

# **ЛЕКЦИЯ №8**

**ТЕМА: ЭКОЛОГИЯ СООБЩЕСТВ  
(СИНЭКОЛОГИЯ)**

# ПЛАН:

- 1. Понятие о биоценозе
- 2. Структурная организация биоценозов
  - 2.1. Видовая структура биоценозов
  - 2.2. Пространственная структура биоценозов
  - 2.3. Трофическая структура биоценозов
    - 2.3.1. Пищевые цепи и сети. Классификация живых организмов по способу питания и механизму превращения энергии
    - 2.3.2. Экологические пирамиды
    - 2.3.3. Закономерности трофического оборота в биоценозе

## 1. Понятие о биоценозе

- В природе популяции разных видов объединяются в системы более высокого ранга-сообщества. Наименьшей единицей, к которой может быть применен термин “сообщество”, является биоценоз. Термин **“биоценоз”** предложен немецкий зоологом К. Мебиусом 1877 г.

- Любой биоценоз занимает определенный участок абиотической среды. Биотоп — пространство с более или менее однородными условиями, заселенное тем или иным сообществом организмов.

- **Биоценоз** – это совокупность всех популяций биологических видов, принимающих существенное (постоянное или периодическое) участие в функционировании данной экосистемы. Следовательно, в биоценоз включается не только виды растений, животных и микроорганизмов, постоянно обитающих в рассматриваемой экосистеме, но и виды, проводящие в ней только часть своего животного цикла, но оказывающие существенное воздействие на жизнь экосистемы. Например, многие насекомые размножаются в водоемах, где служат важным источником питания рыб и др. животных, а во взрослом состоянии ведут наземный образ жизни, т.е. выступают как элементы сухопутных биоценозов.

- Масштаб биоценозов различный – от сообщества (т.е. населения) нор, муравейников, до населения целых ландшафтов: лесов, степей, пустынь и т.п.

- Экология сообществ (синэкология)<sup>1</sup> — это также научный подход в экологии, в соответствии с которым прежде всего исследуют комплекс отношений и господствующие взаимосвязи в биоценозе. Синэкология занимается преимущественно биотическими экологическими факторами среды.

- В пределах биоценоза различают фитоценоз — устойчивое сообщество растительных организмов, зооценоз — совокупность взаимосвязанных видов животных и микробиоценоз — сообщество микроорганизмов:
  - **ФИТОЦЕНОЗ + ЗООЦЕНОЗ + МИКРОБИОЦЕНОЗ = БИОЦЕНОЗ.**



- Биоценозы образуют с биотопами систему еще более высокого ранга - систему **биогеоценоза** (предложил В.Н. Сукачев в 1942 г.). По В.Н. Сукачеву, биогеоценоз – “это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, гор, растительности, животных, микроорганизмов, почвы и гидрологических условий), имеющая свою особую специфику взаимодействия этих слагающих компонентов и определенный тип обмена веществ и энергией между собой и другими явлениями природы и представляющая собой внутреннее противоречивое единство, находящееся в постоянном движении, развитии.

**БИОГЕОЦЕНОЗ**  
(экосистема)



## 2. Структурная организация биоценозов

### 2.1. Видовая структура биоценозов

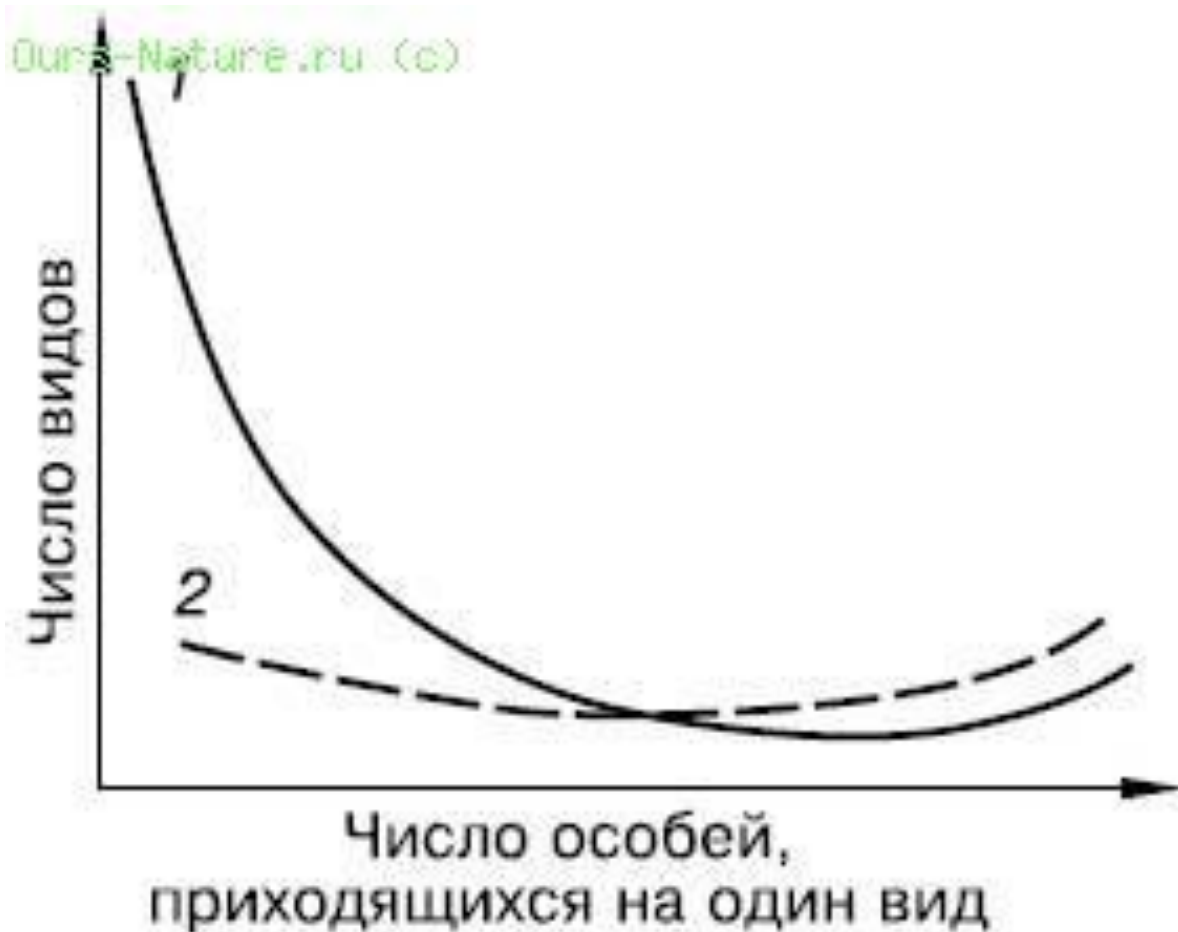
- Видовая структура — это количество видов, образующих биоценоз, и соотношение их численностей. Точные сведения о числе видов, входящих в тот или иной биоценоз, получить чрезвычайно трудно из-за микроорганизмов, практически не поддающихся учету.

- Видовой состав и насыщенность биоценоза зависят от условий среды. На Земле существуют как резко обедненные сообщества полярных пустынь, так и богатейшие сообщества тропических лесов, коралловых рифов и т. п. Самыми богатыми по видовому разнообразию являются биоценозы влажных тропических лесов, в которых одних растений фитоценоза насчитываются сотни видов.

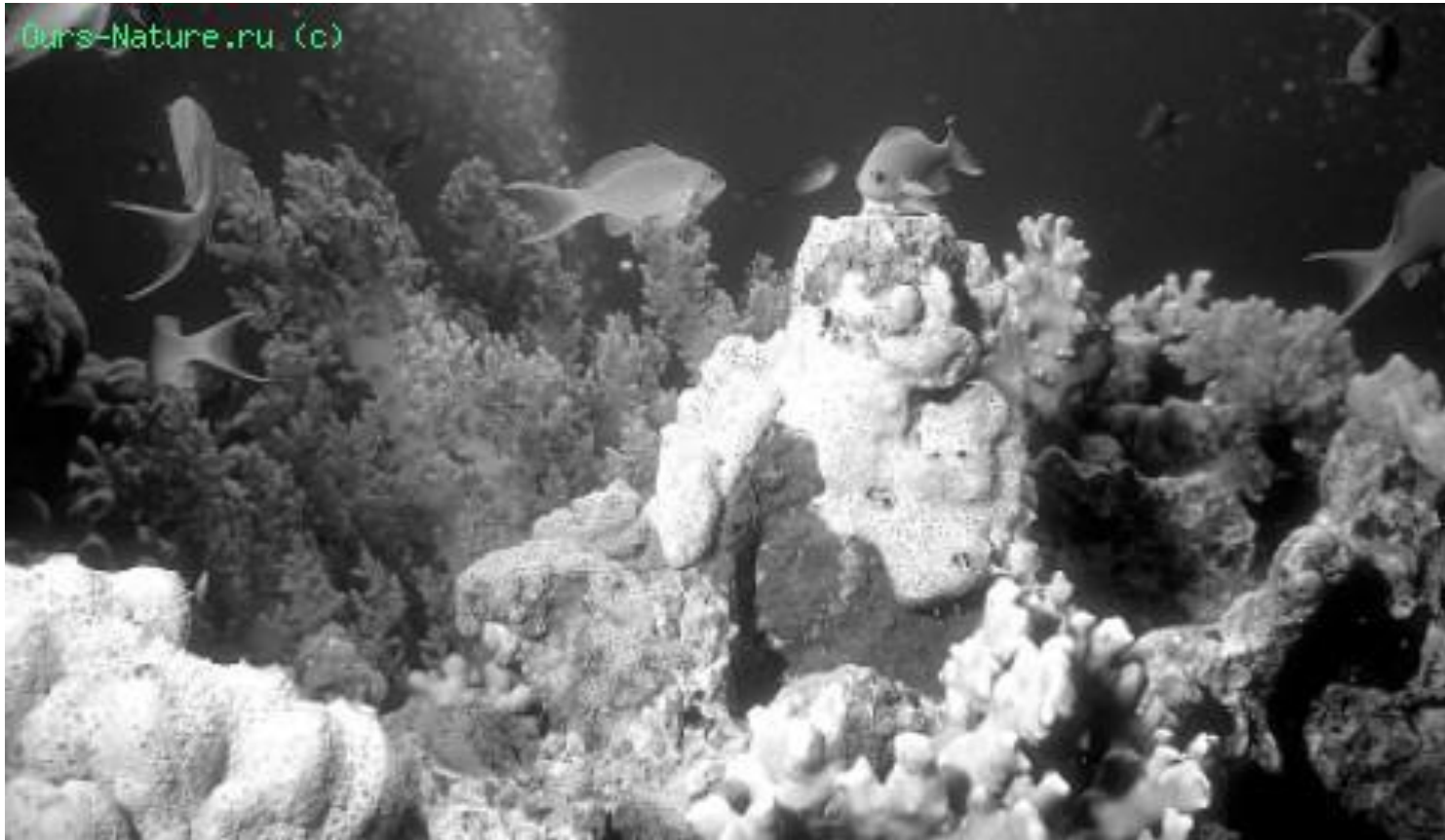
- Виды, преобладающие по численности, массе и развитию, называют доминантными (от лат. *dominantis* — господствующий). Однако среди них выделяют эдификаторы (от лат. *edifi-kator* — строитель) — виды, которые своей жизнедеятельностью в наибольшей степени формируют среду обитания, определяя существование других организмов.

- Доминанты господствуют в сообществе и составляют «видовое ядро» любого биоценоза. Доминантные, или массовые, виды определяют его облик, поддерживают главные связи, в наибольшей мере влияют на местообитание. Обычно типичные наземные биоценозы называют по доминирующим видам растений: сосняк-черничник, березняк волосистоосоковый и т. п. В каждом из них доминируют и определенные виды животных, грибов и микроорганизмов.

