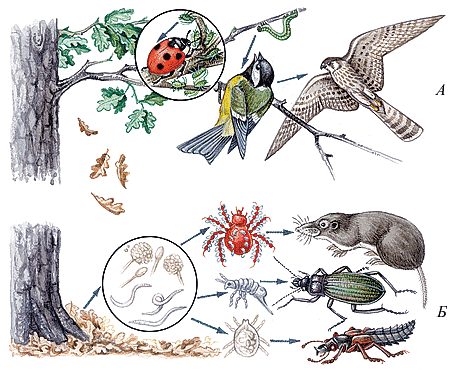
**Законы биологической продуктивности**

Сети питания в [**биоценозах**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2245E1171A-2AD1-474F-B68E-CE23D48EB08E%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Биоценоз) на самом деле состоят из множества коротких рядов, в которых организмы передают друг другу вещество и энергию, сконцентрированные зелеными растениями. Такие ряды, в которых каждый предыдущий вид служит пищей последующему, называют [**цепями питания**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%224FA15A9B-52F0-4A34-8A4D-CF36A0E7D64F%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Цепь_питания), или [**трофическими цепями**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2253A3AFDB-E945-47E8-9C64-EE6F7F7E9514%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Трофическая_цепь) (рис. 1). Отдельные звенья цепей питания называют **трофическими уровнями**.



**Рис. 1.** Примеры цепей питания: А – цепи выедания; Б – цепи разложения

[Цепи питания](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%22AC35B11C-0A01-000A-0027-C9C54C4E319C%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22%22)) всегда начинаются с [растений](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2270B1D163-0A01-000A-0109-C99837AAA6D9%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22%22)) или их остатков, прошедших через кишечники животных. Это [первый трофический уровень](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2270B1CE98-0A01-000A-00A3-877600B12814%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22%22)). Их потребители представляют [второй трофический уровень](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%226AD5AB43-C629-4930-B790-4D5CB12B404C%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22%22)) и т. д. Примерами цепей питания могут служить ряды: растения – [гусеницы и бабочки-имаго](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2246AF14F9-15D4-4F45-A054-E0F7482A47EB%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22%22)) – насекомоядные птицы – хищные птицы; растительный опад – дождевые черви – землеройки– горностаи; коровий помет – личинки мух – скворцы – ястребы-перепелятники.

Многие виды могут входить в [разные цепи питания](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%225DD57E9A-AFAF-450C-9D8D-1DFE90DAFFF6%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22%22)). Например, медведи питаются и животной, и растительной пищей, и падалью. Различают **цепи выедания** (начинаются с живых растений) и **цепи разложения** (начинаются с мертвого растительного опада или помета животных). Цепи питания в природе сложно [переплетены](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2270B1DA82-0A01-000A-01BA-21ACF74D9372%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22%22)).

В конкретных [цепях питания](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%22AC35B4E0-0A01-000A-0190-C09947A2FDA3%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22%22)) можно проследить и рассчитать передачу той энергии, которая заключается в растительной пище. Растения связывают в ходе [**фотосинтеза**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%228B457D13-1BC5-41B3-BE83-9EF70FA0E312%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Фотосинтез) в среднем лишь около 1 % энергии света. Животное, съевшее растение, получает запасенную им энергию не полностью. Часть пищи не переваривается и выделяется в виде экскрементов. Обычно усваивается от 20 до 60% растительного корма. Усвоенная энергия идет на поддержание жизнедеятельности животного. Работа клеток и органов сопровождается выделением тепла, поэтому значительная доля энергии пищи вскоре рассеивается в окружающее пространство. Лишь небольшая часть усвоенной пищи идет на рост, т. е. на [построение новых тканей](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2270B21958-0A01-000A-0105-036EB5B97286%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#3), на запасы в виде отложения жиров. У [молодых](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2270B21958-0A01-000A-0105-036EB5B97286%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#5) эта доля несколько больше, чем у взрослых.

