

Лекция 9.

Тема 5. Трофические взаимодействия и потоки энергии.

Часть 1. Трофические взаимодействия, потоки энергии на трофических уровнях

ЭКОЛОГИЯ

Заведующий кафедрой общей экологии

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

Фотоавтотрофы:

археобактерии, бактерии,
растения (водоросли
и высшие растения)



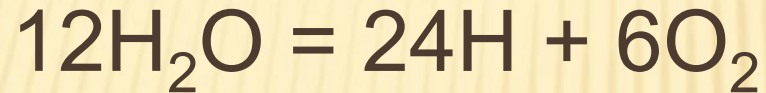
Хемоавтотрофы:

археобактерии и бактерии



Уравнение фотосинтеза

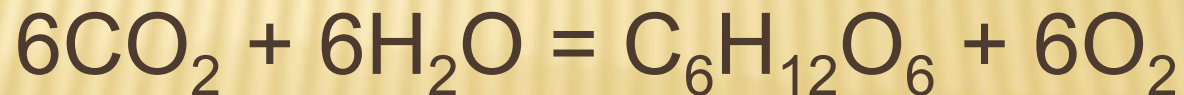
Фосфорилирование –
световая фаза



Карбоксилирование –
темновая фаза

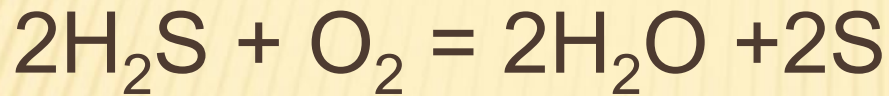


Полное уравнение

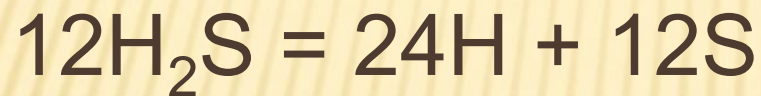


Уравнение хемосинтеза (сероводородные бактерии)

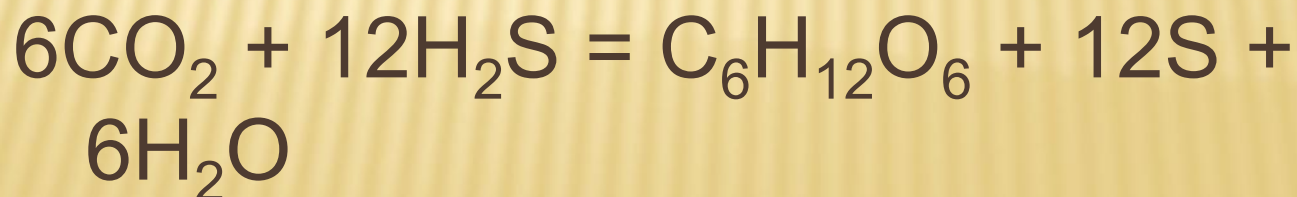
Фосфорилирование



Карбоксилирование

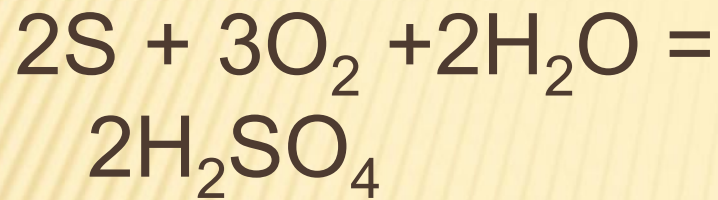


Полное уравнение для
карбоксилирования

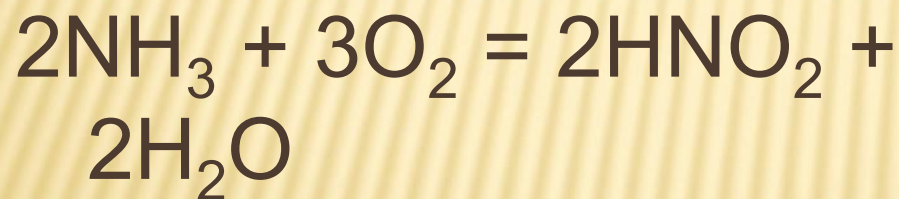


Другие уравнения хемосинтеза (фосфорилирование)

Серобактерии



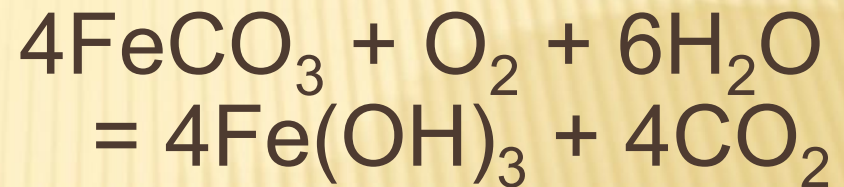
Нитритные бактерии



Нитратные бактерии



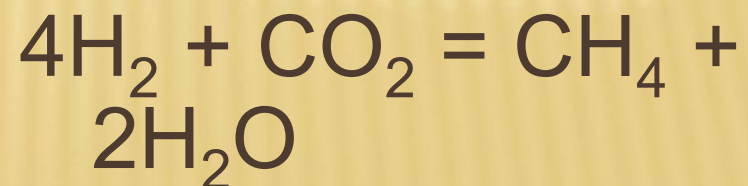
Железобактерии



Водородные
бактерии



Метанообразующие
бактерии
(анаэробы!)



