиваться данная экосистема, что имеет для многих биogeоценозов (лес, луг, болото, озеро) важное практическое значение.



В основе моделирования и экологического прогнозирования лежит принцип разделения сложных экосистем на отдельные более простые компоненты (подсистемы), которые связаны друг с другом различной сложности функциональными связями.

Методы моделирования экосистемы в настоящее время все шире применяются в экологии. Они открывают широкие перспективы прогнозирования процессов, протекающих в экосистемах, и выяснения действия на биосферу загрязняющих ее антропогенных факторов.



Рассмотрим поучительный конкретный пример из биофизики, связанный с построением модели взаимодействия двух популяций.

Одна из наиболее характерных, и в тоже время простых моделей эволюции популяций – это **модель совместного существования двух биологических видов**, один из которых является пищей для другого (**хищник и жертва**). Например, в некотором замкнутом районе живут хищники и их жертвы, скажем волки и зайцы. Волки питаются только зайцами, зайцы питаются растительной пищей, имеющейся всегда в избытке.



Начальная численность популяции волка (хищник) – 20 особей.  $N_{\lambda 0} = 20$

Выжившая к концу каждого года часть популяции зайца

увеличивает свою численность на 30 %.  $P_z = 0,3$

Годовой прирост популяции волков – 10%.  $P_{\lambda} = 0,1$

Один волк потребляет по 40 зайцев ежегодно.  $R_{\lambda z} = 40$

Смертность зайца по иным причинам равна нулю. Смертность волков равна нулю.



### *Задача №1.*

**Условие:** Рассчитать, какова будет численность популяции зайца через 1,3,5 и 10 лет при полном отсутствии волков. Отобразить изменения численности зайцев в течение данного периода графически.

### *Задача №2.*

**Условие:** Рассчитать, какова будет численность популяции зайца через 1, 3,5 и 10 лет, если начальная численность волков составляет 20 особей и не изменяется на протяжении указанного времени. Отобразить изменения численности зайцев в течение данного периода графически. Сравнить результат с результатами задачи №1.

### *Задача №3.*

**Условие:** Рассчитать, какова будет численность популяции зайца через 1, 3,5 и 10 лет, если начальная численность волков составляет 20 особей и возрастает на 10% ежегодно. Отобразить изменения численности зайцев в течение данного периода графически. Сравнить результат с результатами задачи №1и №2.



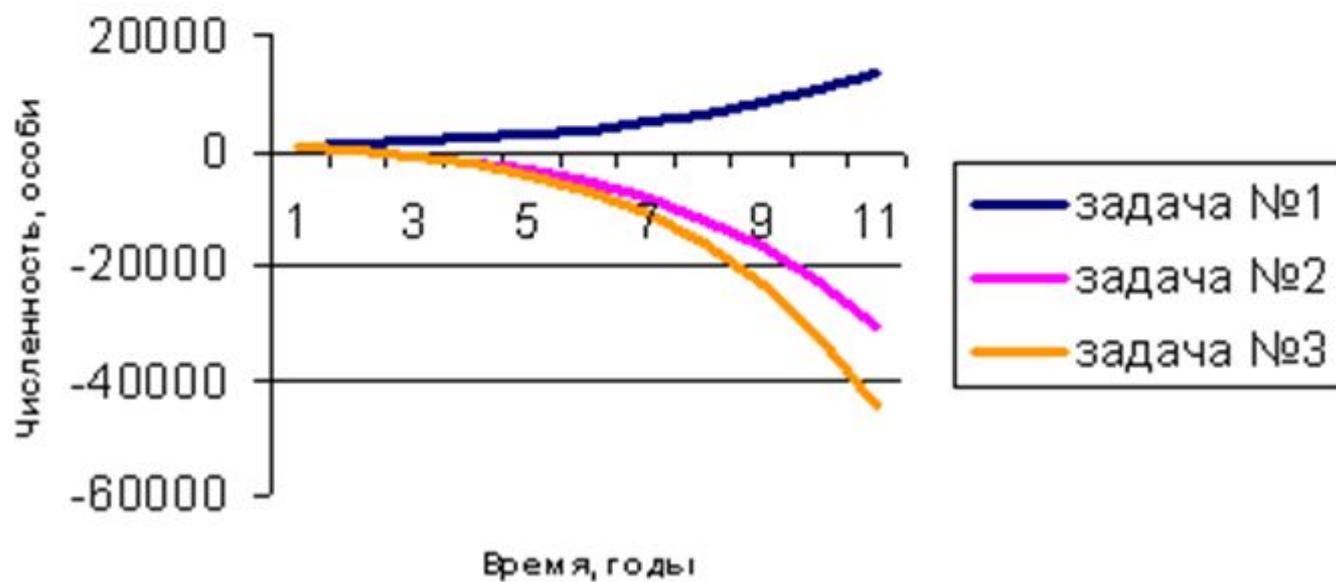
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1000	0,3	20	40	0,1			N <sub>в0</sub>
2	Зайцы (условие)		Волки (условие)					
3	Годы	Зайцы				Волки		
4		Задача1	Задача2	Задача3	Задача4	Задача2	Задача3	Задача4
5	0	\$A\$1	\$A\$1	\$A\$1	\$A\$1	\$C\$1	\$C\$1	\$H\$1
6	1	=B5+B 5*\$B\$1	=(C5- F5*\$D\$ 1)*(1+\$ B\$1)	=(D5- G5*\$D \$1)*(1+ \$B\$1)	=(E5- H5*\$D \$1)*(1+ \$B\$1)	\$C\$1	=G5+G 5*\$E\$1	=H5+H 5*\$E\$1
7	2					\$C\$1		
8	3					\$C\$1		
9	4					\$C\$1		
10	5					\$C\$1		
11	6					\$C\$1		
12	7					\$C\$1		
13	8					\$C\$1		
14	9					\$C\$1		
15	10					\$C\$1		