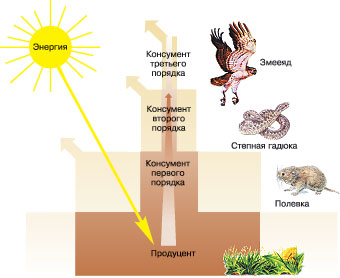
Следовательно, уже на первом этапе происходит значительная потеря энергии из пищевой цепи. Хищник, съевший растительноядное животное, представляет третий трофический уровень. Он получает только ту энергию из накопленной растением, которая задержалась в теле его жертвы в виде прироста.

*Подсчитано, что на каждом этапе передачи вещества и энергии по* [*пищевой цепи*](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2270B21958-0A01-000A-0105-036EB5B97286%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#2) *теряется примерно 90%, и только около одной десятой доли переходит к очередному потребителю. Это правило передачи энергии в пищевых связях организмов называют* **правилом десяти процентов**.

Представителям четвертого трофического уровня (например, хищнику, поедающему другого хищника) достанется только около одной тысячной доли той энергии, усвоенной растением, с которого начиналась пищевая цепь. Поэтому отдельные [цепи питания](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2270B21958-0A01-000A-0105-036EB5B97286%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#6) в природе не могут иметь слишком много звеньев, энергия в них быстро иссякает.

**Органическое вещество**, создаваемое в [**экосистемах**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%221B95265E-9DB9-4FFD-98FA-305D8ED304BE%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Экосистема) в единицу времени (год, месяц и т. п.), называют **биологической продукцией**. Масса тела живых организмов называется [**биомассой**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2245E1171A-2AD1-474F-B68E-CE23D48EB08E%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Биомасса). Биологическая продукция экосистем – это скорость создания в них биомассы.

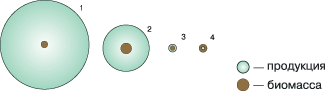
Продукцию растений называют [*первичной*](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2270B21958-0A01-000A-0105-036EB5B97286%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#1), продукцию животных или других [**консументов**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%22B7219B9D-7DD4-44CC-9CD5-02837F581334%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Консументы) – *вторичной*, потому что она создается за счет энергии, связанной растениями. Понятно, что **вторичная продукция** не может быть больше **первичной продукции** или даже равной ей.



**Рис. 2**. Пирамида продукции и поток энергии в экосистемах

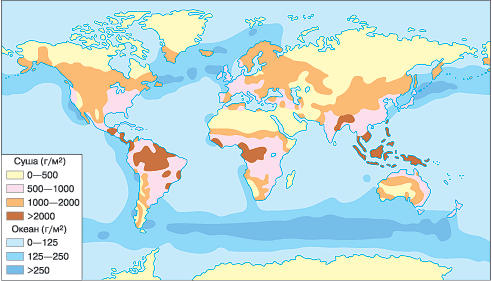
Если оценить продукцию в последовательных трофических уровнях в любом [**биоценозе**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2245E1171A-2AD1-474F-B68E-CE23D48EB08E%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Биоценоз), мы получим убывающий ряд чисел, каждое из которых примерно в 10 раз меньше предыдущего. Этот ряд можно выразить графически в виде пирамиды с широким основанием и узкой вершиной (рис. 2). Поэтому закономерности создания биомассы в цепях питания экологи называют **правилом пирамиды биологической продукции**. Например, вес всех трав, выросших за год в степи, значительно больше, чем годовой прирост всех растительноядных животных, а прирост хищников меньше, чем растительноядных.

Из правила пирамиды биологической продукции нет исключений, потому что оно отражает законы передачи энергии в цепях питания. Соотношение биомасс может быть различным, потому что биомасса – это просто запас имеющихся в данный момент организмов. Например, в океанах (рис. 3) одноклеточные водоросли делятся с большой скоростью и дают очень высокую продукцию. Однако их общее количество меняется мало, потому что с не меньшей скоростью их поедают различные фильтраторы. Образно говоря, водоросли еле успевают размножаться, чтобы выжить. Рыбы, головоногие моллюски, крупные ракообразные растут и размножаются медленнее, но еще медленнее поедаются врагами, поэтому их биомасса накапливается. Если взвесить все водоросли и всех животных океана, то последние перевесят. Пирамида биомасс в океане оказывается, таким образом, перевернутой. В наземных экосистемах скорость выедания растительного прироста ниже и пирамида биомасс в большинстве случаев напоминает [пирамиду продукции](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%22AC35B910-0A01-000A-00B5-1910B3DB0E10%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22%22)).



