ЭНЕРГИЯ В ЭКОСИСТЕМАХ

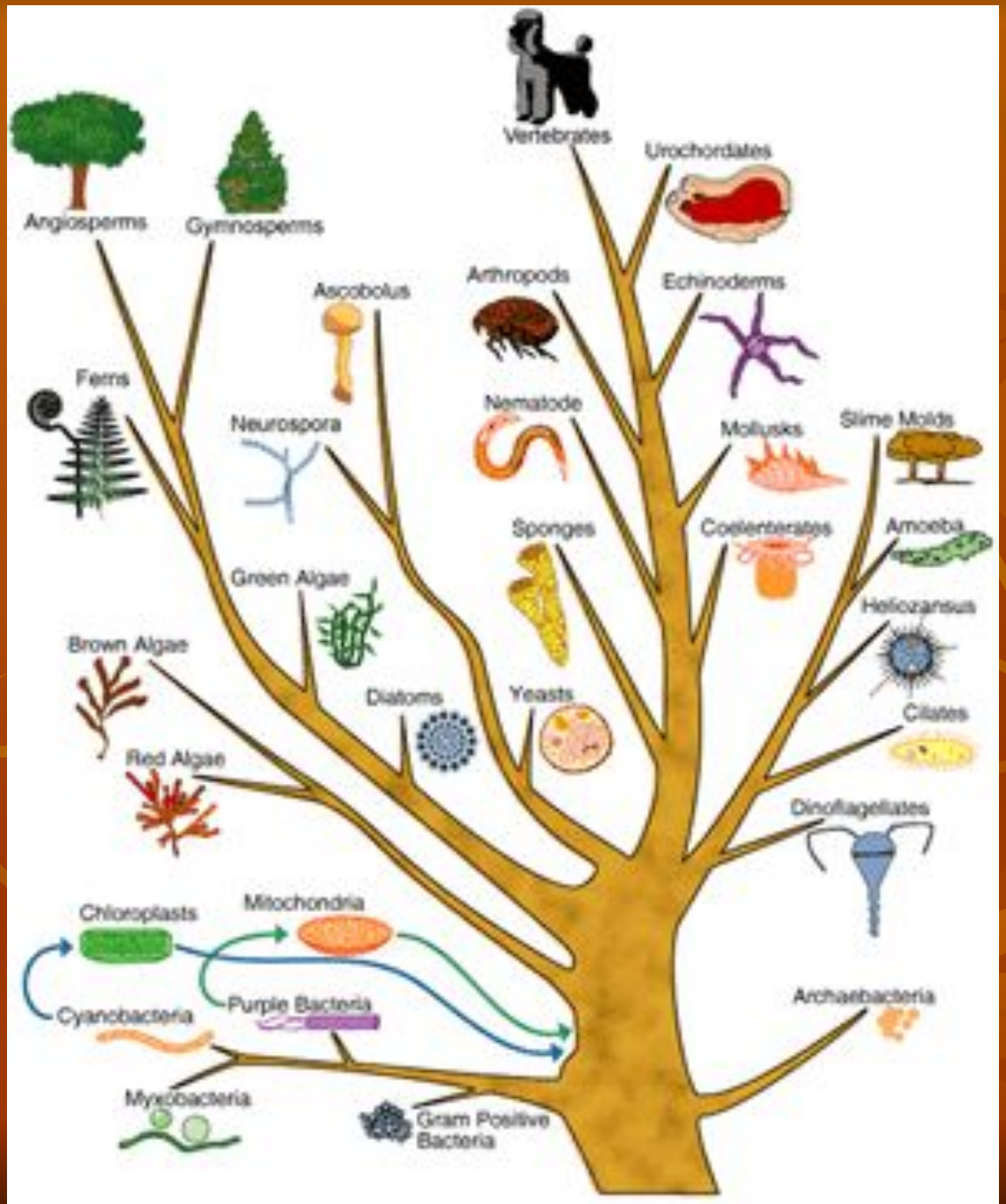
Иллюстрации к курсу «Экология»

Лектор: к.т.н. П.Ф. Агаханянц

Закон сохранения энергии (≈1 закон термодинамики)

Действует для экосистем

- ***Энергия не может возникнуть из ничего и не может исчезнуть в никуда, она может только переходить из одной формы в другую.***


Vertebrates
Urochordates
Angiosperms
Gymnosperms
Ascobolus
Arthropods
Echinoderms
Ferns
Neurospora
Nematode
Mollusks
Slime Molds
Sponges
Coelenterates
Amoeba
Green Algae
Heliozansus
Brown Algae
Diatoms
Yeasts
Ciliates
Red Algae
Dinoflagellates
Chloroplasts
Mitochondria
Cyanobacteria
Purple Bacteria
Archaebacteria
Myxobacteria
Gram Positive Bacteria

Что является источником энергии экосистем?

- Источник энергии для растений?
- Источник энергии для животных?
- Источник энергии для микроорганизмов?
- Источник энергии для грибов?

Формы энергии в экосистеме

- Энергия солнечного света
- Химическая энергия органических веществ.
- Механическая энергия (ветер, течения).
- Тепловая энергия окружающей среды.

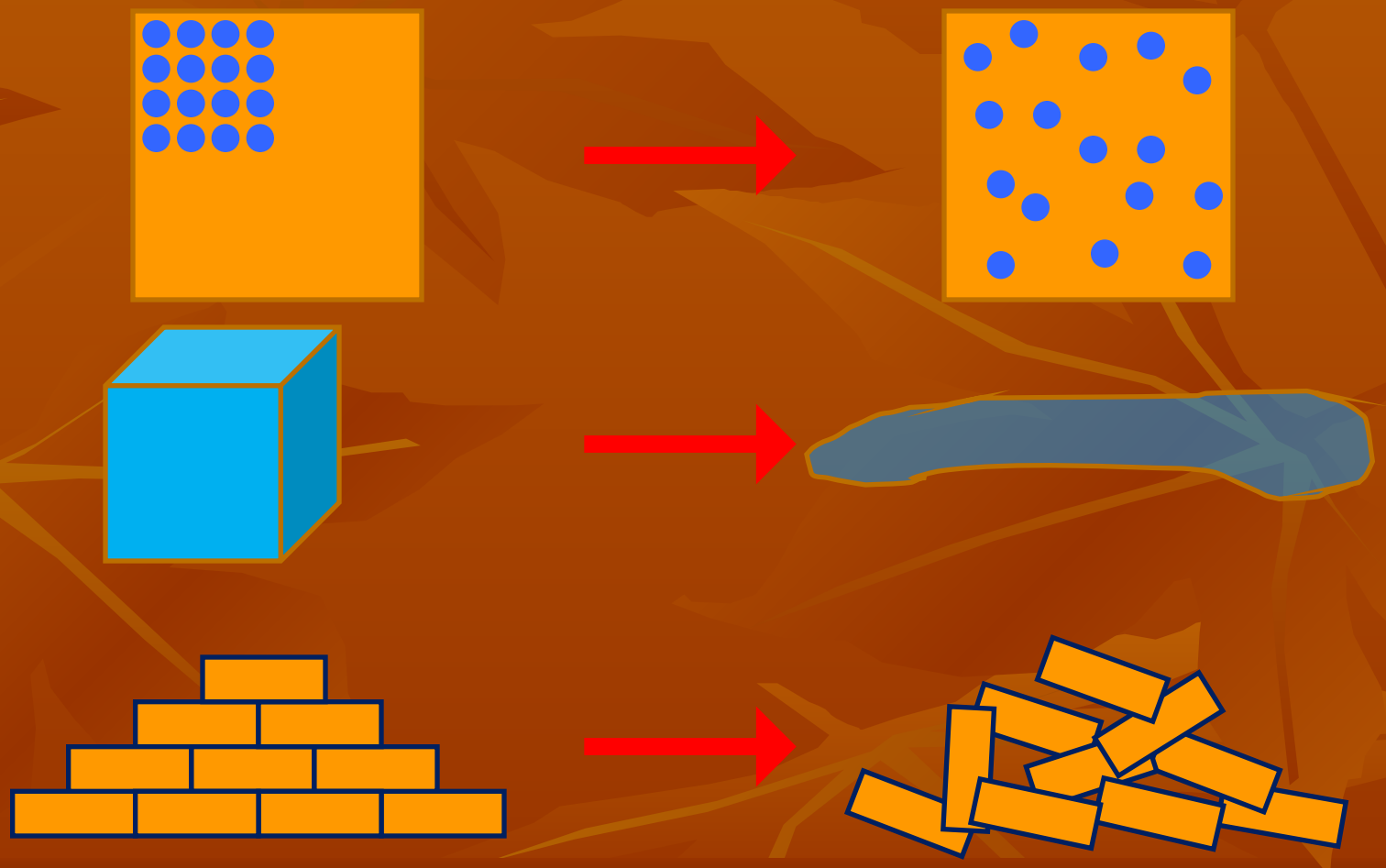
Каждая форма энергии может использоваться только в определенных целях.