Зависимость между числом видов в сообществе и числом особей, приходящихся на один вид (по Ю. Одуму, 1975): 1, 2 – разные типы сообществ



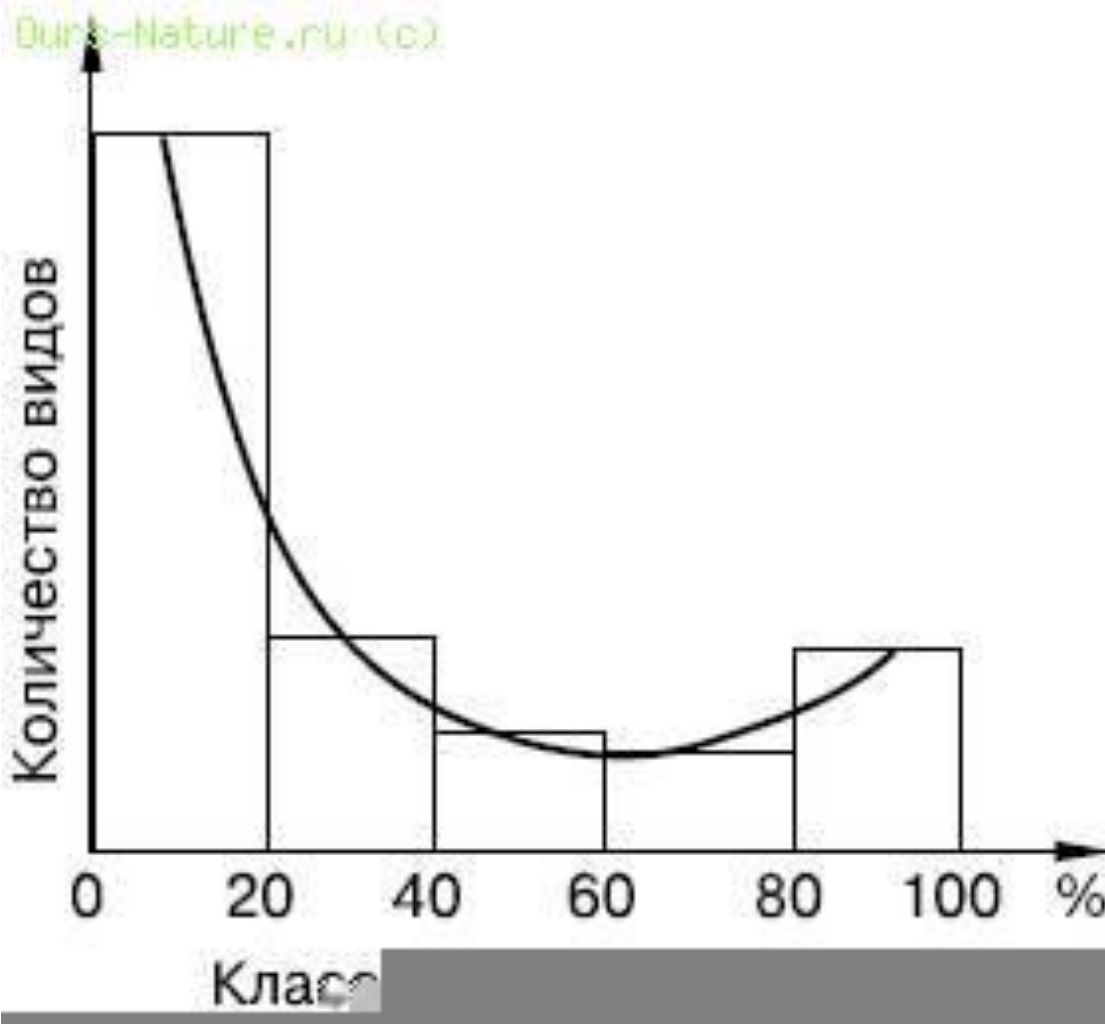
Мадрепоровые кораллы – главные эдификаторы коралловых рифов, определяющих условия жизни для тысяч видов гидробионтов





- Кроме относительно небольшого числа видов-доминантов, в состав биоценоза входит обычно множество малочисленных и даже редких форм. Наиболее часто встречающееся распределение видов по их обилию характеризует кривая Раункиера (рис. 79). Резкий подъем левой части кривой свидетельствует о преобладании в сообществе малочисленных и редких видов, а небольшой подъем правой – о наличии некоторой группы доминантов, «видового ядра» сообщества.

Соотношение количества видов с разной встречаемостью в биоценозах и кривая Раункиера (по П. Грейг-Смиту, 1967)



# Количественные характеристики вида в биоценозе

- Для оценки роли отдельного вида в видовой структуре биоценоза используют разные показатели, основанные на количественном учете.  
**Обилие вида** – это число особей данного вида на единицу площади или объема занимаемого пространства, например число мелких ракообразных в 1 дм<sup>3</sup> воды в водоеме или число птиц, гнездящихся на 1 км<sup>2</sup> степного участка, и т. п. Иногда для расчета обилия вида вместо числа особей используют значение их общей массы. Для растений учитывают также проективное обилие, или покрытие площади.  
**Частота встречаемости** характеризует равномерность или неравномерность распределения вида в биоценозе. Она рассчитывается как процентное отношение числа проб или учетных площадок, где встречается вид, к общему числу таких проб или площадок. Численность и встречаемость вида не связаны прямой зависимостью. Вид может быть многочисленным, но с низкой встречаемостью или малочисленным, но встречающимся довольно часто.  
**Степень доминирования** – показатель, отражающий отношение числа особей данного вида к общему числу всех особей рассматриваемой группировки. Так, например, если из 200 птиц, зарегистрированных на данной территории, 80 составляют зяблики, степень доминирования этого вида среди птичьего населения равна 40 %.

- Для оценки количественного соотношения видов в биоценозах в современной экологической литературе часто используют **индекс разнообразия**, вычисляемый по формуле Шеннона:

- $H = - \sum p_i \log_2 p_i$ ,

- где  $\sum$  – знак суммы,  $p_i$  – доля каждого вида в сообществе (по численности или массе), а  $\log_2 p_i$  – двоичный логарифм  $p_i$ .

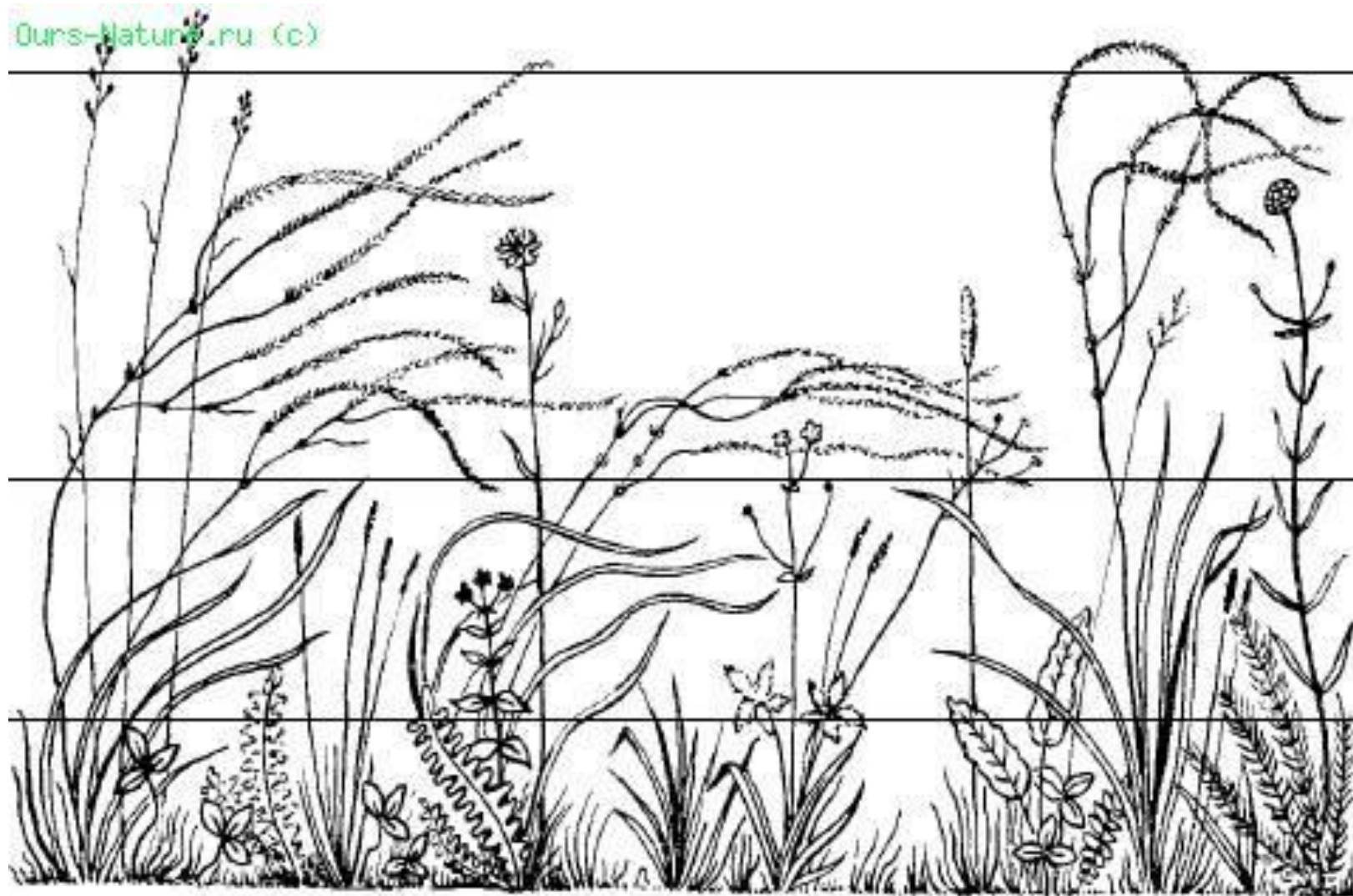
-

## 2.2. Пространственная структура биоценозов

- Популяции различных видов биоценоза, подчиняясь соответствующим природным закономерностям, располагаются в пределах пространственных границ биотопа как по площади, так и по высоте.

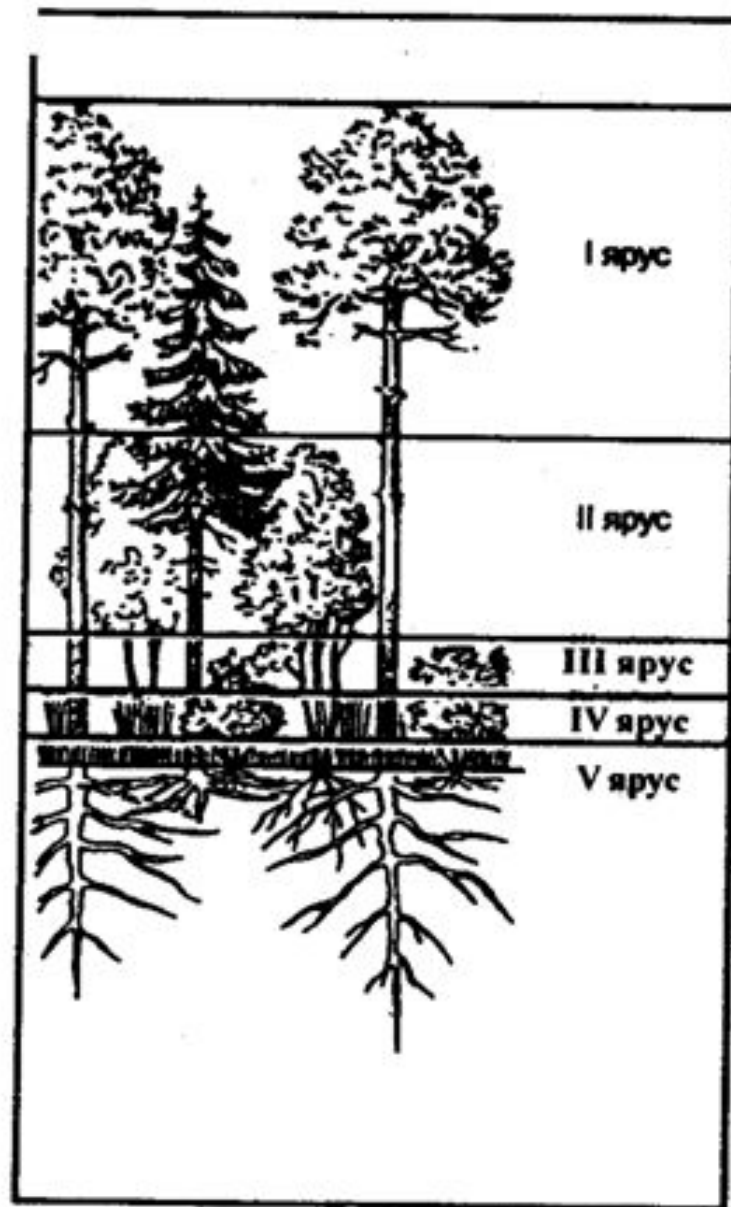
- Пространственная структура наземного биоценоза определяется закономерностью распределения надземных и подземных органов растительности по ярусам (расчленением растительных сообществ по высоте). Ярусное строение растительности (фитоценоза) позволяет максимально использовать лучистую энергию Солнца и зависит от теневыносливости растений. Ярусность хорошо выражена в лесах умеренного пояса. Так, например, в широколиственном лесу выделяются 5—6 ярусов: деревья первой, второй величины, подлесок, кустарник, высокие травы, низкие (приземные) травы. Существуют межъярусные растения — лишайники на стволах и ветках, лианы и др. Ярусность существует и в травянистых сообществах лугов, степей, саванн.

