

Лекция 7.

Тема 5. Трофические взаимодействия, потоки энергии, экологические пирамиды.

ЭКОЛОГИЯ

Дмитрий Геннадьевич Замолодчиков

dzamolod@mail.ru

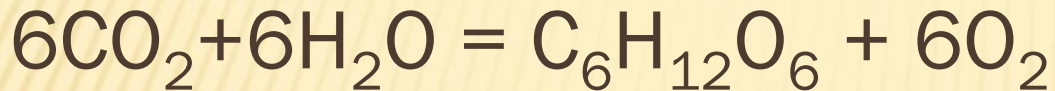
Трофические связи возникают при питании живых организмов

Трофические уровни – совокупность организмов со сходным типом питания:

- ✗ продуценты
- ✗ консументы
- ✗ редуценты

Продуценты создают органическое вещество из неорганических веществ

Фотосинтез



археобактерии, бактерии,
растения (водоросли
и высшие растения)



Хемосинтез (пример)



археобактерии и бактерии

Консументы потребляют живое органическое вещество

I порядка: потребляют продуцентов



II порядка: потребляют консументов, которые едят продуцентов

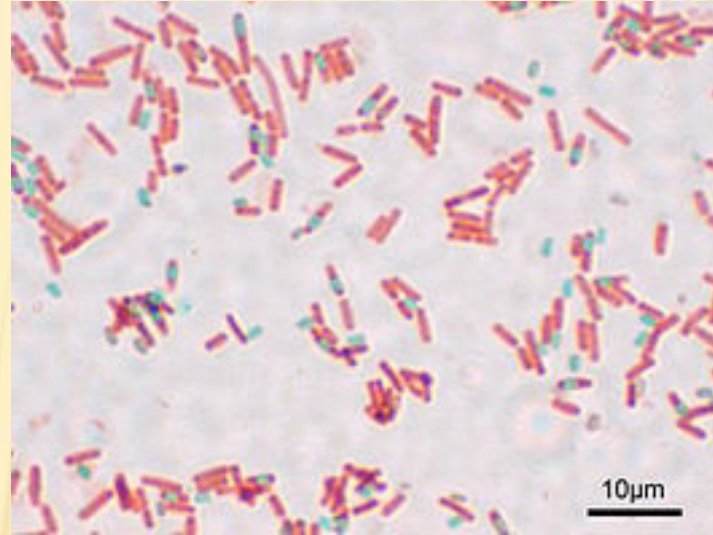


III порядка: потребляют консументов, которые едят консументов



Редуценты – разлагают мертвое органическое вещество

- ✘ Бактерии и археобактерии



- ✘ Грибы



Между консументами и редуцентами граница не вполне очевидная

- ✘ Сапрофаги – животные, поедающие мертвое органическое вещество
- ✘ Болезнетворные микроорганизмы – разлагают живое органическое вещество