Консументы потребляют живое органическое вещество

I порядка: потребляют продуцентов



II порядка: потребляют консументов, которые едят продуцентов

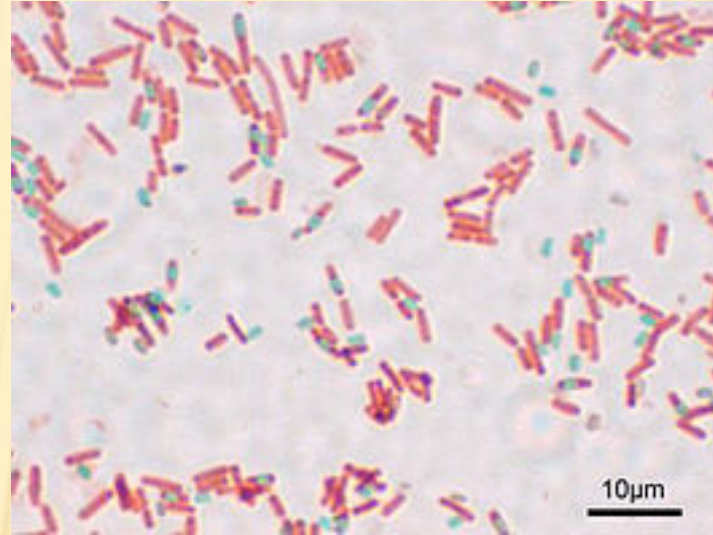


III порядка: потребляют консументов, которые едят консументов



Редуценты – разлагают мертвое органическое вещество

- ✘ Археобактерии и бактерии



- ✘ Грибы



Между консументами и редуцентами граница не всегда 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 - пастисьные

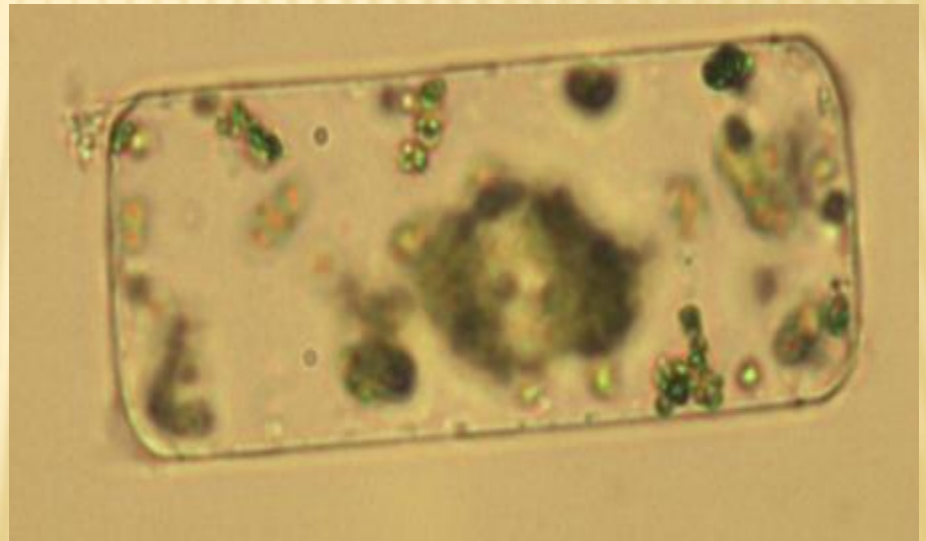
Типичный продуцент на суше

Picea abies

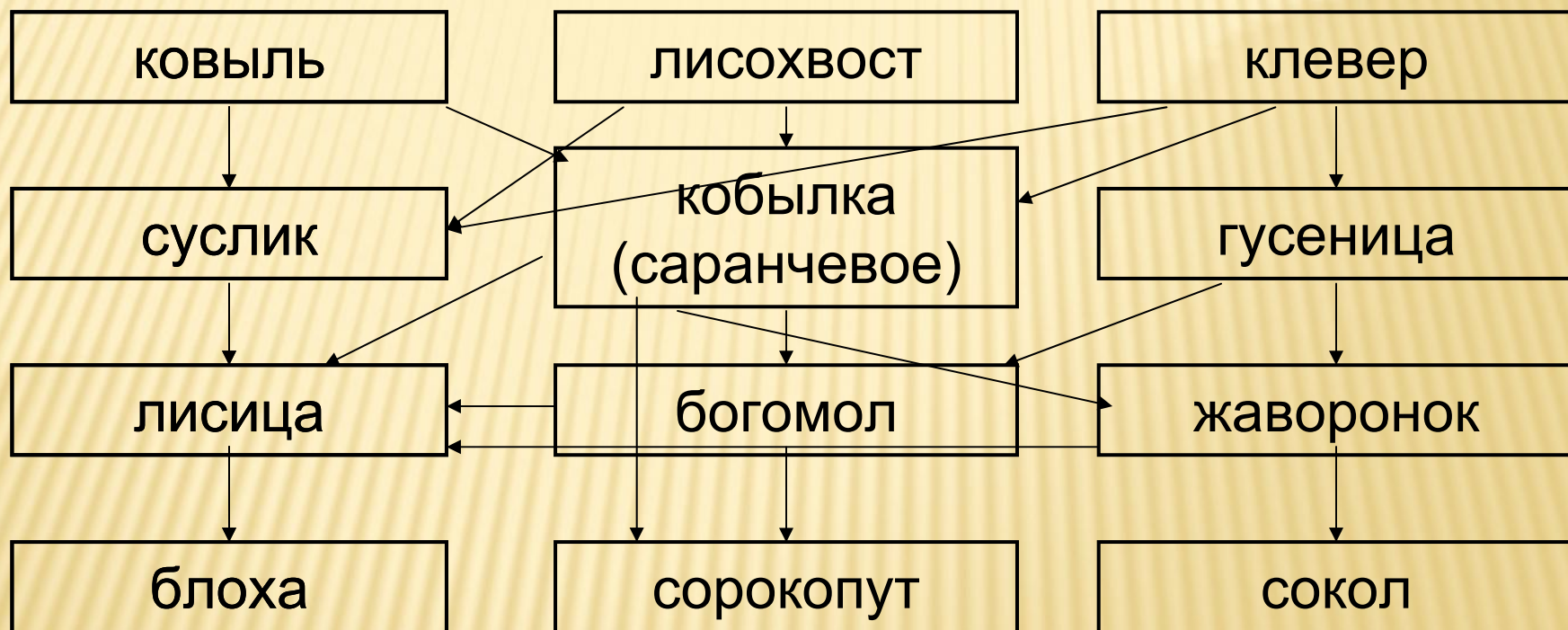


Типичный продуцент в море

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.