Ours-Nature.ru (c)



- Ярусное строение подземных органов определяется разной глубиной проникновения корневых систем. В каждом ярусе растительности преимущественно обитают свои животные из состава биоценоза. Также существует разделение птиц на экологические группы по месту их питания (воздух, листва, ствол, земля).





- В биоценозе вертикальное распределение организмов обуславливает и определенную структуру в горизонтальном направлении. Расчлененность в горизонтальном направлении получила название мозаичности и свойственна практически всем фитоценозам

- Пространственная структура биоценозов по горизонтали проявляется в их мозаичности и реализуется в виде неравномерного распределения популяций по площади из-за неоднородности почвенногрунтовых условий, микроклимата, рельефа и т. п. Основой горизонтальной структуры могут служить особи одного вида, обладающего средообразующими свойствами, например, сосна со всеми связанными с ней микроорганизмами, грибами, лишайниками, насекомыми, птицами и т. д.

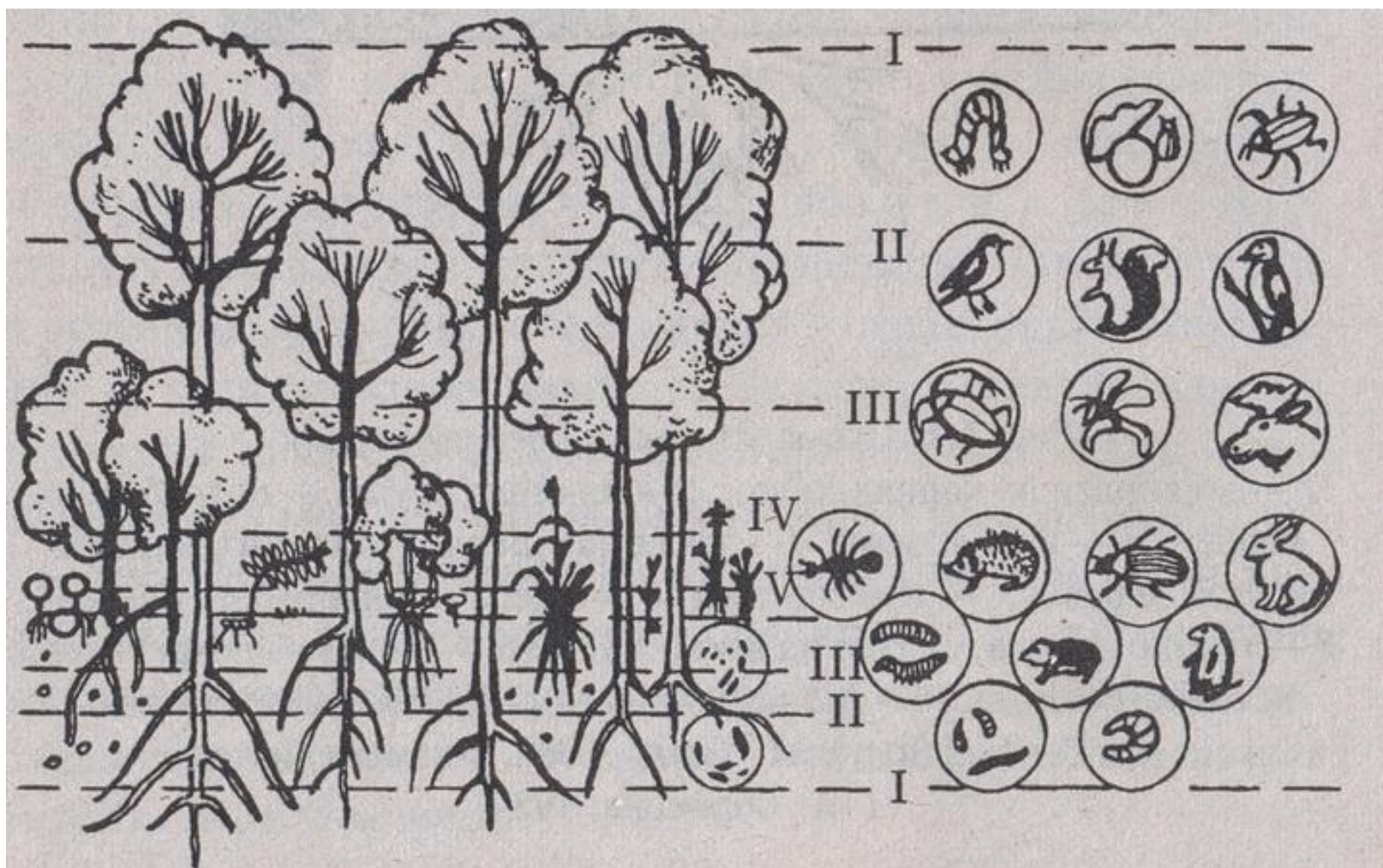


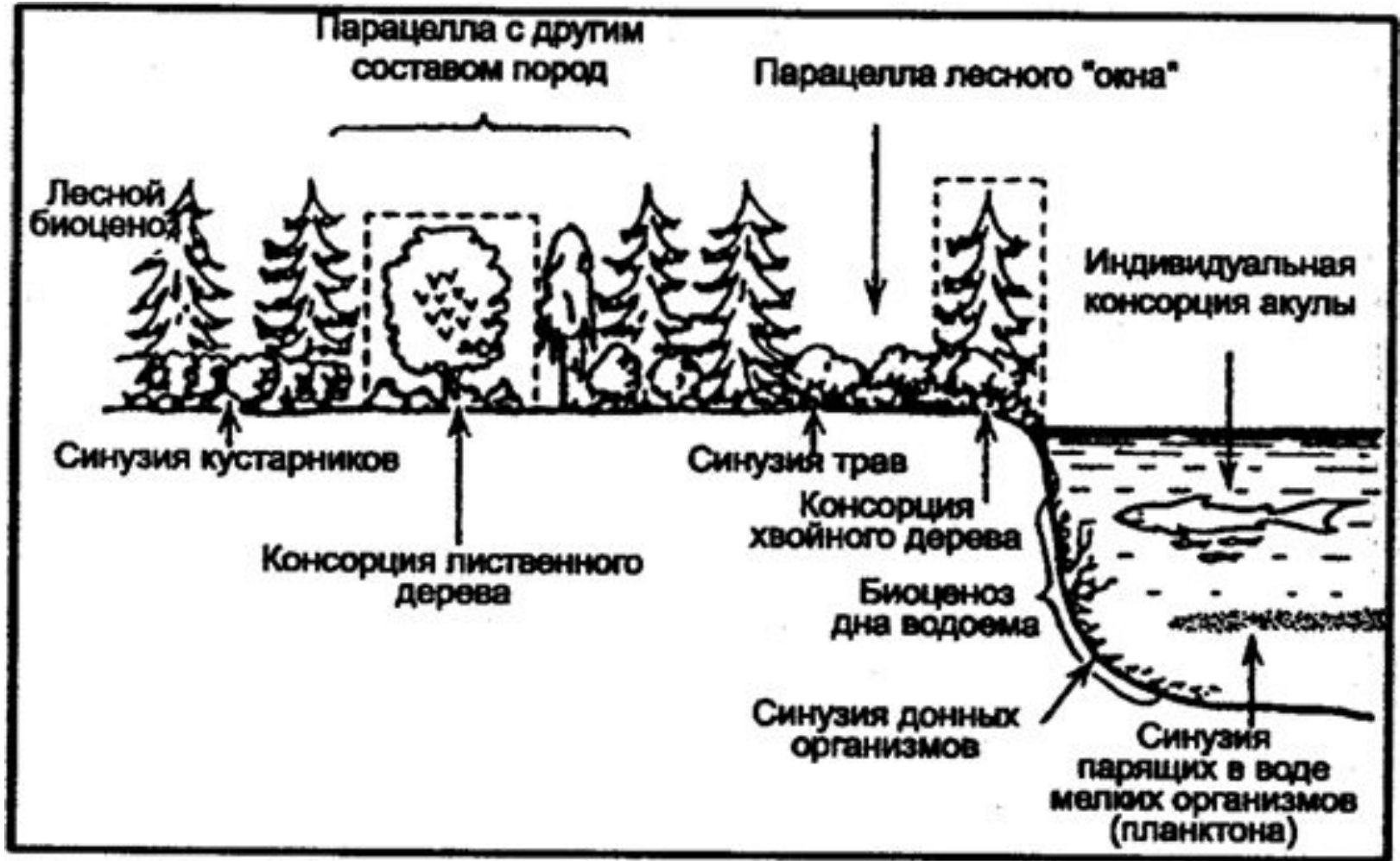
Рис. 4.2. Яруса лесного биогеноза (по И. Н. Пономаревой, 1978)



- В геоботанике структурная часть фитоценоза получила название синузии.
- Она характеризуется определенным видовым составом и эколого-биологическим единством входящих в нее видов. Например, синузия сосны, синузия брусники, синузия зеленых мхов и другие синузии лесной зоны. В полынно-солянковой пустыне выделяют синузии летне-осенних кустарников (полыни, солянки), ранне-весенних эфемеров и эфемероидов.

- Неравномерность древесного полога в лесу сильно отражается на нижележащих ярусах, на их животном населении, почве, лесной подстилке, микробном составе, климате. В этом случае синузии называют парацеллами. Парацеллы — это структурные части горизонтального расчленения биоценоза, отличающиеся составом, структурой, свойствами компонентов, спецификой их связей и материально-энергетического обмена. В отличие от синузии и яруса по геоботаническим понятиям парацелла является комплексной единицей, так как на правах участников обмена веществ и энергии в нее входят растения, животные, микроорганизмы, почва, атмосфера.

# Консорция, синузия и парацелла (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)



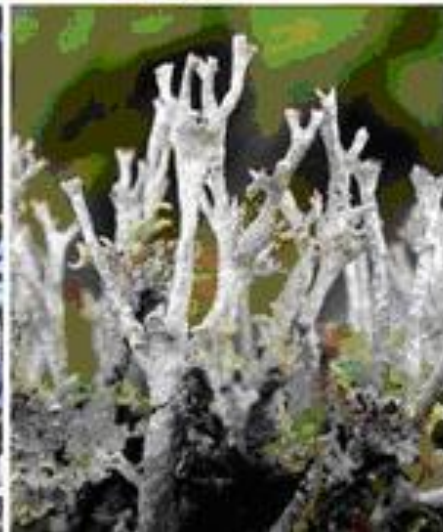


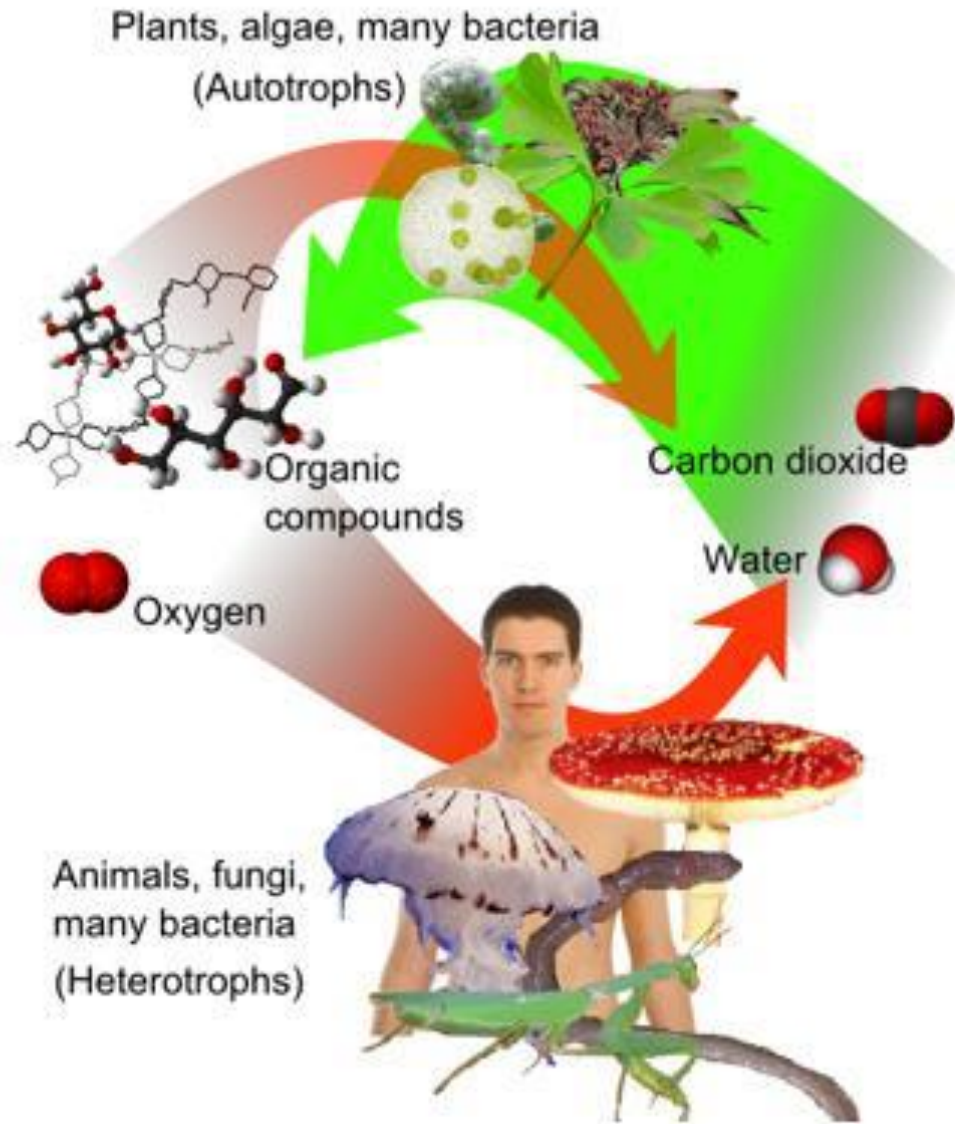
## 2.3. Трофическая структура биоценозов