2 закон термодинамики

- ***Энтропия изолированной (закрытой) системы не может уменьшаться.***
- **≈самопроизвольно в замкнутой системе протекают только процессы, сопровождающиеся ростом энтропии.**

Энтропия

- Низкоэнтропийное состояние
- Высокоэнтропийное состояние



2 закон термодинамики

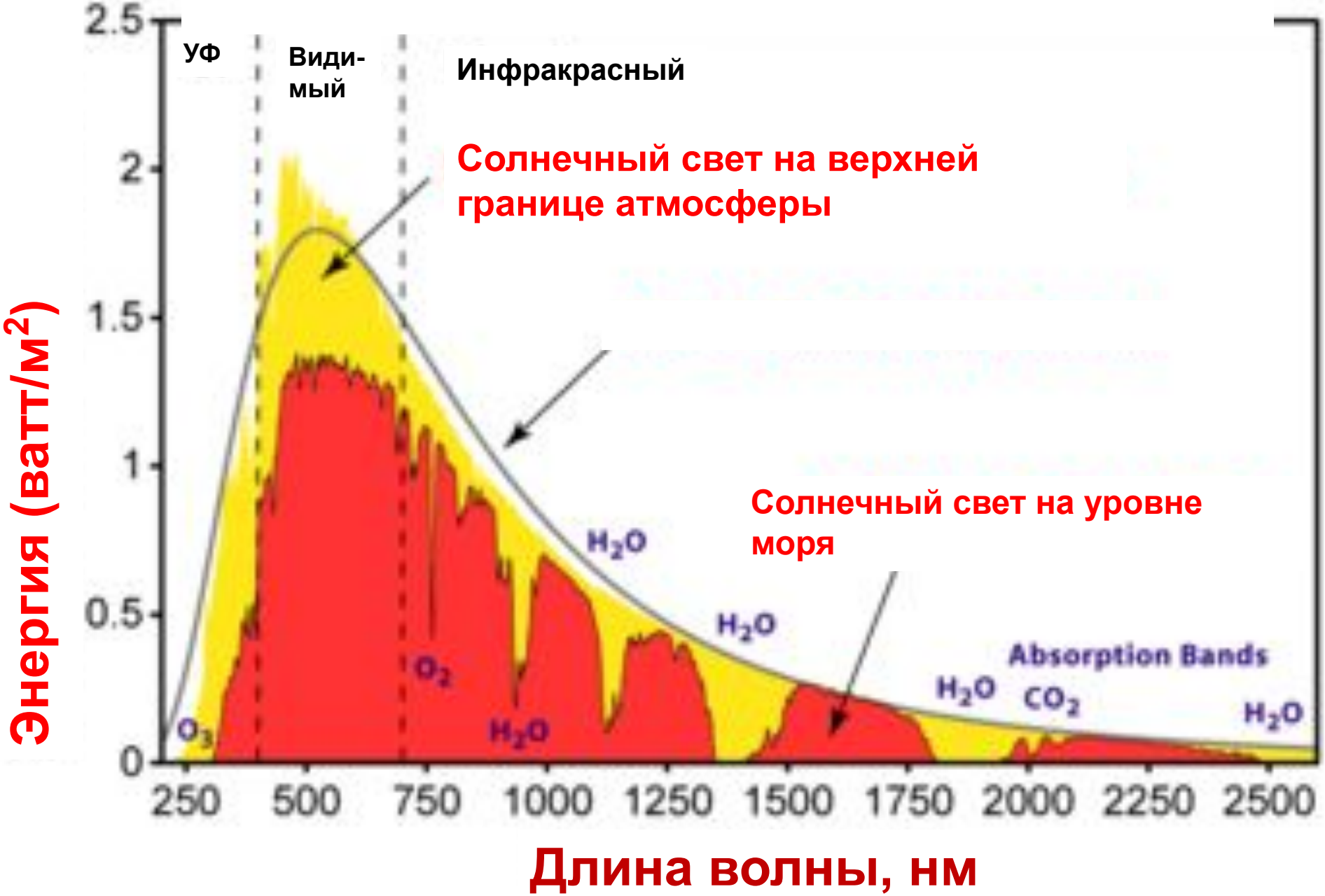
Частично применим к экосистемам

- ***Энтропия изолированной системы не может уменьшаться.***
- ТО ЕСТЬ: самопроизвольно происходят только процессы рассеивания энергии, уменьшения ее «качества».
- НО: экосистемы <u>не являются</u> изолированными системами.

Поток энергии в экосистеме

- Энергия в экосистеме не совершает круговорот, а постепенно трансформируется в тепловую энергию и уходит из экосистемы.
- Поэтому необходимым условием существования экосистемы является постоянный приток энергии извне.

Спектры солнечного излучения



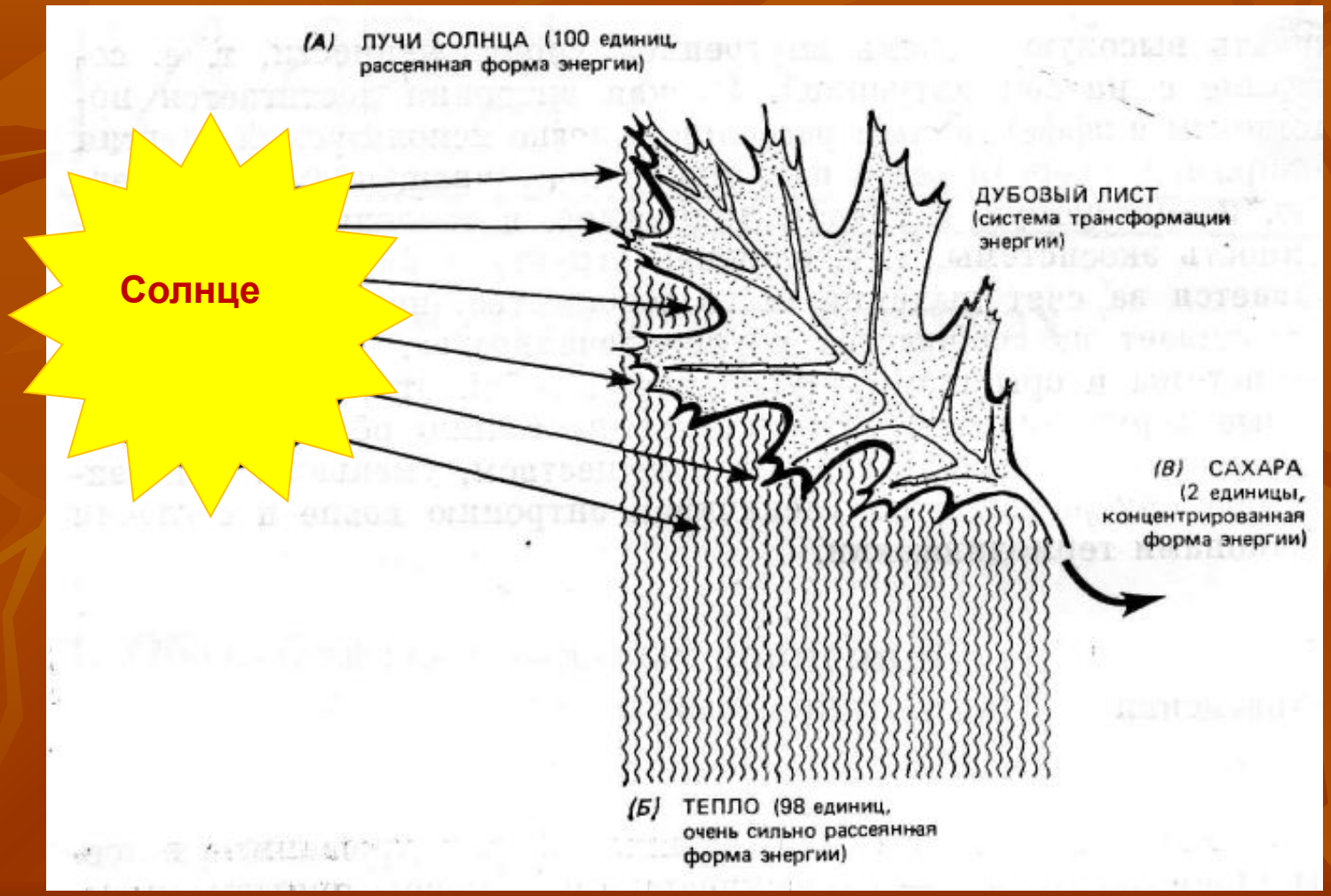
- Как эта энергия распределяется и как она попадает в экосистемы?