Важные экологические следствия

- ✘ Первое начало термодинамики дает возможность описывать переходы энергии в трофических уровнях балансовыми уравнениями.
- ✘ Второе начало термодинамики устанавливает, что без увеличения энтропии окружающей среды жизнь невозможна.
- ✘ Поскольку часть энергии рассеивается в окружающей среде, КПД перехода энергии на следующий уровень меньше 100%,

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 (примерно 50% от суммарной солнечной радиации)

GPP – валовая первичная продукция

NPP – чистая первичная продукция

Ra – дыхание автотрофов

K_L – эффективность Линдемана

$$GPP = K_L \text{ PAR}$$

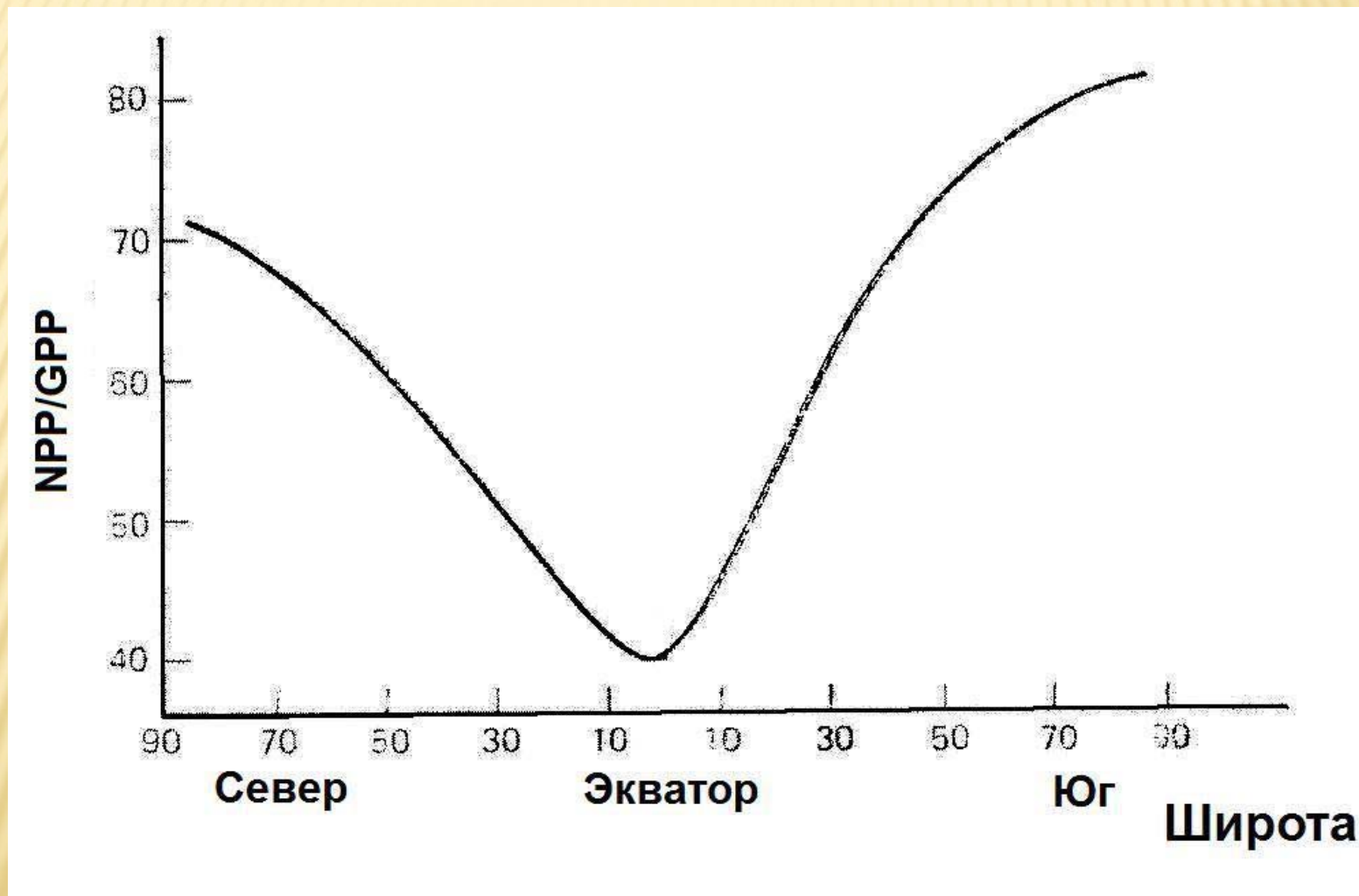
$$NPP = GPP - R_a$$

K_L – эффективность Линдемана

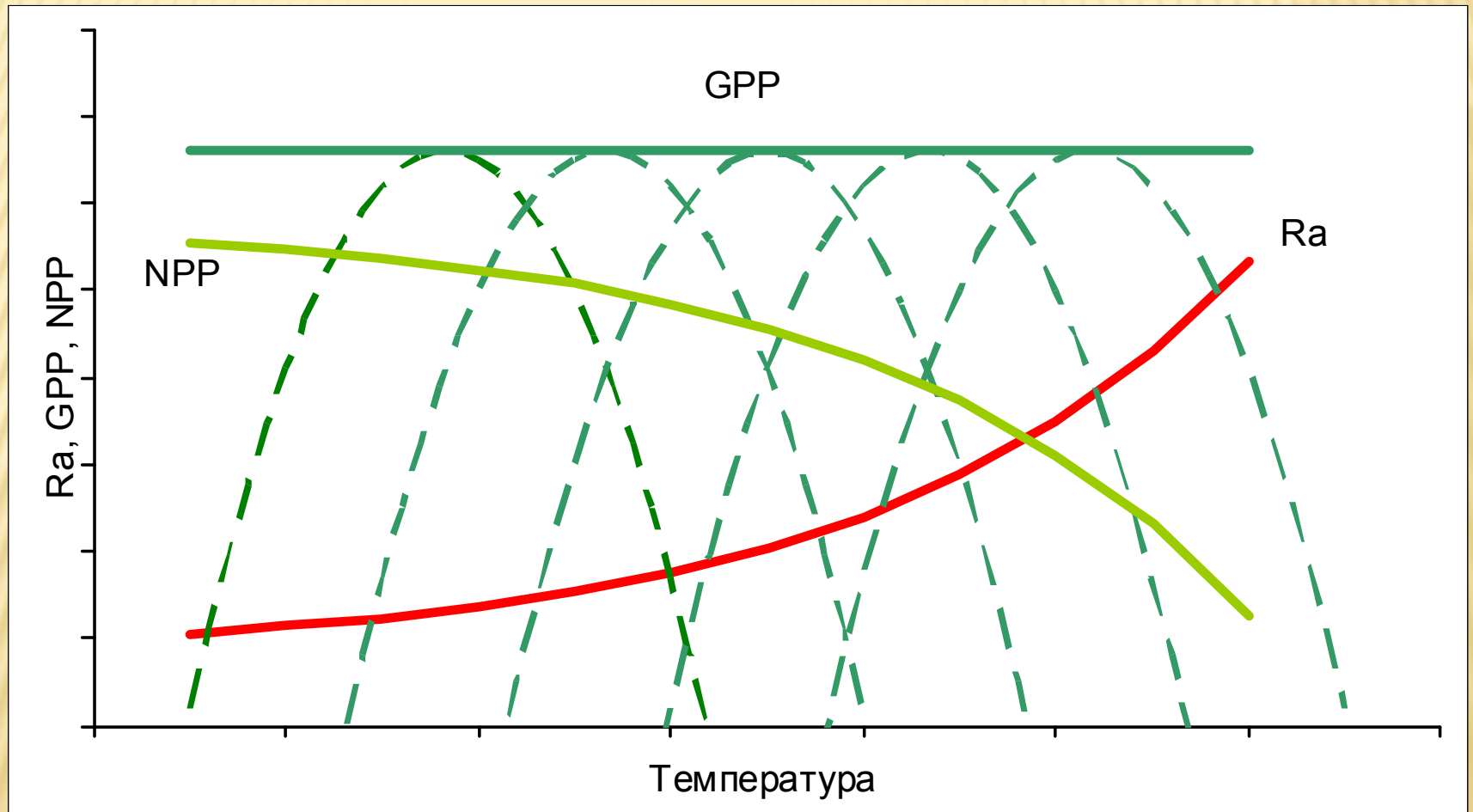
Экологические эффективности – соотношения между потоками энергии

Объект	K_L (GPP/PAR)	NPP/PAR
Экосистема в разгар вегетации, за сутки	2-10%	0.6-8%
Биосфера за год	0.4%	0.2%