**Рис. 3.** Соотношение продукции и биомассы разных групп организмов в океане:  
1 – бактерии; 2 – фитопланктон; 3 – зоопланктон; 4 – рыбы

Среднее значение [первичной продукции](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%227A1449B0-9944-44DC-8629-37AA0690B7CA%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22%22)) по всему земному шару составляет около 3 т сухого вещества на 1 га в год. В большинстве типов экосистем разные ограничивающие факторы [снижают возможности фотосинтеза](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2270B21958-0A01-000A-0105-036EB5B97286%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#4). Наименее продуктивны экосистемы жарких и холодных пустынь и центральных частей океанов (рис. 4).



**Рис. 4.** Первичная продуктивность Мирового океана и суши

Среднюю продукцию дают леса умеренного климата, луга и степи. Самый высокий прирост растительной массы – в тропических лесах, в травянистых зарослях устьев рек в жарких районах, на коралловых рифах в океане.

**Продуктивность** сельскохозяйственных угодий обычно несколько ниже, чем природных экосистем в той же зоне. Поля часть года пустуют, и на них обычно выращивают всего один какой-либо вид, который не в состоянии полностью использовать все имеющиеся [**ресурсы**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%228DD55186-1385-4883-8D94-F3A22EFA311A%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Ресурсы). Однако при интенсивном земледелии продуктивность полей может приближаться к максимальной, хотя человеку приходится вкладывать в это много дополнительных средств. Знание законов биологической продуктивности и потерь энергии в цепях питания имеет большое практическое значение. На их основе можно сознательно и грамотно строить хозяйственную деятельность таким образом, чтобы не подрывать воспроизводительные способности природных и антропогенных систем и получать возможно большую первичную и вторичную продукцию.

Для человека энергетически выгоднее растительное питание, а наиболее дорого – использование в пищу хищных видов. Так, по энергии, затраченной на рост, 1 кг окуня или щуки обходится природе в 7 раз дороже, чем 1 кг говяжьего мяса. Поэтому плотоядные животные разводятся людьми в редких случаях, например в пушном звероводстве. Широкое одомашнивание нашими предками таких видов, как свиньи и куры, не случайно. Они характеризуются высоким коэффициентом использования энергии на рост, т. е. перевода пищи в собственную биомассу.

Одна растительная пища, как правило, для людей недостаточно полноценна, так как подавляющее большинство растений не обеспечивает людей некоторыми незаменимыми аминокислотами, входящими в состав животных белков. Производство вторичной продукции через выращивание животных, а также добыча диких видов (в основном путем рыболовства) – очень важное условие благополучия общества. Одна из самых злободневных для современного человечества проблем – это так называемое *белковое голодание,* недостаток животной пищи в рационах людей во многих районах мира.

### Это интересно...

## Законы биологической продуктивности

Кроме растений, органическое вещество из неорганического создают на Земле некоторые бактерии. Они получают энергию не за счет солнечного света, а за счет химического превращения одних неорганических соединений в другие. Поэтому они называются хемосинтезирующими бактериями.

