

Экосистемы



ВСПОМНИТЕ

*Круговорот
веществ в природе*

*Органическое
вещество*

*Растительные
виды*

*Плотоядные
виды*

§ 16. Законы организации экосистем

В биоценозах живые организмы теснейшим образом связаны не только друг с другом, но и с неживой природой. Связь эта выражается через вещество и энергию.

Обмен веществ, как известно, одно из главных проявлений жизни. Говоря современным языком, организмы представляют собой открытые биологические системы, так как они связаны с окружающей средой постоянным потоком вещества и энергии, проходящим через их тела. Материальная зависимость живых существ от среды была осознана еще в Древней Греции. Философ Гераклит образно выразил это явление в таких словах: «Текут наши тела, как ручьи, и материя постоянно обновляется в них, как вода в потоке». Вещественно-энергетическую связь организма со средой можно измерить.

Поступление пищи, воды, кислорода в живые организмы — это потоки вещества из окружающей среды. Пища содержит энергию, необходимую для работы клеток и органов. Растения напрямую усваивают энергию солнечного света, запасают ее в химических связях органических соединений, а затем она перераспределяется через пищевые отношения в биоценозах.

Потоки вещества и энергии через живые организмы в процессах обмена веществ чрезвычайно велики. Человек, например, за свою



В. Н. Сукачев
(1880—1967)

крупный русский ботаник,
академик,
основоположник
биогеоценологии —
науки о природных
экосистемах

жизнь потребляет десятки тонн еды и питья, а через легкие — многие миллионы литров воздуха. Многие организмы взаимодействуют со средой еще более интенсивно. Растения на создание каждого грамма своей массы тратят от 200 до 800 и более граммов воды, которую они извлекают из почвы и испаряют в атмосферу. Вещества, необходимые для фотосинтеза, растения получают из почвы, воды и воздуха.

При такой интенсивности потоков вещества из неорганической природы в живые тела запасы необходимых для жизни соединений — *биогенных элементов* — давно были бы исчерпаны на Земле. Однако жизнь не прекращается, потому что биогенные элементы постоянно возвращаются в окружающую организмы среду. Происходит это в биоценозах, где в результате пищевых отно-

шений между видами синтезированные растениями органические вещества разрушаются в конце концов вновь до таких соединений, которые могут быть снова использованы растениями. Так возникает *биологический круговорот веществ*.

Таким образом, биоценоз является частью еще более сложной системы, в которую, кроме живых организмов, входит и их неживое окружение, содержащее вещество и энергию, необходимые для жизни. Биоценоз не может существовать без вещественно-энергетических связей со средой. В итоге биоценоз представляет с ней некое единство.

Любую совокупность организмов и неорганических компонентов, в которой может поддерживаться круговорот вещества, называют экологической системой или экосистемой.

Природные экосистемы могут быть разного объема и протяженности: небольшая лужа с ее обитателями, пруд, океан, луг, роща, тайга, степь — все это примеры разномасштабных экосистем. Любая экосистема включает живую часть — биоценоз и его физическое окружение. Более мелкие экосистемы входят в состав все более крупных, вплоть до общей экосистемы Земли. Общий биологический круговорот вещества на нашей планете также складывается из взаимодействия множества более частных круговоротов.

Экосистема может обеспечить круговорот вещества только в том случае, если включает необходимые для этого четыре составные части: запасы биогенных элементов, продуценты, консументы и редуценты (рис. 67).

Продуценты — это зеленые растения, создающие из биогенных элементов органическое вещество, т. е. биологическую продукцию, используя потоки солнечной энергии.

Консументы — потребители этого органического вещества, перерабатывающие его в новые формы. В роли консументов выступают обычно животные. Различают консументы первого порядка — растительноядные виды и второго порядка — плотоядных животных.

Редуценты — организмы, окончательно разрушающие органические соединения до минеральных. Роль редуцентов выполняют в биоценозах в основном грибы и бактерии, а также другие мелкие организмы, перерабатывающие мертвые остатки растений и животных (рис. 68).

Жизнь на Земле продолжается уже около 4 млрд лет, не прерываясь именно потому, что она протекает в системе биологических круговоротов вещества. Основу этого составляет фотосинтез растений и пищевые связи организмов в биоценозах.

Однако биологический круговорот вещества требует постоянных затрат энергии.



А. Тенсли
(1871—1955)

английский ботаник,
ввел в науку
понятие «экосистема»

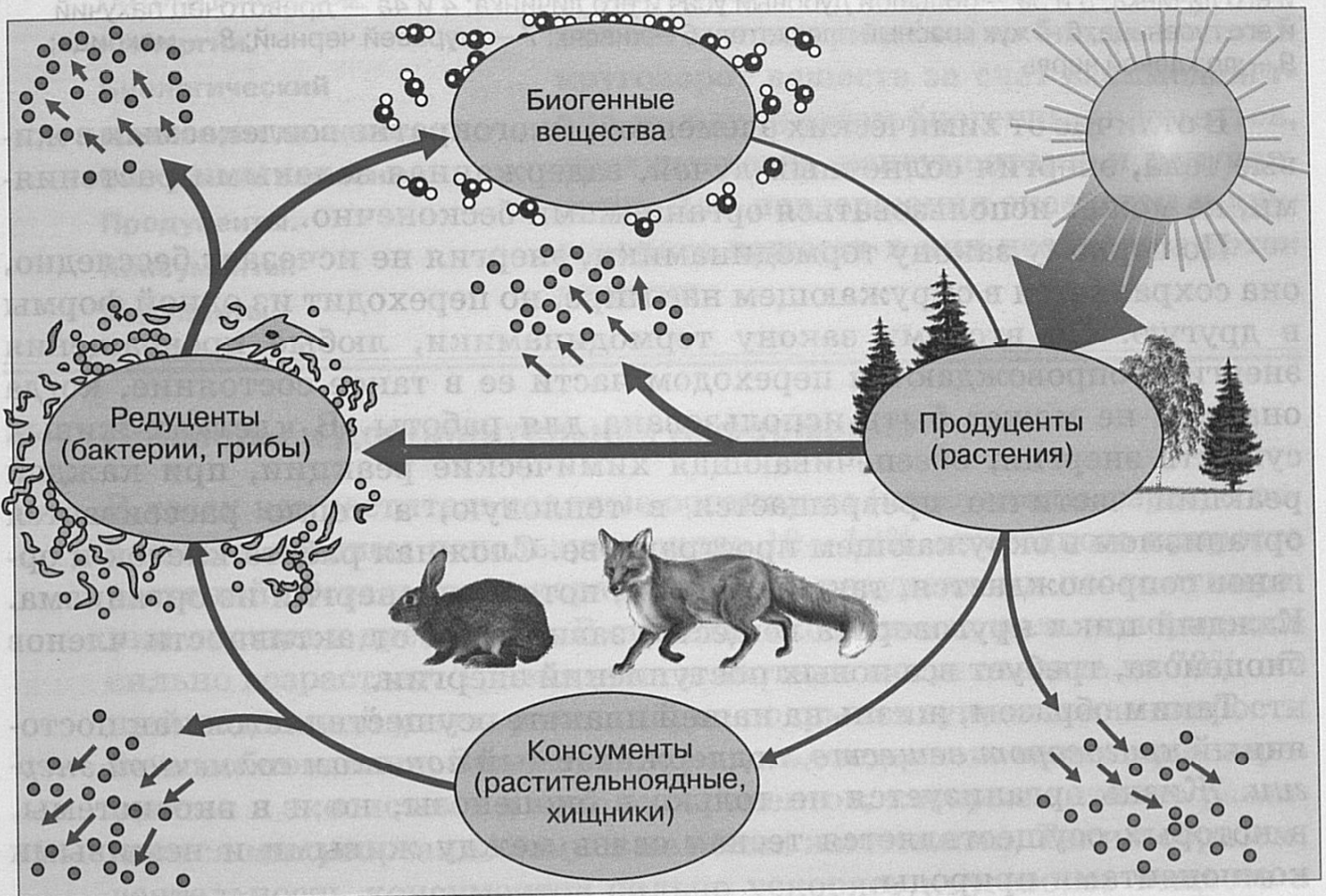


Рис. 67.
Необходимые компоненты экосистемы

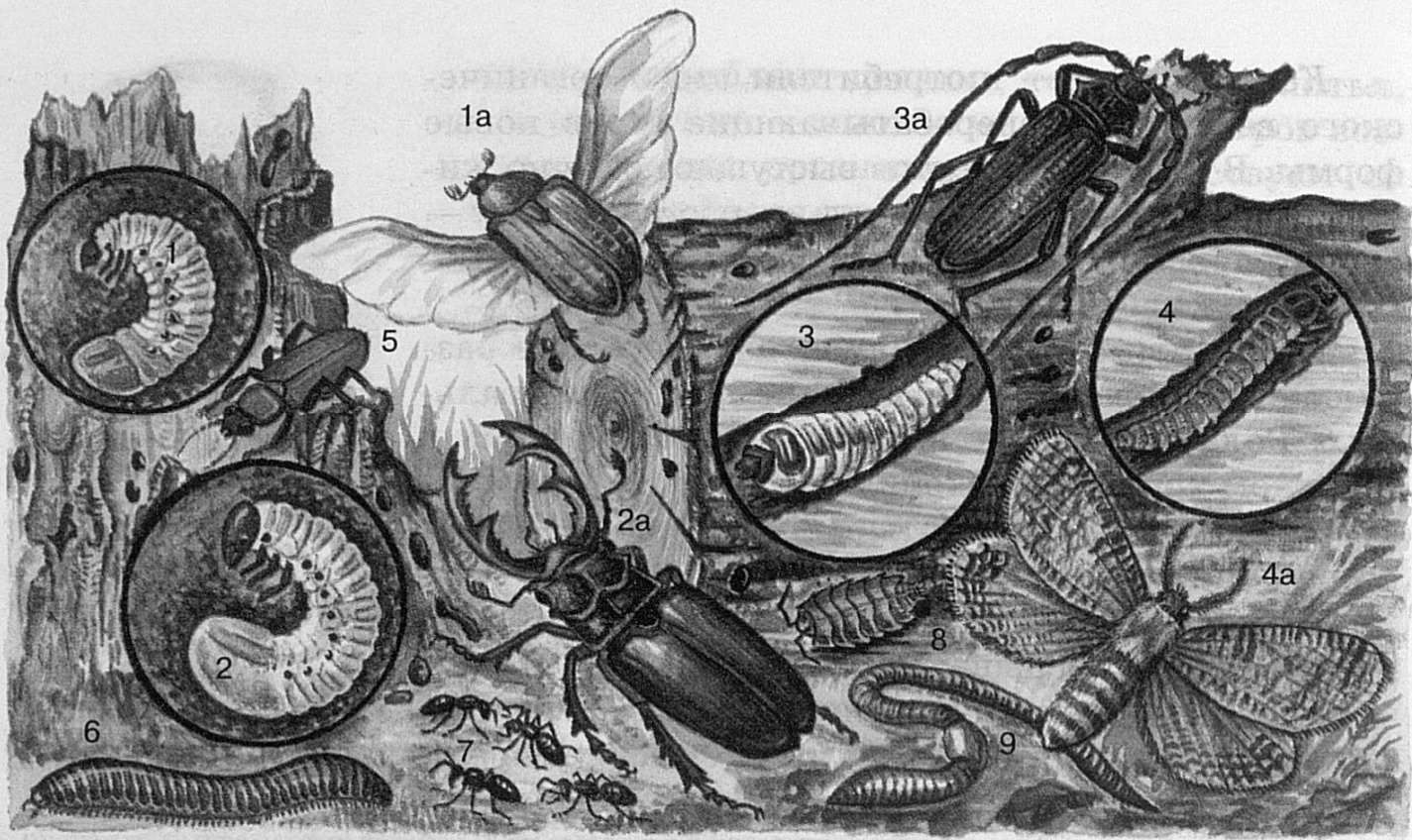


Рис. 68.

Разрушители мертвой древесины: 1 и 1а — бронзовка и ее личинка; 2 и 2а — жук-олень и его личинка; 3 и 3а — большой дубовый усач и его личинка; 4 и 4а — дровоточец пахучий и его гусеница; 5 — жук красный плоскотел; 6 — кивсяк; 7 — муравей черный; 8 — мокрица; 9 — дождевой червь

В отличие от химических элементов, многократно вовлекаемых в живые тела, энергия солнечных лучей, задержанная зелеными растениями, не может использоваться организмами бесконечно.