Глобальное отношение NPP к GPP равно примерно 50%

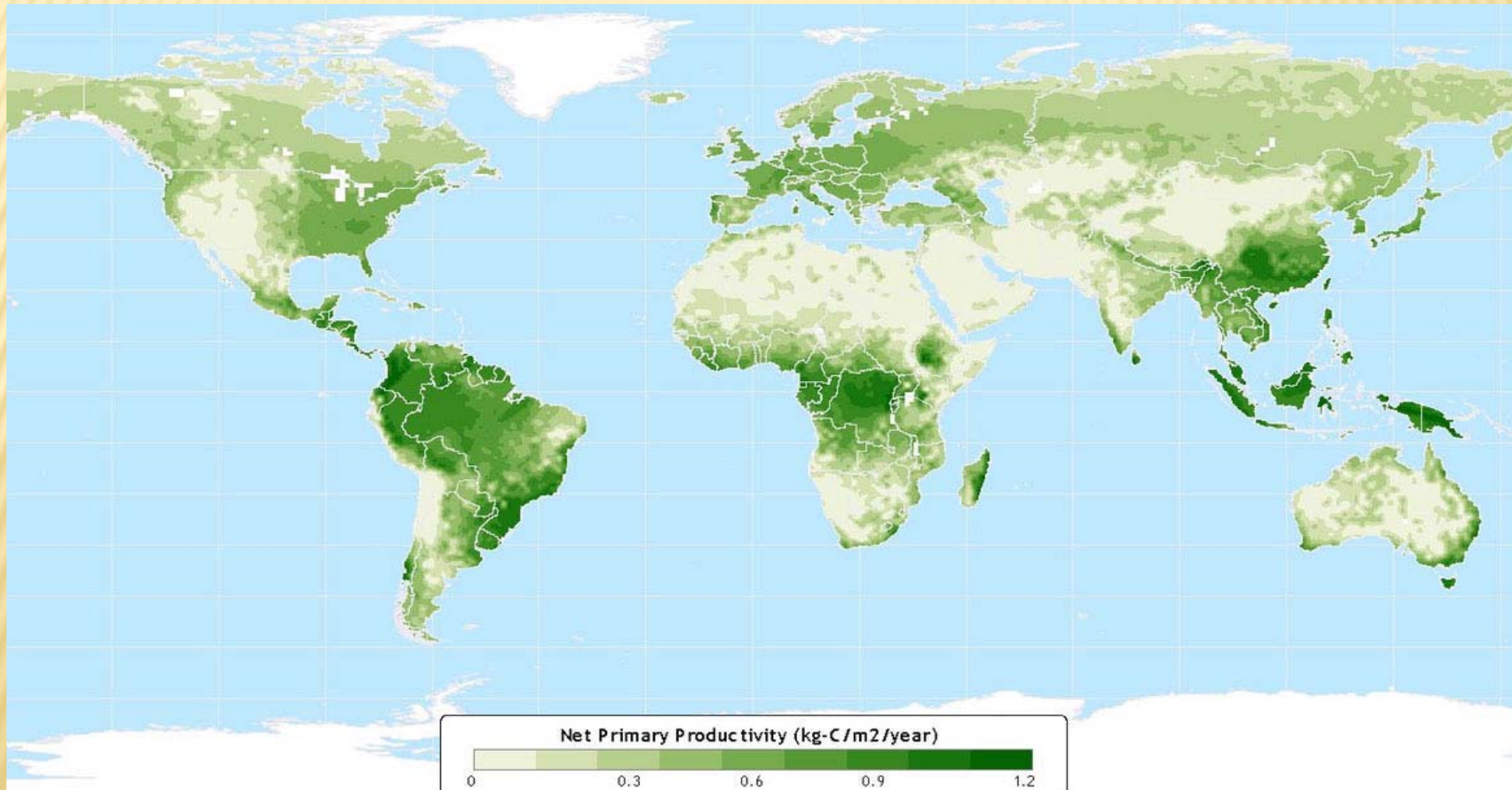


Причины широтного изменения NPP/GPP



Значения потоков выражены в процентах от максимальной GPP.

Глобальное распределение годичной наземной NPP



Потоки энергии на уровне консументов

P_c – вторичная продукция консументов

C – потребление

E – экскреция

R_c – дыхание консументов

V_c – прижизненные выделения

$$P_c = C - E - R_c - V_c$$

$$A_c = C - E$$

$$P_c = A_c - R_c - V_c$$

Экологические эффективности на уровне консументов

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

фитофаги < хищники < паразиты

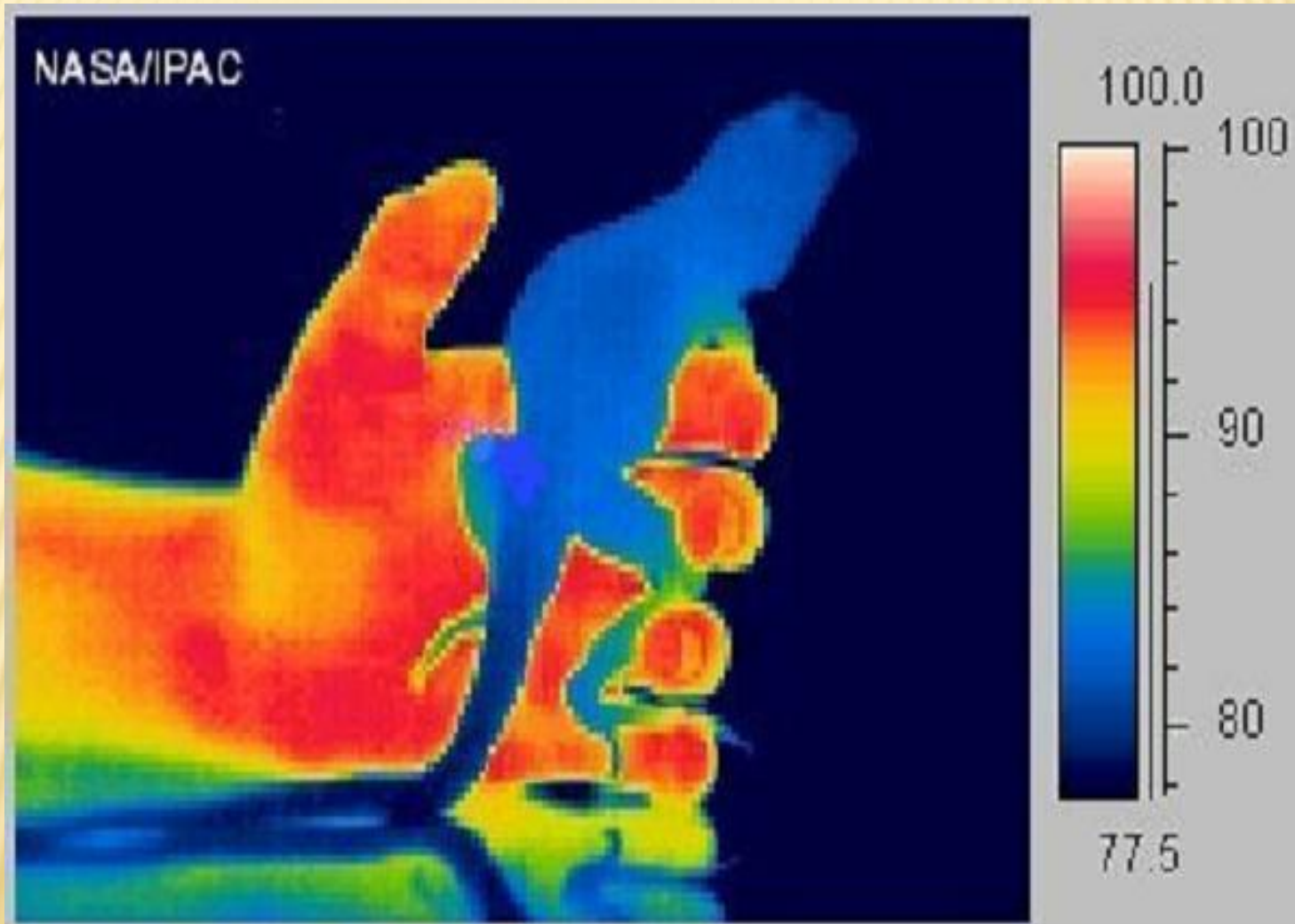
R_c/A_c – эффективность роста (10-30%)

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

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

В наземных экосистемах эффективность продукции в пастбищных цепях около 10%, в водных 20%.