Распределение энергии солнечного излучения (в % от годового поступления в биосферу)

	%
Отражается от поверхности Земли и облаков	30
Нагревает атмосферу и поверхность Земли	46
Испарение ⇒ осадки	23
Ветер, волны, течения	0,2
Фотосинтез	0,8

Энергия приливов	около 0.0017% солнечной энергии
Тепло Земли	около 0,5% солнечной энергии

Превращение энергии Солнца в энергию пищи путем фотосинтеза



Фотосинтез

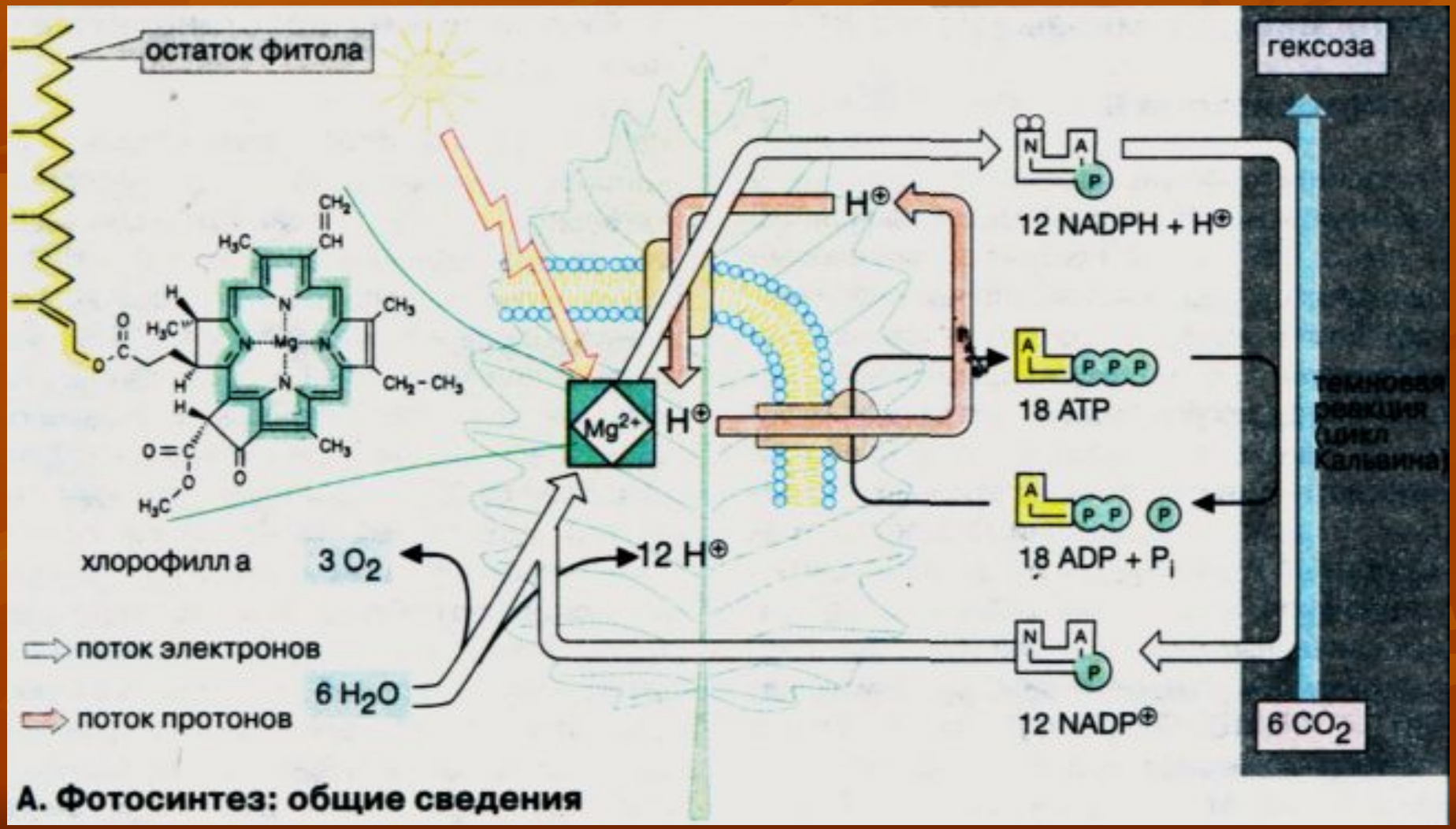
$$CO_2 + H_2O + \text{энергия солнечного света} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2\uparrow$$

- Энергия **концентрируется** и **запасается**
- Процесс нуждается в **энергии света**
- Продукт – молекула **гексозы** (глюкоза, фруктоза), которая затем используется
  - для **синтеза тканей** организма
  - и как **источник энергии**.
- Образующийся **кислород** является побочным продуктом

Фотосинтез

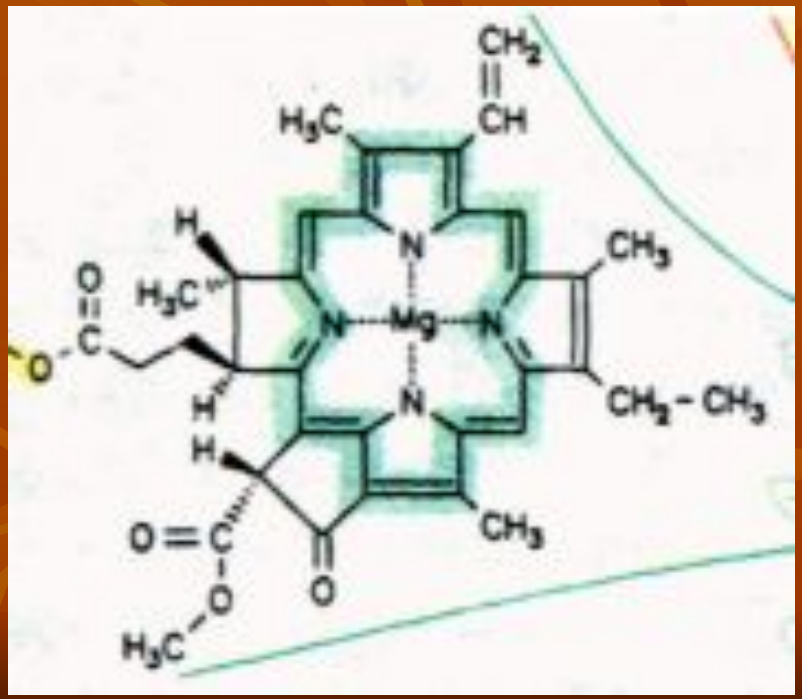
- Энергия света в процессе фотосинтеза используется для синтеза органических соединений из углекислого газа (CO_2) и воды.
- Фотосинтез осуществляется фотоавтотрофными организмами – растениями, водорослями, определенными бактериями.
- Жизненно необходимый для высших организмов атмосферный кислород также поступает в атмосферу преимущественно благодаря фотосинтезу.

Схема фотосинтеза



Хлорофилл

- Использование энергии фотона для химической рекации – сложный процесс, в котором участвует **хлорофилл** – зеленый пигмент, содержащий ионы Mg^{+}