По первому закону термодинамики, энергия не исчезает бесследно, она сохраняется в окружающем нас мире, но переходит из одной формы в другую. По второму закону термодинамики, любые превращения энергии сопровождаются переходом части ее в такое состояние, когда она уже не может быть использована для работы. В клетках живых существ энергия, обеспечивающая химические реакции, при каждой реакции частично превращается в тепловую, а тепло рассеивается организмом в окружающем пространстве. Сложная работа клеток и органов сопровождается, таким образом, потерями энергии из организма. Каждый цикл круговорота веществ, зависящий от активности членов биоценоза, требует все новых поступлений энергии.

Таким образом, жизнь на нашей планете осуществляется как постоянный *круговорот веществ*, поддерживаемый *потоком солнечной энергии*. Жизнь организуется не только в биоценозы, но и в экосистемы, в которых осуществляется тесная связь между живыми и неживыми компонентами природы.

Разнообразие экосистем на Земле связано как с разнообразием живых организмов, так и условий физической, географической среды. Тун-

дровые, лесные, степные, пустынные или тропические сообщества имеют свои особенности биологических круговоротов и связей с окружающей средой. Водные экосистемы также чрезвычайно различны. Экосистемы отличаются по скорости биологических круговоротов и по общему количеству вовлекаемого в эти циклы вещества.

Основной принцип устойчивости экосистем — круговорот вещества, поддерживаемый потоком энергии, — по сути дела обеспечивает бесконечное существование жизни на Земле.

По этому принципу могут быть организованы и устойчивые искусственные экосистемы, и производственные технологии, в которых бережется вода или другие ресурсы. Нарушение согласованной деятельности организмов в биоценозах обычно влечет за собой серьезные изменения круговоротов вещества в экосистемах. Это главная причина таких экологических катастроф, как падение почвенного плодородия, снижение урожая растений, роста и продуктивности животных, постепенное разрушение природной среды.

□ **Экосистема.**

Потоки вещества
и энергии.

Биологический
круговорот веществ.

Биогенные элементы.

Продуценты.

Консументы.

Редуценты.



Экосистемы формируются из биоценозов и их неживого окружения. В них возникает и поддерживается биологический круговорот веществ за счет взаимодействия между запасом биогенных элементов, продуцентами, консументами и редуцентами. Для поддержания экосистем и круговорота веществ в них необходим поток энергии.

■ **Примеры и дополнительная информация**

1. В лесах все растительные организмы (консументы первого порядка) в среднем используют около 10—12% ежегодного прироста растений. Остальное перерабатывается редуцентами после отмирания листвы и древесины. В степных экосистемах роль консументов сильно возрастает. Травоядные животные могут съесть до 70% общей надземной массы растений, не подрывая существенно скорости их возобновления. Значительная часть съеденного вещества возвращается в экосистему в виде экскрементов, которые активно разлагаются микроорганизмами и мелкими животными. Таким образом, деятельность консументов сильно ускоряет круговорот веществ в степях. Накопление мертвого растительного опада в экосистемах — показатель замедления скорости биологического круговорота.

2. Почва играет в наземных экосистемах прежде всего роль накопителя и резерва тех ресурсов, которые необходимы для жизни биоценоза. Экосистемы, которые не имеют почв, — водные, на скальных, на отмелях и отвалах — очень неустойчивы. Круговорот веществ в них легко прерывается и трудно возобновляется.

В почвах наиболее ценная часть — гумус — сложное вещество, которое образуется из мертвой органики в результате деятельности многочисленных организмов. Гумус обеспечивает долговременное и надежное питание растений, так как разлагается очень медленно и постепенно, освобождая биогенные элементы. Почвы с большим запасом гумуса отличаются высоким плодородием, а экосистемы — устойчивостью.

3. Неустойчивые экосистемы, в которых не сбалансирован круговорот вещества, легко наблюдать на примере зарастания прудов или мелких озер. В таких водоемах, особенно если в них смываются с окружающих полей удобрения, бурно развиваются и прибрежная растительность, и различные водоросли. Растения не успевают перерабатываться водными обитателями и, отмирая, образуют на дне слои торфа. Озеро мелеет и постепенно прекращает свое существование, превращаясь сначала в болото, а затем — в сырой луг. Если водоем небольшой, такие изменения могут протекать достаточно быстро, за несколько лет.

4. Моря представляют собой также гигантские сложные экосистемы. Несмотря на огромную глубину, они заселены жизнью до самого дна. В морях происходит постоянная циркуляция водных масс, возникают течения, у побережья действуют приливы и отливы. Солнечный свет проникает лишь в поверхностные слои воды, ниже 200 м фотосинтез водорослей невозможен. Поэтому на глубинах живут лишь гетеротрофные организмы — животные и бактерии. Таким образом, деятельность продуцентов и основной массы редуцентов и консументов сильно разобщена в пространстве. Мертвое органическое вещество в конце концов опускается на дно, но высвобождающиеся минеральные элементы возвращаются в верхние слои только в тех местах, где существуют сильные восходящие течения. В центральной части океанов размножение водорослей резко ограничивается недостатком биогенных элементов, и «урожайность» океана в этих районах такая же низкая, как в самых сухих пустынях.

□ **Вопросы.** 1. Перечислите возможно более полно состав редуцентов в лесной экосистеме. 2. Как проявляется круговорот веществ в аквариуме? Насколько он замкнут? Как сделать его устойчивее? 3. В степном заповеднике на участке, полностью огражденном от травоядных млекопитающих, урожай трав составил 5,2 ц/га, а на выпасаемом участке — 5,9. Почему устранение консументов понизи-

ло продукцию растений? **4.** Почему снижается плодородие почвенного покрова Земли, если вещества, изъятые человеком в виде урожая с полей, все равно рано или поздно в переработанном виде вновь возвращаются в окружающую среду?

- **Задание.** Сравните ежегодный прирост зеленой массы и запасы мертвых растительных остатков (подстилки — в лесах, ветоши — в степях) в разных экосистемах. Определите, в каких экосистемах круговорот веществ более интенсивен.

Экосистемы	Прирост, ц/га	Подстилка, ветошь
Арктические тундры	2	35
Ельники средней тайги	30	450
Дубравы	40	150
Степи	45	62
Пустыни саксауловые	10	—
Влажные тропические леса	165	20
Сфагновые болота	23	1000 и более

- **Темы для дискуссий. 1.** В окрестностях дымящих промышленных предприятий в лесах стала накапливаться подстилка. Почему это происходит и какие прогнозы можно высказать о будущем этого леса? **2.** Возможно ли существование экосистем, в которых живая часть представлена только двумя группами — продуцентами и редуцентами? **3.** В прошлые эпохи в ряде районов Земли возникли большие запасы каменного угля. Что можно сказать об основных чертах экосистем, в которых это происходило? **4.** В сложных экосистемах дождевых тропических лесов почва очень бедна биогенными элементами. Как это объяснить? Почему тропические леса не восстанавливаются в прежнем виде, если их свести? **5.** Какой должна быть экосистема космического корабля для полетов на долгие годы?

ВСПОМНИТЕ

Энергия

Переход энергии из одного состояния в другое

Масса

Незаменимые аминокислоты

называют *цепями питания* (рис. 70). Отдельные звенья цепей питания называют *трофическими уровнями*.

Цепи питания всегда начинаются с растений или их остатков, прошедших через кишечники животных. Это первый трофический уровень. Их потребители представляют второй трофический уровень и т. д.

§ 17. Законы биологической продуктивности

Сети питания в биоценозах 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,

Примерами цепей питания могут служить ряды: растения — гусеницы — 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. 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.

В конкретных цепях питания можно проследить и рассчитать передачу той энергии, которая заключается в растительной пище. Растения связывают в ходе фотосинтеза 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 простран-