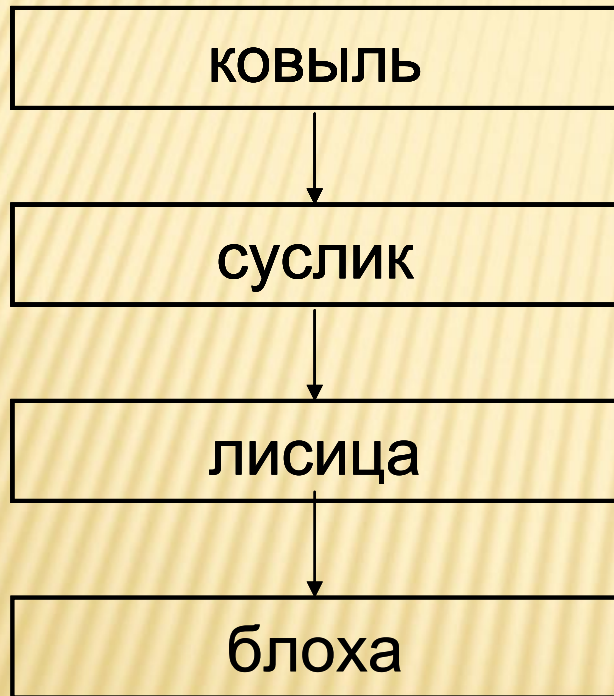
дождевой червь



холерный вибрион

Трофическая цепь – последовательность трофических уровней

Пастбищная



Детритная



В наземных экосистемах преобладают детритные цепи, в морских - пастбищные

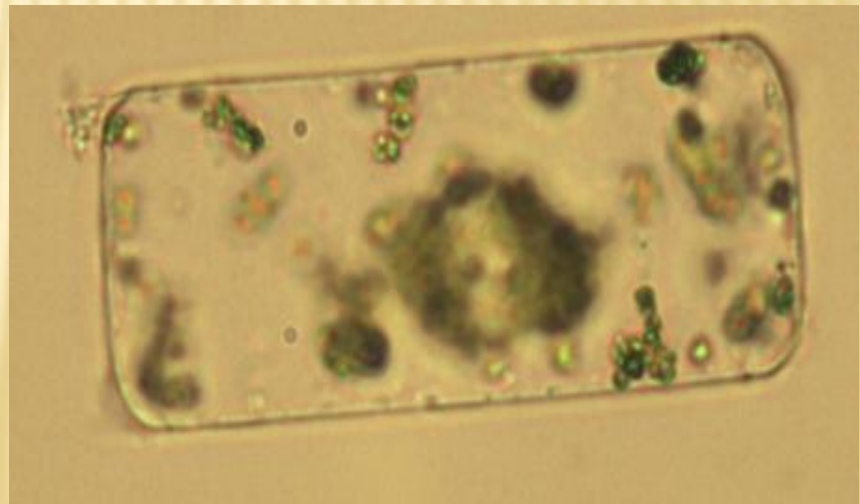
Типичный продуцент на суше - дерево

Picea abies

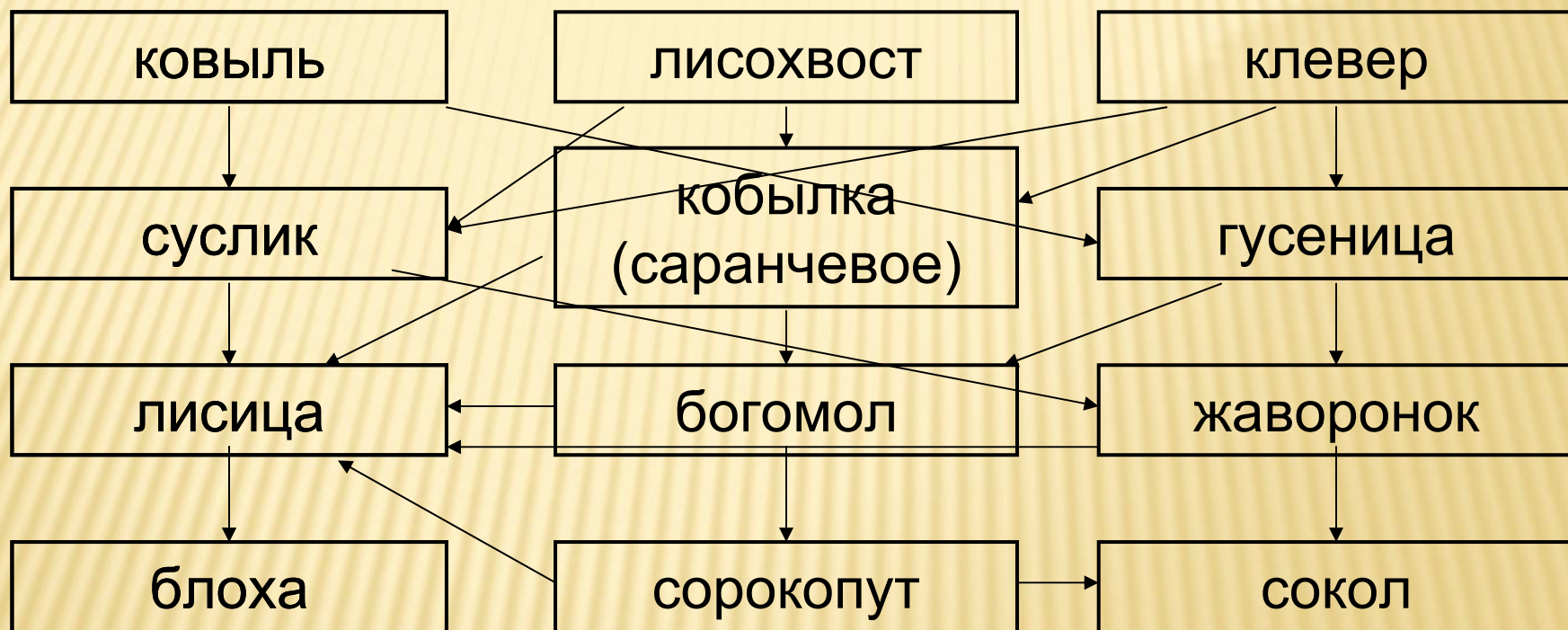


Типичный продуцент в
море – планктонная
водросль

Cerataulina pelagica



Трофическая сеть – совокупность трофических цепей в экосистеме



Трофические взаимодействия обеспечивают поток энергии в экосистеме

Энергия – способность совершить работу.

Термодинамика – область физики, рассматривающая превращения энергии.

I начало термодинамики (закон сохранения энергии): энергия не исчезает и не появляется, а лишь переходит из одной формы в другую.

II начало термодинамики (закон увеличения энтропии): процессы самопроизвольно идут в том случае, если энергия переходит из концентрированной формы в более рассеянную.

Единицы измерения потоков энергии и вещества в экосистемах

Единица измерения энергии Джоуль (Дж).

При рассмотрении потоков в экосистемах обычно используют МДж/га/год.

При оценках продукции экосистем часто используют единицы массы органического вещества или содержание углерода в нем т/га/год, т С/га/год.

Пересчет возможен с использованием единиц энергосодержания (калорийности) сухого органического вещества: у растений 19 КДж/г, у животных 23 КДж/г.

Массовая доля углерода в сухом веществе растений примерно 50%.