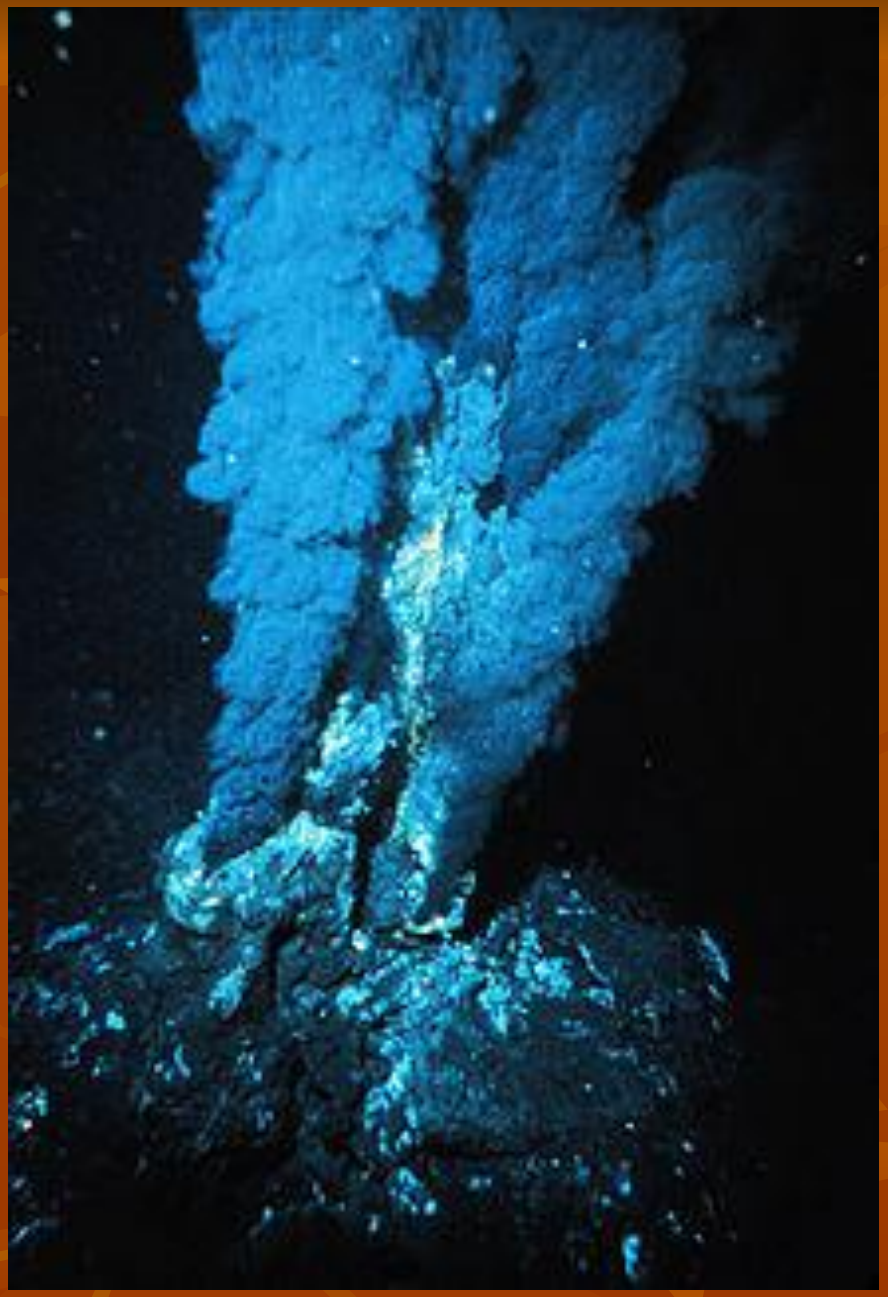
Автотрофы

- **Автотрофы** («самопитающие») – организмы, образующие органическое вещество своего тела из неорганических веществ – диоксида углерода и воды – посредством процессов **фотосинтеза** и **хемосинтеза**.
- **Фотосинтез** осуществляют фотоавтотрофы – все зеленые растения, водоросли и фотосинтезирующие микроорганизмы.

Автотрофы

- **Хемосинтез** наблюдается у некоторых хемоавтотрофных бактерий, которые используют в качестве источника энергии окисление водорода, серы, сероводорода, аммиака, железа.
  - Хемоавтотрофы в природных экосистемах играют относительно небольшую роль (за исключением **нитрифицирующих** бактерий).
- Автотрофы составляют основную массу всех живых существ и **полностью** отвечают за образование всего нового органического вещества в любой экосистеме.

«Черные курильщики»



Гетеротрофы

- **Гетеротрофы** («питающиеся другими») – организмы, потребляющие готовое органическое вещество других организмов и продуктов их жизнедеятельности.

Разложение в биосфере – осуществляют ВСЕ организмы

1. Аэробное дыхание

$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ H_2O + 6\ CO_2$ + энергия для функционирования организма

2. Анаэробное дыхание – без кислорода

3. Брожение – без кислорода

Трофические цепи

- Перенос энергии пищи от ее источника – автотрофов через ряд организмов, происходящий путем поедания одних организмов другими, называется **трофической (пищевой) цепью**

Трофический уровень

- Организмы в экосистемах, получающие свою энергию от Солнца через одинаковое число ступеней, принадлежат к одному **трофическому уровню**:
  - зеленые растения занимают 1-ый трофический уровень (уровень **продуцентов**),
  - травоядные – 2-ой (уровень первичных **консументов**),
  - первичные хищники, поедающие травоядных – 3-ий (уровень вторичных **консументов**),
  - вторичные хищники – 4-ый (уровень третичных **консументов**).

Консументы III порядка «вторичные хищники»
Консументы II порядка «хищники»
Консументы I порядка «травоядные»
Продуценты

Свойства трофических цепей

- Большая часть энергии (80-90%), полученной организмами трофического уровня, используется и теряется, переходя в тепло.
  - **Правило 1%** : Среднемаксимальная эффективность фотосинтеза составляет 1%
  - **Правило 10%** (правило Линдемана): Средний переход энергии с одного трофического уровня экологической пирамиды на другой составляет 10% (7-17%)

Свойства

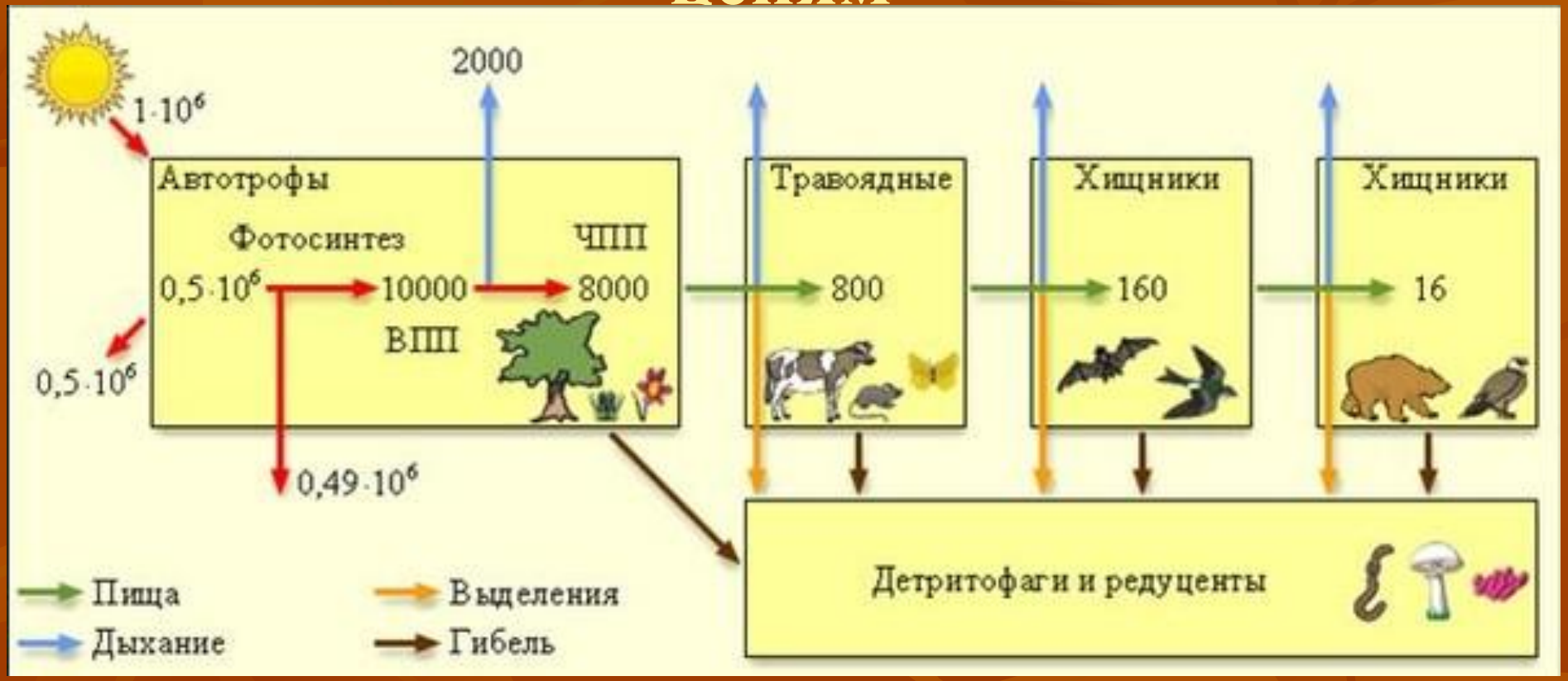
- Чем короче пищевая цепь (чем ближе организм к ее началу), тем больше количество энергии, доступной для популяции.
- Какие виды животных будут вымирать в первую очередь – травоядные или хищники?

Два основных типа пищевых цепей:

- **Пастбищная цепь** начинается с зеленого растения и идет далее к пасущимся растительноядным животным и к хищникам
  - *Цепи хищников*
  - *Цепи паразитов*
- **Детритная цепь** от мертвого органического вещества идет к микроорганизмам, а затем к детритофагам и к их хищникам.

Пастбищная и детритная цепи

Поток энергии в экосистеме по пастбищной и детритной пищевым цепям



Свойства

- Пищевые цепи не изолированы одна от другой, а тесно переплетаются друг с другом, образуя так называемые **пищевые сети**.