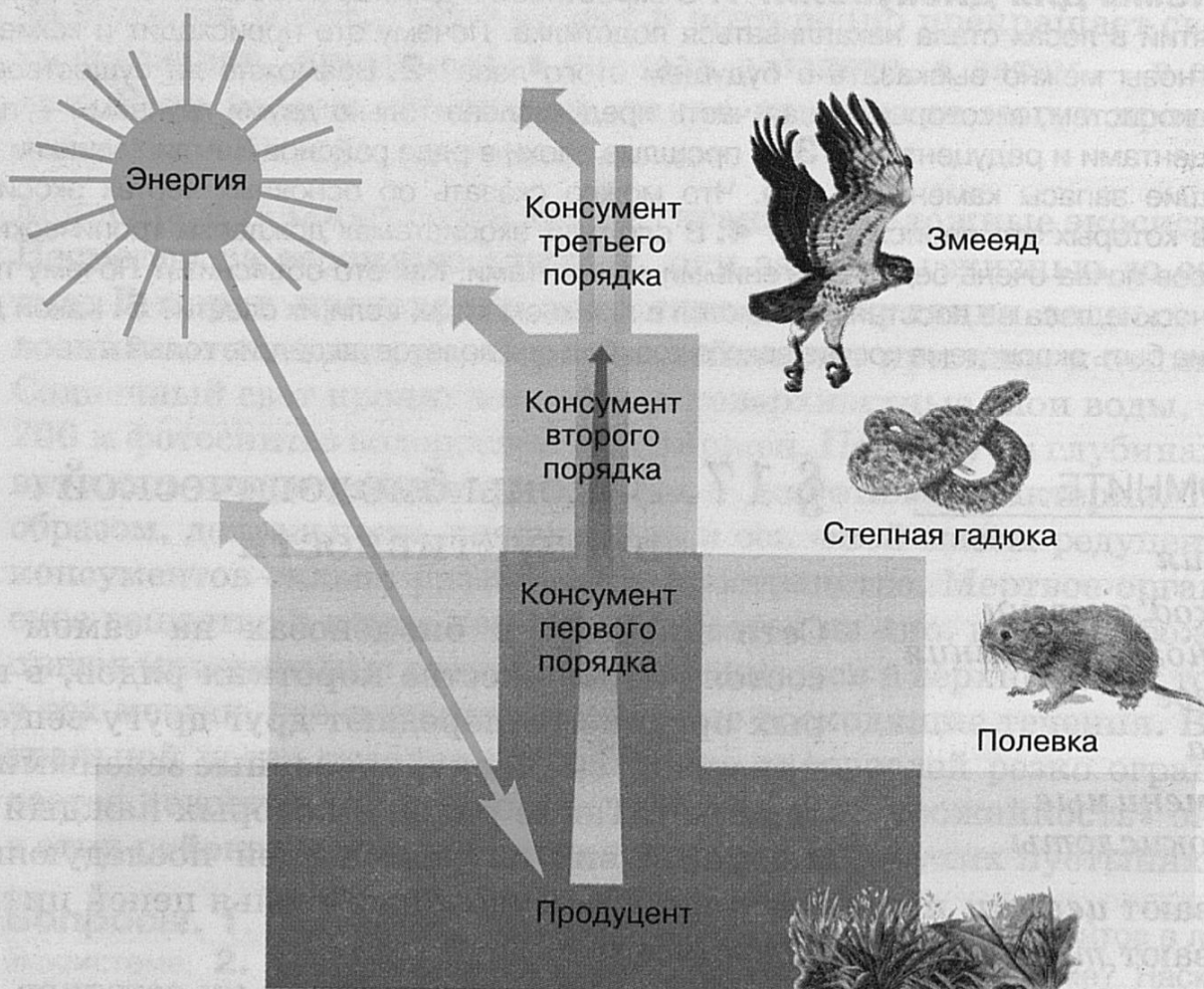


Рис. 69.
Пирамида продукции и поток энергии в экосистемах

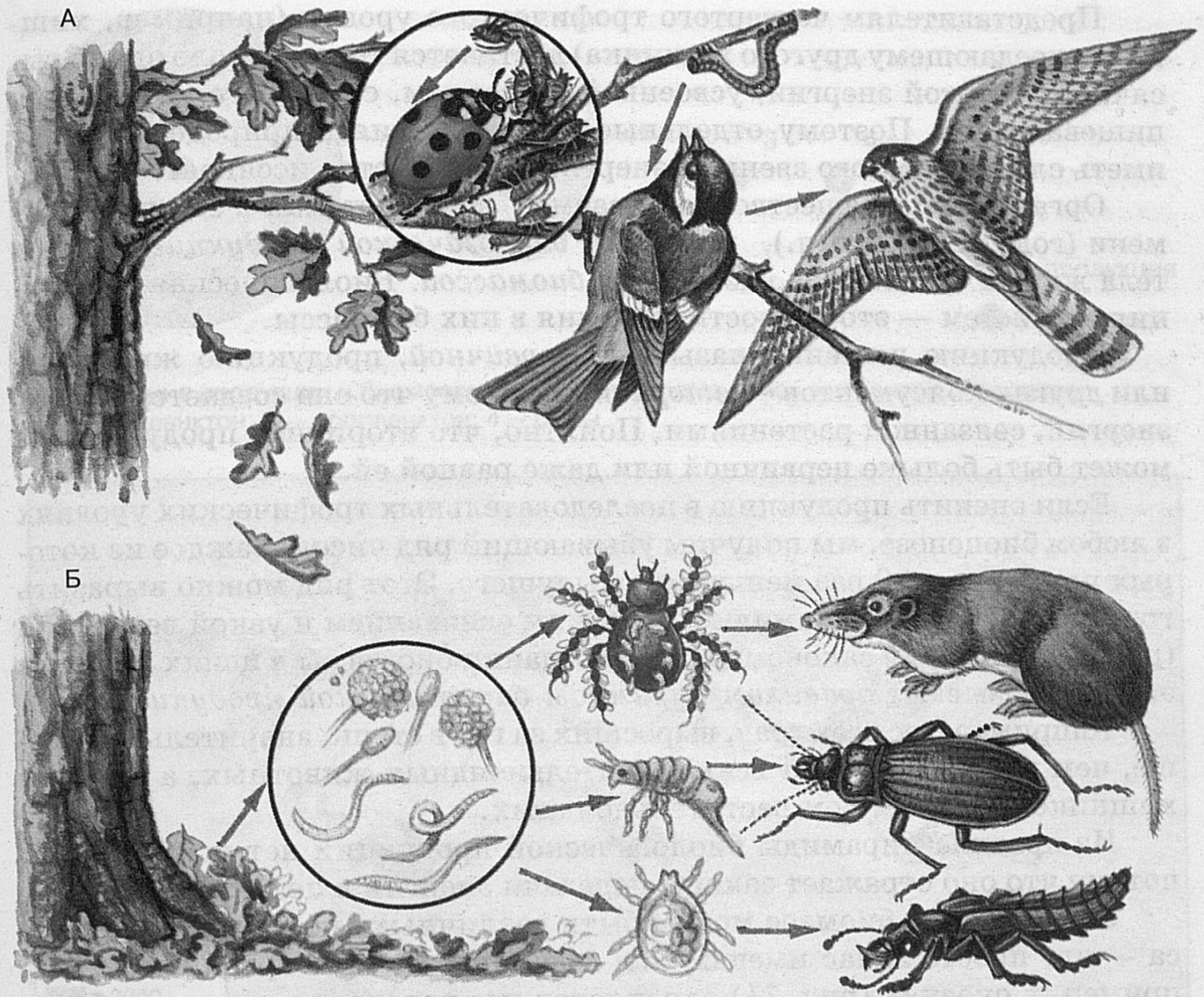


Рис. 70.
Примеры наземных цепей питания: А — цепи выедания; Б — цепи разложения

во. Лишь небольшая часть усвоенной пищи идет на рост, т. е. на построение новых тканей, на запасы в виде отложения жиров. У молодых 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 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 в природе не могут иметь слишком много звеньев, энергия в них быстро иссякает.

Органическое вещество, создаваемое в экосистемах в единицу времени (год, месяц и т. п.), называют *биологической продукцией*. Масса тела живых организмов называется *биомассой*. Биологическая продукция экосистем — это скорость создания в них биомассы.

Продукцию растений называют *первичной*, продукцию животных или других консументов — *вторичной*, потому что она создается за счет энергии, связанной растениями. Понятно, что вторичная продукция не может быть больше первичной или даже равной ей.

Если оценить продукцию в последовательных трофических уровнях в любом биоценозе, 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. 69). 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. 71) одноклеточные водоросли делятся с большой скоростью и дают очень высокую продукцию. Однако их общее количество меняется мало, потому что с 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.

Среднее значение первичной продукции 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. Наименее продуктивны экосистемы жарких и холодных пустынь и центральных частей океанов (рис. 72). Среднюю продукцию да-

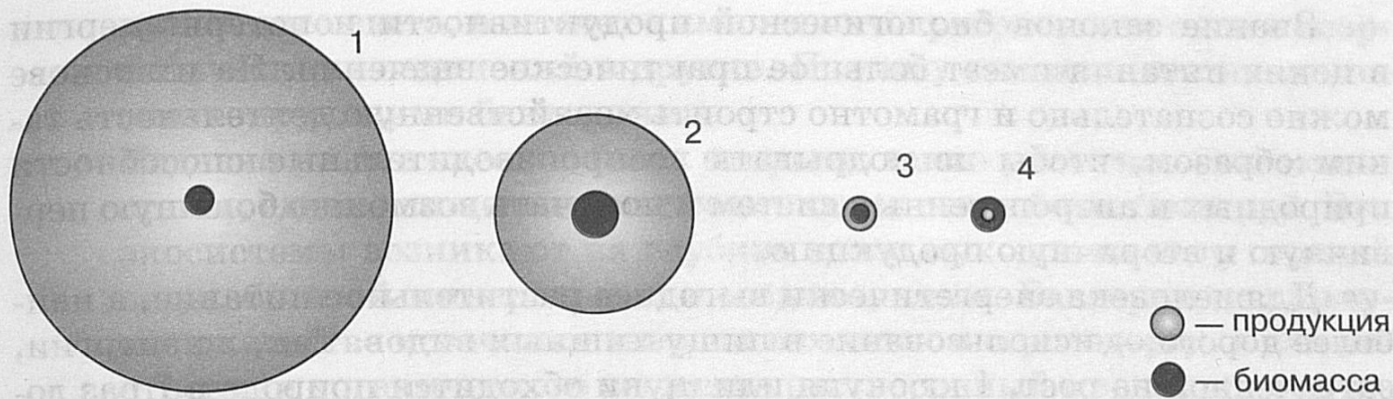


Рис. 71. Соотношение продукции и биомассы разных групп организмов в океане: 1 — бактерии; 2 — фитопланктон; 3 — зоопланктон; 4 — рыбы

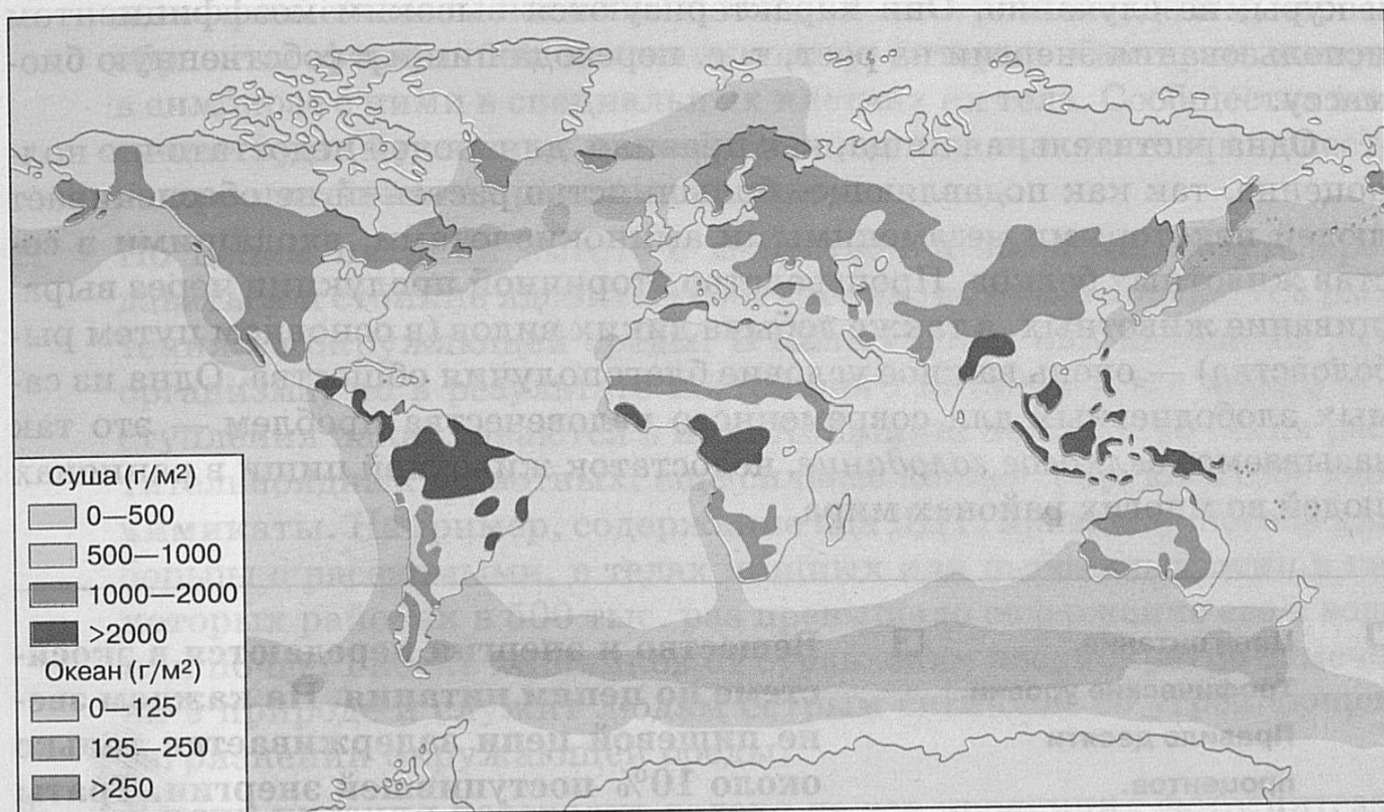


Рис. 72. Первичная продуктивность Мирового океана и суши

ют 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. 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.

□ Цепи питания.
Трофические уровни.
Правило десяти процентов.
Биологическая продукция.
Биомасса.
Пирамида биологической продукции.
Белковое голодание.

□ Вещество и энергия передаются в экосистеме по цепям питания. На каждом звене пищевой цепи задерживается только около 10% поступившей энергии. Траты энергии в пищевых цепях отражаются в пирамиде биологической продукции.

■ Примеры и дополнительная информация

1. 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, где все пищевые цепи начинаются с подобных бактерий. 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.

2. 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, поедая 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.
3. В цепи питания переходит далеко не вся продукция фотосинтеза. 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*.
4. 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.

5. 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 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).

6. Разработана технология переработки отходов промышленного животноводства по принципу разворачивания в пространстве пищевой цепи. Навоз животных смывается в водоемы-отстойники. Из них взвесь дозированно 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.

□ **Вопросы.** 1. Приведите примеры цепей питания, начинающихся с мертвых растительных остатков, с одноклеточных водорослей, с наземных растений и заканчивающихся человеком. 2. Чем понятие биологической продукции отличается от понятия биомассы? 3. В рыбном хозяйстве широко разводят форелей, карпов и толстолобиков. Какие из этих рыб обходятся, с энергетической точки зрения, дешевле, если форели питаются в природе в основном личинками водных насекомых, толстолобики — преимущественно фитопланктоном и водными растениями, а карпы имеют смешанный характер питания? 4. Назовите животных, которые могут занимать только строго определенное место в цепях питания.

□ **Задания.** 1. Рассчитайте коэффициент полезного действия при передаче энергии в каждом звене пищевой цепи из примера 5. Какое количество солнечной энергии (в калориях) нужно для поддержания жизни мальчика, если учесть, что КПД продукции люцерны составляет в данном случае 0,24%? 2. Рассчитайте эффективность (КПД) передачи энергии в основных звеньях пищевой цепи в океане,

исходя из следующих цифр. На 1 м² поверхности океана приходится в среднем около 3 млн калорий солнечной энергии в сутки. Продукция диатомовых водорослей за этот же период на эту же площадь составляет 9000 калорий, зоопланктона — 4000, рыб — 5 калорий в сутки.