- Важнейший вид взаимоотношений между организмами в биоценозе, фактически формирующими его структуру, — это пищевые связи хищника и жертвы: одни — поедатели, другие — поедаемые. При этом все организмы, живые и мертвые, являются пищей для других организмов: заяц ест траву, лиса и волк охотятся на зайцев, хищные птицы (ястребы, орлы и т. п.) способны утащить и съесть как лисенка, так и волчонка. Погибшие растения, зайцы, лисы, волки, птицы становятся пищей для детритофагов (редуцентов или иначе деструкторов).

## 2.3.1. Пищевые цепи и сети. Классификация живых организмов по способу питания и механизму превращения энергии

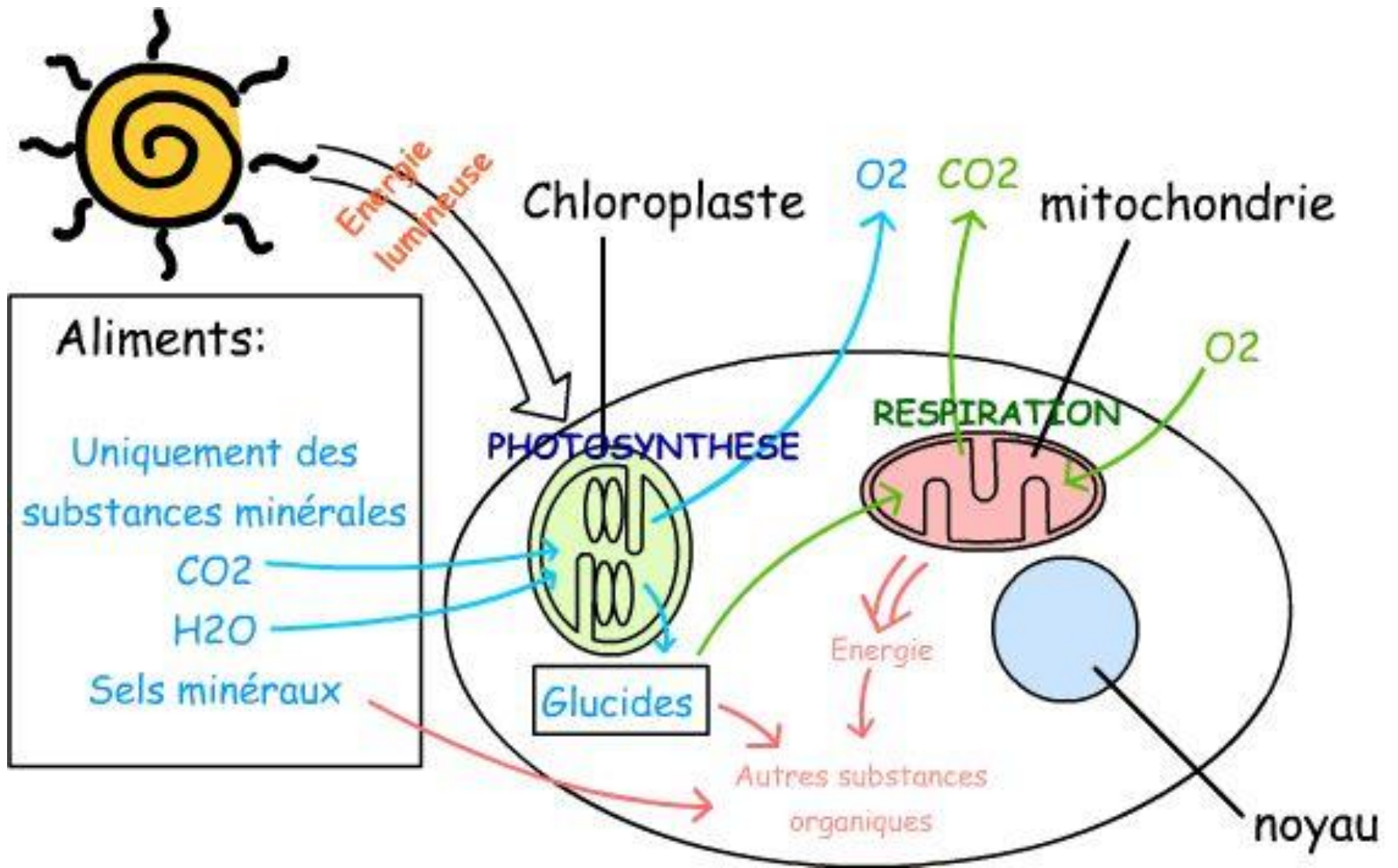
- Все организмы, входящее в биоценоз по способу питания, подразделяют на автотрофов и гетеротрофов.
- **Автотрофы** (от греч. autos – сам) – осуществляют превращение неорганических веществ в органические (зеленые растения и некоторые микроорганизмы).
- По механизму превращения неорганических веществ в органические автотрофы делится на :
  - а) фототрофы (фотосинтез) – зеленые растения, сине-зеленые водоросли;
  - б) хемотрофы (хемосинтез) – серные бактерии и др.















- **Гетеротрофы** (от греч. разный) – используют для питания готовые органические вещества (все животные и человек, паразиты, грибы и др). По современным данным Дж. Н. Андерсона, гетеротрофов делят на:
  - а) некротрофы (от греч. nekros – мертвый) трупоядные животные;
  - б) биотрофы (от греч. biosis – живой) питаются за счет других живых организмов (паразиты, кровососы и др);
  - в) сапротрофы (от греч. sapos – гниль) питаются отмершей органикой.
- Существуют организмы и со смешанным типом питания, которых наз. миксотрофами (П.Пфэффер. от англ. mix – смешивать).



А



*MedicalPlanet.ru*  
— медицина для вас.

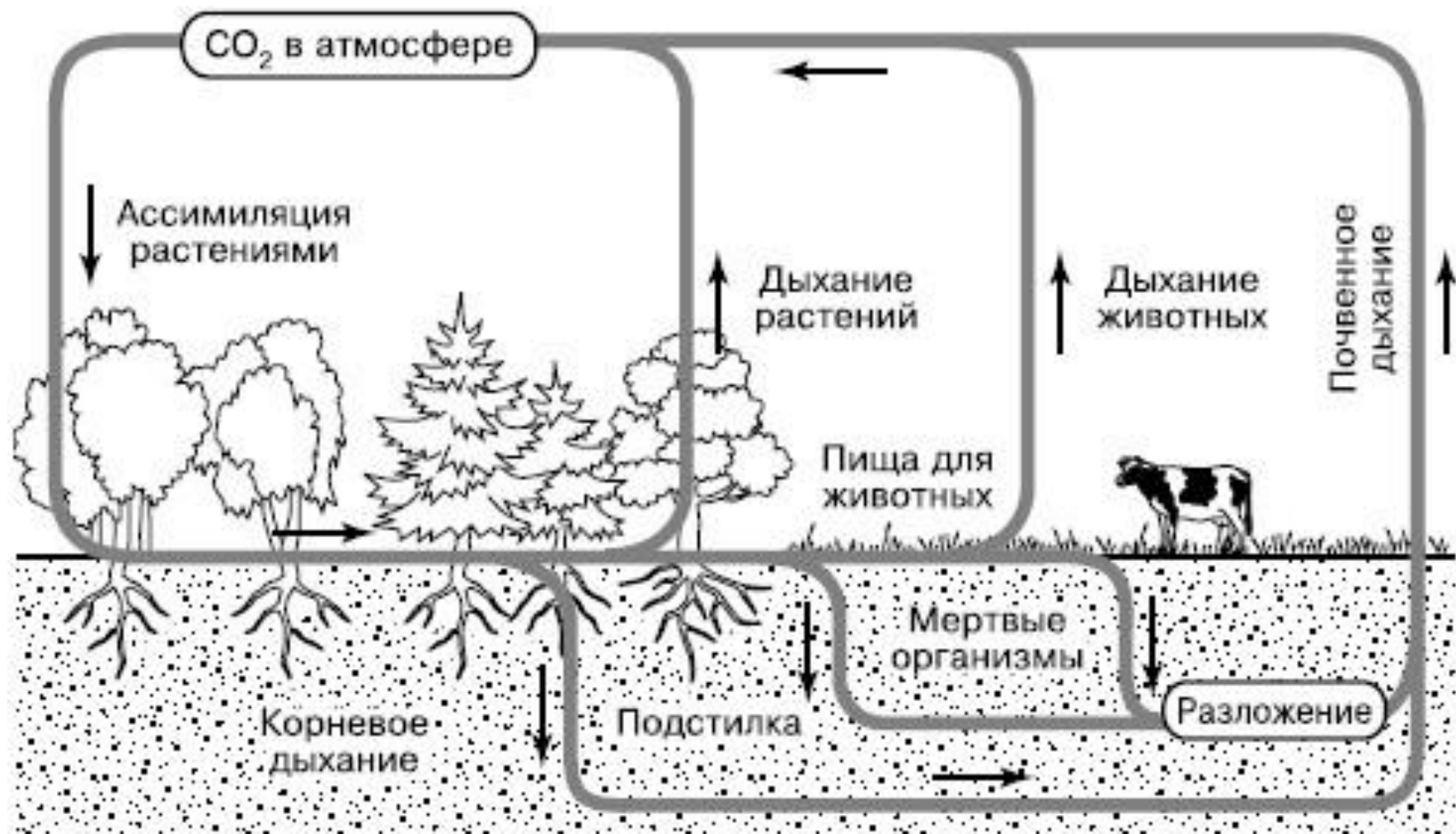
Б



# Растения гетеротрофы



- По отношению к трофическим (пищевым) связям организмы экосистемы подразделяются на **продуцентов, консументов и редуцентов.**





- **Продуценты** (производители первичной продукции) - организмы, способные из неорганических веществ создавать органические, т.е. производить и накапливать потенциальную энергию в форме химической энергии, которая содержится в синтезированных органических веществах (углеводах, жирах, белках). В наземных экосистемах такой синтез осуществляют, главным образом, цветковые растения; в водной среде – микроскопические планктонные водоросли.