Потоки энергии на уровне продуцентов

PAR – фотосинтетически активная радиация

GPP – валовая первичная продукция

NPP – чистая первичная продукция

Ra – дыхание автотрофов

K_L – эффективность Линдемана

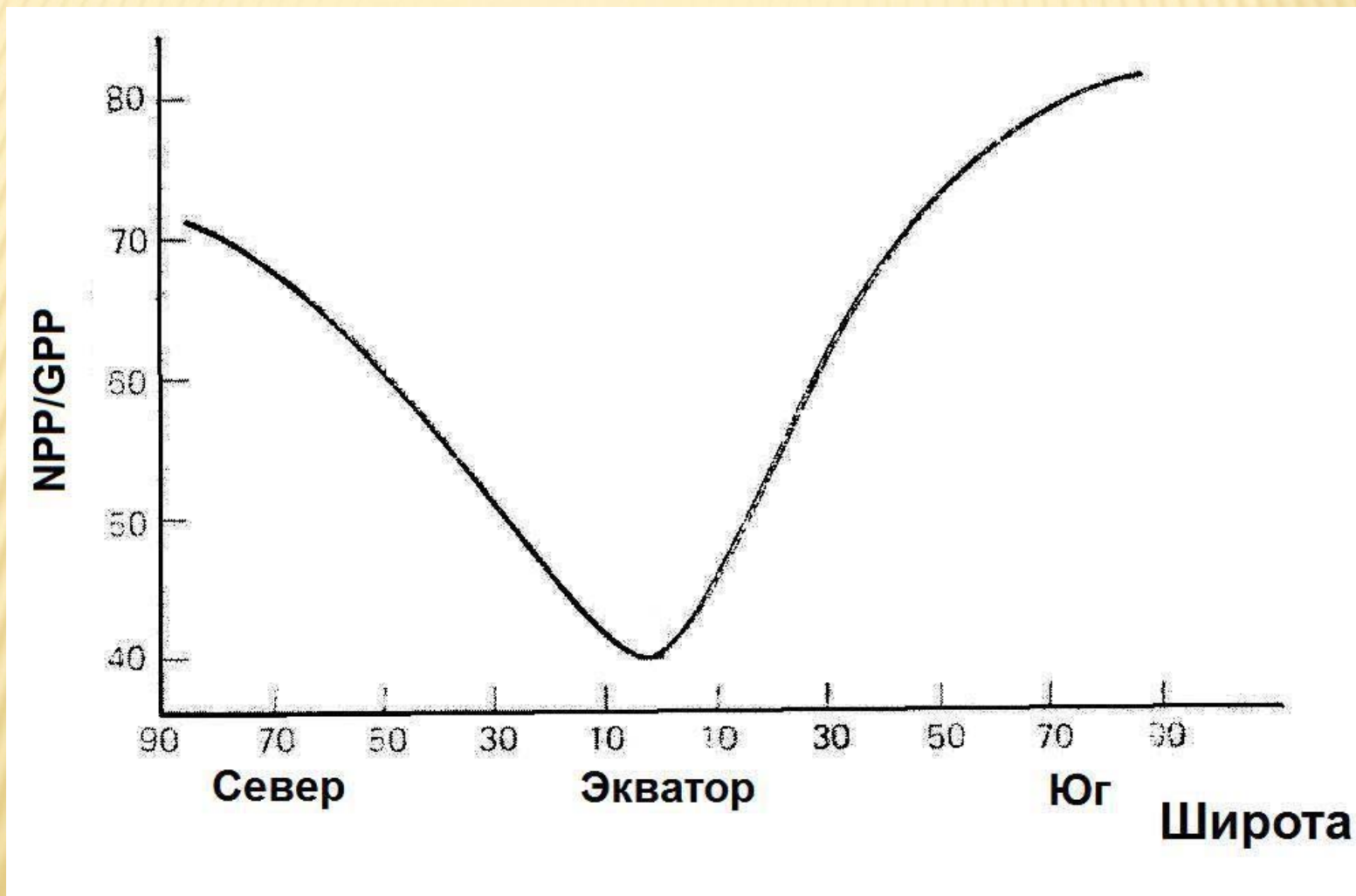
$$GPP = K_L \cdot PAR$$

$$NPP = GPP - Ra$$

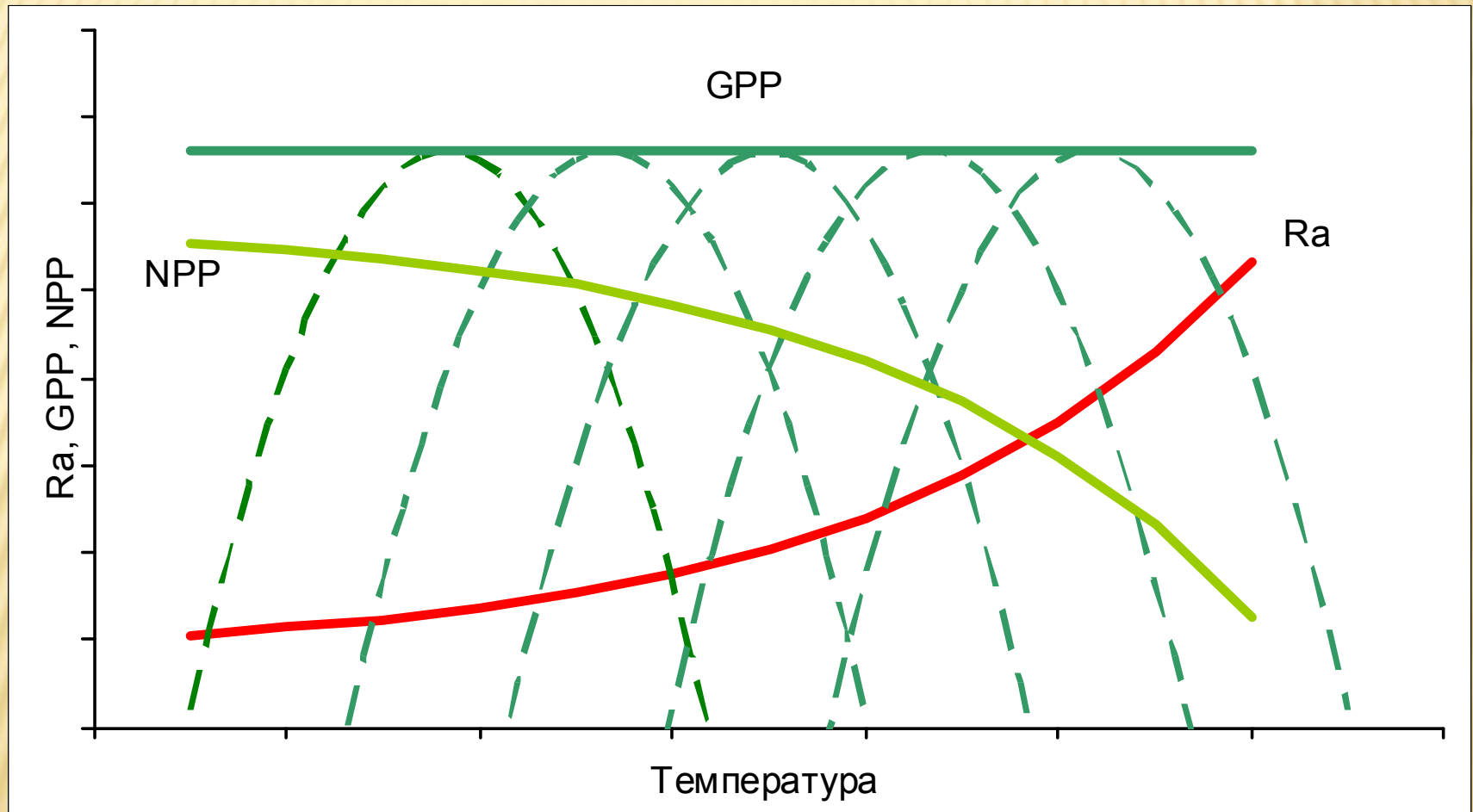
K_L – эффективность Линдемана

Объект	K_L (GPP/PAR)	NPP/PAR
Экосистема в разгар вегетации, за сутки	2-10%	0.4-8%
Биосфера за год	0.4%	0.2%

Глобальное отношение NPP к GPP равно примерно 50%

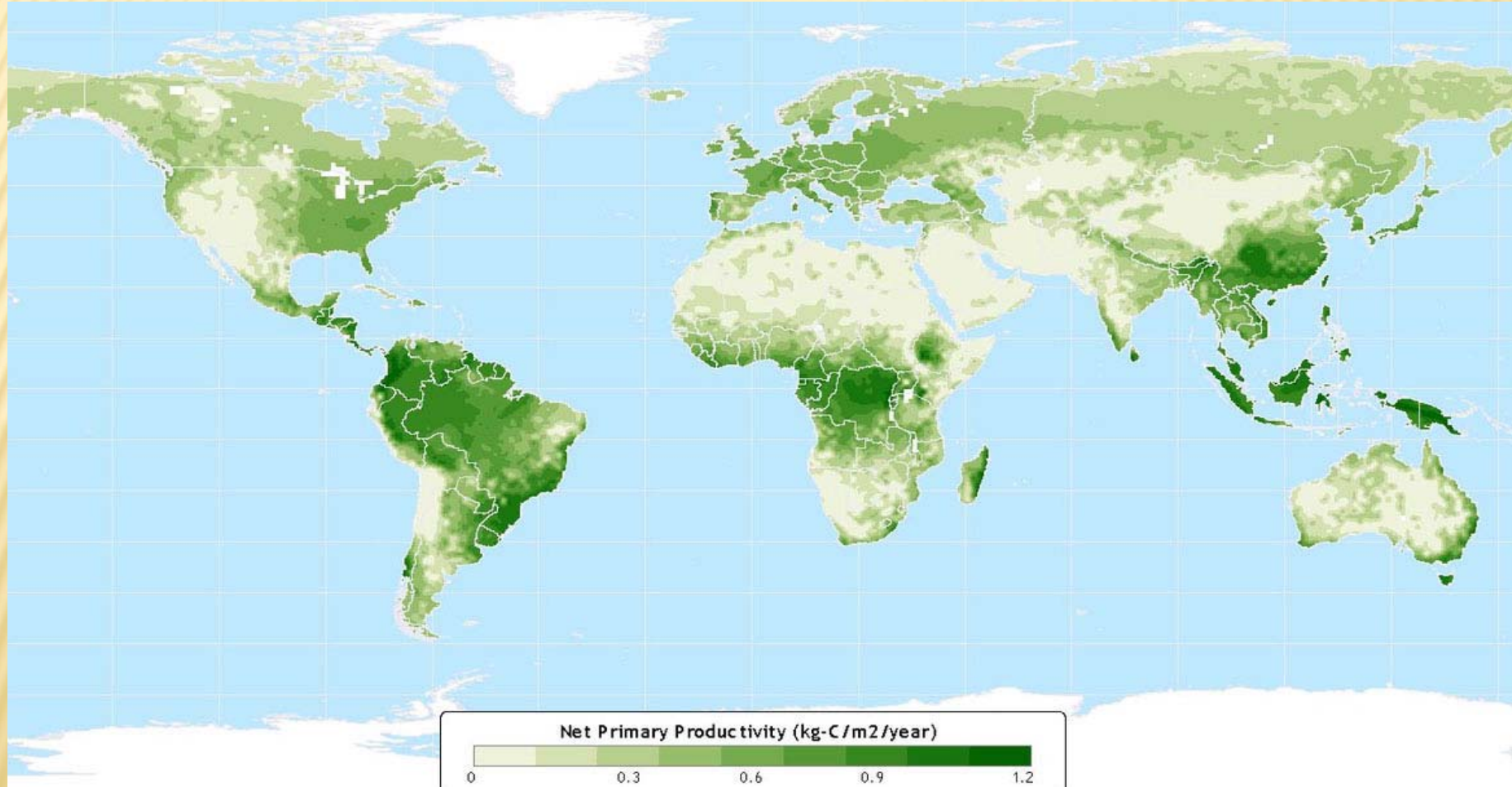


Причины широтного изменения NPP/GPP



Значения потоков выражены в процентах от максимальной GPP.