- **Темы для дискуссий.** 1. Предложите разные принципиальные пути повышения урожайности сельскохозяйственных растений, возможные с экологической точки зрения. 2. Многие люди увлекаются вегетарианством. Необходим ли такой путь для всего человечества, если учесть рост населения на Земле? В чем преимущества и недостатки ограничения рациона людей только растительной пищей? 3. Какие места в цепях питания занимает человек? Приведите примеры. 4. Если можно получать высокие урожаи на полях, стоит ли беспокоиться о снижении продуктивности дикой природы?

ВСПОМНИТЕ

Удобрения
минеральные
и органические
Культурные
растения
Пестициды
Севообороты

§ 18. Агроценозы и агроэкосистемы

Агроценозы. Биоценозы, которые возникают на землях сельскохозяйственного пользования, называют *агроценозами* (рис. 73). Они отличаются от природных сообществ, во-первых, пониженным разнообразием входящих в них видов и, во-вторых, пониженной способностью

главного члена этих сообществ — культурных растений — противостоять конкурентам и вредителям. Культурные виды так сильно изменены селекцией в пользу человека, что без его поддержки не могут выдержать борьбу за существование.

Агроценозы поддерживаются человеком посредством больших затрат энергии (мускульной энергии людей и животных, работы сельскохозяйственных машин, связанной энергии удобрений, затрат на дополнительный полив и т. п.). Природные биоценозы таких дополнительных вложений энергии не получают.

На полях обычно выращивают какой-либо один вид растений. С хозяйственной точки зрения идеальный агроценоз должен был бы состоять из этого единственного вида, а идеальная пищевая цепь всего из двух звеньев: растение — человек или растение — домашние животные. Но такая система в природе невозможна. Она неустойчива. На полях после вспашки целины быстро формируются довольно разнообразные сообщества из видов, способных выжить в условиях постоянного антропогенного воздействия на поля. Формируются цепи питания из трех-четырех звеньев, возникают конкурентные взаимодействия и другие типы отношений между видами.

Например, в полях на растениях пшеницы обнаруживается в среднем около 300 видов одних только членистоногих. Кроме них, здесь обитают грызуны, птицы, богат мир почвенных беспозвоночных животных, разнообразных грибов, бактерий, развивается довольно много видов сорных растений. Таким образом, в агроценозах взаимодействуют сотни и даже тысячи видов, хотя это разнообразие значительно меньше, чем в большинстве природных сообществ (рис. 74).

В борьбе человека с сорняками и вредителями культурных растений постоянно возникает экологический *эффект бумеранга*. В современном сельском хозяйстве в изобилии применяют разнообразные химические средства защиты растений — пестициды. Большинство пестицидов не обладает избирательным действием и подавляет не только те виды, против которых применяется, но и их паразитов и хищников. Таким образом нарушаются возникающие в агроценозах регуляторные связи. Хищники и паразиты, занимая более высокие уровни в цепях питания, более чувствительны к ядам, чем те виды, которыми они питаются. Оставшаяся часть вредителей, освобожденная от регуляторов, дает новую, еще более высокую вспышку численности.

Из этого экологического тупика есть только один выход — не предельное упрощение агроценозов, а регуляция в них численности отдельных видов. Так, если в возникающей цепи питания: растение — растительноядное насекомое — паразит усилить последнее звено, то это также приведет к сохранению урожая.

Специальное использование живых организмов — хищных или паразитических насекомых, насекомоядных или хищных птиц, бактерий, вирусов и т. д. — для подавления численности вредителей называют *биологическим методом борьбы*.

Устойчивую регуляцию численности отдельных видов может осуществить только сложное сообщество. Если оно развивается на полях, то при этом общая продукция культурных растений несколько понижается, так как часть ее идет в цепи питания, но зато достигается стабильность урожая, уменьшается опасность потерять много из-за массового размножения вредителей. Поэтому одно из самых современных направлений в сельскохозяйственной практике — поддержание как можно большего видового богатства и на полях, и в их окружении. В агроценозах человек должен стремиться также сохранять разнообразие почвенных организмов, ответственных за почвообразовательные процессы и поддержание почвенного плодородия.

Другая группа причин, определяющая неустойчивость агроценозов, связана с тем, что из-за постоянного изъятия урожая человеком они не в состоянии более или менее полно поддерживать круговорот веществ. Все знают, как быстро истощается почва на полях и огородах, если люди

не возвращают в нее биогенные элементы в виде минеральных или органических удобрений.

Поддерживать устойчивый биологический круговорот веществ на землях сельскохозяйственного пользования можно при экологически грамотном создании агроэкосистем.

Агроэкосистемы. *Агроэкосистемы* — это такие сознательно спланированные человеком территории, на которых сбалансировано получение сельскохозяйственной продукции и возврат ее составляющих на поля. В правильно спланированные агроэкосистемы, кроме пашен, входят пастбища или луга и животноводческие комплексы. Элементы питания растений, изъятые с полей вместе с урожаем, возвращаются в систему



Рис. 73.
Культурные растения в агроценозах

Рис. 74.
Виды насекомых, встречающиеся на картофельном поле, и их численность

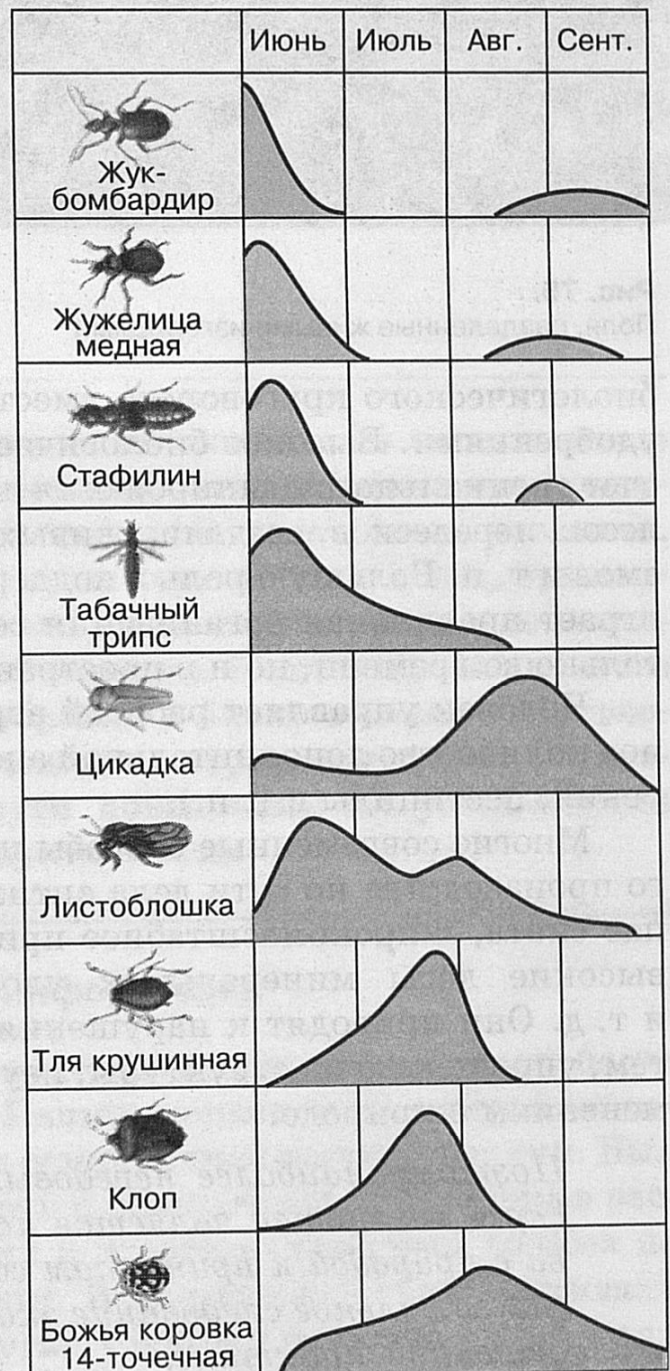




Рис. 75.

Поля, разделенные живыми изгородями

биологического круговорота вместе с органическими и минеральными удобрениями. Высокое биологическое разнообразие поддерживается за счет специального планирования ландшафта: чередование полей, лугов, лесов, перелесков, создание живых изгородей (рис. 75), лесополос, водоемов и т. п. Большую роль в поддержании разнообразия видов на полях играет правильная организация севооборотов, чередование культур не только во времени, но и в пространстве.

Человек управляет работой агроэкосистем, внося в них значительное количество дополнительной энергии (обработка почвы, полив, удобрения, пестициды и т. п.).

Многие современные способы промышленного сельскохозяйственного производства по сути дела антиэкологичны: монокультуры, перевыпас скота, широкомасштабное применение ядохимикатов и чрезмерно высокие дозы минеральных удобрений, сплошная распашка почв и т. д. Они приводят к нарушениям нормальной деятельности экосистем, упрощению их структуры, неустойчивости и катастрофическим изменениям в природе.

Поэтому наиболее передовым направлением современного сельского хозяйства является переход от принципов противоборства с природой к принципам сотрудничества с ней. Это означает максимальное следование экологическим законам в сельскохозяйственной практике.



Рис. 76.
Работа сельскохозяйственных машин на поле

□ **Агроценозы.**
Биологический
метод борьбы.
Агроэкосистемы.

□ **В агроценозах ослаблены естественные регуляторные связи и понижена конкурентоспособность культурных растений. Агроценозы неустойчивы и поддерживаются человеком за счет затрат дополнительной энергии. Поддержание видового разнообразия и биологического круговорота веществ в агроэкосистемах — главные пути повышения их устойчивости и продуктивности.**

■ **Примеры и дополнительная информация**

1. На первых этапах развития земледелия агроценозы были более устойчивы, чем современные. Пашни занимали сравнительно небольшие площади в окружении естественной растительности. Был богат мир животных-регуляторов и опылителей. Культурные растения не были чистыми сортами и представляли смесь разных по наследственным качествам форм. В засушливые годы выживали одни формы, во влажные — другие. Сорняки на полях привлекали

разнообразных насекомых. Существовала система связей, близких к природным. Такие агроценозы давали относительно невысокие, но надежные урожаи, и вспышки численности вредителей в них были редкими.

С развитием интенсивного товарного земледелия урожайность полей возросла, но устойчивость и запасы прочности экосистем резко понизились. Еще более 100 лет назад был сформулирован закон убывающего плодородия, по которому сельскохозяйственное производство непременно ведет к истощению и деградации почв. С развитием экологии стало понятно, что приостановить действие этого закона может только планирование сельскохозяйственного производства на экосистемных принципах.

2. При невысокой численности сорняки на полях приносят и немалую пользу. Они накапливают не усвоенные культурными растениями элементы питания, сохраняют их от вымывания, а затем, разлагаясь, удобряют почву. Сорные растения защищают почву от эрозии, привлекают разнообразные виды насекомых, активизируют деятельность почвенных микроорганизмов корневыми выделениями. Многие сорняки — хорошие медоносы и лекарственные виды. Они могут также служить дополнительным источником питания для домашних животных.

Таким образом, польза или вред от вида в агроценозе зависит от его относительной численности и степени влияния на культурные растения. Абсолютно вредных или полезных видов в природе не существует.

3. Преимуществом биологических методов борьбы с вредителями является их избирательное действие лишь на определенные, нежелательные в агроценозе виды. В результате отпадает необходимость в ядохимикатах, предотвращается загрязнение среды и сохраняется полезная фауна — опылители, хищники и паразиты. При использовании биометода практикуются ввоз и акклиматизация новых хищников и паразитов-вредителей, создание условий, способствующих размножению местных видов, а также искусственное разведение и выпуск в сады и на поля наиболее эффективных врагов вредных насекомых (рис. 77). Например, в нашей стране специально разводят мелких перепончатокрылых — трихограмм, личинки которых паразитируют в яйцах других насекомых. Трихограмм успешно использовали в борьбе против бабочки озимой совки — опасного вредителя полевых культур.