Пищевая сеть

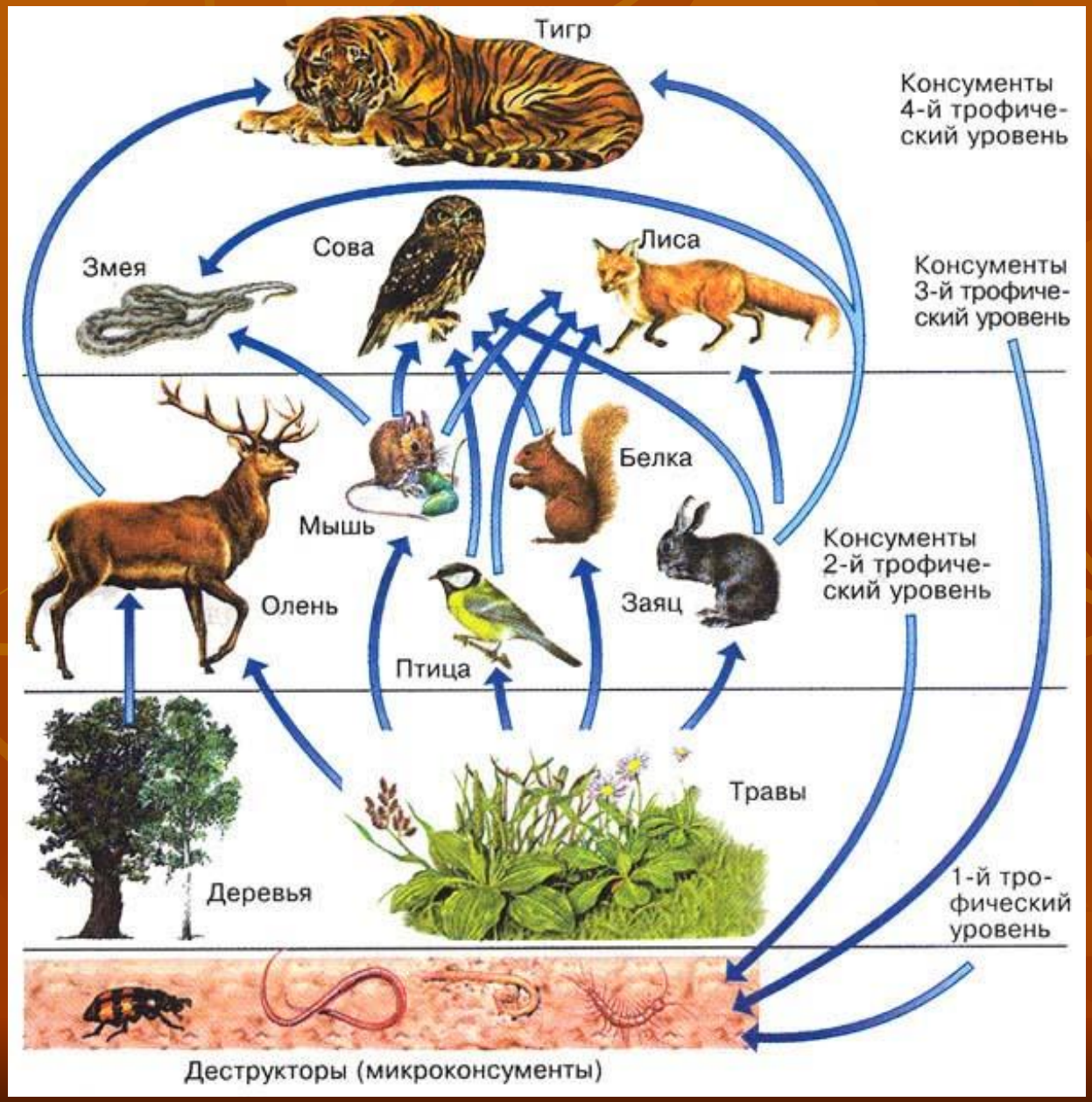
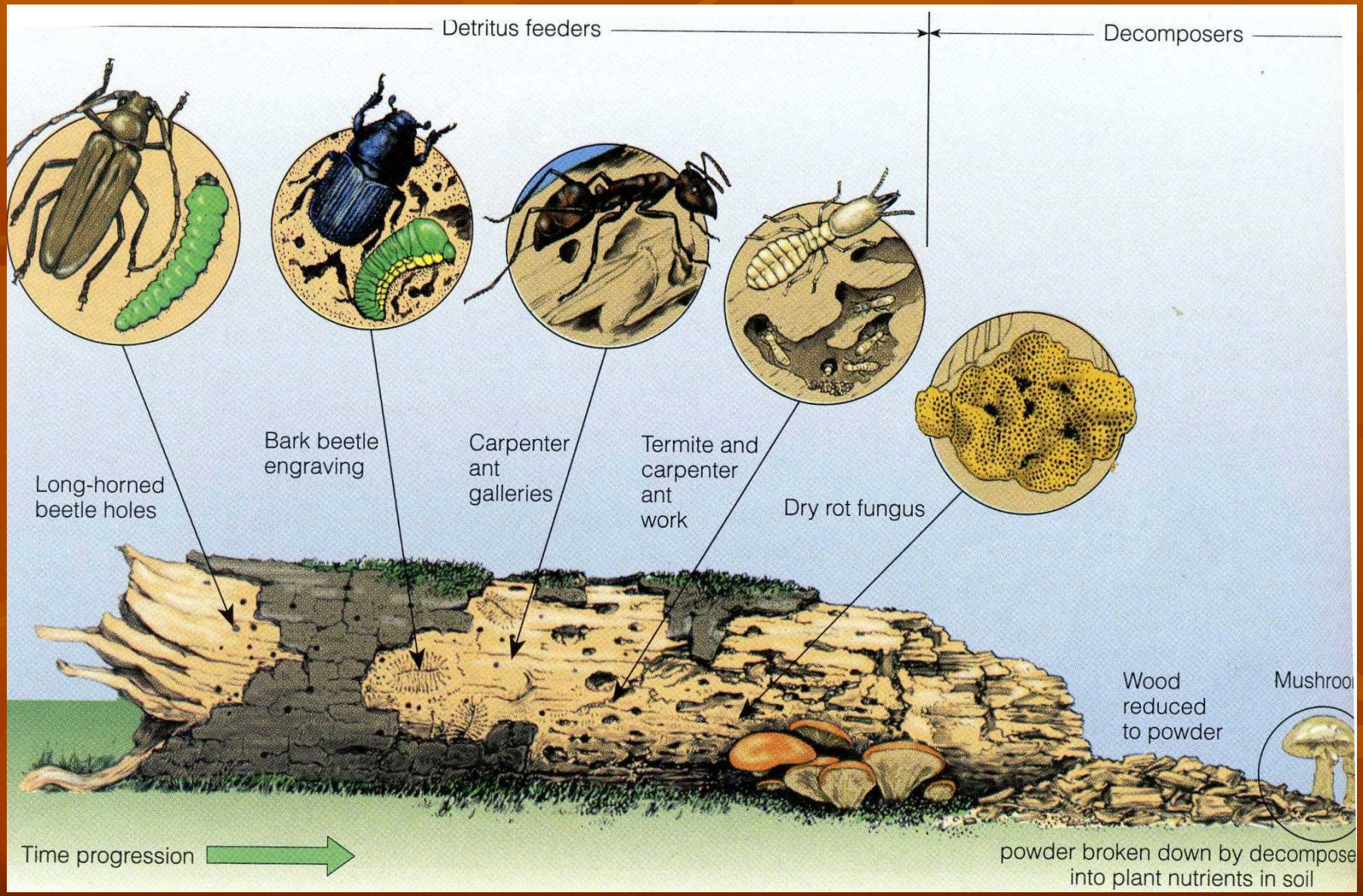


Схема пищевой сети Северного моря

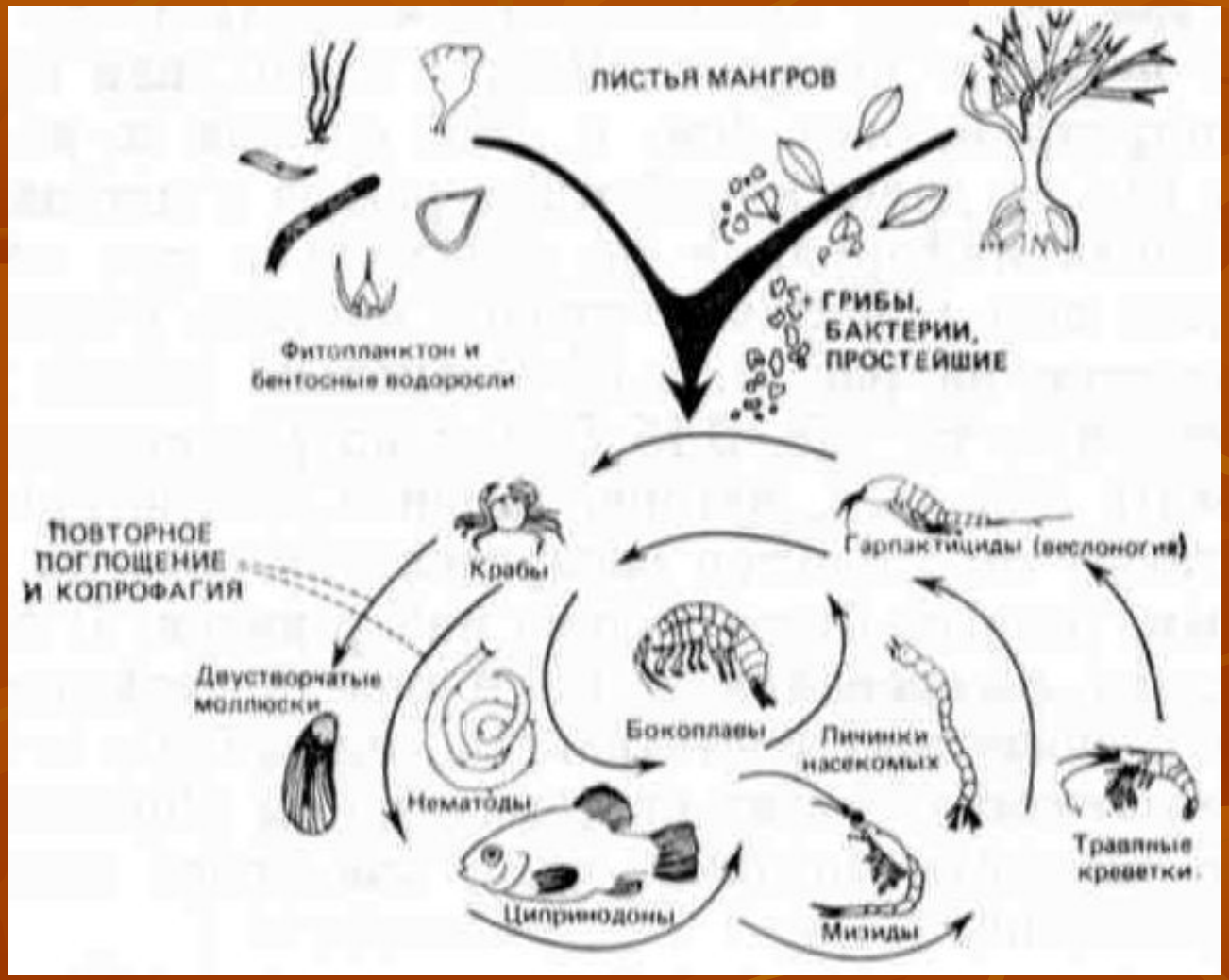
Количества энергии, переносимой по пастбищной и детритной пищевым цепям, ккал/м^2