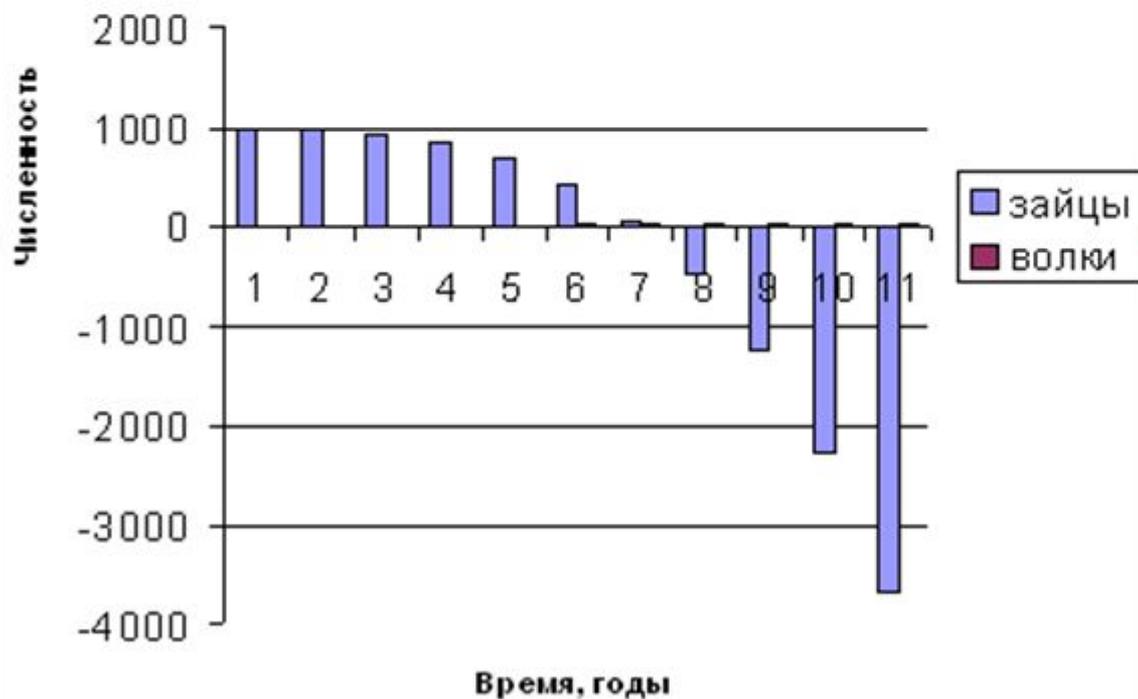
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1000	0,3	20	40	0,1			6
2	Зайцы (условие)		Волки (условие)					
3	Годы	Зайцы				Волки		
4		Задача1	Задача2	Задача3	Задача4	Задача2	Задача3	Задача4
5	0	1000	1000	1000	1000	20	20	6
6	1	1300	260	260	988	20	22	6,6
7	2	1690	-702	-806	941,2	20	24,2	7,26
8	3	2197	-1952,6	-2306,2	846,04	20	26,62	7,986
9	4	2856,1	-3578,38	-4382,3	684,58	20	29,282	8,7846
10	5	3712,93	-5691,89	-7219,65	433,1548	20	32,2102	9,66306
11	6	4826,809	-8439,46	-11060,5	60,62212	20	35,43122	10,62937
12	7	6274,852	-12011,3	-16221	-473,918	20	38,97434	11,6923
13	8	8157,307	-16654,7	-23114	-1224,09	20	42,87178	12,86153
14	9	10604,5	-22691,1	-32277,6	-2260,12	20	47,15895	14,14769
15	10	13785,85	-30538,4	-44413,1	-3673,84	20	51,87485	15,56245