4. Листогрызущие насекомые в небольшом количестве полезны культурным растениям. Их деятельность осветляет полог листьев и улучшает световой режим для фотосинтеза. При невысокой доле

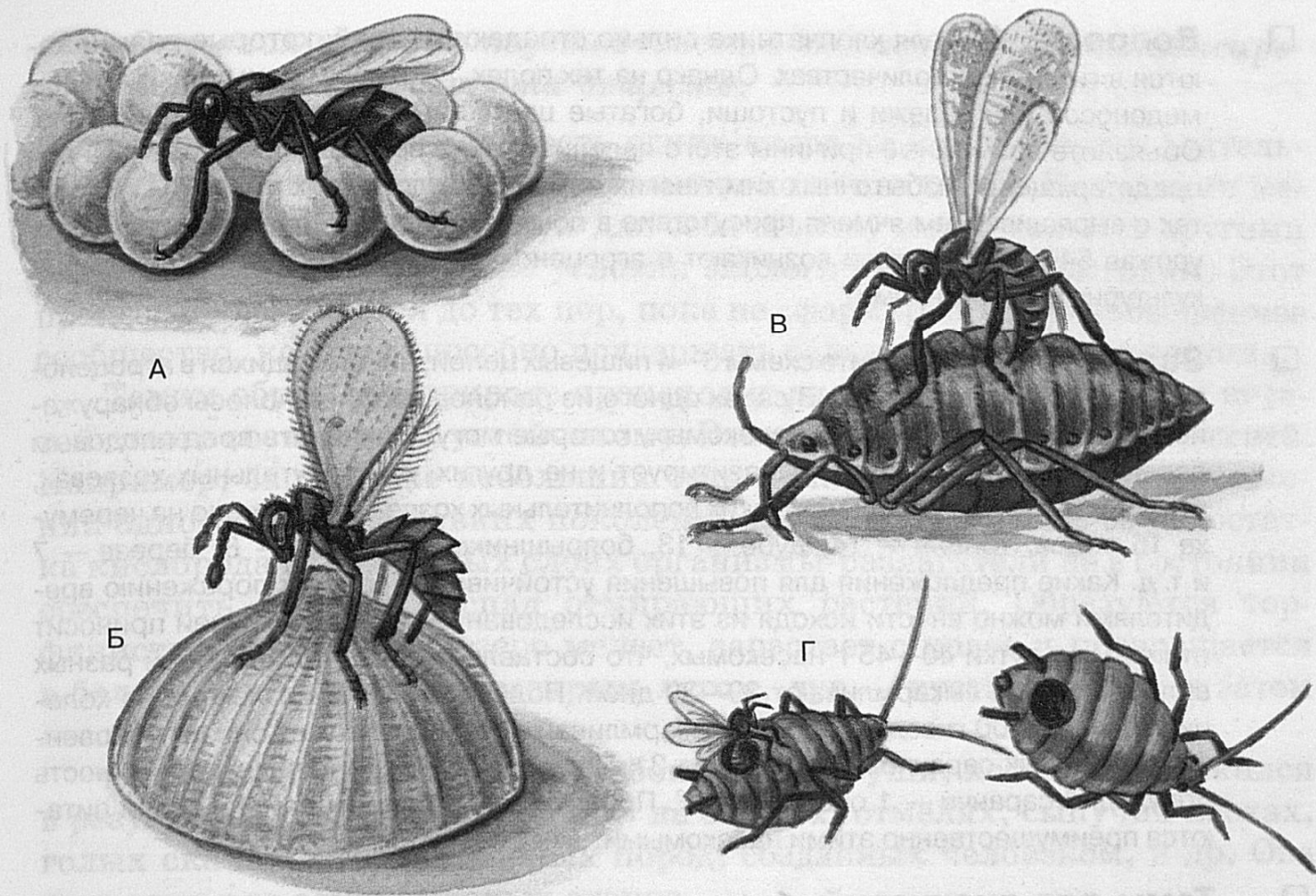


Рис. 77.

Наездники и яйцееды — помощники человека в борьбе с вредителями сельского хозяйства: А, Б — самки яйцеедов на яйцах насекомого-хозяина; В — наездник на тле; Г — погибшие тли после развития в них наездников

повреждений растения быстро отращивают съеденную листву без потерь общей урожайности. Виды насекомых, потребляющих культурные растения, считаются вредителями, когда превышают определенный уровень численности и их деятельность начинает снижать урожай. Этот уровень называют «порогом вредоносности». Если вид не достигает порога вредоносности, он не считается вредителем и борьбу с ним не проводят.

5. Культурные растения сильно различаются по устойчивости к засорению. Количество сорняков, губительное для одного вида, почти не вредит другому. Если принять урожай в чистом посеве за единицу, то на сильно засоренных участках он составит для пшеницы 0,75, для картофеля — 0,65, кукурузы — 0,56, льна — 0,42, сахарной свеклы — 0,23, хлопчатника — 0,12. Таким образом, пшеница — наиболее устойчивая к засорению культура. При покрытии 10—15% почвы сорняками затраты на химическую прополку на полях пшеницы обычно не окупаются прибавкой урожая и можно избежать применения ядохимикатов.

- **Вопросы.** **1.** Поля хлопчатника сильно страдают от тлей, которые размножаются в гигантских количествах. Однако на тех полях, к которым примыкают посеы медоносков или залежи и пустоши, богатые цветущими растениями, тлей мало. Объясните возможные причины этого явления. Какие выводы можно сделать для предотвращения избыточных химических обработок хлопковых полей? **2.** В опытах с выращиванием ячменя присутствие в почве дождевых червей дало прибавку урожая 54%. Какие связи возникают в агроценозах между дождевыми червями и культурными растениями?

- **Задания.** **1.** Изобразите схемы 3—4 пищевых цепей, начинающихся в агроценозе с растений пшеницы. **2.** В садах одного из районов средней полосы обнаружено 146 видов паразитов тех насекомых, которые могут причинять вред плодовым деревьям. Большинство их паразитирует и на других, дополнительных хозяевах, живущих на разных растениях. Таких дополнительных хозяев обнаружено на черемухе 16 видов, тополе — 14, дубе — 13, боярышнике — 9, липе — 8, березе — 7 и т. д. Какие предложения для повышения устойчивости садов к поражению вредителями можно внести исходя из этих исследований? **3.** Пара грачей приносит птенцам за сутки 40—45 г насекомых, что составляет около 1000 особей разных видов. Птенцов выкармливают 29—30 дней. Подсчитайте, на сколько одна колония грачей в 200 гнезд за период выкармливания птенцов может снизить численность вредных саранчовых в радиусе 3 км от колонии, если начальная плотность популяций саранчи — 1 особь на 1 м². Принять, что в данном районе грачи питаются преимущественно этими насекомыми.

- **Темы для дискуссий.** **1.** Усиление регуляторных способностей агроценозов влечет за собой некоторое снижение урожайности. Можем ли мы пойти на это, если рост численности населения требует увеличения сельскохозяйственной продукции? **2.** Можно ли полностью отказаться от химических мер борьбы с вредителями и перейти на биометод? **3.** Почему культурные растения не могут расти в природных сообществах или, «одичав», теряют свои сортовые качества? **4.** Один из передовых методов современной агрономии — выращивание сортосмесей или подбор разных видов на одном поле. Что это дает с экологической точки зрения? **5.** Совместимы ли высокая устойчивость и высокая продуктивность агроэкосистем?

ВСПОМНИТЕ

Автотрофы

Гетеротрофы

Регуляторные связи

§ 19. Саморазвитие экосистем — сукцессии

В природе существуют как стабильные, так и нестабильные экосистемы. Дубрава, ковыльная степь, ельники темнохвойной тайги — это примеры длительно существующих, устойчивых экосистем. Пустоши, сырые луга, мелкие водоемы, если их предоставить самим себе, быстро изменяются. Они постепенно зарастают другой растительностью, заселяются другими животными и превращаются в экосистемы иного типа. На месте болота вырастает лес, на заброшенных пашнях восстанавливается степь и т. д.

Основная причина неустойчивости экосистем — несбалансированность круговорота веществ.

Если в биоценозах деятельность одних видов не компенсирует деятельность других, то условия среды неминуемо изменяются. Популяции меняют среду в неблагоприятную для себя сторону и вытесняются другими видами, для которых новые условия экологически более выгодны. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не сформируется уравновешенное сообщество, которое способно поддерживать баланс веществ в экосистеме.

Таким образом в природе происходит развитие экосистем от неустойчивого состояния к устойчивому. Этот процесс называют *сукцессией*. Например, зарастание небольших озер можно проследить на протяжении одного или нескольких поколений людей (рис. 78). Из-за недостатка кислорода в придонных слоях организмы-разлагатели не в состоянии обеспечить полный распад отмирающих растений. Образуются торфянистые отложения, озеро мелеет, зарастает с краев и превращается в болото. Оно сменяется мокрым лугом, луг — кустарниками, а затем лесом.

Сукцессия начинается на любом участке суши, который обнажился в результате каких-либо причин: на осыпях, отмелях, сыпучих песках, голых скалах, отвалах горных пород, созданных человеком, и др. Она проходит ряд закономерных этапов.

На первом этапе обнажившийся участок заселяется случайно попадающими сюда организмами из окружающих местообитаний: семенами, спорами, летающими и ползающими насекомыми, расселяющимися грызунами, птицами и т. д. Далеко не все из них способны прижиться на этом месте, и многие или погибают, или покидают его.

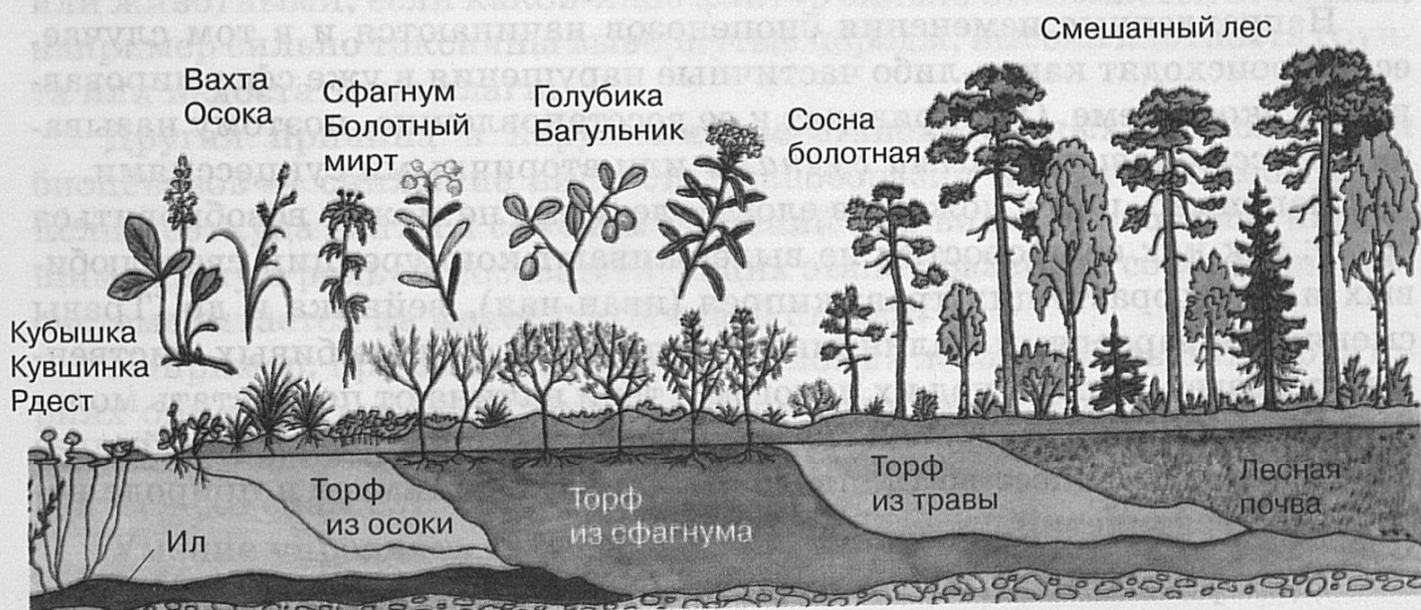


Рис. 78.

Смена сообществ при зарастании водоема

На втором этапе прижившиеся виды начинают осваивать и изменять среду обитания, еще не мешая друг другу.

На третьем этапе, когда участок полностью освоен, обостряются конкурентные отношения. Так как виды изменяют среду в неблагоприятную для себя сторону, часть из них вытесняется и появляются новые. Например, на задернованном участке уже не могут прорасти семена сорняков, которые первыми осваивали эту территорию. Они исчезают. Процесс постепенной смены видового состава может длиться достаточно долго.