Разложение в экосистеме

- **Редуценты** (деструкторы, сапротрофы) – организмы, в основном бактерии и грибы, в ходе всей жизнедеятельности превращающие органические остатки в неорганические вещества.


Detritus feeders
Decomposers
Long-horned beetle holes
Bark beetle engraving
Carpenter ant galleries
Termite and carpenter ant work
Dry rot fungus
Wood reduced to powder
Mushroo
Time progression
powder broken down by decompose
into plant nutrients in soil

Детритная пищевая цепь

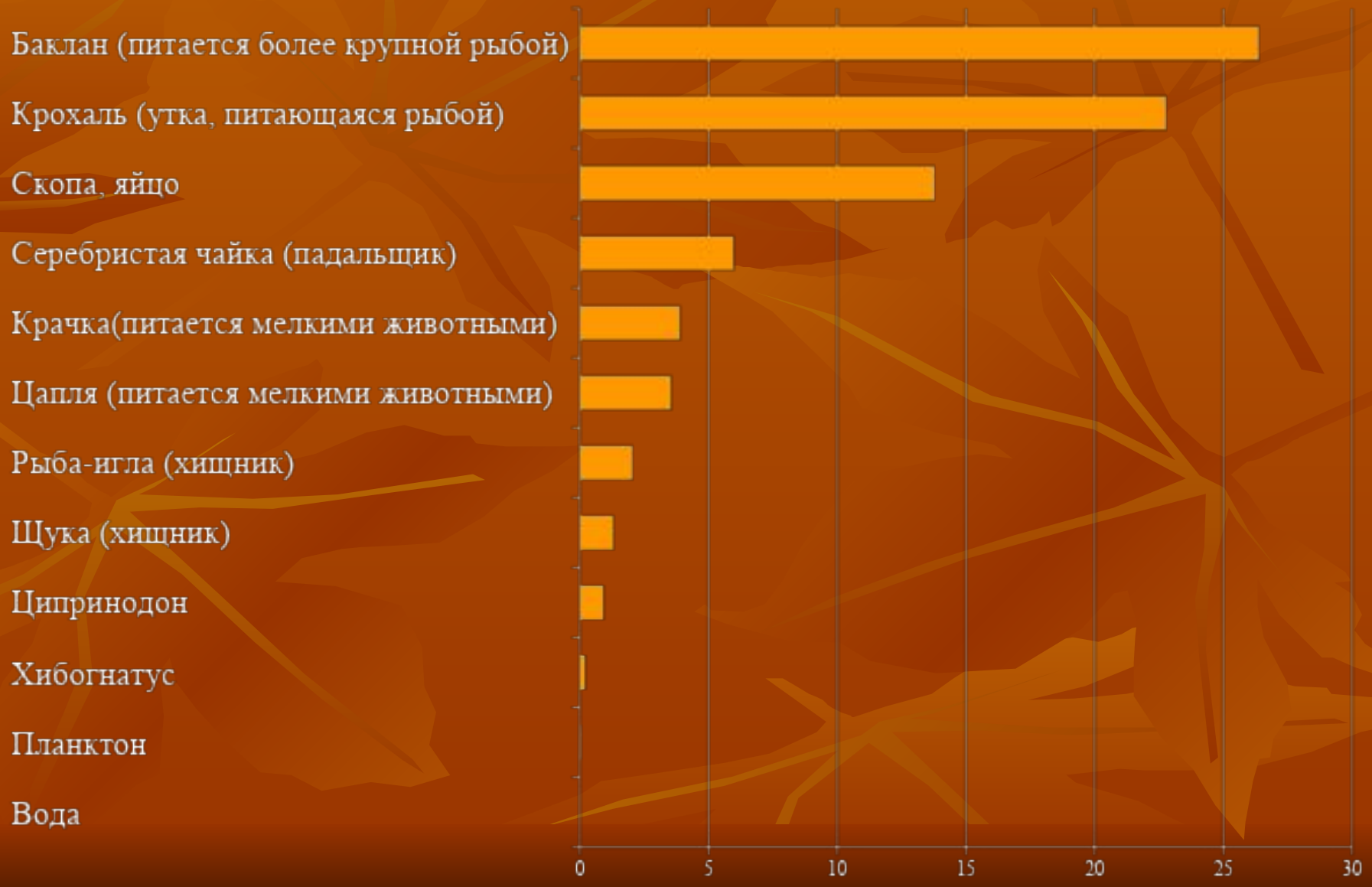


Детритная пищевая цепь, основанная па листьях мангровых деревьев, падающих в мелководный эстуарий на юге Флориды.

Биоаккумуляция

- **Биоаккумуляция** – накопление организмом химических веществ из окружающей среды и из пищи в концентрации большей, чем изначальная.
- Наилучшие условия для биоаккумуляции предоставляет водная среда. Организмы-фильтраторы пропускают через себя огромное количество воды, экстрагируя при этом токсиканты.
  - Растворенные вещества – фитопланктон – рачки – рыбы – хищные птицы – теплокровные животные
  - Концентрация в хищных птицах и морских млекопитающих может быть в тысячи раз выше, чем в воде.

Накопление ДДТ в пищевой цепи, млн$^{-1}$



Продуктивность

- **Первичная продуктивность** – скорость, с которой лучистая энергия усваивается организмами-продуцентами (гл. обр. зелеными растениями) в процессе фотосинтеза, накапливаясь в форме органических веществ.
- Продуктивность измеряется в
  - Ккал/га*год
  - Дж/м^2*год

Последовательные уровни продуктивности:

- 1. **Валовая первичная продуктивность** (ассимиляция) – общая скорость фотосинтеза, включая те органические вещества, которые за время измерений были израсходованы на дыхание.
- 2. **Чистая первичная продуктивность** – скорость накопления органического вещества в растительных тканях за вычетом того органического вещества, которое использовалось при дыхании растений за изучаемый период.
- чтобы оценить валовую продукцию, данные по дыханию складывают с данными, полученными при измерении «наблюдаемого» фотосинтеза.

Последовательные уровни продуктивности:

- 3. **Вторичная продуктивность –** скорость накопления энергии на уровнях консументов. Вторичную продуктивность не делят на «валовую» и «чистую».
- 4. **Чистая продуктивность сообщества** – скорость накопления органического вещества, не потребленного гетеротрофами (т. е. чистая первичная продукция минус потребление гетеротрофами) за учетный период (вегетационный период или год).

Поток энергии	Используемая доля валовой продукции	Остающаяся доля валовой продукции,%
1. Дыхание растения	25	
Чистая первичная продукция		75
2. Симбиотический микроорганизм (азотфиксирующие бактерии и микоризные грибы)	5	
Чистая первичная продукция с учетом расходов на нужды полезных симбионтов		70
3. Корневые нематоды, растительноядные насекомые и патогены («вредители»)	5 (!)	
Чистая продукция сообщества с учетом минимального потребления вредителями		65
4. Бобы, собираемые человеком (экспорт из экосистемы)	32	
Стебли, листья и корни, оставляемые в поле		33
5. Органическое вещество, разложенное в почве и подстилке	33	
Годовой прирост		0

Трофические пирамиды

Совокупности трофических уровней различных экосистем моделируются с помощью *трофических пирамид*

- *Пирамиды чисел*
- *Пирамиды биомасс*
- *Пирамиды энергий*

Пирамида чисел

– отображение числа особей на каждом из трофических уровней данной экосистемы

- Для пастбищных цепей в травяных сообществах имеют широкое основание и резкое сужение к конечным консументам.
- «Ширина ступеней» различается не менее, чем на 1-3 порядка.
- В лесных сообществах имеют узкое основание и расширение к консументам: на одном дереве могут кормиться тысячи фитофагов
- На одном трофическом уровне могут оказаться такие разные фитофаги, как тля или слон