Глобальное распределение наземной NPP



Потоки энергии на уровне консументов

P_c – вторичная продукция консументов

C – потребление

E – экскреция

R_c – дыхание консументов

$$P_c = C - E - R_c$$

$$A_c = C - E$$

$$P_c = A_c - R_c$$

Экологические эффективности на уровне консументов

A_c/C – эффективность ассимиляции (30-95%)

фитофаги < хищники < паразиты

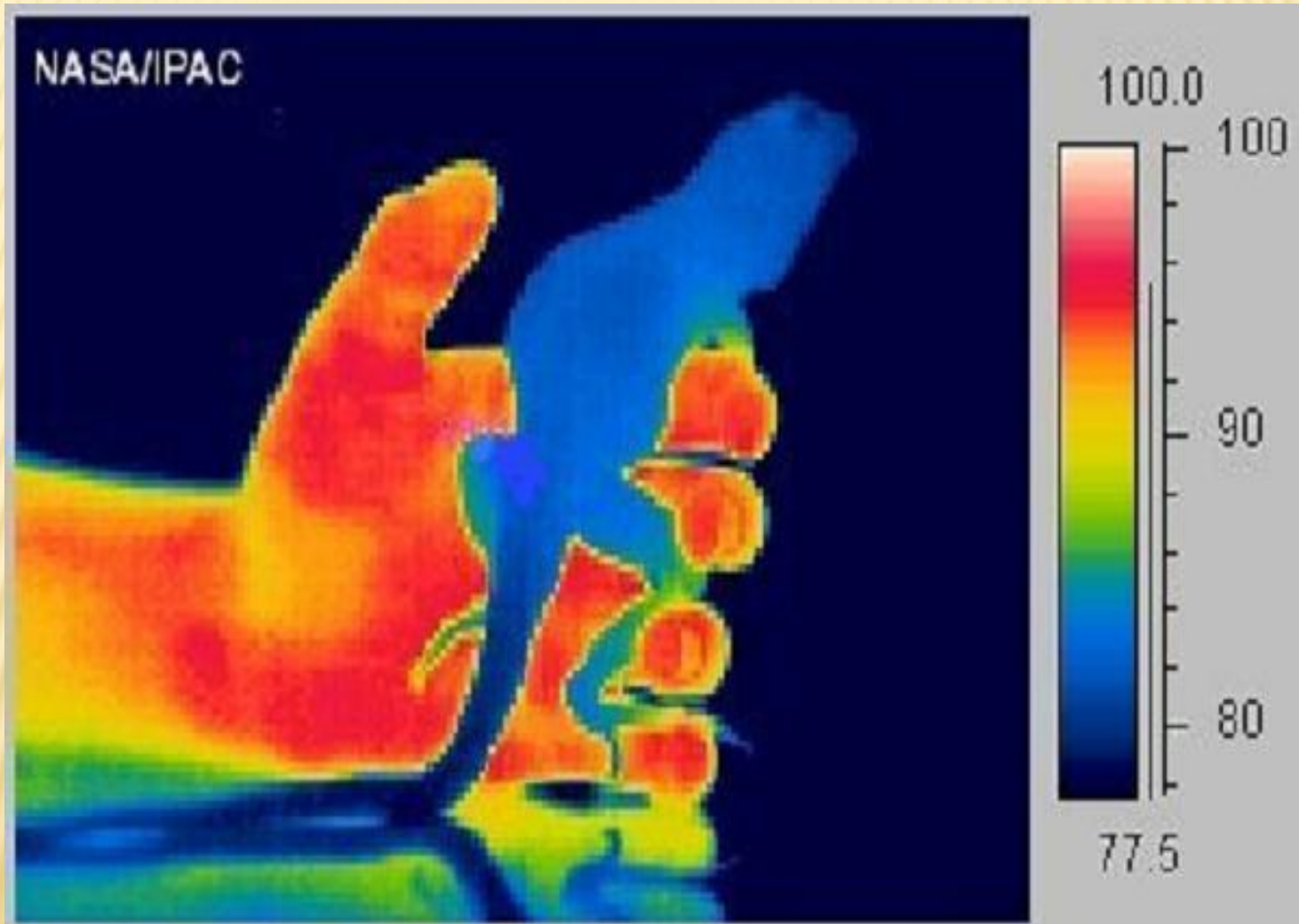
R_c/A_c – эффективность роста (10-30%)

C/NPP – эффективность использования (10-90%)

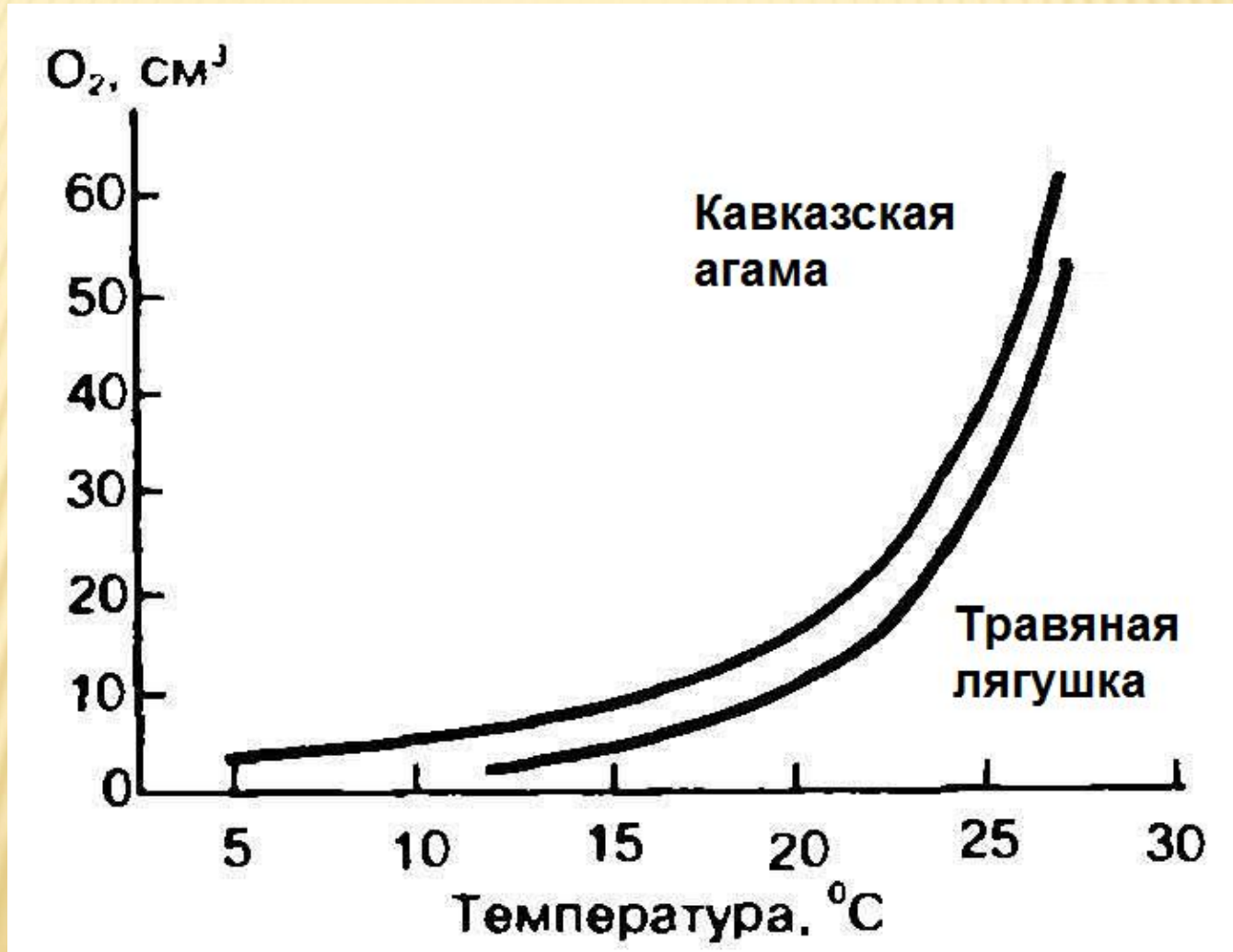
R_c/NPP – эффективность продукции (1-30%)

В наземных экосистемах эффективность продукции в среднем 10%, в водных 20%.