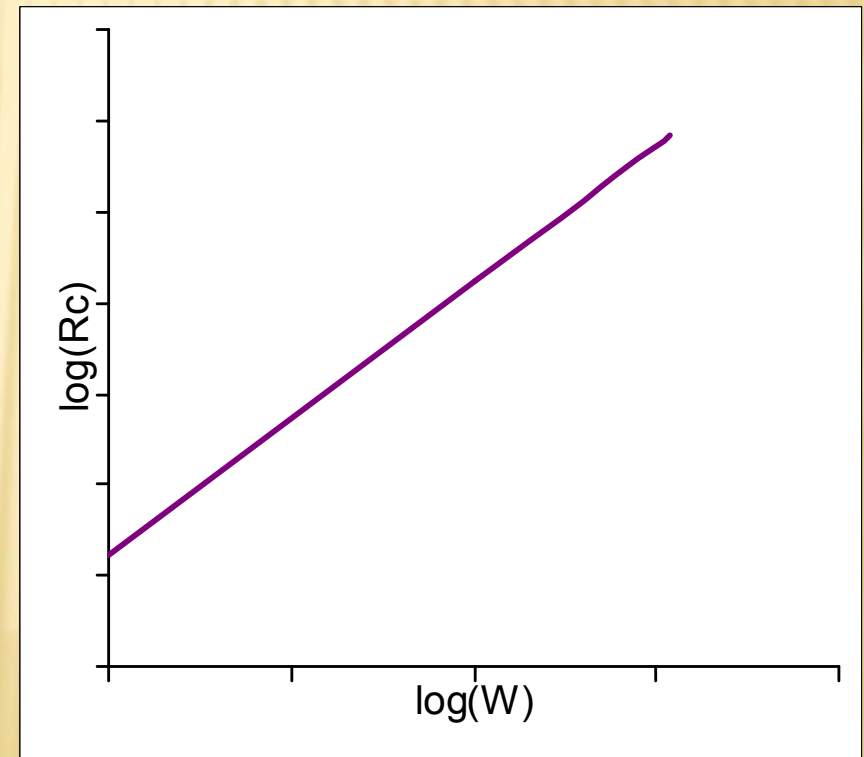
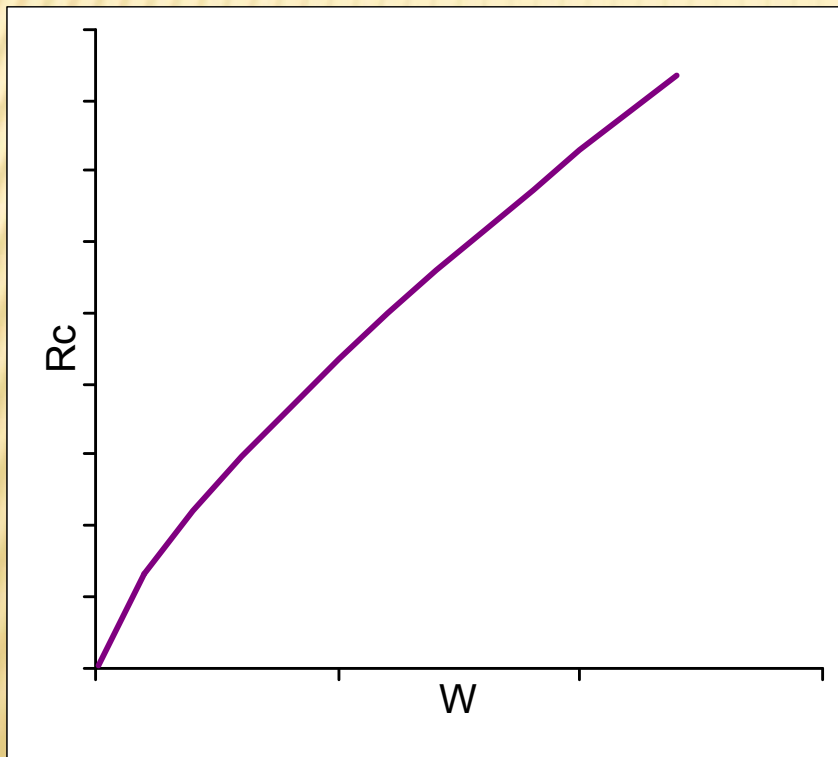
Затраты на дыхание у эндотермов в 10-12 раз выше, чем у эктотермов той же массы