P – продуценты,

C_1 – первичные консументы,

C_2 – вторичные консументы,

C_3 – третичные консументы (верховные хищники),

S – сапротрофы (бактерии и грибы),

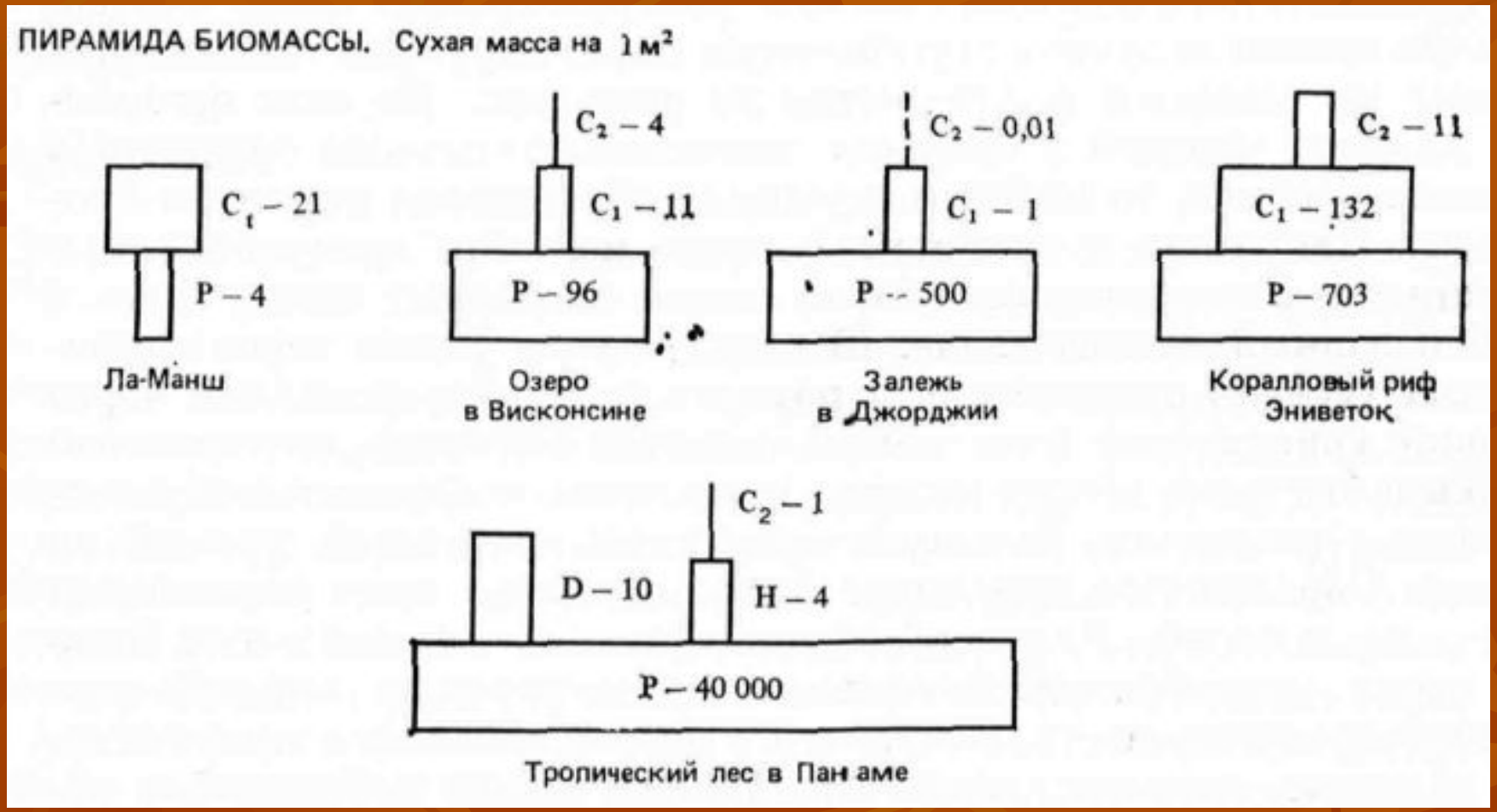
R – редуценты (бактерии, грибы и детритофаги)

Пирамиды биомасс

– отображение биомассы/калорийности на каждом из трофических уровней данной экосистемы

- В наземных экосистемах биомасса растений всегда существенно больше биомассы животных.
- В наземных экосистемах биомасса фитофагов всегда больше биомассы зоофагов.
- В водных, особенно морских экосистемах, биомасса животных обычно намного больше биомассы растений, так как пирамиды биомасс не учитывают продолжительность существования поколений особей на разных трофических уровнях и скорость образования и выедания биомассы. Главный продуцент морских экосистем – фитопланктон, имеющий большой репродуктивный потенциал и быструю смену поколений. В океане за год может смениться до 50 поколений фитопланктона.