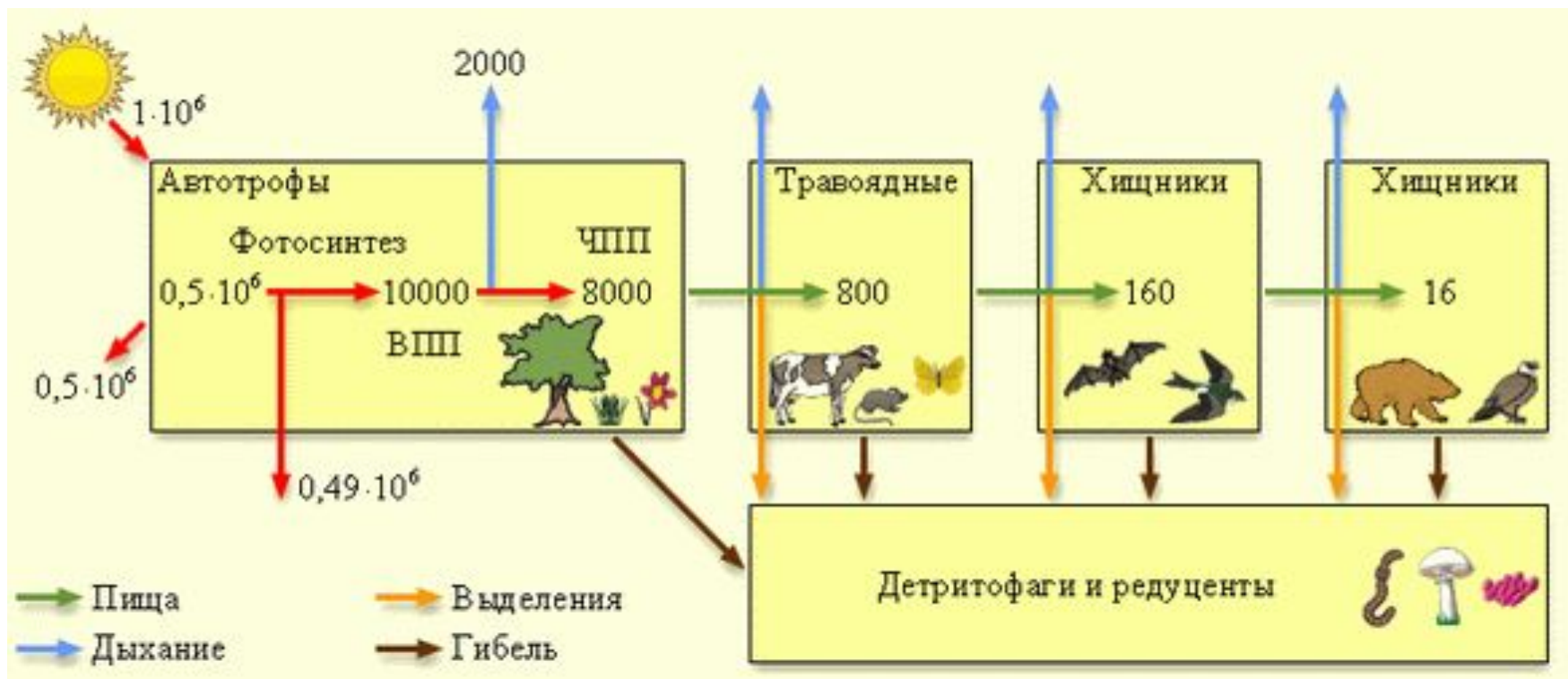
- **Консументы** (т.е. потребители) – это организмы, потребляющие органическое вещество продуцентов или других консументов и трансформирующие его в новые формы. Роль консументов выполняют в природе, в основном, животные. Можно выделить консументы различного порядка. Первичные консументы питаются автотрофными (фотосинтезирующими) продуцентами. Это, в основном, травоядные животные. Вторичные консументы питаются травоядными организмами, т.е. являются плотоядными формами. Третичными являются консументы, питающиеся вторичными консументами и т.д. Можно выделить также консументов 4-го и 5-го порядка.

- **Редуценты** живут за счет мертвого органического вещества, переводя его вновь в неорганическое соединение. Это, главным образом, бактерии и грибы. Они являются как бы завершающим звеном биологического круговорота веществ.

- Место каждого звена в цепи питания называют **трофическим уровнем** или цепью питания.
- Первый трофический уровень – это всегда продуценты, создатели органической массы; второй – растительноядные консументы; третий – плотоядные, четвертый – организмы, потребляющие других плотоядных. По мере продвижения по цепи хищников животные все более увеличиваются в размерах и уменьшаются численно.
- Понятие пищевой цепи удобно для изложения, хотя и носит несколько упрощенный характер.

- **Пищевая цепь** — это последовательность организмов, в которой каждый из них съедает или разлагает другой. Она представляет собой путь движущегося через живые организмы однонаправленного потока поглощенной при фотосинтезе малой части высокоэффективной солнечной энергии, поступившей на Землю. В конечном итоге эта цепь возвращается в окружающую природную среду в виде низкоэффективной тепловой энергии. По ней также движутся питательные вещества от продуцентов к консументам и далее к редуцентам, а затем обратно к продуцентам.

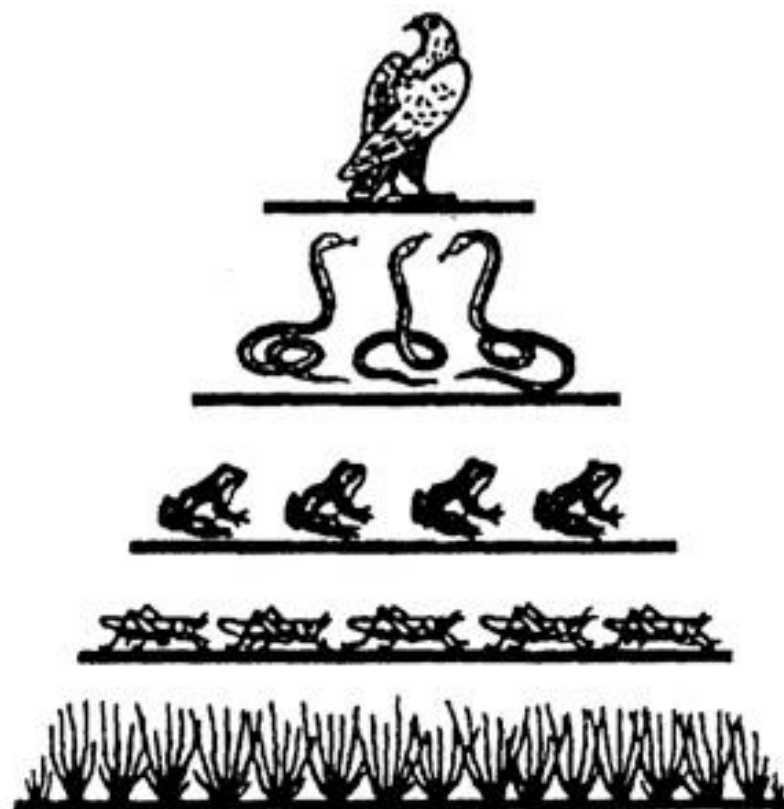
- Каждое звено пищевой цепи называют трофическим уровнем. Первый трофический уровень занимают автотрофы, иначе именуемые первичными продуцентами. Организмы второго трофического уровня называют первичными консументами, третьего — вторичными консументами и т. д. Обычно бывают четыре или пять трофических уровней и редко более шести.



- Существуют два главных типа пищевых цепей — пастбищные (или «выедания») и детритные (или «разложения»).
- В пастбищных пищевых цепях первый трофический уровень занимают зеленые растения, второй — пастбищные животные (термин «пастбищные» охватывает все организмы, питающиеся растениями), а третий — хищники.
- Детритная пищевая цепь начинается с детрита.

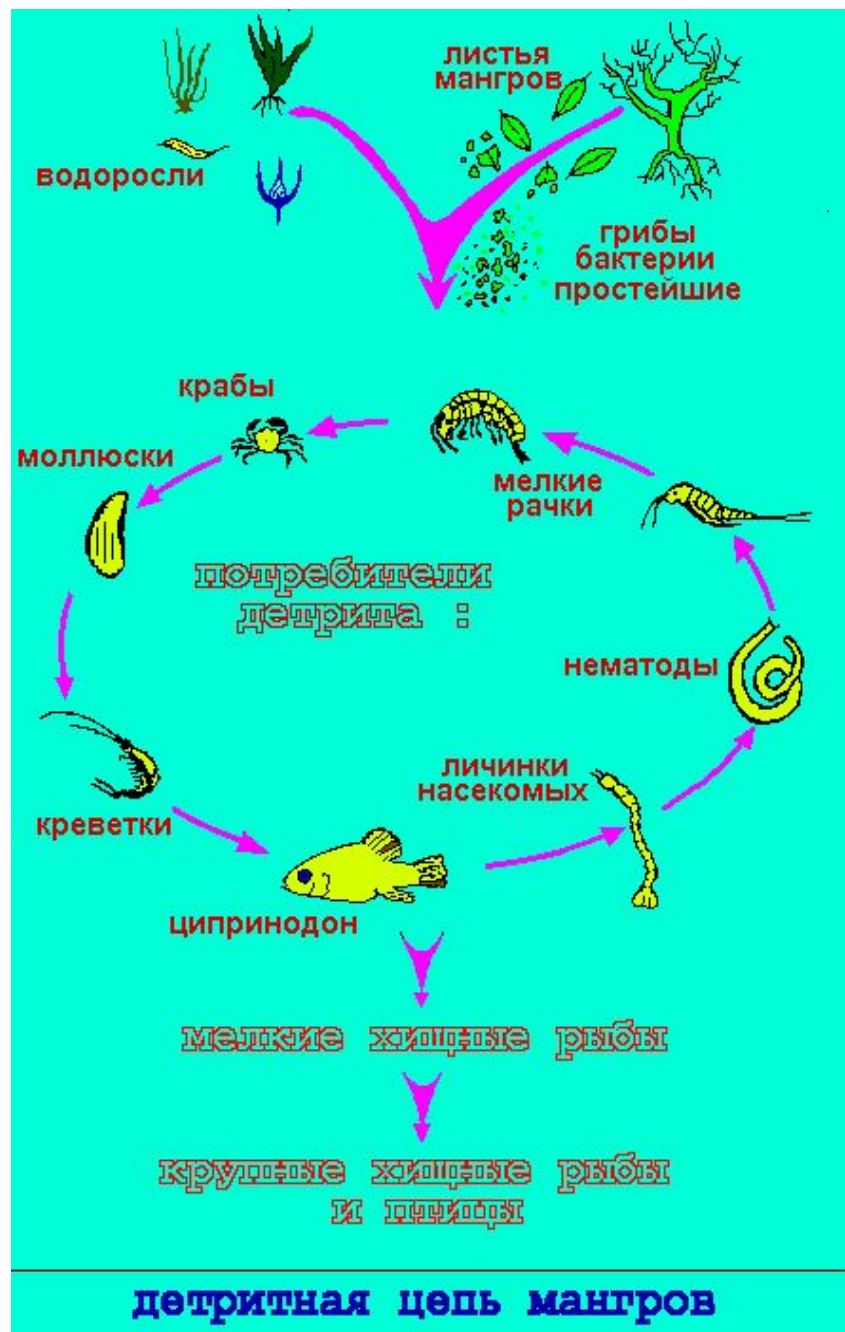


а)

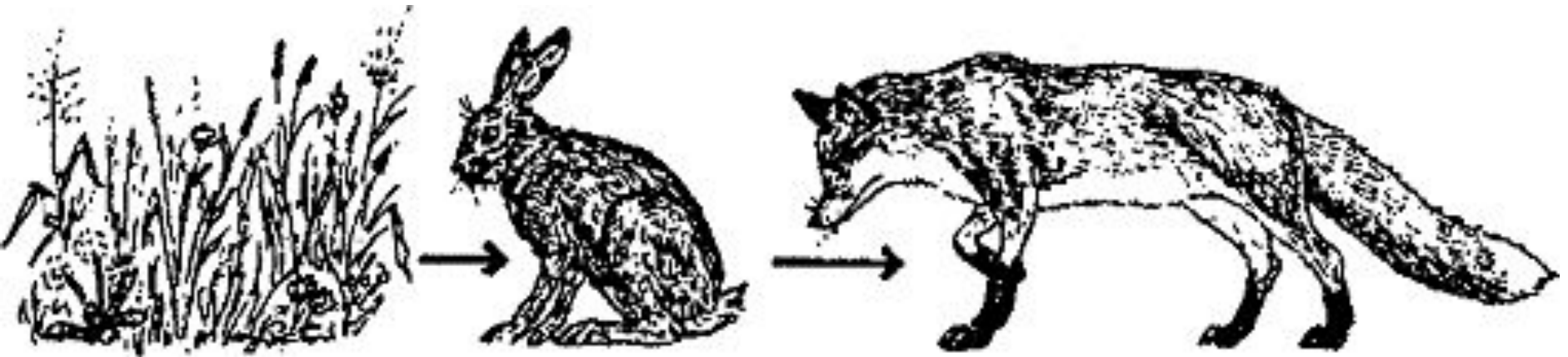


б)