Недавно на дне океанов были открыты такие удивительные [**экосистемы**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%221B95265E-9DB9-4FFD-98FA-305D8ED304BE%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Экосистема), где все [**пищевые цепи**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%227EAD3B94-0594-4A37-924D-63A412B29FFD%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Пищевая_цепь) начинаются с бактерий-**[хемосинтетиков](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%22D88036B4-EBCE-4952-8B1F-D7A0535B1447%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22" \l "Хемосинтетики")" \o "Словарь экологических терминов)**. Эти экосистемы возникают на глубине возле выходов из недр горячей воды, богатой минеральными соединениями. Бактерии используют в качестве источника энергии в основном сероводород, а для построения органического вещества растворенный в воде диоксид углерода (углекислый газ). Бактериями питаются многочисленные животные, большинство из которых ранее было совсем неизвестно. Из таких сообществ описано уже несколько сотен новых видов и даже новые классы животных. В их числе огромные, до 2 м, червеобразные формы без кишечников, у которых бактерии живут в симбиозе с ними в специальных клетках их тела. Сообщества эти существуют в условиях полной темноты и не нуждаются в веществах растительного происхождения.

По цепям питания вместе с веществом и энергией могут передаваться и стойкие ядовитые соединения, которые попадают в растения из окружающей среды. В малых дозах они не опасны для организма, но в результате постоянного питания и все нового поступления накапливаются в них. Хищники, поедающие таких растительноядных животных, еще сильнее концентрируют в себе ядохимикаты. Например, содержание яда ДДТ, применявшегося для борьбы с насекомыми, в телах хищных или рыбоядных птиц в некоторых районах в 500 тыс. раз превышало содержание его в воде или почве. Гибель хищников от отравления неоднократно отмечена в природе и служит людям острым сигналом об угрожающем загрязнении окружающей среды.

В цепи питания переходит далеко не вся продукция [**фотосинтеза**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%228B457D13-1BC5-41B3-BE83-9EF70FA0E312%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Фотосинтез). Часть созданного органического вещества расходуется при обмене веществ самого растения, расщепляясь в ходе дыхания на углекислый газ и воду. Эта часть составляет обычно 20–50, а иногда и 70%. Общая скорость фотосинтеза называется ***валовой первичной продукцией***. Ту ее часть, которая не тратится растением, а идет на его рост, называют ***чистой биологической продукцией***.

Первичную биологическую продукцию экосистем ограничивают или климатические факторы (недостаток тепла, влаги), или нехватка ***биогенных элементов***. Примеры **продуктивности** различных экосистем (в граммах сухого вещества на квадратный метр площади за сутки):

* меньше 1 г – пустыни и глубокие моря;
* 1–3 г – луга, горные леса, пашни, мелкие моря, глубокие озера;
* 3–10 г – степи, мелкие озера, леса умеренной полосы, орошаемые поля;
* 10–25 г – коралловые рифы, заросли папируса, тропические леса, интенсивно возделываемые культуры на полях.

Экологи в шутку подсчитали, что для того, чтобы прокормить в течение года одного мальчика весом в 45 кг, достаточно четырех с половиной телят общим весом в 1035 кг, а для них – 20 млн растений люцерны с [**биомассой**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2245E1171A-2AD1-474F-B68E-CE23D48EB08E%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Биомасса) 8,2 т.

Энергия, заключенная в такой массе люцерны, составляет 14,9 млн калорий, в телятах содержится 1,19 млн калорий, а в мальчике остается из этого количества 8300 (мальчик ест мясо, но не кости, шкуру или шерсть, которые также содержат связанную энергию).

Разработана [**технология**](javascript:Nav_ShowResource(0,%20%2253A3AFDB-E945-47E8-9C64-EE6F7F7E9514%22,%20%22ResWindow%22,%20self,%20%22#Технология) переработки отходов промышленного животноводства по принципу разворачивания в пространстве пищевой цепи. Навоз животных смывается в водоемы-отстойники. Из них взвесь дозировано подается в пруд-разбавитель, где в массе развиваются одноклеточные водоросли. Водоем "цветет". Отсюда вода вместе с водорослями периодически подается в другой, "рачковый" пруд, где многочисленные дафнии и другие рачки интенсивно фильтруют воду, отцеживая водоросли. В третьем пруду на рачках выращиваются мальки рыб. Здесь очистка воды обитателями пруда доводится до такого состояния, что ее можно вновь использовать на фермах. В результате такой переработки навоза хозяйства получают рыбную продукцию и часть продукции мелких рачков на белковый корм скоту.