На заключительном этапе устанавливается, наконец, *постоянный состав сообщества*, когда виды распределены по экологическим нишам, не мешая друг другу, связаны пищевыми цепями и взаимовыгодными отношениями и согласованно осуществляют круговорот веществ. В таком биоценозе сильны регуляторные связи, и он может неопределенно долго поддерживать экосистему, пока внешние силы не выведут его из этого состояния.

Таким образом, саморазвитие экосистем осуществляется через отношения между видами и их воздействие на среду обитания, т. е. через закономерные изменения биоценозов.

Смена биоценозов в сукцессиях всегда идет от наименее устойчивого состояния к наиболее устойчивому. Скорость этих изменений постепенно замедляется. Замедление темпов — одна из главных особенностей сукцессий. Приближаясь к устойчивому состоянию, они могут надолго задерживаться на отдельных стадиях. Мелкий водоем зарастает быстрее, чем впоследствии березовый лес на этом месте заменяется дубовым.

Неустойчивые стадии при смене биоценозов называют *незрелыми сообществами*, устойчивые — *зрелыми*.

Направленные изменения биоценозов начинаются и в том случае, если происходят какие-либо частичные нарушения в уже сформировавшейся экосистеме. Они приводят к ее восстановлению, поэтому называются *восстановительными сменами* или вторичными сукцессиями.

Например, после пожара в еловом лесу ель не может возобновиться сразу, так как ее проростки не выдерживают конкуренции светолюбивых и быстрорастущих трав: кипрея (иван-чая), вейника и др. Травы сменяются зарослями маличника и подростом светолюбивых лиственных деревьев, и лишь под их пологом в тени начинают подрастать молодые елочки. Каждая из этих стадий развития длительнее и устойчивее предыдущей. Процесс восстановления ельника занимает в природе несколько десятилетий.

Для развития биоценозов в ходе сукцессии характерен целый ряд общих закономерностей: постепенное увеличение видового разнообразия, смена доминирующих видов, усложнение цепей пи-

тания, увеличение в сообществах доли видов с длительными циклами развития, усиление взаимовыгодных связей в биоценозах и т. д.

Постепенно нарастают общая биомасса и продукция растений, но также растут и масштабы использования этой продукции в цепях питания. Все это приводит к замедлению темпов изменений и к установлению стабильных экосистем.

В зрелых, устойчивых сообществах все, что наращивают растения, используется гетеротрофами — это главная причина стабилизации экосистем. Если человек изымает продукцию из таких экосистем (например, древесину из зрелых лесов), он неминуемо нарушает их.

На начальных этапах развития биоценозов, пока не сложились цепи питания, в экосистемах создается избыток растительной продукции, и такие биоценозы выгодны человеку.

Деятельность людей постоянно приводит к сменам различных биоценозов — в результате рубок леса, осушения и обводнения земель, выработки торфяников, прокладки дорог и т. д. Частичные или глубокие нарушения экосистем вызывают природные процессы их самовосстановления.

Однако природные возможности не безграничны. Самовосстановление биоценозов часто тормозится различными внешними причинами. Например, ежегодные разливы рек все время нарушают формирование устойчивых биоценозов на их берегах, и здесь сообщества существуют в постоянно незрелом состоянии. Точно так же постоянная вспашка полей предотвращает восстановление естественной растительности на этой территории. Пустыри могут десятилетиями не заселяться растениями или животными, если какой-либо фактор сильно отклоняется от нормы, например сильно токсичны вывернутые породы, высока плотность грунта или недостаточно влаги.

Другая причина в нарушении восстановительных возможностей биоценозов — снижение видового разнообразия в окружающей среде. Если неоткуда взяться семенам растений или видам животных, играющим важную роль на соответствующих этапах развития сообществ, экосистема остается на менее устойчивой стадии.

Например, при сплошных рубках еловых лесов на больших территориях они зарастают со временем малоценными мелколиственными породами и надолго задерживаются в этом состоянии, так как неоткуда взяться семенам ели.

Умение управлять процессами саморазвития и самовосстановления экосистем — очень важная задача современной хозяйственной деятельности, когда человек приводит в постоянное движение весь живой покров планеты. Снимая ограничивающие факторы, поставляя соответст-

вующие семена растений и вселяя необходимые виды животных, можно ускорить формирование стабильных сообществ или, наоборот, задержать процессы на нужной нам стадии развития.

- | | |
|---|--|
| <p>□ Сукцессии.
Незрелые сообщества.
Зрелые сообщества.
Восстановительные смены.
Замедление темпов развития экосистем.</p> | <p>□ В природе существуют как устойчивые, зрелые, так и неустойчивые, развивающиеся экосистемы. Развитие экосистем происходит на основе смены видов, пока не сформируется такой биоценоз, который способен поддерживать устойчивый биологический круговорот веществ. Экосистемы способны к самовосстановлению при частичных нарушениях. Эти возможности не безграничны и зависят как от внешних условий, так и от видовой разнообразия в окружающей среде.</p> |
|---|--|

■ Примеры и дополнительная информация

1. Быстрые смены сообществ всегда проходят в скоплениях разлагающихся растительных остатков, трупах и навозе животных. Эти сообщества живут за счет запасов энергии, накопленной в мертвых органических остатках. Смены видов идут до тех пор, пока эти запасы полностью не иссякнут.
Г. Ф. Гаузе продемонстрировал такие смены в пробирках с сенным настоем (рис. 79). Он занес в них несколько капель воды из природного водоема, содержащих разных представителей водной фауны. Животные стали активно размножаться, и начался процесс развития очень неустойчивого сообщества, в котором последовательно доминировали разные виды. Сначала преобладали мелкие бесцветные жгутиковые, их сменили похожие на бобы инфузории-кольпиды, затем в массе появились инфузории-туфельки, после них — похожие на цветы сувойки и ползающие инфузории, в последнюю очередь — многоклеточные коловратки, мелкие рачки и другие виды. Сообщество становилось все более разнообразным, но постепенно численность всех видов уменьшилась в связи с истощением сеного настоя.
2. Причиной направленных смен сообществ в природе может стать не их саморазвитие, а длительное воздействие на них разрушительных факторов, например загрязнение водоемов, вытаптывание лесов, усиленный выпас скота. При этом сообщества проходят как бы

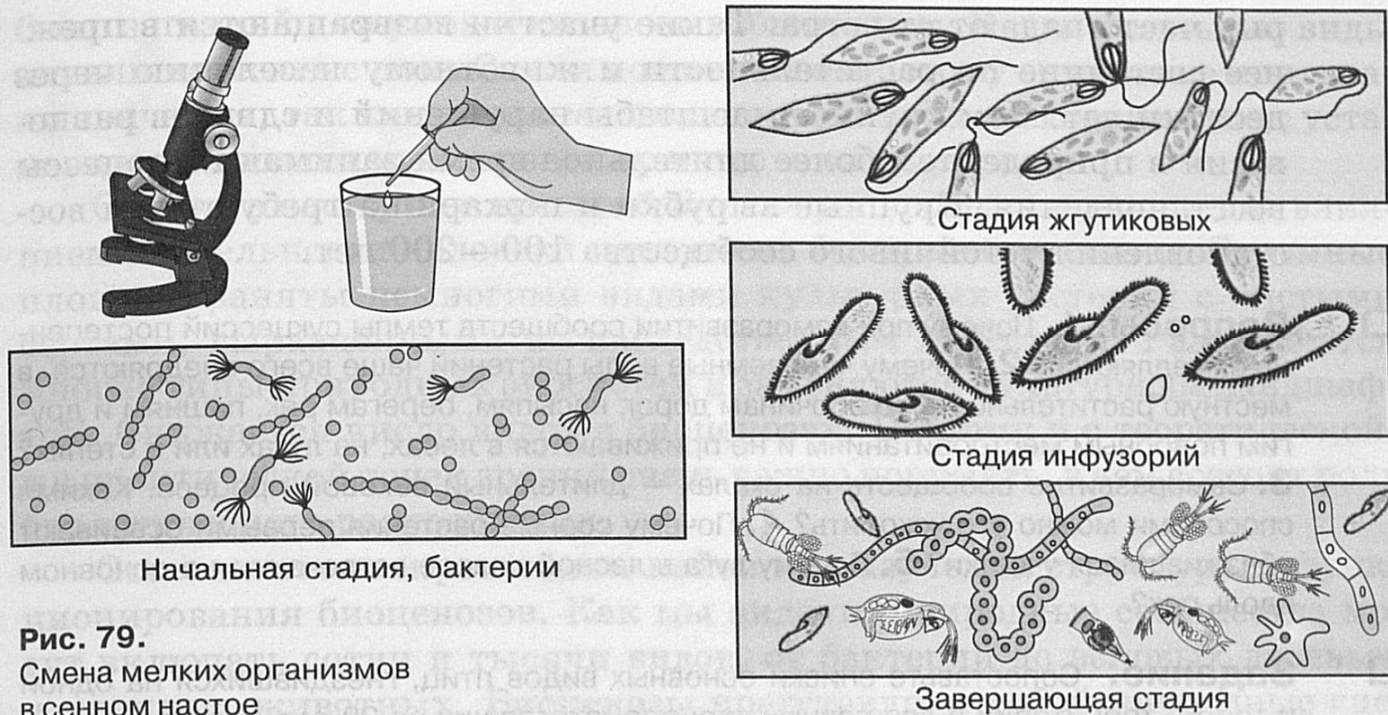


Рис. 79.
Смена мелких организмов
в сенном настое

обратный путь, от сложных к простым, происходит их постепенная деградация. Например, на степных пастбищах с песчаными почвами дерновинки многолетних злаков — ковыля и типчака — разбиваются копытами скота и затем почти исчезают. Развиваются двухлетние и однолетние сорные растения. Затем их сменяют виды, характерные для сыпучих и слабозаросших песков: вейник, осока песчаная и др., а на последней стадии разрушения сообщества возникают голые пески лишь с отдельными растениями.

3. Американский ботаник Ф. Клементс в начале XX века впервые разработал теорию сукцессий. Он установил, что вначале неустойчивые сообщества, возникающие в разных условиях — на скалах, песках, отмелях, в сухих и влажных местообитаниях, сильно различаются по составу видов. Затем, по мере развития, они все включают все большее число общих видов, и в конце концов эти смены часто заканчиваются формированием одного и того же типа устойчивого биоценоза. Например, дубравы могут возникнуть и на месте бывшего водоема, и на месте голых песков, и на заброшенной пашне. По Клементсу, каждому типу климата соответствует свой основной тип устойчивого сообщества.
4. Развитие и самовосстановление сообществ со сменами видов происходят в природе в очень разных масштабах. Эти процессы можно, например, наблюдать на выбросах кротов. Их зарастание идет через последовательные этапы и занимает несколько лет. Более длителен процесс восстановления сообщества на обнажениях, образующихся в лесах в результате вывалов старых деревьев, кото-

рые часто падают от ветра. Такие участки возвращаются в прежнее состояние по растительности и животному населению через десятки лет. Чем крупнее масштабы нарушений и сдвигов равновесия в природе, тем более длительное время занимают процессы восстановления. Крупные вырубki и пожарища требуют для восстановления устойчивого сообщества 100—200 лет.

□ **Вопросы.** **1.** Почему при саморазвитии сообществ темпы сукцессий постепенно замедляются? **2.** Почему чужеземные виды растений чаще всего внедряются в местную растительность по обочинам дорог, насыпям, берегам рек, пашням и другим подобным местообитаниям и не приживаются в лесах, на лугах или в степях? **3.** Саморазвитие сообществ на скалах — длительный вековой процесс. Какими способами можно его ускорить? **4.** Почему сорные растения первыми осваивают обнажившиеся участки? **5.** Почему луга в лесной полосе встречаются в основном вдоль рек?

□ **Задание.** Сопоставьте списки основных видов птиц, гнездившихся на одной и той же территории в два разных периода, отстоящих на 20 лет. Что произошло в этой экосистеме?

Первый период: коростель-дергач, чибис, перепел.

Второй период: пеночка-весничка, серая славка, зяблик.