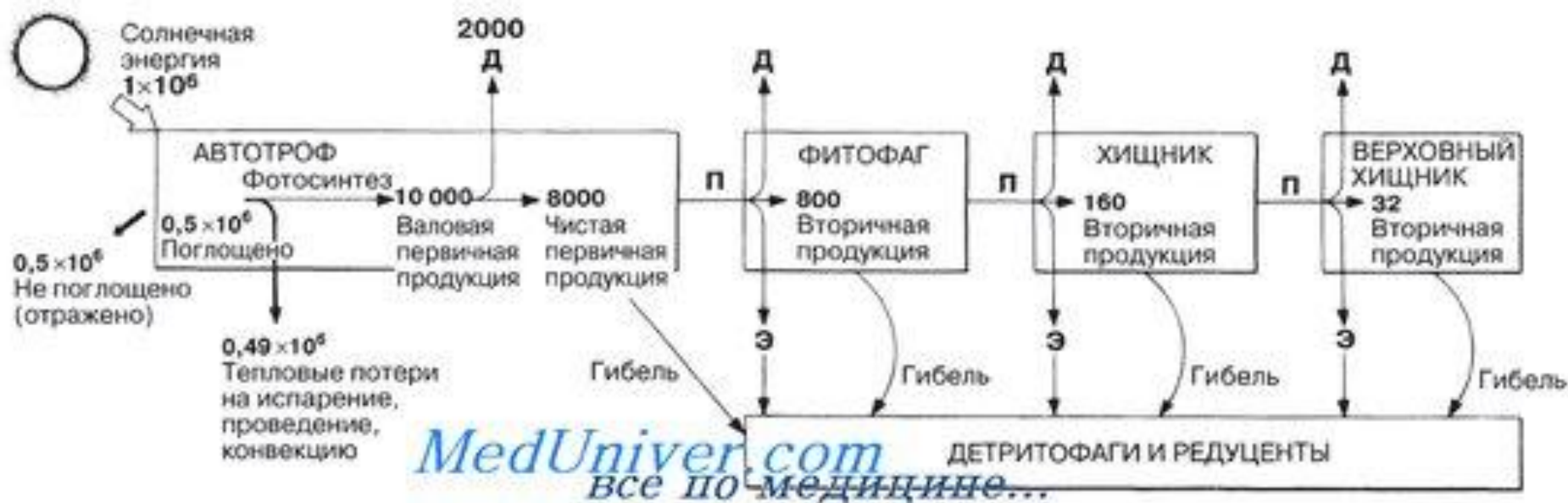


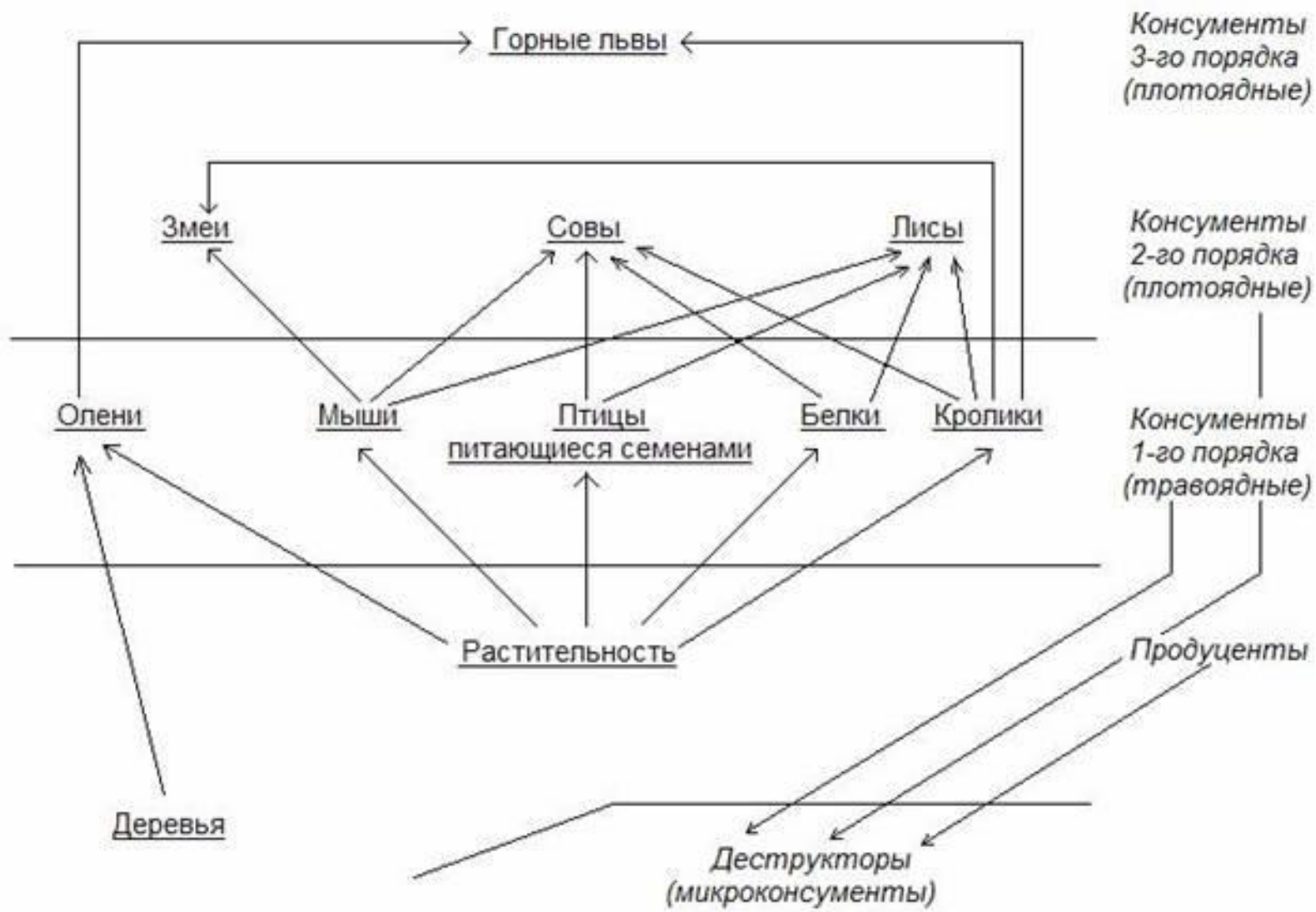
# Пастбищные пищевые цепи





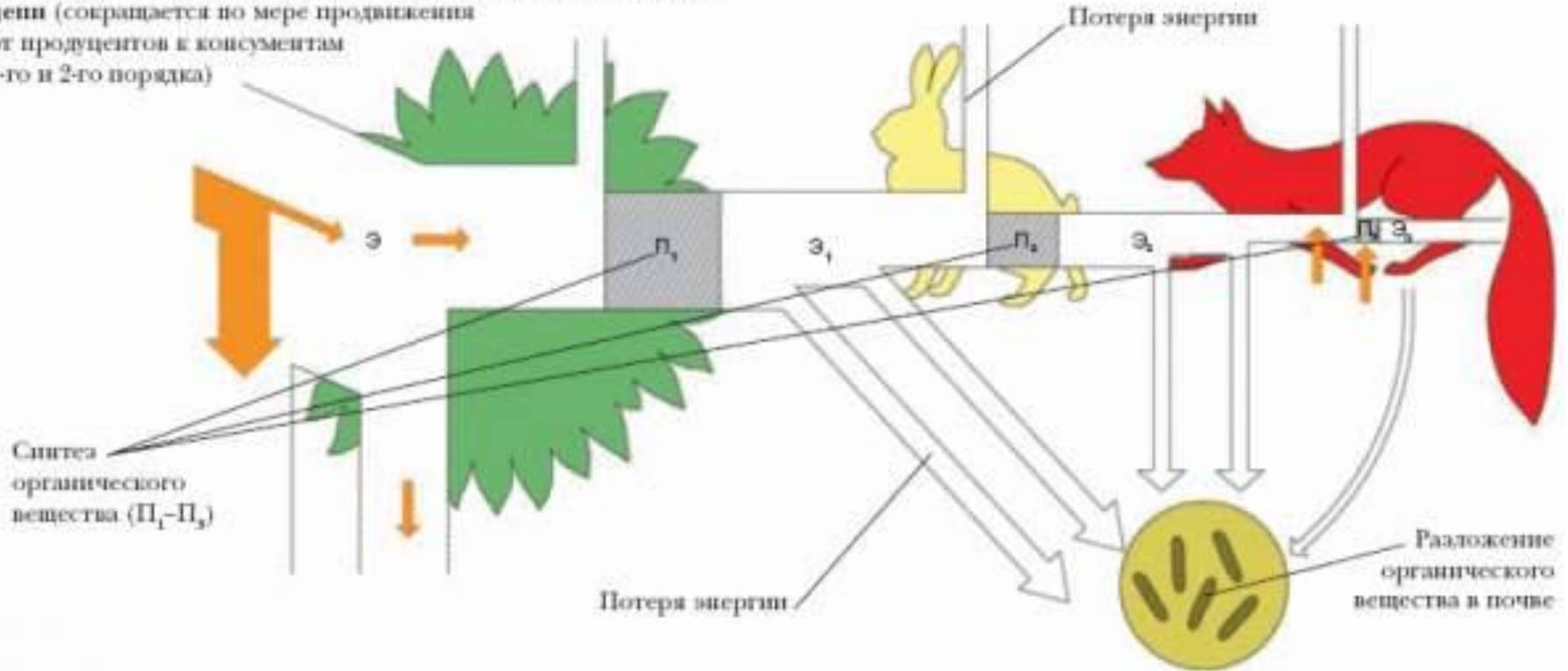
Упрощённая пастбищная трофическая цепь, показывающая последовательность трофических уровней.



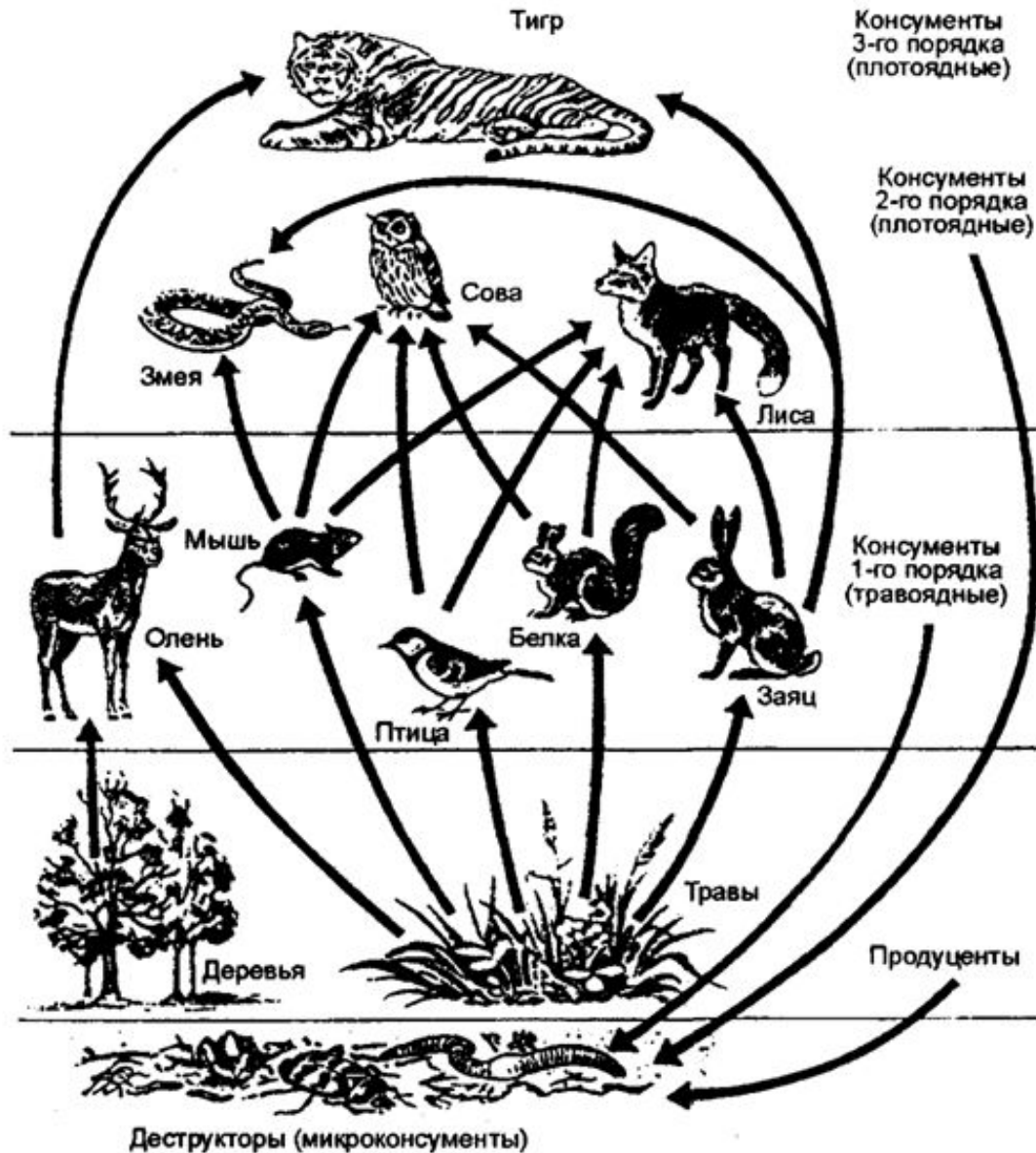


# Поток энергии через три уровня трофической цепи (по П. Дювиньо и М. Тангу, 1968)

Прохождение потока энергии ( $\mathcal{E}$ - $\mathcal{E}_2$ ) через звенья пищевой цепи (сокращается по мере продвижения от продуцентов к консументам 1-го и 2-го порядка)