Затраты на дыхание у эндотермов в 10-12 раз выше, чем у эктотермов той же массы



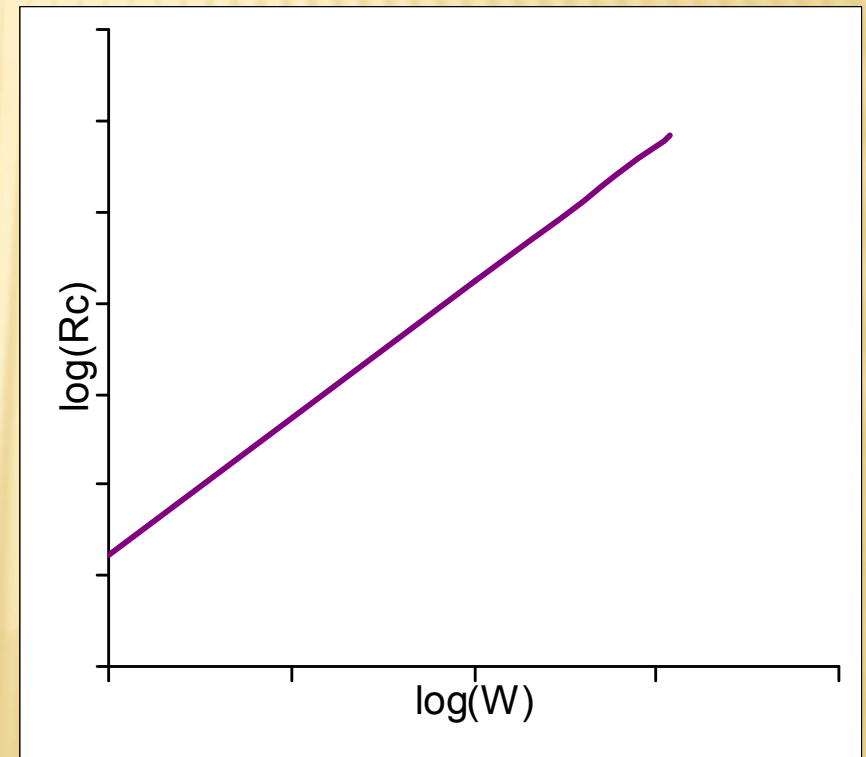
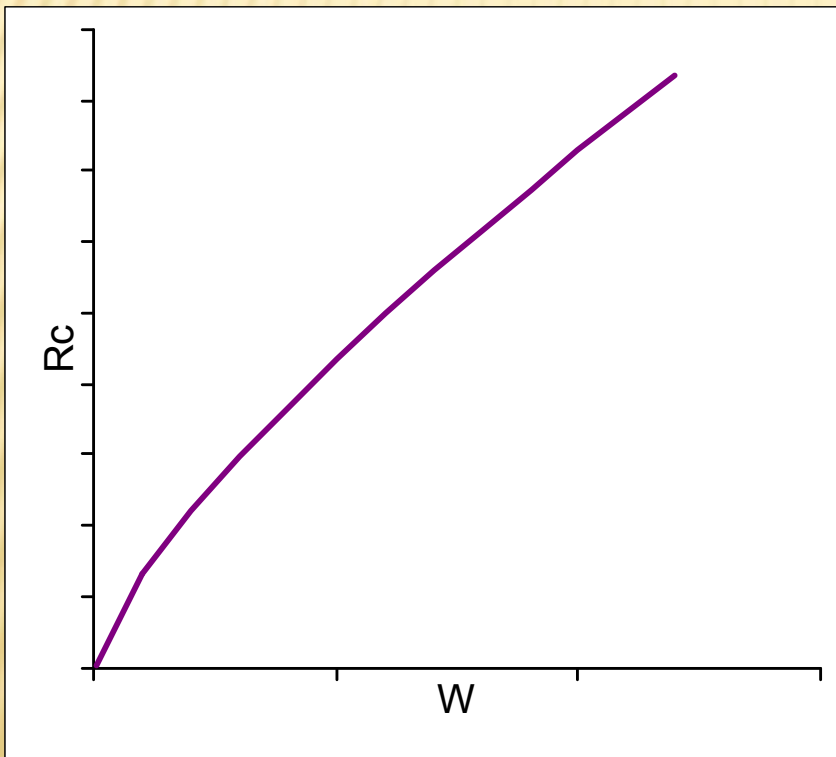
Зависимость дыхания эндотермных животных от температуры



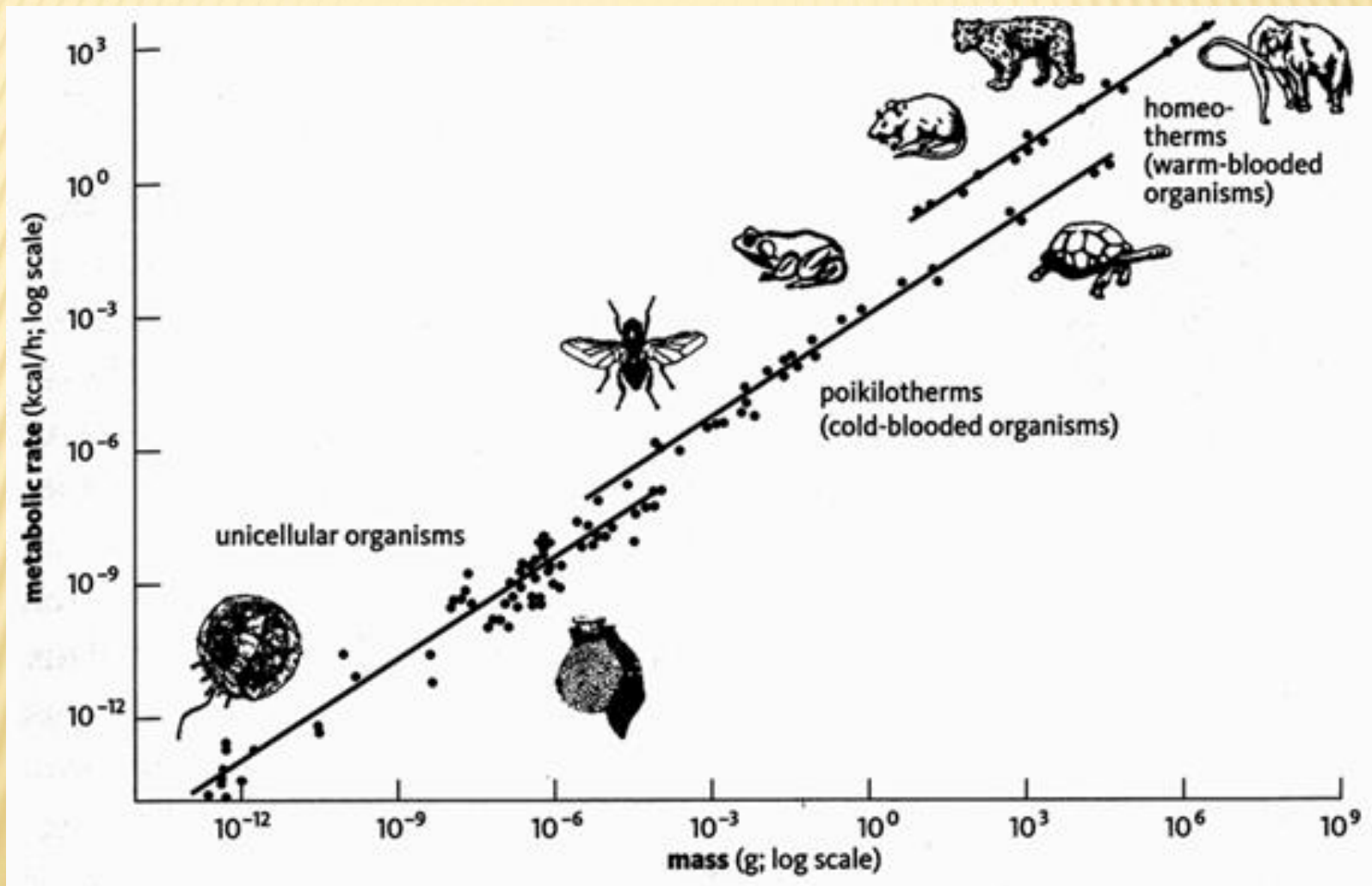
Зависимость метаболизма (R_c) от массы тела (W)

$$R_c = a W^b$$

$$b \approx 0.75$$



Аллометрическая зависимость хорошо работает в крупных группах организмов (одноклеточные, эктотермы, эндотермы)