□ **Темы для дискуссий.** **1.** Что произойдет в природе, если представить, что все сообщества достигнут стабильного состояния и виды, связанные с неустойчивыми стадиями, исчезнут? **2.** Раннее залежнопереложное земледелие целиком было основано на использовании восстановительных сил природы. Истощенный участок забрасывали, он зарастал и восстанавливал плодородие, а затем его распахивали вновь. Можем ли мы возвратиться к этому экологическому способу хозяйствования? **3.** Можно ли на восстанавливаемых землях сразу создать зрелое, стабильное сообщество, не проходящее длительных предварительных стадий развития? **4.** Можно ли сформировать плодовый сад по принципу зрелого биоценоза? **5.** Как использовать принцип саморазвития сообществ в сельском хозяйстве, чтобы, не возделывая поля ежегодно, получать в течение многих лет урожаи культурных растений?

ВСПОМНИТЕ

Экологические ниши
Межвидовые
отношения

§ 20. Биологическое разнообразие как основное условие устойчивости популяций, биоценозов и экосистем

Огромное разнообразие жизни всегда поражало исследователей. В природе практически нет абсолютно сходных особей, популяций, видов и экосистем. Даже однайцовые близнецы с одинаковой наследственностью хоть чем-то, но отличаются друг от друга. Это разнообразие всегда

было загадкой для умов и казалось избыточным. Когда отдельные виды начали исчезать с лица Земли по вине людей, этому сначала не придавали значения, так как видов много, а процессы их вымирания, как установила палеонтология, всегда происходили в природе.

Однако в настоящее время *обеднение разнообразия* жизни под влиянием деятельности человека идет очень быстрыми темпами. Огромные площади заняты немногими видами культурных растений с чистыми сортами, выравненными по наследственным качествам. Разрушаются многие типы природных экосистем и заменяются культурным ландшафтом. Снижается число видов в биоценозах. Поэтому и с теоретической, и с практической точек зрения очень важно понимать, в чем состоит роль биологического разнообразия.

Ответ на этот вопрос можно найти при изучении структуры и функционирования биоценозов. Как мы видели, природные сообщества могут включать сотни и тысячи видов, от бактерий до вековых деревьев и крупных животных. Биоценозы представляют собой природные системы. Высокое видовое разнообразие обеспечивает следующие свойства этих сложных систем.

1. Взаимная дополняемость частей. Как мы видели, в сообществах уживаются те виды, которые делят между собой экологические ниши и дополняют друг друга в использовании ресурсов среды. Например, растения первого яруса в лесу перехватывают 70—80% светового потока (рис. 80). Во втором ярусе растут деревья и кустарники, которым достаточно 10—20% от полного освещения, а наземные травянистые растения и мхи в таких лесах способны осуществлять фотосинтез всего при 1—2 сотых долях светового потока. Дополняя друг друга, растения более полно используют солнечную энергию.

Такая же дополняемость существует в размещении растений разных видов по поверхности почвы, расположении их корневых систем, полноте усвоения минеральных веществ и т. д.

У животных «разделение труда» в биоценозе ярко выражено в использовании разных видов пищи, времени суточной и сезонной активности, размещении в пространстве. Очень существенно дополняют друг друга разные виды грибов в лесных сообществах. Одни из них специализируются на разрушении мертвой древесины, другие — свежесопавших листьев, третьи — корней или шишек, четвертые продолжают разрушение уже полуразложившейся массы. Взаимная дополняемость чрезвычайно характерна и для многих микроорганизмов-редуцентов. Одни из них разрушают целлюлозу, другие — белки, третьи — сахара.

Взаимная дополняемость видов, создающих и разрушающих органическое вещество, лежит в основе биологических круговоротов.

2. Взаимозаменяемость видов. Любой вид биоценоза может быть заменен другим, со сходными экологическими требованиями и функция-

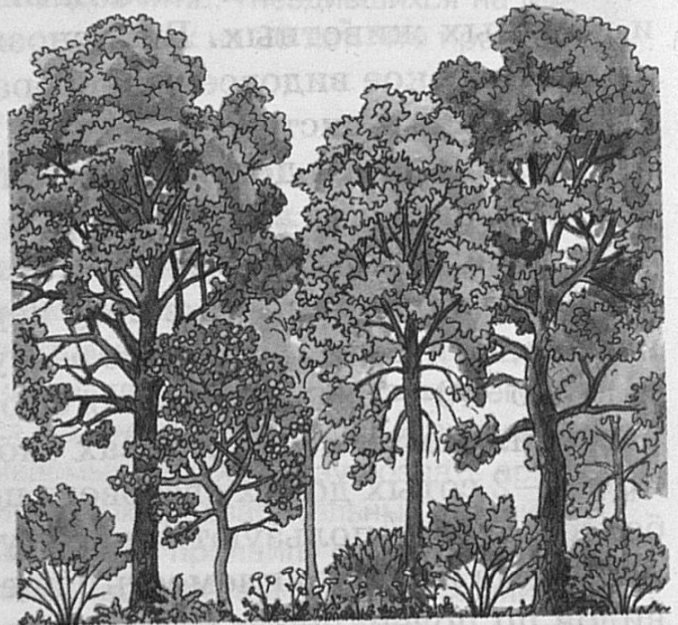
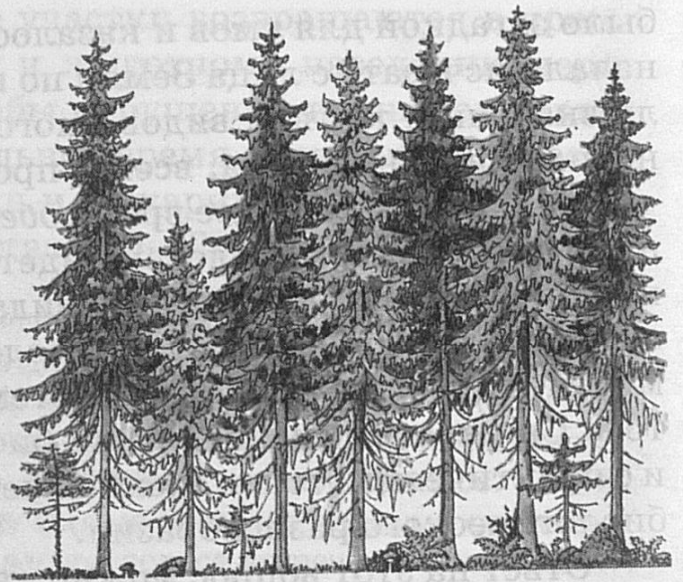
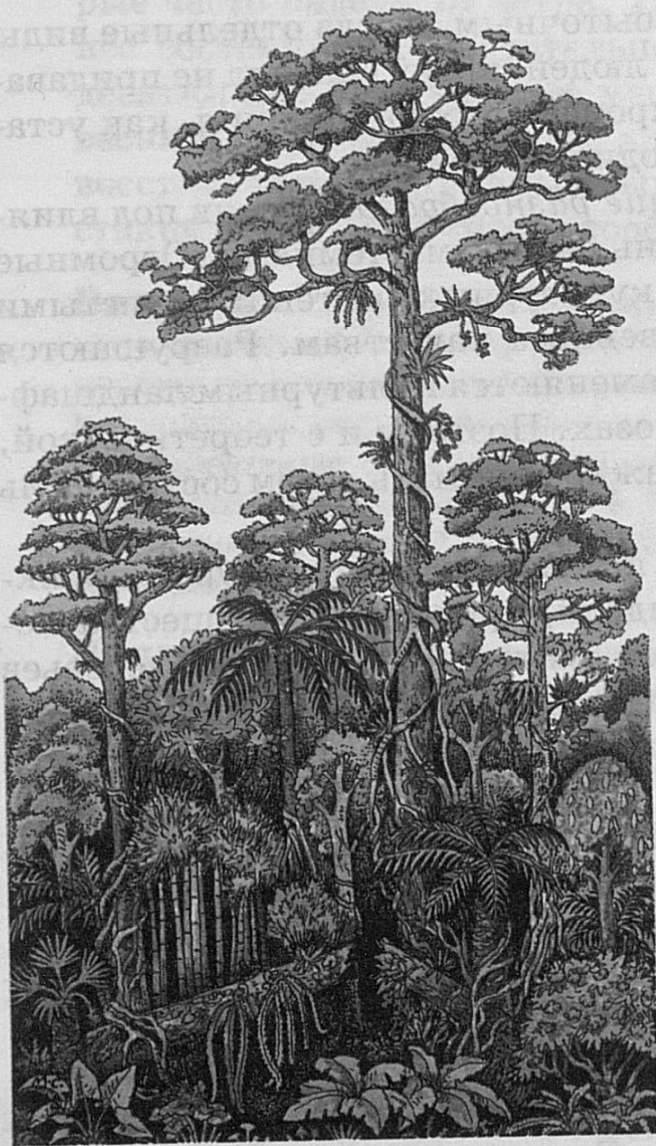


Рис. 80.
Ярусность лесов тропического
и умеренного климата

ми. Хотя полностью похожих друг на друга видов в природе нет, но многие перекрываются по основным экологическим требованиям, отличаясь лишь деталями. Такие виды обычно заменяют друг друга в похожих сообществах, как, например, разные виды елей и пихты в темнохвойных таежных лесах или разные виды насекомых-опылителей на лугах.

Так как экологические ниши многих видов частично перекрываются, выпадение или снижение активности какого-нибудь одного из них не опасно для экосистемы. Его функцию берут на себя другие. Происходит явление «конкурентного высвобождения», и разные звенья круговорота веществ продолжают действовать. Взаимозаменяемость видов постоянно происходит при колебаниях погодных условий. Так, на лугах во влажные годы доминируют короткокорневищные травы, а в сухие — длиннокорневищные, активны разные листогрызущие и хищные насекомые и т. п.

3. Регуляторные свойства. Способность к саморегуляции — одно из основных условий существования сложных систем. Саморегуляция возникает на основе обратных связей. Принцип отрицательной обратной связи заключается в том, что отклонение системы от нормы приводит в действие силы, направленные на возвращение ее в нормальное состояние. Этот принцип обратной связи очень ярко проявляется во внутрипопуляционных и межвидовых взаимоотношениях в биоценозах. Увеличение численности жертв вызывает увеличение численности хищников и паразитов. Повышение плотности популяции сверх определенных уровней так изменяет связи внутри вида, что падает воспроизводительная способность или усиливается рассредоточение особей в пространстве.

Чем разнообразнее биоценозы и чем сложнее структура популяций, тем успешнее осуществляется их саморегуляция.

4. Надежность обеспечения функций. Главные функции биоценоза в экосистеме — создание органического вещества, его разрушение и регуляция численности видов — обеспечиваются множеством видов, как бы страхующих деятельность друг друга. Например, численность насекомых, как мы видели, могут сдерживать многоядные хищники, при более высокой численности — специализированные паразиты, при еще более высокой — возбудители инфекционных заболеваний или же ужесточение конкурентных отношений и внутрипопуляционные взаимоотношения.

Разложение целлюлозы — сложного и прочного компонента растительных тканей — могут осуществлять специализированные бактерии, разные виды плесневых и шляпочных грибов, мелкие почвенные клещи-сапрофаги, личинки насекомых, дождевые черви и другие животные, в кишечниках которых вырабатываются необходимые для этого ферменты.

В технике системы с множественным обеспечением функций действуют как сверхнадежные.

Этот принцип, как мы видим, взят человеком из природы. Разнообразие видов в экосистемах обеспечивает надежность их функционирования.

Таким образом, биологическое разнообразие — это главное условие устойчивости всей жизни на Земле.

За счет этого разнообразия жизнь не прерывается уже несколько миллиардов лет. В сложные периоды геологической истории, как свидетельствует палеонтологическая летопись, многие виды вымирали, разнообразие понижалось, но экосистемы материков и океанов выдерживали эти катастрофы. Жизнь продолжалась. Появлялись новые виды и сменяли старые в общем поддержании круговорота веществ и потока энергии.

Человеческая деятельность на Земле по влиянию на видовое разнообразие в настоящее время начинает превосходить все известные в прошлом геологические катастрофы. Поэтому очень важно не допустить такого снижения уровня биологического разнообразия, которое отразилось бы на устойчивости и природных, и антропогенных систем и перешло бы границы самовосстановительных возможностей природы.