# Пищевые сети



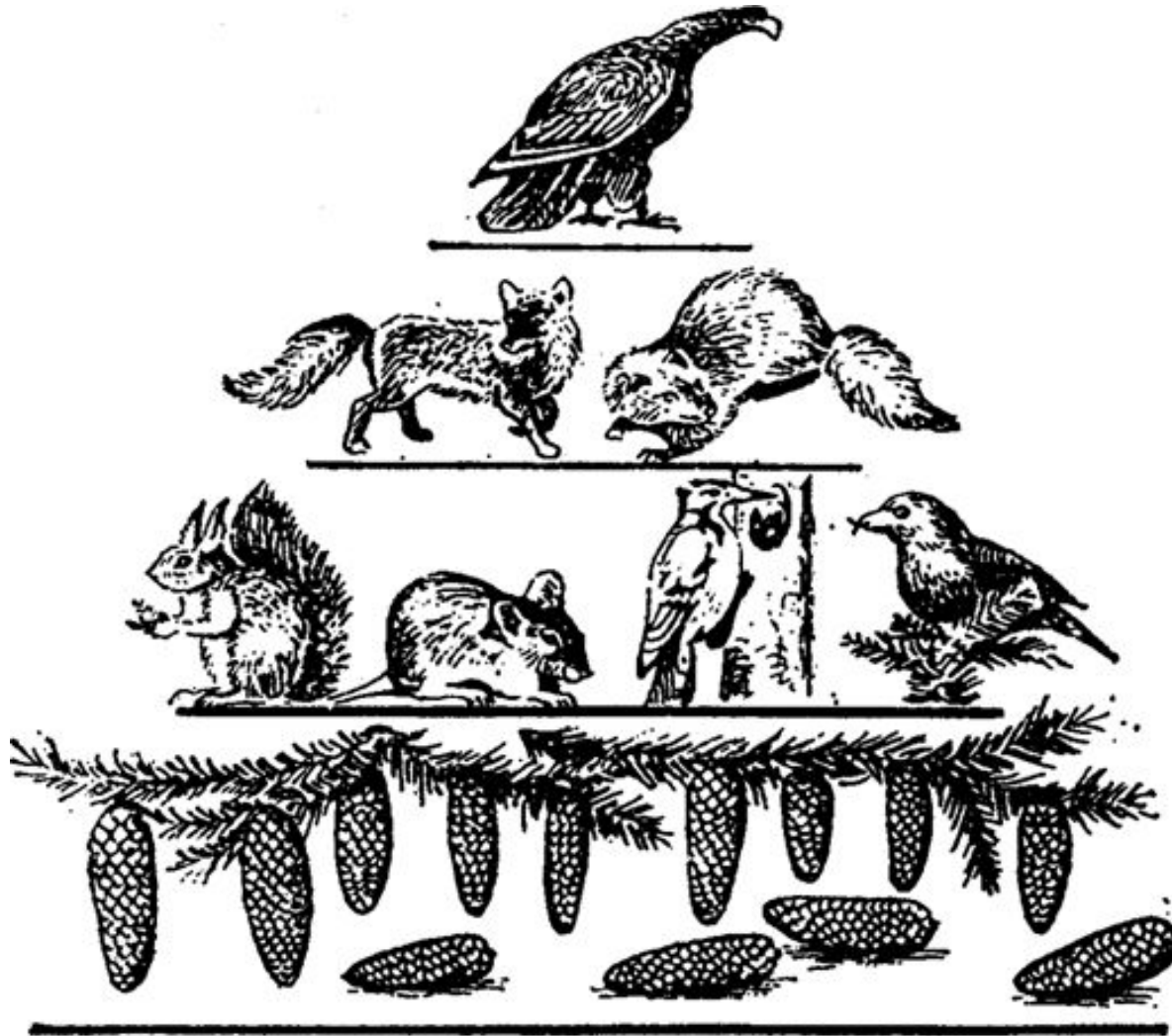
### 2.3.2. Экологические пирамиды

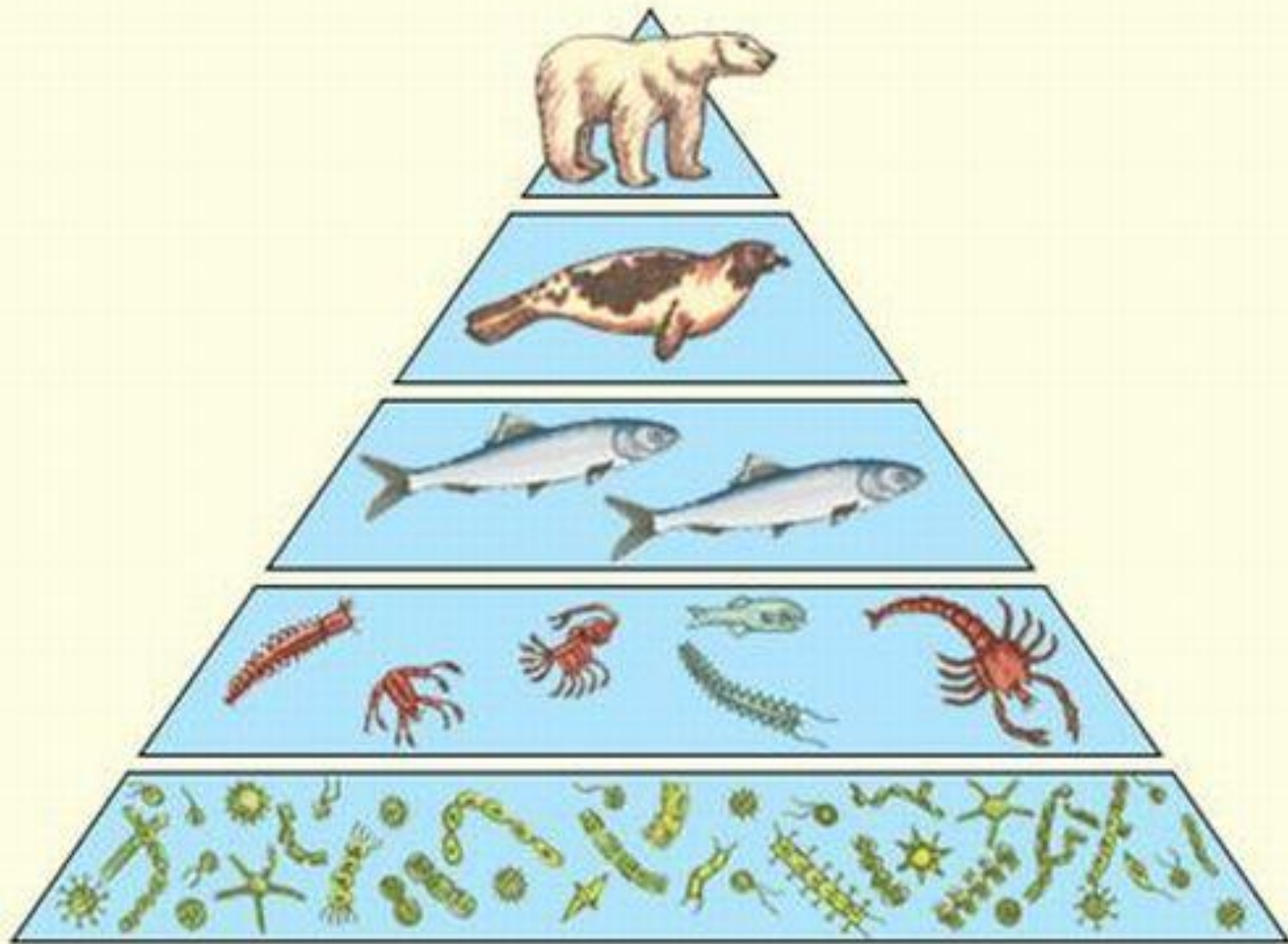
- Для наглядности представления взаимоотношений между организмами различных видов в биоценозе принято использовать экологические пирамиды, различая пирамиды численности, биомасс и энергии.



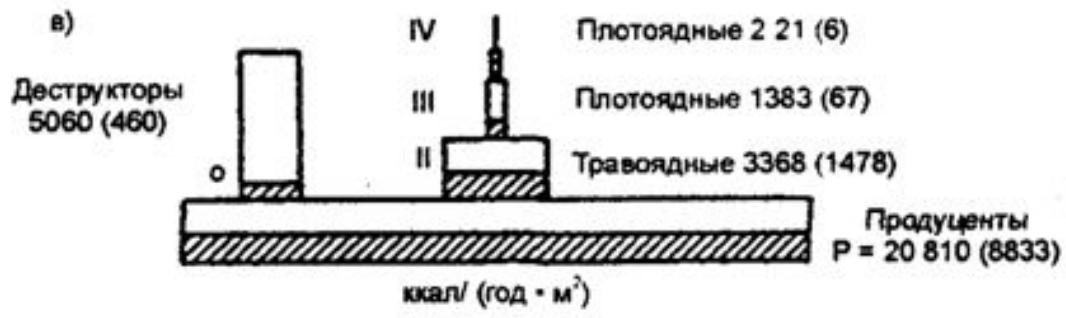
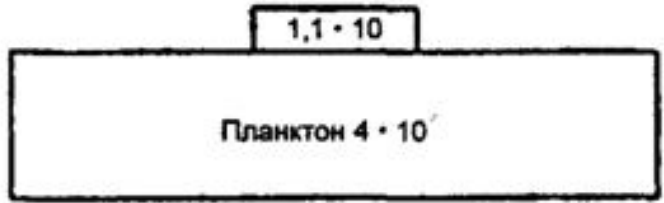
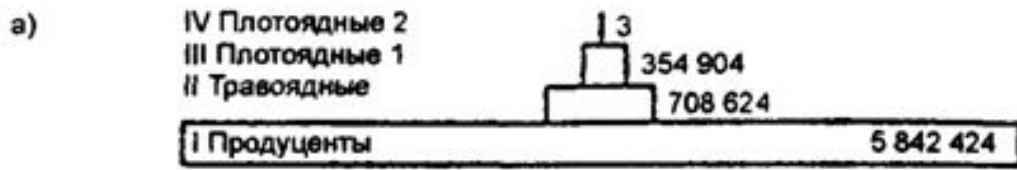
- **Пирамида численности.** Для построения пирамиды численности подсчитывают число организмов на некоторой территории, группируя их по трофическим уровням:
- продуценты — зеленые растения;
- первичные консументы — травоядные животные;
- вторичные консументы — плотоядные животные;
- третичные консументы — плотоядные животные;
- п-е консументы («конечные хищники») — плотоядные животные;
- редуценты — деструкторы.

# Упрощенная схема пирамиды численности





- Каждый уровень изображается условно в виде прямоугольника, длина или площадь которого соответствуют численному значению количества особей. Расположив эти прямоугольники в соподчиненной последовательности, получают экологическую пирамиду численности, основной принцип построения которой впервые сформулировал американский эколог Ч. Элтон.



- Данные для пирамид численности получают достаточно легко путем прямого сбора образцов, однако существуют и некоторые трудности:
- продуценты сильно различаются по размерам, хотя один экземпляр злака или водоросли имеет одинаковый статус с одним деревом. Это порой нарушает правильную пирамидальную форму, иногда давая даже перевернутые пирамиды;
- диапазон численности различных видов настолько широк, что при графическом изображении затрудняет соблюдение масштаба, однако в таких случаях можно использовать логарифмическую шкалу.