Объяснения зависимости

Макс Рубнер (1883)

- ✘ Если длина одного животного больше длины другого в N раз, то поверхность S , масса M и обмен R будут возрастать пропорционально:

$$S \sim N^2$$

$$M \sim N^3$$

$$R \sim M^{2/3}$$

Объяснения зависимости: WEB

Джеффри Вест, Брайен Энквист, Джеймс Браун
(1999)

Принято во внимание, что кислород должен доставляться по распределительной сети (сосуды, трахеи и т.д.)

Доля объема этой сети стабильна (подтверждается данными)

Тогда у крупного организма сеть более разрежена, чем у мелкого

Численный анализ этой ситуации (физика и геометрия) приводит к коэффициенту $3/4$.

Средства для похудения – действие на разные потоки энергии

$$\Delta W \downarrow = C \downarrow - E \uparrow - R_c \uparrow$$

Диета:

уменьшение количества пищи, уменьшение энергосодержания (калорийности) пищи.

Подавление чувства голода (микросталлическая целлюлоза)

Диета: отказ от пищи животного происхождения (усвоение 95%) в пользу растительной (80%), ограничение термической обработки пищи,

Физическая нагрузка.

Баня, сауна (энергозатраты на терморегуляцию).

Активизация метаболизма с помощью препаратов (сжигатели жира)

Потоки энергии для редуцентов

P_r – вторичная продукция редуцентов

A_r – ассимиляция редуцентов

R_r – дыхание редуцентов

V_r – прижизненные выделения

$$P_r = A_r - R_r - V_r$$

Экологические эффективности на уровне редуцентов

Pr/Ar – эффективность роста (5-20%)

Ar/NPP – эффективность использования (10-90%)

Pr/NPP – эффективность продукции (1-20%)

Прижизненные выделения редуцентов – это экскреция ферментов (протеазы, липазы, карбогидразы, нуклеазы)

Доля Vr от Ar варьирует от 2 до 10%.

Потоки энергии на уровне экосистемы

R_h – дыхание гетеротрофов

E_R – экосистемное дыхание

NEP – чистая продукция экосистемы

$$R_c + R_r = R_h$$

$$R_h + R_a = E_R$$

$$NEP = GPP - E_R = GPP - R_h - R_a$$

$$NEP = NPP - R_h$$

В равновесной экосистеме $NEP = 0$

Сельскохозяйственные объекты и экосистемы: антропогенная оптимизация NPP, P_c, P_r

$$P_c \uparrow = C \uparrow - E \downarrow - R_c \downarrow$$

C↑ - увеличение количества корма

E↓ - увеличение усвояемости корма (силос, комбикорма)

R_c↓ - снижение энергозатрат на движение и терморегуляцию (содержание в стойлах и клетках, контроль температуры)

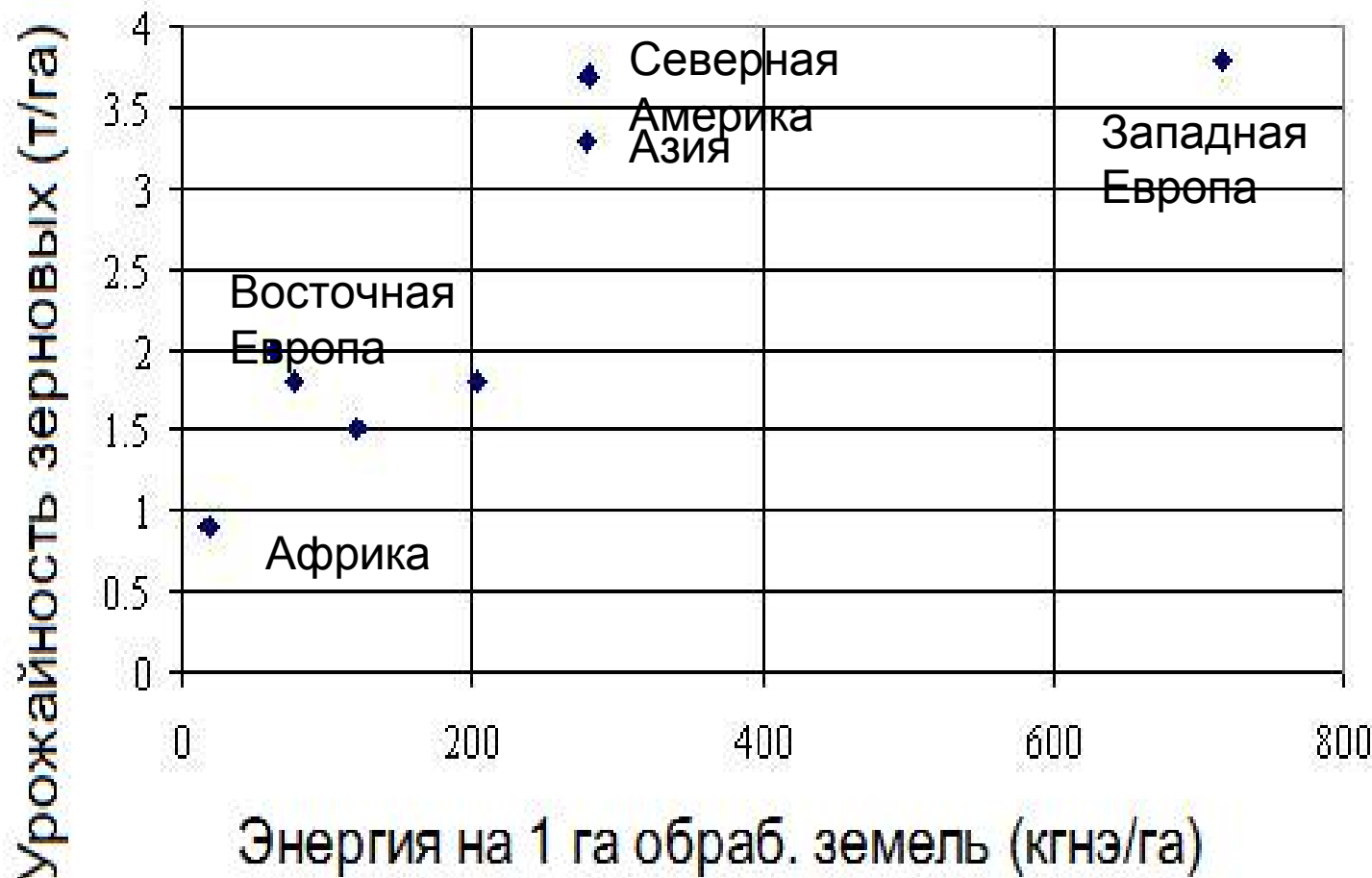
$$NPP = GPP \uparrow - R_a \downarrow$$

Удобрение, полив, обработка почвы, борьба с конкурентами (сорняки) и эксплуататорами (вредители)

