

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 №1 и №2.



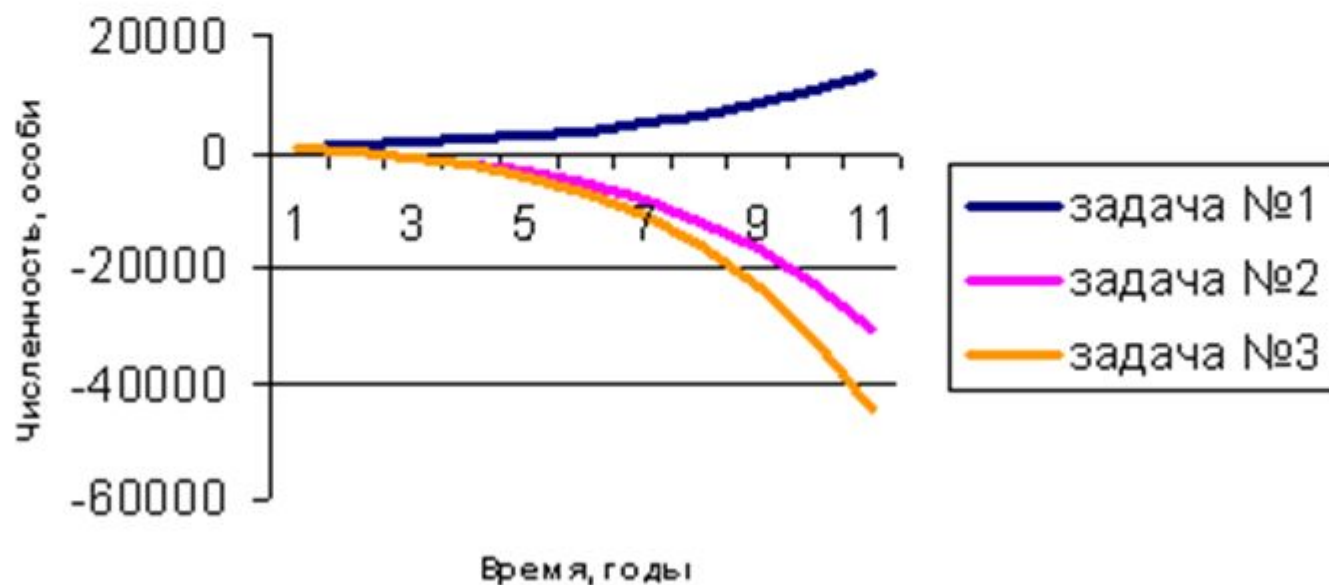
| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|-----------------|-------------------|--|--|--|---------|-------------------|-------------------|
| 1 | 1000 | 0,3 | 20 | 40 | 0,1 | | | N _{в0} |
| 2 | Зайцы (условие) | | Волки (условие) | | | | | |
| 3 | Годы | Зайцы | | | | Волки | | |
| 4 | | Задача1 | Задача2 | 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 | | |



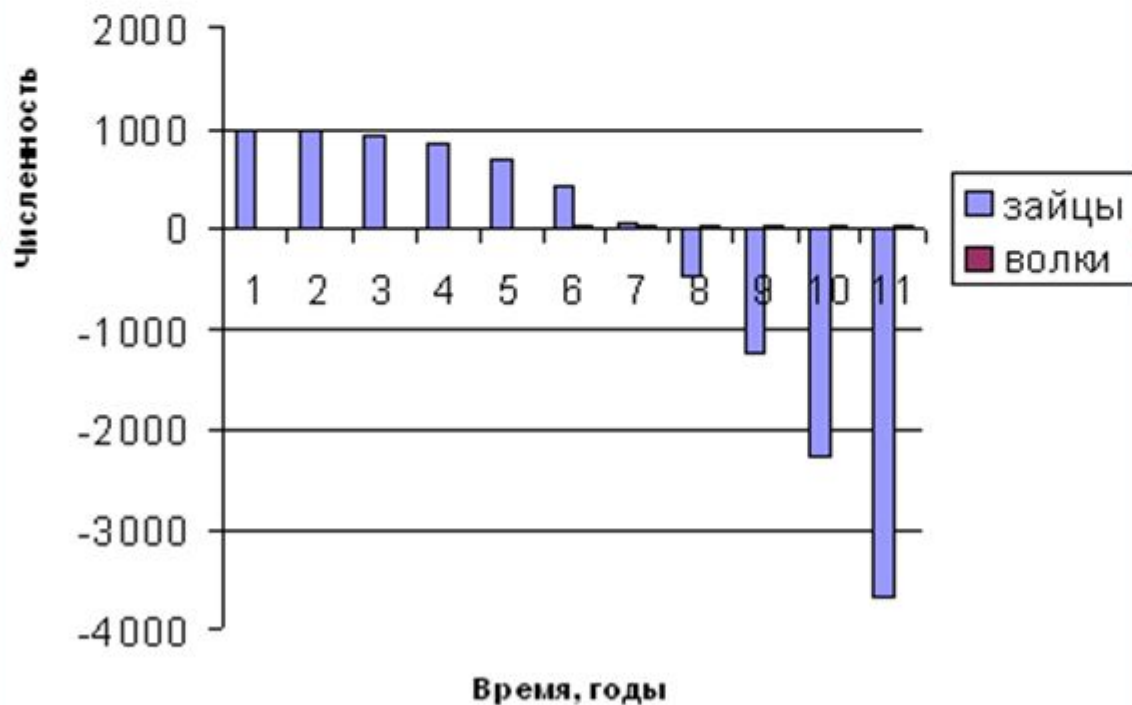
| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|-----------------|----------|-----------------|----------|----------|---------|----------|----------|
| 1 | 1000 | 0,3 | 20 | 40 | 0,1 | | | 6 |
| 2 | Зайцы (условие) | | Волки (условие) | | | | | |
| 3 | Годы | Зайцы | | | | Волки | | |
| 4 | | Задача1 | Задача2 | 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:

- Светлюбивые (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 CO_2 и H_2O , 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 м^2 за сутки), либо в единицах сухого органического вещества (кг на 1 га за сутки).



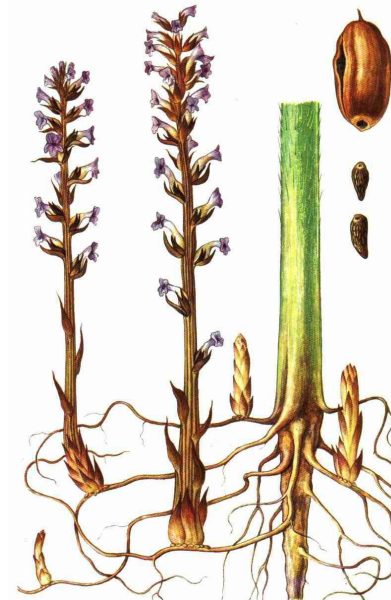
ЭКОЛОГИЯ ЭКОСИСТЕМ

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

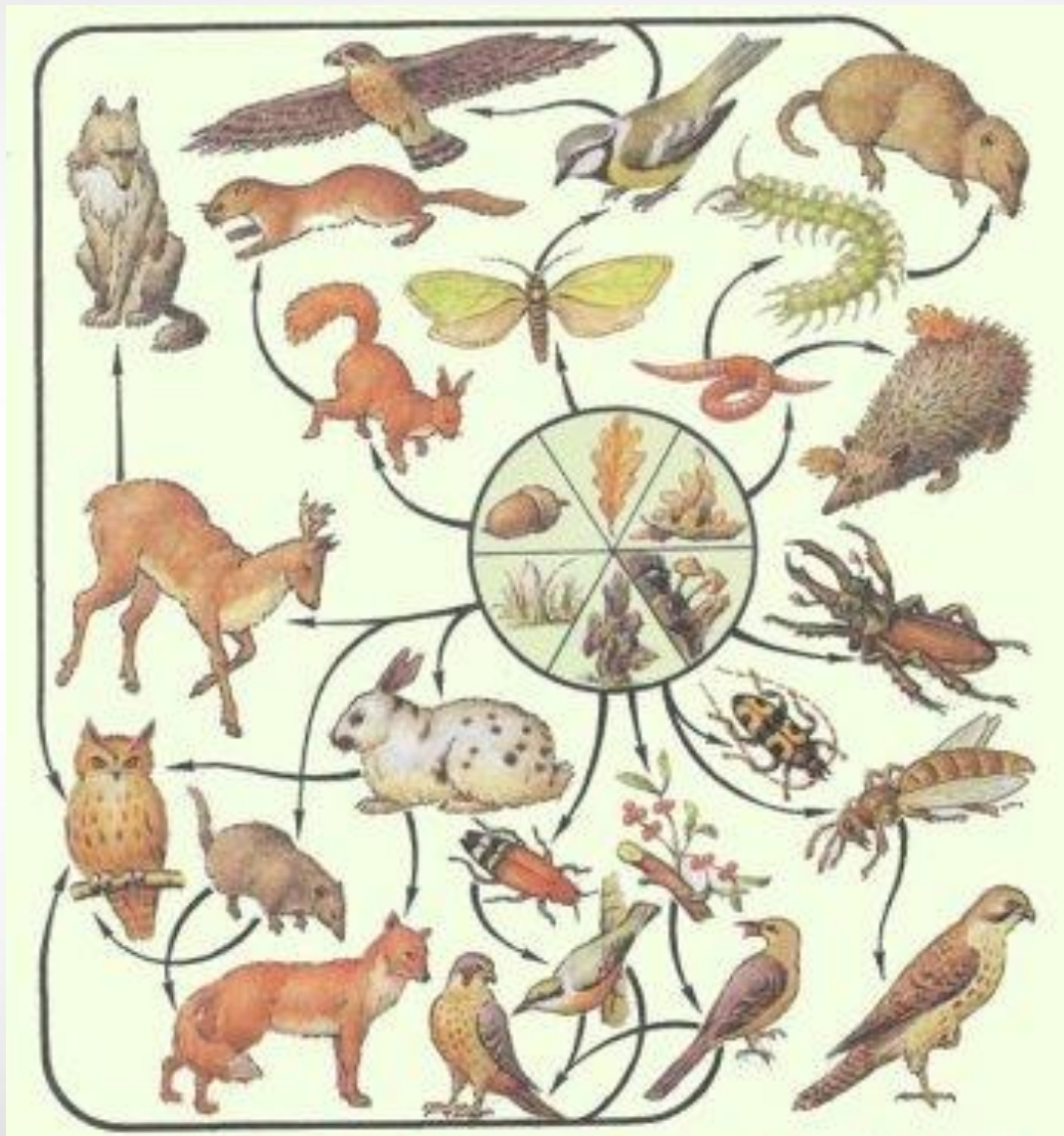
Особую группу консументов составляют **редуценты** (от лат. *reducens, reducentis* - возвращающий, восстанавливающий) - микроорганизмы и грибы, разрушающие мертвое органическое вещество и превращающие его в воду, **CO₂** и неорганические вещества, которые в состоянии усваивать другие организмы (продуценты).