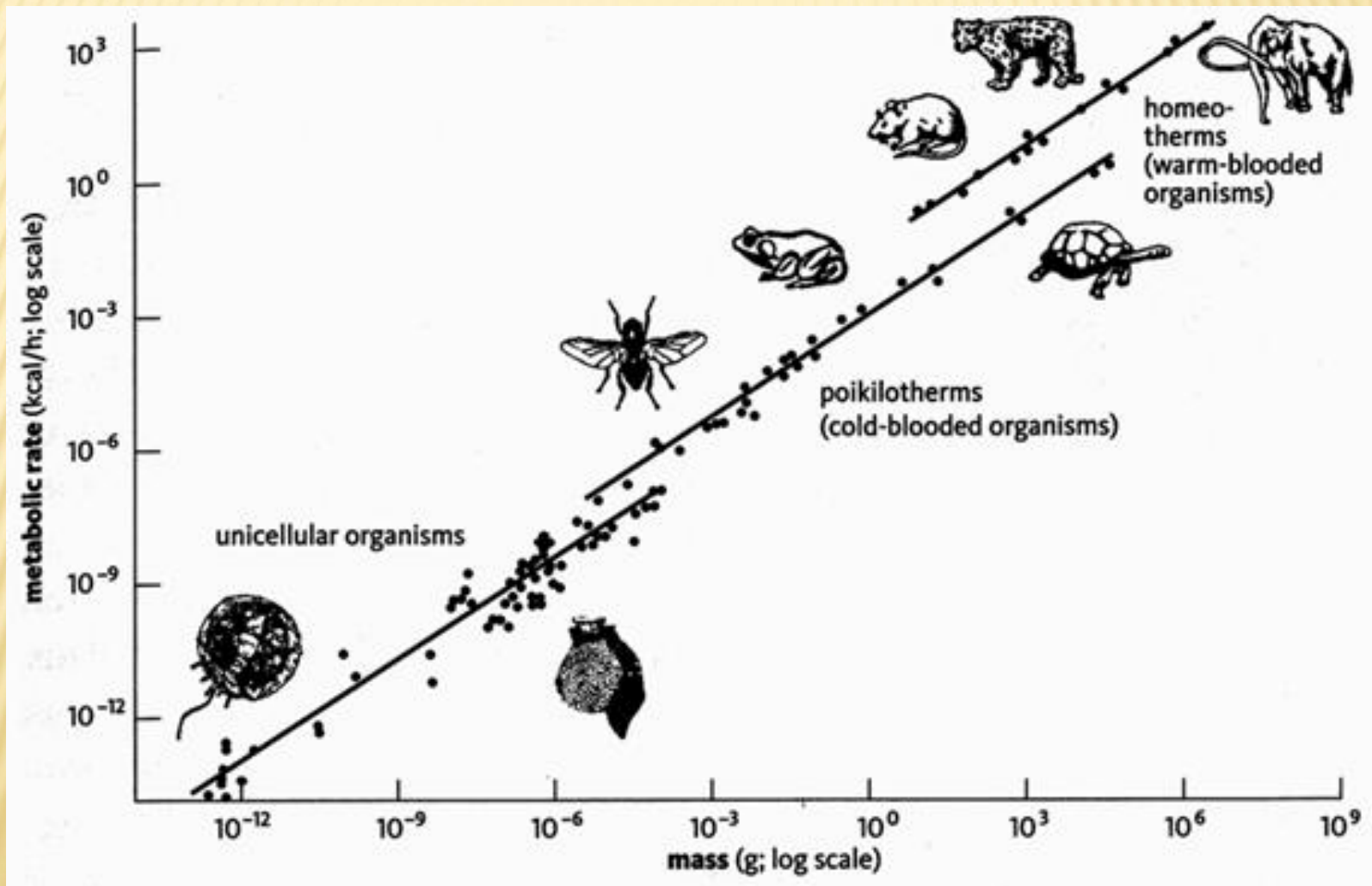
Зависимость метаболизма (R_c) от массы тела (W)

$$R_c = a W^b$$

$$b \approx 0.75$$



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)

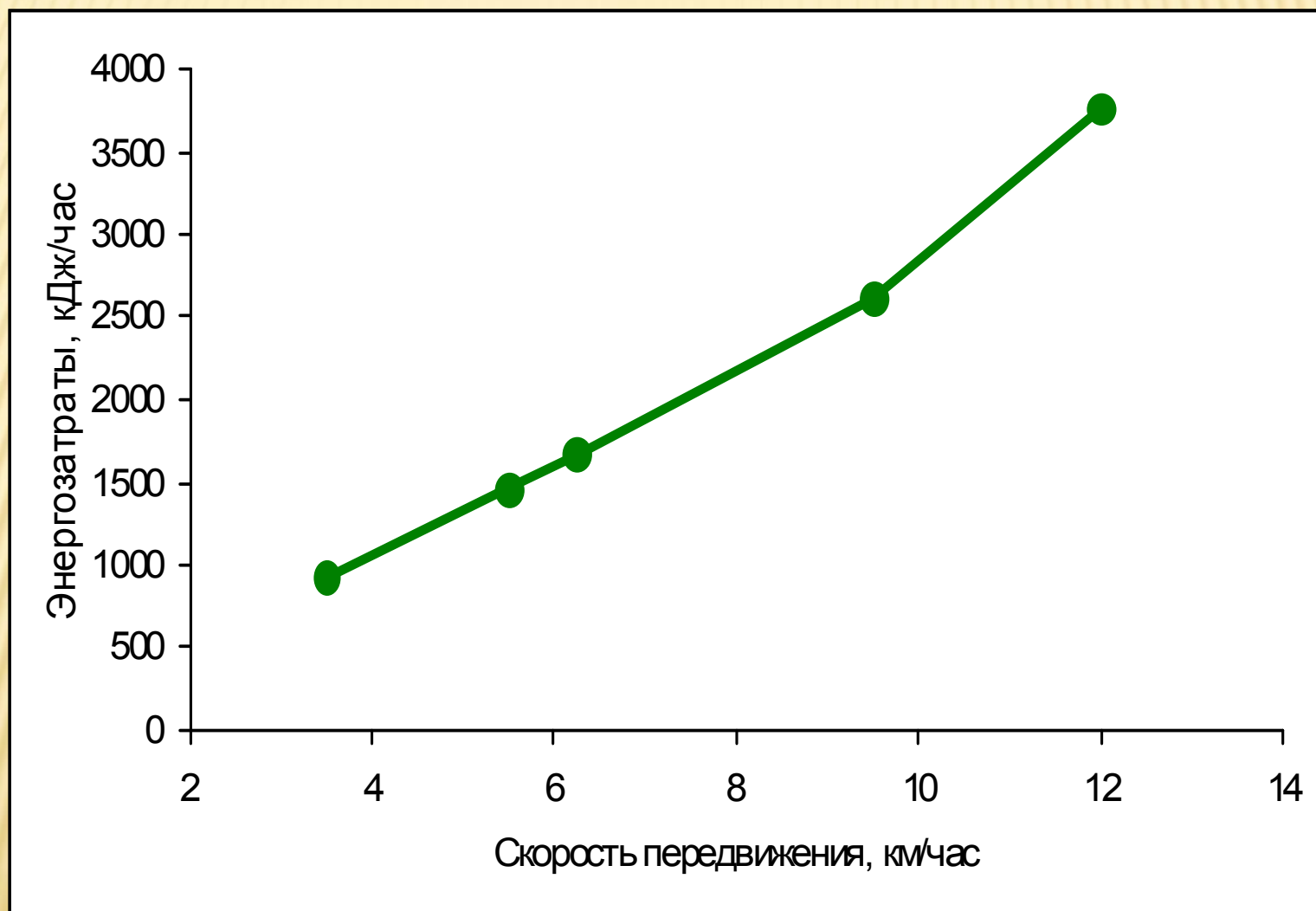
Принято во внимание, что кислород должен доставляться по распределительной сети (сосуды, трахеи и т.д.)