Антропогенные энергетические субсидии – основа модификации потоков энергии в сельскохозяйственных экосистемах



Урожайность и энергозатраты сельского хозяйства по регионам Земли (данные FAO)



кгнэ (килограмм нефтяного эквивалента) = 41 868 кДж

Селекция и генная инженерия – усиление способности сельскохозяйственных организмов воспринимать энергетические субсидии

Gallus gallus

Банкивская джунглевая курица



Бройлерный цыпленок



Энергетическая классификация экосистем (Ю. Одум, 1986, с дополнениями)

1. Природные, движимые Солнцем.
2. Управляемые, движимые Солнцем, субсидируемые человеком.
3. Природные, движимые Солнцем, субсидируемые природой (дельты и эстуарии)
4. Природные, движимые другими экосистемами (дно океана)
5. Природные, движимые энергией химических реакций с неорганическими веществами

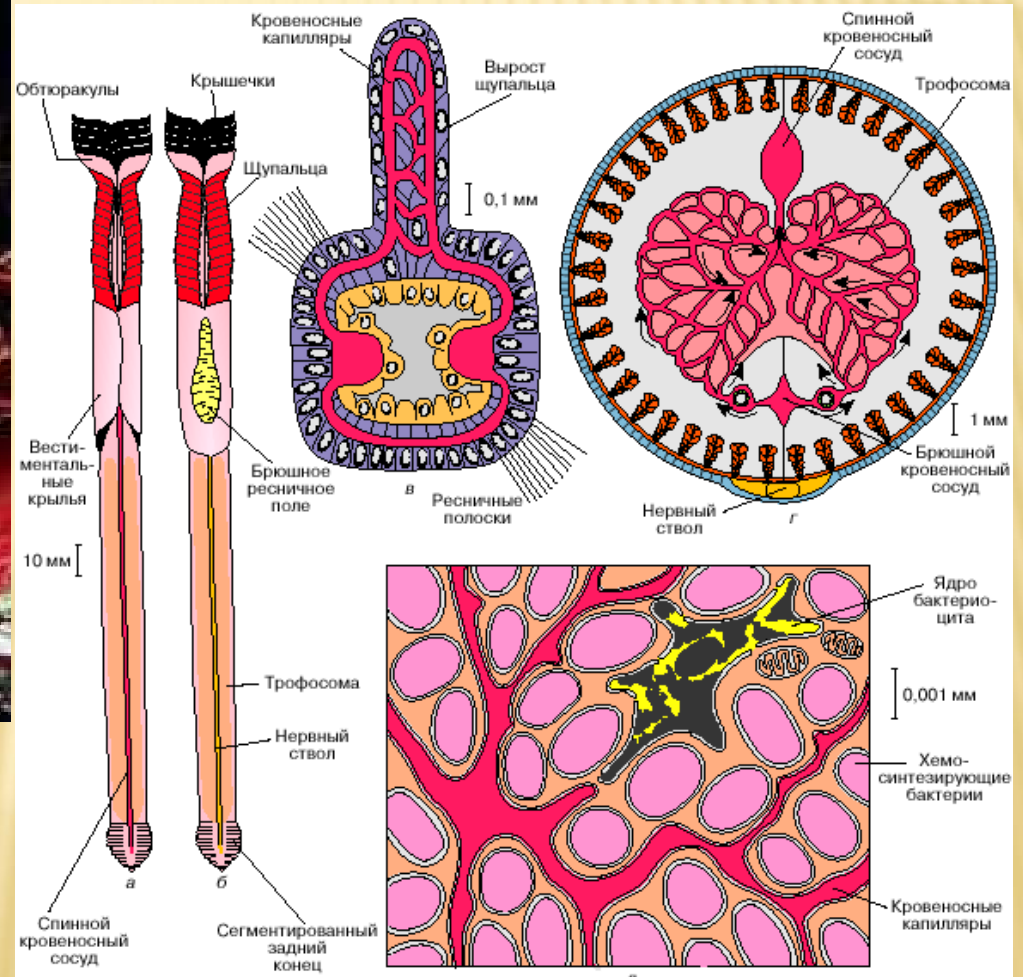
Дельты и эстуарии – энергетическая субсидия за счет кинетической энергии текущей воды



Черные курильщики – экосистемы, существующие без энергии Солнца



Вестиментиферы – симбиоз серобактерий и погонофор (кольчатых червей)



Пример грубого рисунка экологической пирамиды



Пирамида численностей (ос/га)