## Динамика численности популяции зайца на протяжении 10 лет (к задачам №1-3).



### Динамика численности популяций зайца и волка на протяжении 10 лет ( к задаче №4).



При изучении диаграммы можно сделать следующие выводы.

Сравнительно небольшая популяция волка в шесть особей способна сдерживать рост популяции зайца и на протяжении первых двух лет существования поддерживать ее на приблизительно одном уровне.

Затем рост популяции начинает уменьшаться и к концу седьмого года зайцы вымирают. Популяция волка продолжает расти.



Обратим внимание на то, что несмотря на полное вымирание зайцев через 7 лет, количество хищников продолжает увеличиваться. Поскольку в условии ничего не сказано относительно других жертв волка, можно считать зайца единственной жертвой. Тогда рост численности хищников в отсутствии пищи объясняется ошибкой в построении модели.



# КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ

## Абиотические

- Климатические
- Эдафические
- Орографические
- Гидрографические
- Химические
- Пирогенные

## Биотические

- Фитогенные
- зоогенные



**По требованию к условиям светового режима растения подразделяются на следующие экологические группы:**

- **Светолюбивые (гелиофиты)**
- **Теневые (сциофиты)**



- **Теневыносливые (факультативные гелиофиты)**



Фотопериод (длина дня) –

**Биологические часы** – это способность организмов реагировать на интервалы времени и явления, связанные с этими интервалами.



# По отношению к влажности все растения делятся на различные экологические группы.

- Гидатофиты
- Гидрофиты
- Гигрофиты
- Мезофиты
- Ксерофиты



**Температура – величина,  
характеризующая тепловое  
состояние тела.**

**Температура среды обитания не должна  
вызывать денатурацию белка,  
нарушения активности ферментов,  
изменения гидролитических процессов  
дыхания**



# Биохимические адаптации у растительных организмов по отношению к температуре:

- Синтез веществ, способных связывать воду.
- Повышение концентрации растворимых углеводов в клеточном соке.



# Морфологические адаптации у растительных организмов по отношению к температуре

- Карликовость
- Стланники
- Подушковидные формы



# Эктотермные (пойкилотермные, холоднокровные) животные

это животные с непостоянной внутренней температурой тела, меняющейся в зависимости от температуры внешней среды



**Эндотермные**  
**(гомойотермны**  
**е или**  
**теплокровные)**  
**животные -**

поддерживают  
внутреннюю  
температуру тела  
на относительно  
постоянном уровне  
независимо от  
температуры  
окружающей  
среды.



# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

- Основу биоценоза составляют продуценты (**автотрофные организмы**). Являясь организмами-продуцентами, автотрофы синтезируют с помощью солнечного света из  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , а также неорганических солей почвы органические соединения, преобразуя при этом световую энергию в химическую. Они обеспечивают органическими веществами и энергией все живое население биоценоза. Зеленые растения лежат в основании всех пищевых связей. Они не только кормятся сами, но и кормят все остальные живые организмы.



# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

Скорость, с которой в ходе фотосинтеза солнечная энергия преобразовывается в органическое вещество в пересчете на единицу площади, носит название **первичной продукции**. Она выражается либо в единицах энергии (джоуль на  $1 \text{ м}^2$  за сутки), либо в единицах сухого органического вещества (кг на 1 га за сутки).



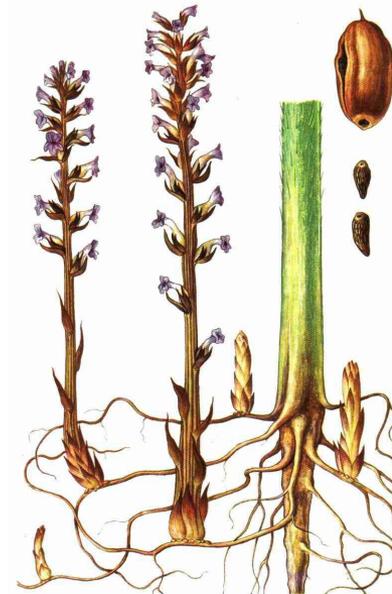
# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

**Первичными консументами** являются растительноядные животные (фитофаги), питающиеся травой, семенами, плодами, подземными частями растений - корнями, клубнями, луковицами и даже древесиной (некоторые насекомые). Ко **вторичным консументам** относят плотоядных животных (хищников).



# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

К консументам также можно отнести группу бесхлорофильных растений (растений-паразитов), которые, присасываясь к корням своих собратьев, в буквальном смысле тянут из них соки. В мире растений это лесной петров крест, полевая зарази́ха.



# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

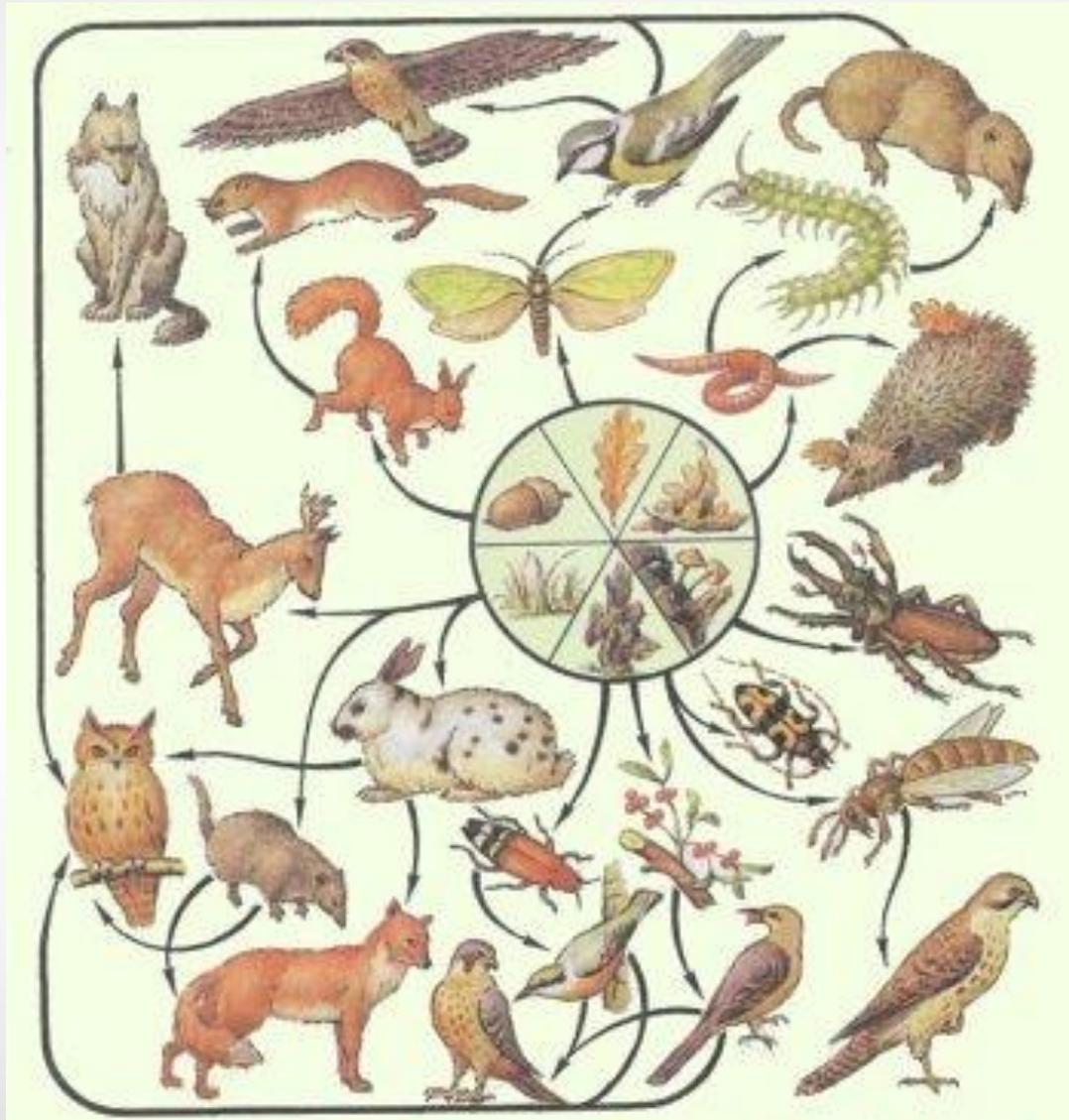
Особую группу консументов составляют **редуценты** (от лат. *reducens, reducentis* - возвращающий, восстанавливающий) - микроорганизмы и грибы, разрушающие мертвое органическое вещество и превращающие его в воду, **CO<sub>2</sub>** и неорганические вещества, которые в состоянии усваивать другие организмы (продуценты).



# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

- Таким образом, осуществляя пищевые взаимодействия, организмы биоценоза выполняют три функции:
- **энергетическую**, которая выражается в запасании энергии в форме химических связей первичного органического вещества; ее выполняют организмы-продуценты;
- **перераспределения и переноса** энергии пищи; ее выполняют консументы;
- **разложения** редуцентами органического вещества любого происхождения до простых минеральных соединений, которые снова вовлекаются в биологический круговорот организмами-продуцентами.





# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

**Совокупность организмов, объединенных одним типом питания и занимающих определенное положение в пищевой цепи, носит название трофический уровень.** К одному трофическому уровню принадлежат организмы, получающие свою энергию от Солнца через одинаковое число ступеней.



# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

*Первый* трофический уровень занимают автотрофы (продуценты), *второй* - растительноядные животные (консументы первого порядка), *третий* - хищники, питающиеся растительноядными животными (консументы второго порядка) и паразиты первичных консументов, и, наконец, вторичные хищники (консументы третьего порядка) и паразиты вторичных консументов образуют *четвертый* трофический уровень.



# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

Одни и те же виды могут быть источником пищи для многих организмов, и тем самым являться составной частью различных пищевых цепей. В результате в биогеоценозе формируются пищевые сети - сложный тип взаимоотношений, включающий разветвленные цепи питания. Сложность пищевых цепей многократно возрастает, если принять во внимание, что у членов цепей питания - организмов-хозяев - имеются многочисленные специфические паразиты, которые, в свою очередь, являются звеньями других цепей. Например, обыкновенная белка является хозяином 50 видов различных паразитов.



# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

Пищевые цепи, которые начинаются с автотрофных фотосинтезирующих организмов, называются **пастбищными**, или цепями выедания

Если пищевая цепь начинается с отмерших остатков растений, трупов и экскрементов животных - детрита - она называется **детритной**, или цепью разложения.



# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

- В результате последовательности превращений энергии в пищевых цепях каждое сообщество живых организмов приобретает определенную **трофическую структуру**. Трофическая структура сообщества отражает соотношение между продуцентами, консументами (отдельно первого, второго и т.д. порядков) и редуцентами, выраженное или количеством особей живых организмов, или их биомассой, или заключенной в них энергией, рассчитанных на единицу площади в единицу времени.
- Трофическую структуру обычно отображают графическими моделями в виде экологических пирамид. Эффект пирамиды в виде таких моделей разработал в 1927 г. английский зоолог Чарлз Элтон.



# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

- **Пирамида чисел (численностей)** отражает численность отдельных организмов на каждом уровне. Например, чтобы прокормить одного волка, необходимо по крайней мере несколько зайцев, на которых он мог бы охотиться; чтобы прокормить этих зайцев, нужно довольно большое количество разнообразных растений. Иногда пирамиды чисел могут быть обращенными, или перевернутыми. Это касается пищевых цепей леса, когда продуцентами служат деревья, а первичными консументами - насекомые. В этом случае уровень первичных консументов численно богаче уровня продуцентов (на одном дереве кормится большое количество насекомых).



# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

**Пирамида биомасс** - соотношение между организмами разных трофических уровней (продуцентами, консументами и редуцентами), выраженное в их массе.

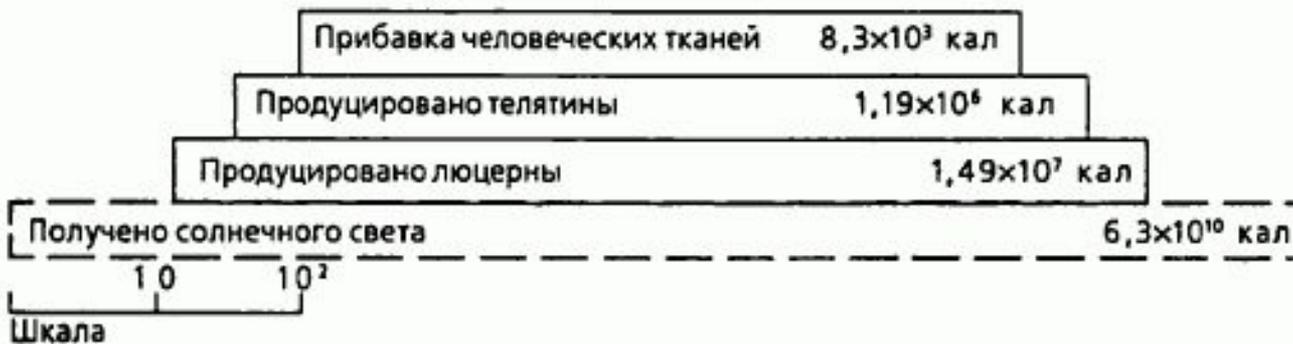
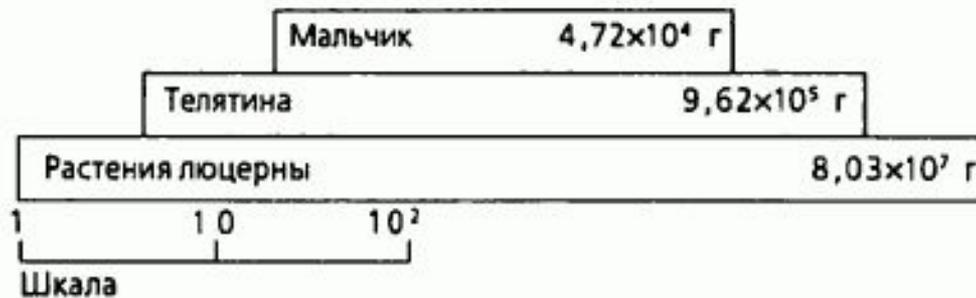
В водных экосистемах можно также получить **обращенную (или перевернутую) пирамиду биомасс**, когда биомасса продуцентов оказывается меньшей, нежели биомасса консументов, а иногда и редуцентов. Например, в океане при довольно высокой продуктивности фитопланктона его общая масса в данный момент может быть меньше, нежели масса потребителей-консументов (киты, крупные рыбы, моллюски).



# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

- **Пирамида энергии** отражает величину потока энергии, скорость прохождения массы пищи через пищевую цепь. На структуру биоценоза в большей степени оказывает влияние не количество фиксированной энергии, а скорость продуцирования пищи.
- **Пирамида энергии, в отличие от пирамид чисел и биомасс, всегда суживается кверху.**





# ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

В 1942 г. Р. Линдеман сформулировал **закон пирамиды энергии (или закон 10 процентов)**, согласно которому с одного трофического уровня через пищевые цепи на другой трофический уровень переходит в среднем около 10 % поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды энергии. Остальная ее часть теряется в виде теплового излучения. Организмы в результате процессов обмена теряют в каждом звене пищевой цепи около 90 % всей энергии, которая расходуется на поддержание их жизнедеятельности





**Спасибо за  
внимание!**