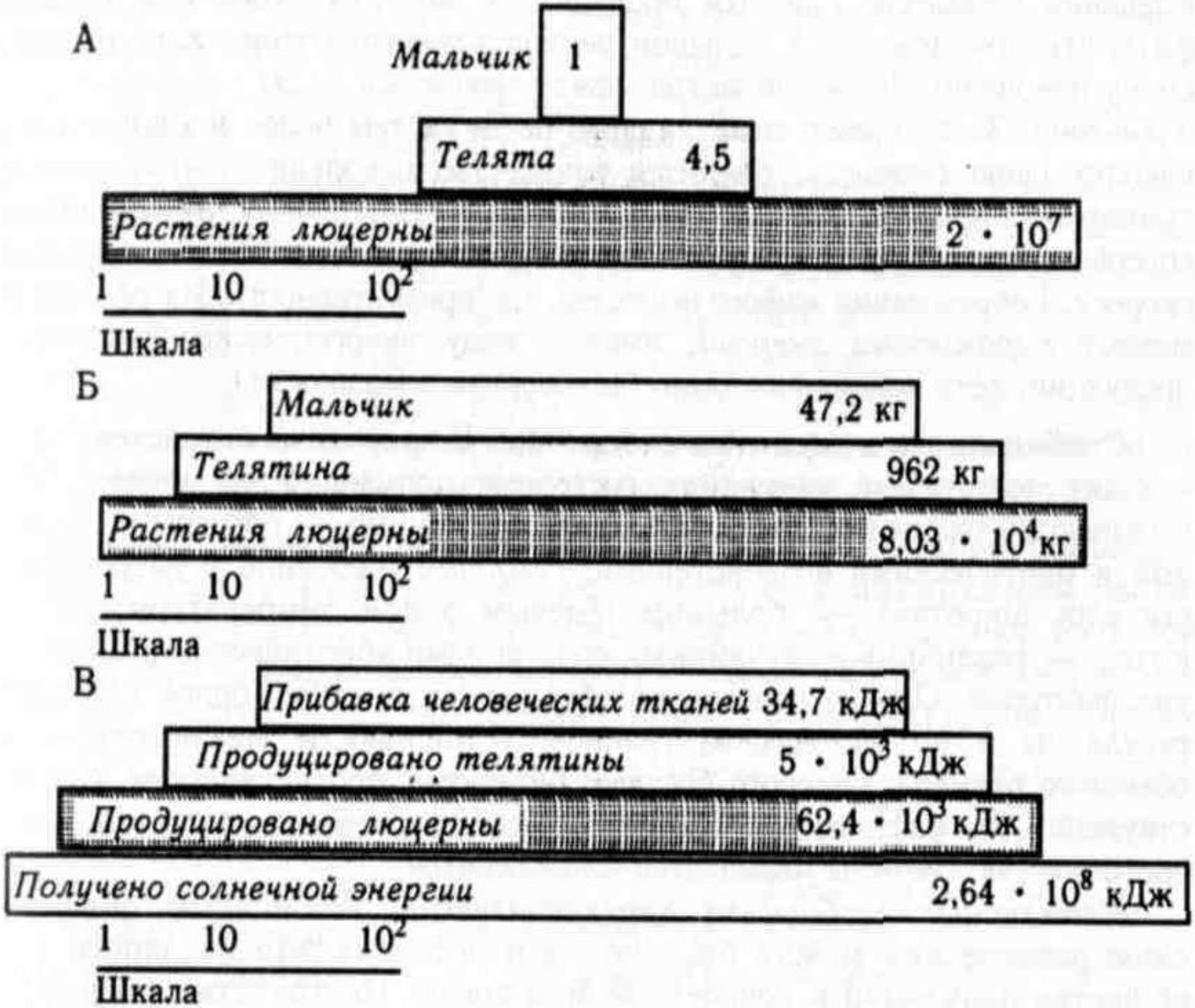
Пирамиды биомасс



Пирамиды энергий

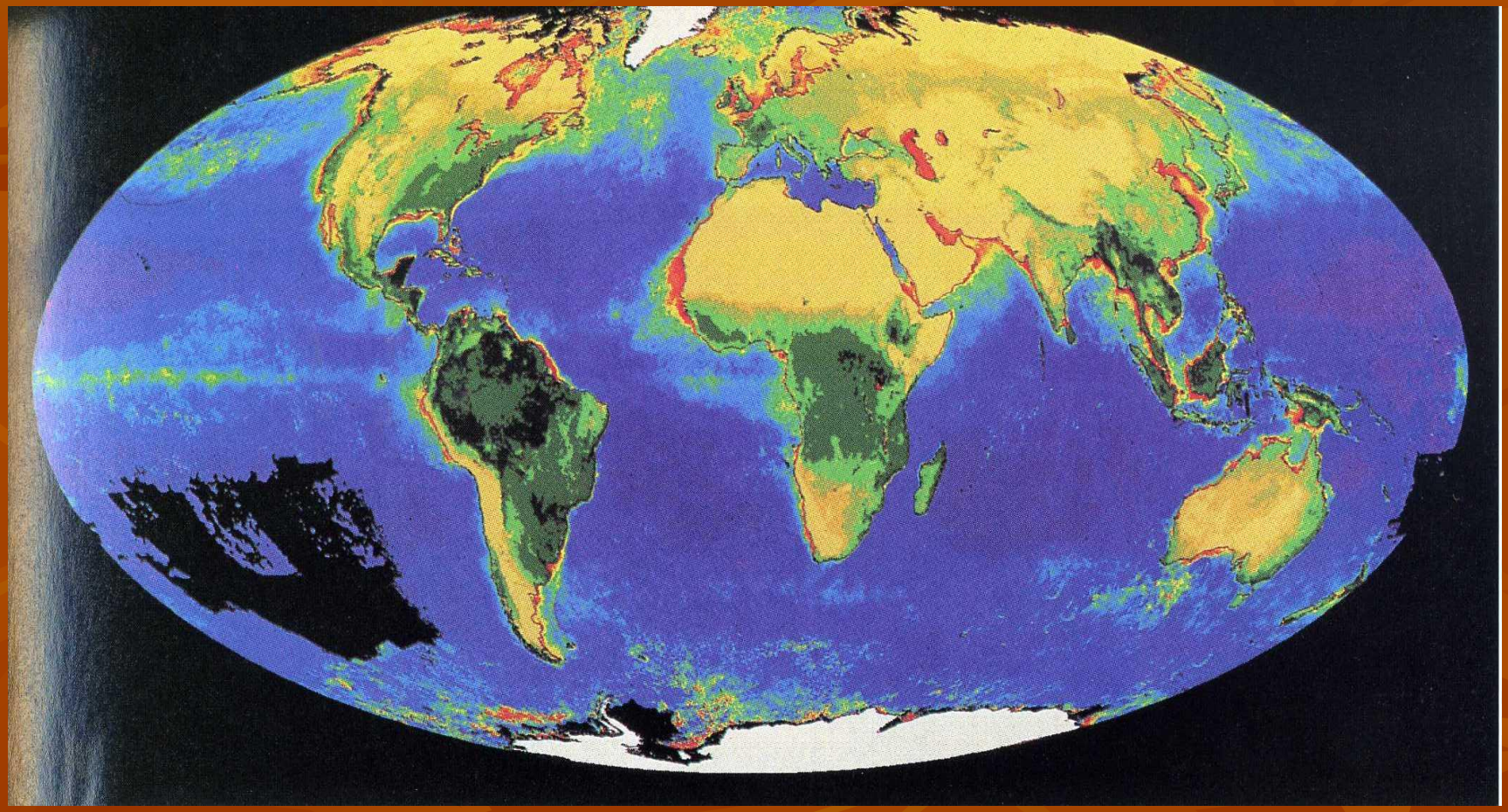
– отображение скоростей образования живого вещества, т.е. продуктивности на каждом из трофических уровней данной экосистемы.

- Являются универсальным способом выражения трофической структуры экосистем пирамиды.


А
Мальчик 1
Телята 4,5
Растения люцерны 2 · 10^7
1 10 10^2
Шкала
Б
Мальчик 47,2 кг
Телятина 962 кг
Растения люцерны 8,03 · 10^4 кг
1 10 10^2
Шкала
В
Прибавка человеческих тканей 34,7 кДж
Продуцировано телятины 5 · 10^3 кДж
Продуцировано люцерны 62,4 · 10^3 кДж
Получено солнечной энергии 2,64 · 10^8 кДж
1 10 10^2
Шкала

- Какова продуктивность основных экосистем Земли?

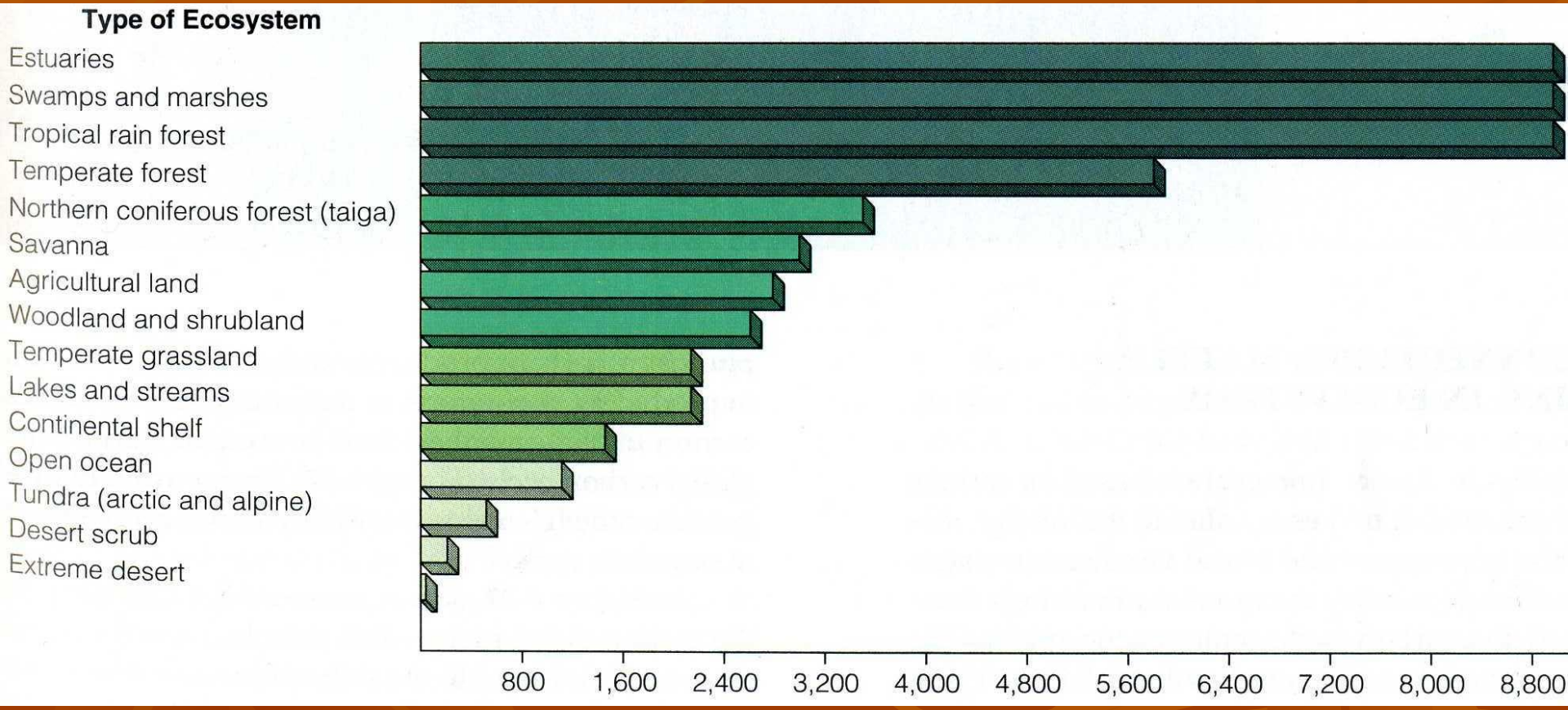
Biosphere productivity



Площади, биомасса и продуктивность основных биомов Земли

Основные биомы, категория земель	Площадь, млн км^2	Биомасса (сухое вещество)		Годовая продукция	
		т/га	млрд т.	т/га	млрд т.
Тундры и лесотундры	4,2	9	4	5	2,1
Таежные и горные хвойные леса	12,8	227	290	9	11,5
Лиственно-хвойные бореальные леса	6,2	280	174	14	8,6
Широколиственные листопадные леса	7,6	325	248	15	11,4
Субтропические леса	5,3	482	255	21	11,3
Влажные тропические леса	10,3	960	990	36	37,1
Саванна, чапаррель	6,2	100	62	15	9,2
Степи, прерии	2,8	26	7	13	3,6
Пустыни	22,7	7	16	2	4,2
Пашня, обрабатываемые земли	15,1	26	39	12	21,1
Освоенные и окультуренные пастбища	26,3	16	42	7	18,3
Воды суши	2,4	5	1	2	0,5
Сооружения, дороги, горные выработки	9,8				
Полярные и горные льды	17,2				
Итого для всей суши	148,9		2128		139
Океан	361,1		7		80
Всего	510,0		2135		219

Main biomes productivity



- Экологический отпечаток (Human footprint)
- National Geographic (50 min)