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.

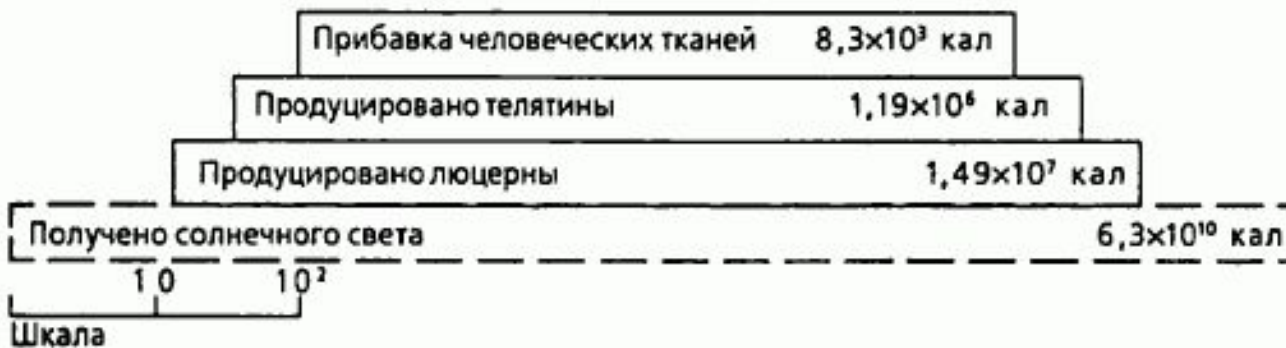
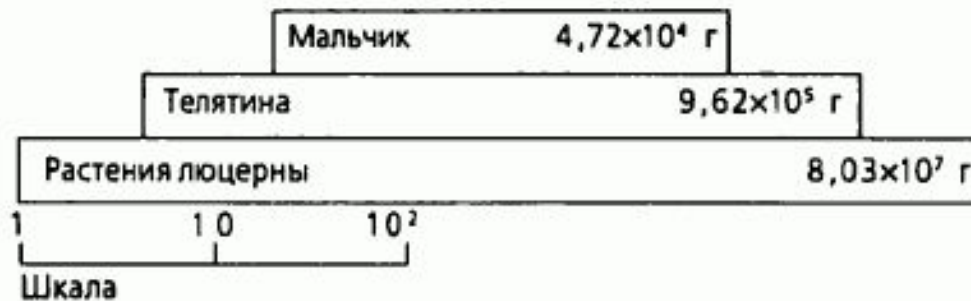
В водных экосистемах можно также получить **обращенную (или перевернутую) пирамиду биомасс**, когда биомасса продуцентов оказывается меньшей, нежели биомасса консументов, а иногда и редуцентов. Например, в океане при довольно высокой продуктивности фитопланктона его общая масса в данный момент может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