Лес

Степь

Море

К2

10^2

10^2

10^2

К1

10^4

10^4

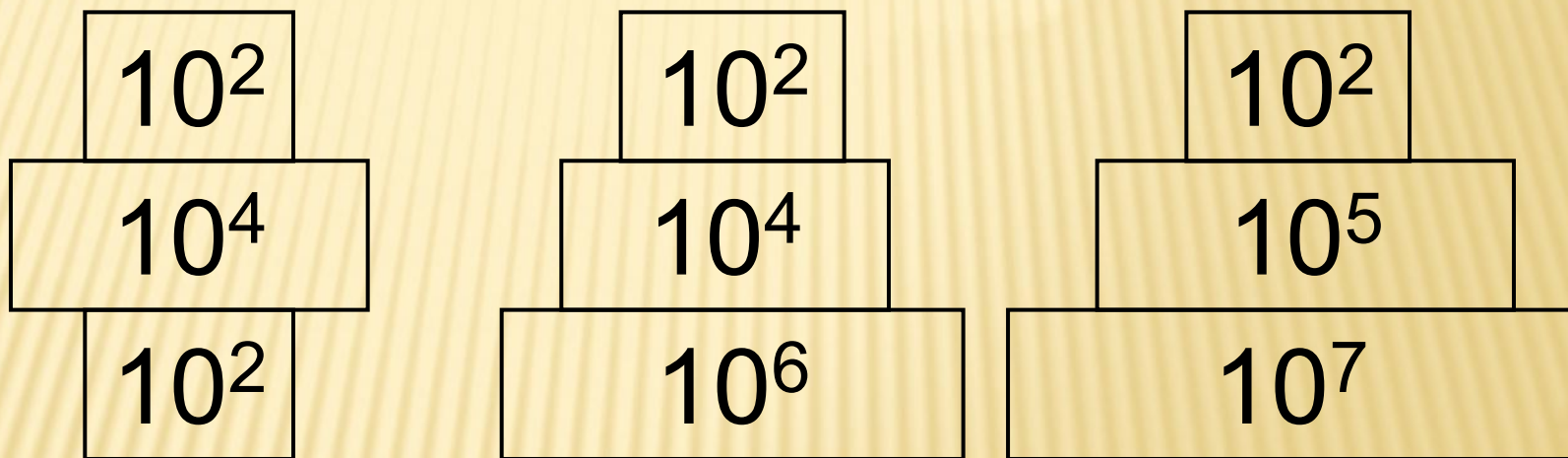
10^5

Пр

10^2

10^6

10^7

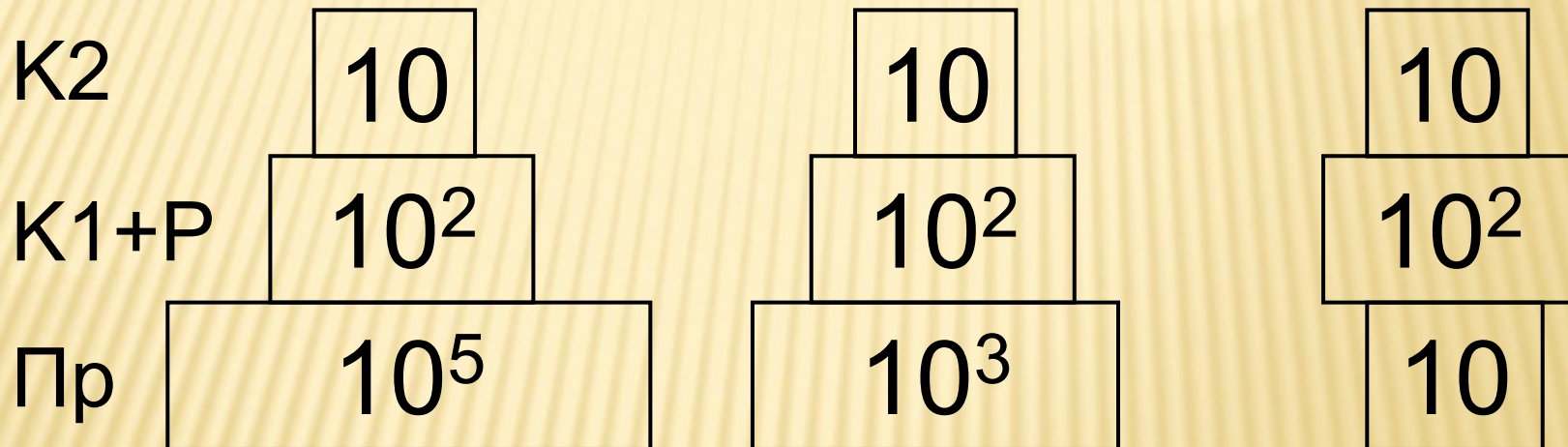


Пирамида биомасс (кг/га)

Лес

Степь

Море



Пирамида продукций (ГДж/га/год)

Лес

Степь

Море

К2

10

10

10

К1+Р

10^2

10^2

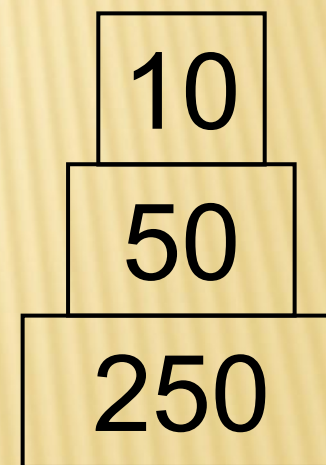
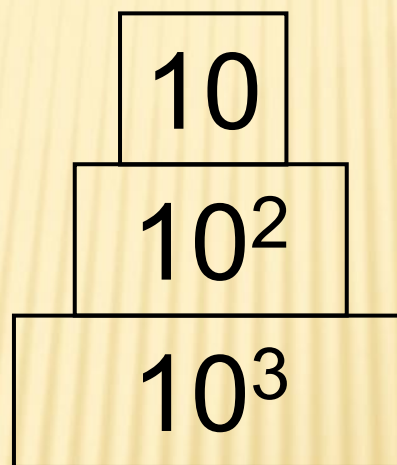
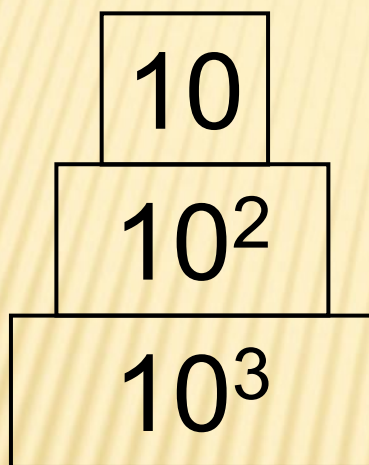
50

Пр

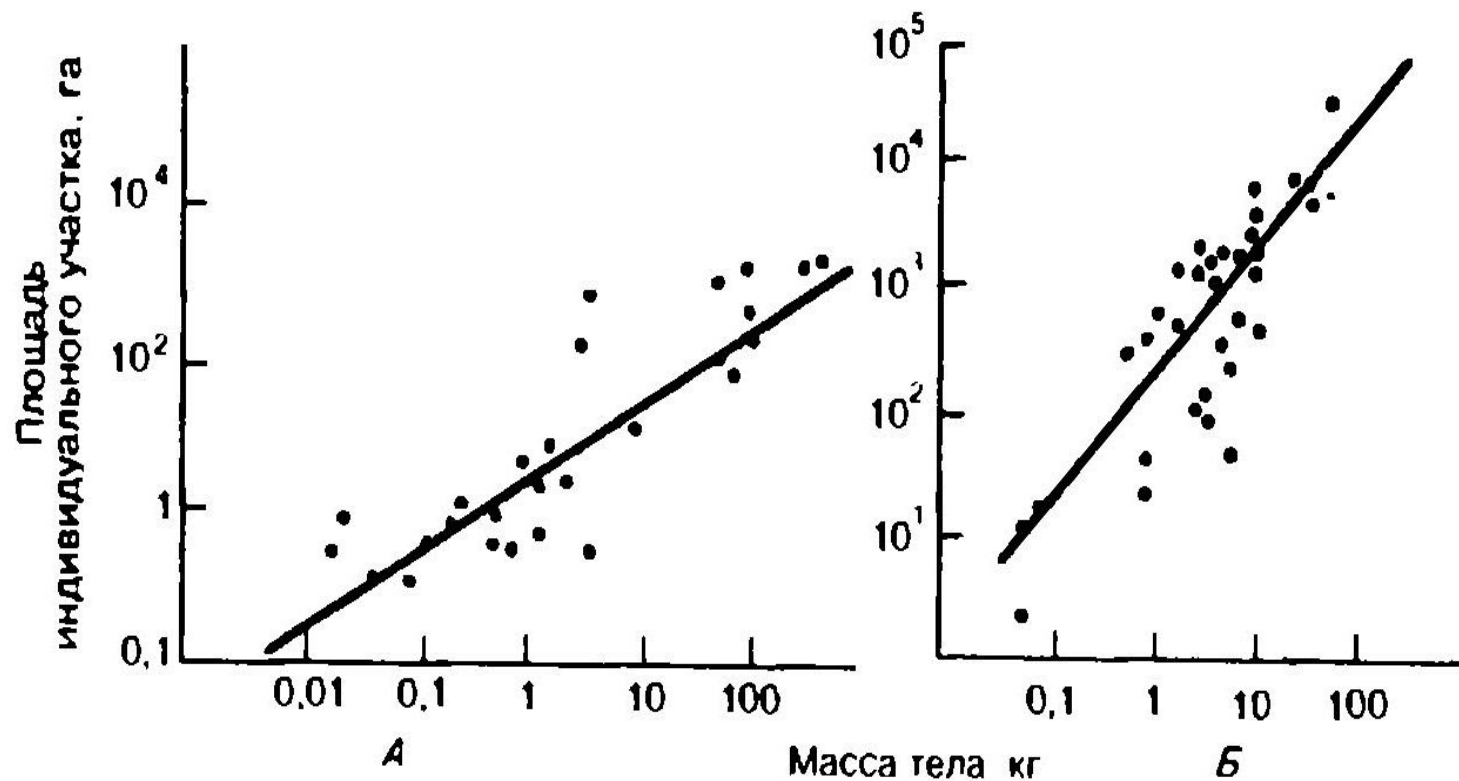
10^3

10^3

250



Зависимость размера индивидуального участка у растительноядных (А) и хищных (Б) млекопитающих



Экономическое подтверждение «правила 10%».

Средние цены (руб за 1 кг продукта) по России
(<http://tsenomer.ru/russia/>)

Хлеб	31
Капуста	27
Картофель	26
Мясо	373
Рыба	240