Доля объема этой сети стабильна у организмов разного размера (подтверждается фактическими данными)

Тогда у крупного организма сеть более разрежена, чем у мелкого

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

Энергозатраты человека в зависимости от скорости передвижения (ходьба, бег)



По Иващенко, Страпко, 1988

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)

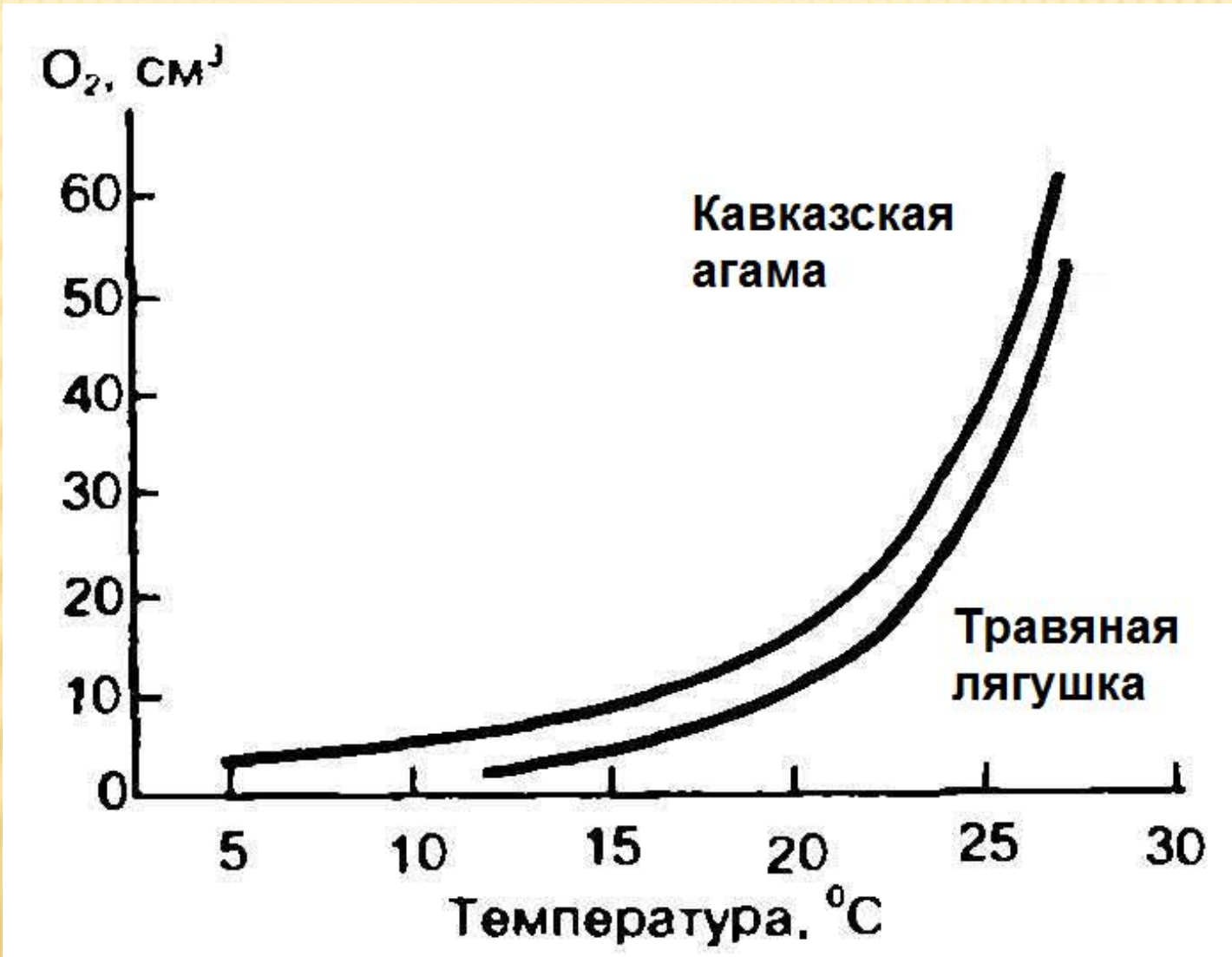
Диета: отказ от пищи животного происхождения (усвоение 95%) в пользу растительной (80%), ограничение термической обработки пищи,

Физическая нагрузка.

Баня, сауна (энергозатраты на терморегуляцию).

Активизация метаболизма с помощью препаратов (сжигатели жира)

Зависимость дыхания эктотермных животных от температуры



Многие рептилии в период активности поддерживают температуру тела постоянной

У живородящей ящерицы (*Lacerta vivipara*) предпочитаемая температура тела равна 30°C.



Предпочитаемая пассивность у рептилий

Чтобы восполнить энергозатраты, ящерицам не нужно быть активными каждый день. Доля «активных» дней зависит от возраста и физиологического состояния особей.

Число активных дней за декаду (10 дней)

Вид	Сего- летки	Взрослые		
		самцы	беременные самки	родившие самки
Живородящая ящерица	5-10	2-4	4-7	4-5
Прыткая ящерица	10	3-5	6-7	3-5

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

V_r/A_r – эффективность роста (5-20%)

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

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

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

Доля V_r от A_r варьирует от 2 до 10%.