Пирамиды численности:

1 — прямая; 2 — перевернутая (по Е. А. Криксунову и др., 1995)

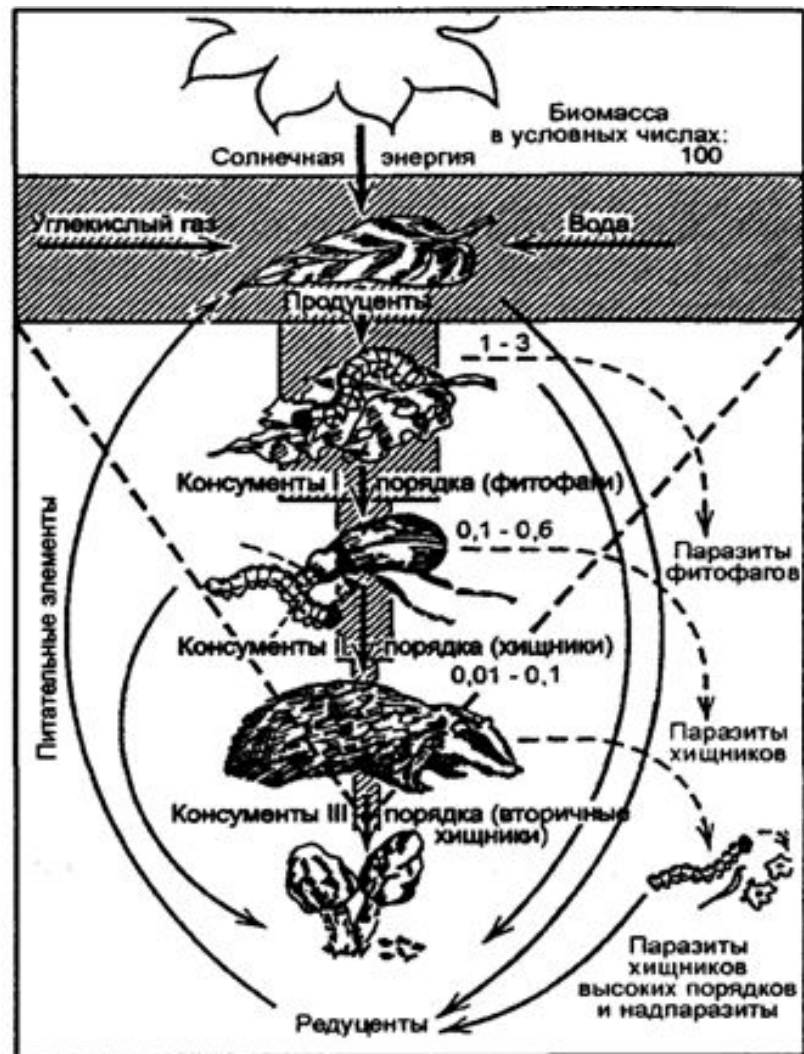


- **Пирамида биомасс.** Экологическую пирамиду биомасс строят аналогично пирамиде численности. Ее основное значение состоит в том, чтобы показывать количество живого вещества (биомассу — суммарную массу организмов) на каждом трофическом уровне. Это позволяет избежать неудобств, характерных для пирамид численности. В этом случае размер прямоугольников пропорционален массе живого вещества соответствующего уровня, отнесенной к единице площади или объема.

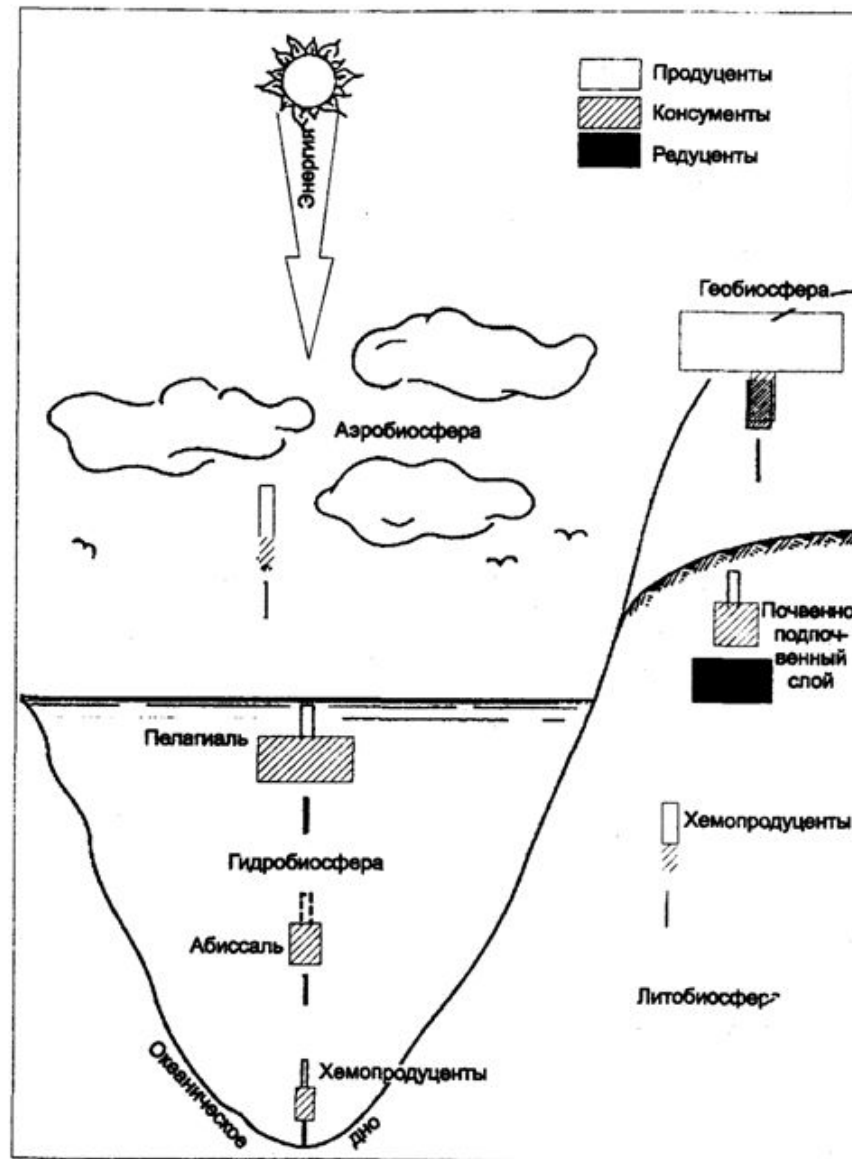


**Рис. 12.26. Пирамида биомассы (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)**

**Примечание:** пирамида биомассы перевернута по отношению к классическому ее изображению — перевернута к потоку энергии Солнца звеном продуцентов



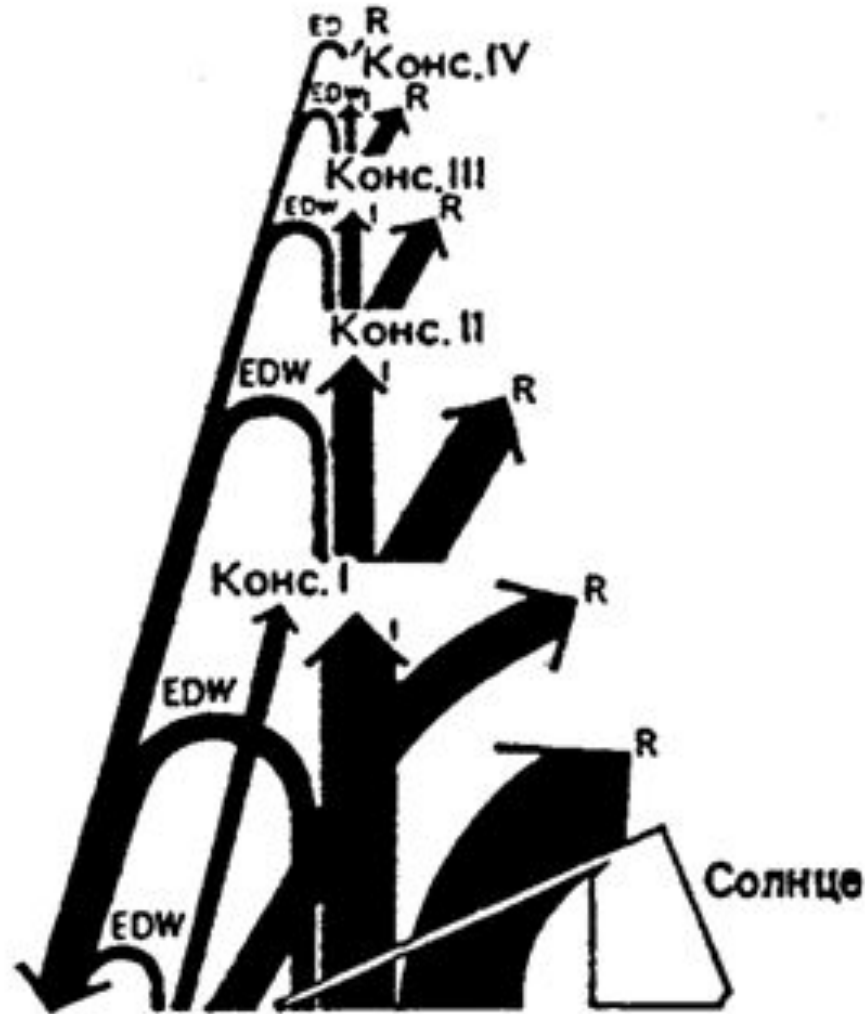
# Типы пирамид биомассы в различных подразделениях биосферы (по Н. Ф. Реймерсу, 1990)



- **Пирамида энергий.** Самым фундаментальным способом отражения связей между организмами разных трофических уровней и функциональной организации биоценозов является пирамида энергий, в которой размер прямоугольников пропорционален энергетическому эквиваленту в единицу времени, т. е. количеству энергии (на единицу площади или объема), прошедшей через определенный трофический уровень за принятый период (рис. 5.7). К основанию пирамиды энергии можно обоснованно добавить снизу еще один прямоугольник, отражающий поступление энергии Солнца.

Пирамида энергии (из Ф. Рамада, 1981):

Е - энергия, выделяемая с метаболитами; D - естественные смерти; W —фекалии; R - дыхание



- Пирамида энергий отражает динамику прохождения массы пищи через пищевую (трофическую) цепь, что принципиально отличает ее от пирамид численности и биомасс, отражающих статику системы (количество организмов в данный момент). На форму этой пирамиды не влияют изменения размеров и интенсивности метаболизма особей. Если учтены все источники энергии, то пирамида всегда будет иметь типичный вид (в виде пирамиды вершиной вверх), согласно второму закону термодинамики.



### 2.3.3. Закономерности трофического оборота в биоценозе

- Живые организмы для своего существования должны постоянно пополнять и расходовать энергию. В пищевой (трофической) цепи, сети и экологических пирамидах каждый последующий уровень, условно говоря, поедает предыдущее звено, используя его для построения своего тела. Главный источник энергии для всего живого на Земле — Солнце. Из всего спектра солнечного излучения, достигающего земной поверхности, только около 40% составляет фотосинтетически активная радиация (ФАР), имеющая длину волны 380—710 нм. Растения в процессе фотосинтеза усваивают (химически связывают) лишь небольшую часть ФАР.

- Ниже приведены доли усваиваемой ФАР (в %) для различных экосистем.
- Океан до 1,2
- Тропические леса до 3,4
- Плантации сахарного тростника и кукурузы (в оптимальных условиях) 3—5
- Опытные системы с кондиционированными условиями среды по всем показателям (за короткие периоды времени) 8—10
- В среднем растительность всей планеты 0,8—1,0



- Первичными поставщиками энергии для всех других организмов в цепях питания являются растения. При дальнейших переходах энергии и вещества с одного трофического уровня на другой существуют определенные закономерности.

- **Правило десяти процентов.** Р. Линдеман (1942) сформулировал закон пирамиды энергий, или правило 10% : с одного трофического уровня экологической пирамиды переходит на другой, более высокий ее уровень (по «лестнице» продуцент — консумент — редуцент), в среднем около 10% энергии, поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды.

- **Правило биологического усиления.**  
Вместе с полезными веществами с одного трофического уровня на другой поступают и «вредные» вещества. Однако если полезное вещество при его излишке легко выводится из организма, то вредное не только плохо выводится, но и накапливается в пищевой цепи. Таков закон природы, называемый правилом накопления токсических веществ (биотического усиления) в пищевой цепи и справедливый для всех биоценозов.

# Контрольные вопросы и задания

- Что такое пищевая цепь и как много таких цепей в экосистемах?
- Расскажите о потоке энергии, проходящем через пищевую цепь.
- Какие трофические уровни в пищевой цепи занимают продуценты и консументы первого, второго и третьего порядков?
- Как формулируется правило экологической пирамиды? Чем отличаются пирамиды энергии от пирамид чисел и биомасс?
- От чего зависит видовой состав и насыщенность биоценоза?
- Дайте определение вида, являющегося эдификатором. Приведите примеры.
- Кто чью численность контролирует: хищник численность жертвы или наоборот?
- Как влияют абиотические факторы среды на формирование видовой структуры биоценозов?
- Сформулируйте правило экологического дублирования и приведите примеры его действия.
- Объясните, в чем заключается особая важность биоразнообразия для экосистем нашей планеты