<input type="checkbox"/> Разнообразие жизни.	<input type="checkbox"/> Видовое разнообразие — основа устойчивости живой природы. Оно создает взаимодополняемость и взаимозаменяемость видов в биоценозах, обеспечивает регуляцию численности и самовосстановительные способности сообществ и экосистем.
Функции биологического разнообразия.	
Устойчивость жизни на Земле.	

■ **Примеры и дополнительная информация**

1. Взаимозаменяемость видов позволяет экосистемам сохранять свои основные свойства, если не меняются масштабы их воздействия на окружающую среду. Например, на пастбищах диких копытных сменили стада домашних животных. В прериях Северной Америки до прихода людей обитало примерно 75 млн бизонов. Они съедали около 400 млн т травы, при расчете на сухой вес, что составляло около половины надземной продукции растительности, и ускоряли круговорот веществ в прериях. Бизоны были полностью уничтожены человеком. Их место на пастбищах заняли стада коров и овец. Но человек в погоне за прибылью склонен сильно увеличивать поголовье скота, и прерии пострадали от перевыпаса. Падает продуктивность пастбищ, усиливается эрозия почв.
2. На юге нашей страны разработан метод восстановления видового богатства растений в нарушенной степи. На нетронутых целинных участках в три-четыре приема за сезон скашивают сено, содержащее созревающие в эти разные сроки семена многих видов растений. Сеном засевают эродированные и нарушенные почвы. Таким образом почвы получают одновременно богатый набор семян, органическое удобрение и прикрытие оголенной поверхности. Через 3—4 года на таких участках восстанавливается задернованная степь с богатым набором видов. Естественные же процессы восстановления затягиваются на десятилетия.

3. Замена одного доминирующего вида другим — нормальное явление в многолетней динамике сообществ. Особенно наглядно проявляется в луговой растительности. Например, на некоторых типах приволжских лугов во влажные годы среди злаков преобладает лихостов, а в сухие — костер и пырей. После массового размножения нестатных саранчовых, съедающих злаки, на лугах бурно разрастается не поедаемое ими разнотравье. Через 1—2 года оно снова угнетается своими конкурентами — злаками. В лесах такая многолетняя изменчивость растительного покрова менее заметна и охватывает только нижние ярусы.
4. Одно из современных направлений в селекции культурных растений — поддержание неоднородности их популяций. Такие сорта включают растения с колебаниями сроков цветения, разной высоты, с неодинаковым расположением корней, с различной устойчивостью к засухе и т. п. Внутрипопуляционное разнообразие полевых культур позволяет получать стабильные урожаи при значительных снижениях затрат на уход за растениями.
5. В рыбоводстве принцип дополненности используют при выращивании в одном водоеме сразу нескольких видов рыб, использующих разный корм. Удачный набор составляют: белый толстолобик, питающийся преимущественно одноклеточными водорослями, пестрый толстолобик, поедающий зоопланктон, белый амур, кормящийся донными растениями, а также черный амур и карп, поедающие разные виды донных беспозвоночных.

□ **Вопросы.** 1. В чем проявляется роль биологического разнообразия в природе? 2. При длительном, в течение 80 лет, применении высоких доз азотных удобрений на одном из лугов, содержавшем ранее 49 видов растений, осталось только 3 вида. На неудобренном участке видовое богатство сохранилось. Объясните, почему это могло произойти. 3. Как структура растительного покрова может быть связана с разнообразием видов птиц? 4. Что такое отрицательная обратная связь в биоценозах? Приведите примеры. 5. Какие принципы организации природных сообществ надо учесть в устройстве аквариумного биоценоза? 6. Экологи считают, что мелкомасштабные смены сообществ поддерживают стабильность более крупных экосистем. Можете ли вы подтвердить эту точку зрения?

□ **Темы для дискуссий.** 1. Если экосистемы могут сохранять стабильность при замене одних видов другими со сходными функциями, значит ли это, что такие замены не должны интересовать человека? 2. Неустойчивые сообщества в природе имеют тенденцию развиваться в устойчивые. Зачем тогда беспокоиться о восстановлении нарушенных человеком биоценозов и экосистем? 3. Известно, что множество видов вымерло в прошлые эпохи. Значит ли это, что видовой состав природы постепенно обеднялся? 4. Стоит ли стремиться уничтожить всех паразитов человека? Почему? 5. Что общего можно найти между экосистемой и детской игрушкой типа «конструктор» или «строитель»?

ВСПОМНИТЕ

Экосистема

Озон

Осадочные породы

Ультрафиолетовое
излучение

§ 21. Биосфера

Все экосистемы Земли являются только подразделениями, составными частями единой гигантской экосистемы, охватывающей всю поверхность планеты. Эту глобальную экосистему называют **биосферой**.

Учение о биосфере. Учение о биосфере создано русским геохимиком В. И. Вернадским. Он впервые оценил масштабы влияния жизни на физическую природу.

Биосфера, по В. И. Вернадскому, — это общепланетарная оболочка, та область Земли, где существует или существовала жизнь и которая подвергается или подвергалась ее воздействию. Биосфера охватывает всю поверхность суши, моря и океаны, а также ту часть недр Земли, где находятся породы, созданные деятельностью живых организмов.

В атмосфере верхние границы жизни определяются *озоновым экраном* — тонким слоем газа озона на высоте 16—20 км. Он задерживает губительные ультрафиолетовые лучи солнца. Океан насы-

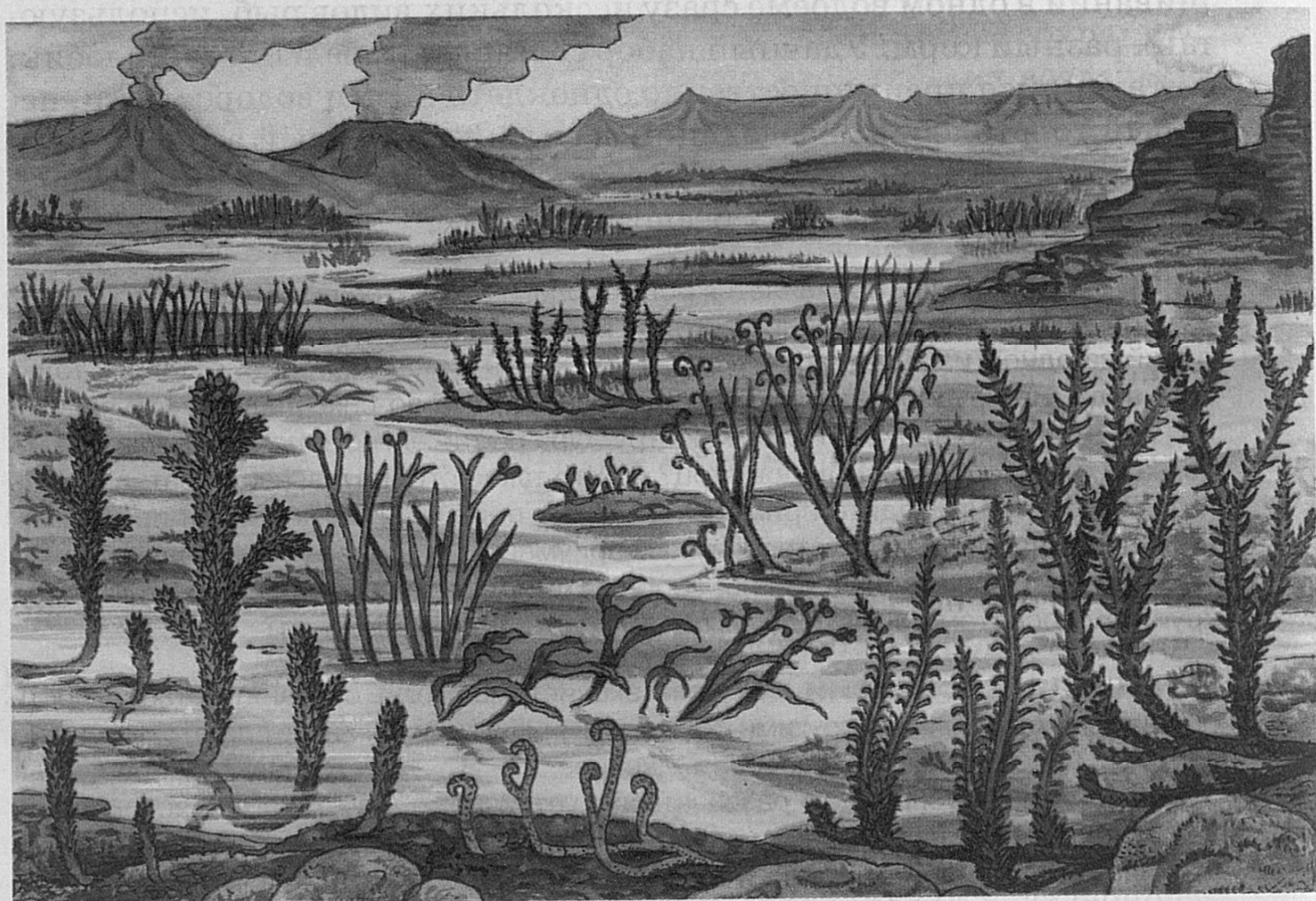


Рис. 81.

Первые растения суши (400 млн лет назад)

щен жизнью целиком, до дна самых глубоких впадин в 10—11 км. В глубину твердой части Земли активная жизнь проникает местами до 3 км (бактерии в нефтяных месторождениях). Результаты жизнедеятельности организмов в виде осадочных пород прослеживаются еще глубже.

Размножение, рост, обмен веществ и активность живых организмов за миллиарды лет полностью преобразовали эту часть нашей планеты.

Всю массу организмов всех видов В. И. Вернадский назвал *живым веществом* Земли.

В химический состав живого вещества входят те же самые атомы, которые составляют неживую природу, но в ином соотношении. В ходе обмена веществ живые существа постоянно перераспределяют химические элементы в природе. Таким образом меняется химизм биосферы.

В. И. Вернадский писал, что на земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим последствиям, чем живые организмы, взятые в целом. За миллиарды лет фотосинтезирующие организмы связали и превратили в химическую работу огромное количество солнечной энергии. Часть ее запасов в ходе геологической истории накопилась в виде залежей угля и других ископаемых органических веществ — нефти, торфа и др.

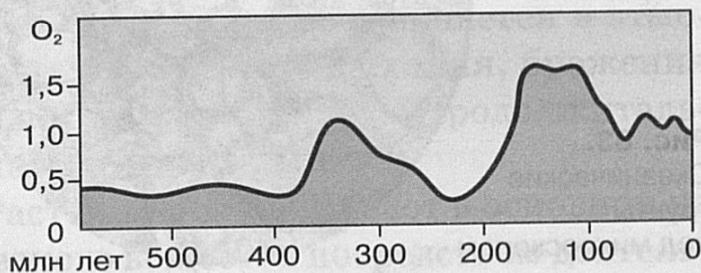
За счет фотосинтеза накоплен кислород атмосферы (рис. 82). На ранней Земле в атмосфере преобладали другие газы: водород, метан, аммиак, углекислый газ. За счет кислорода возник озоновый экран. Молекулы этого газа состоят из трех атомов кислорода и образуются при действии на молекулярный кислород ультрафиолетовых лучей. Таким образом, жизнь сама создала защитный слой в атмосфере, задерживающий большинство этих лучей.



В. И. Вернадский
(1863—1945)

выдающийся русский
ученый,
академик,
основоположник науки
геохимии.
Создал учение
о биосфере Земли

Рис. 82.
Изменение содержания кислорода
в атмосфере в истории Земли



Большая часть углекислого газа современной атмосферы выделяется в процессах дыхания бесчисленных живых существ или сжигания органического топлива. Атмосферный азот тоже следствие деятельности жизни, он образуется в результате активности ряда почвенных бактерий.

Благодаря живым существам возникли многие горные породы на Земле. Организмы обладают способностью избирательно поглощать и накапливать в себе отдельные элементы в гораздо большем количестве, чем они есть в окружающей среде. Например, многие морские виды концентрируют в своих скелетах кальций, кремний или фосфор и, отмирая, создают на дне водоемов большие толщи осадочных пород: залежи известняков, мела, кремнистых сланцев, фосфоритов. Такие породы называются *органогенными*, так как они обязаны своим происхождением живым организмам (рис. 83).

Жизнью создан на поверхности суши почвенный слой. В почве так тесно связаны между собой минеральные компоненты, разлагающиеся

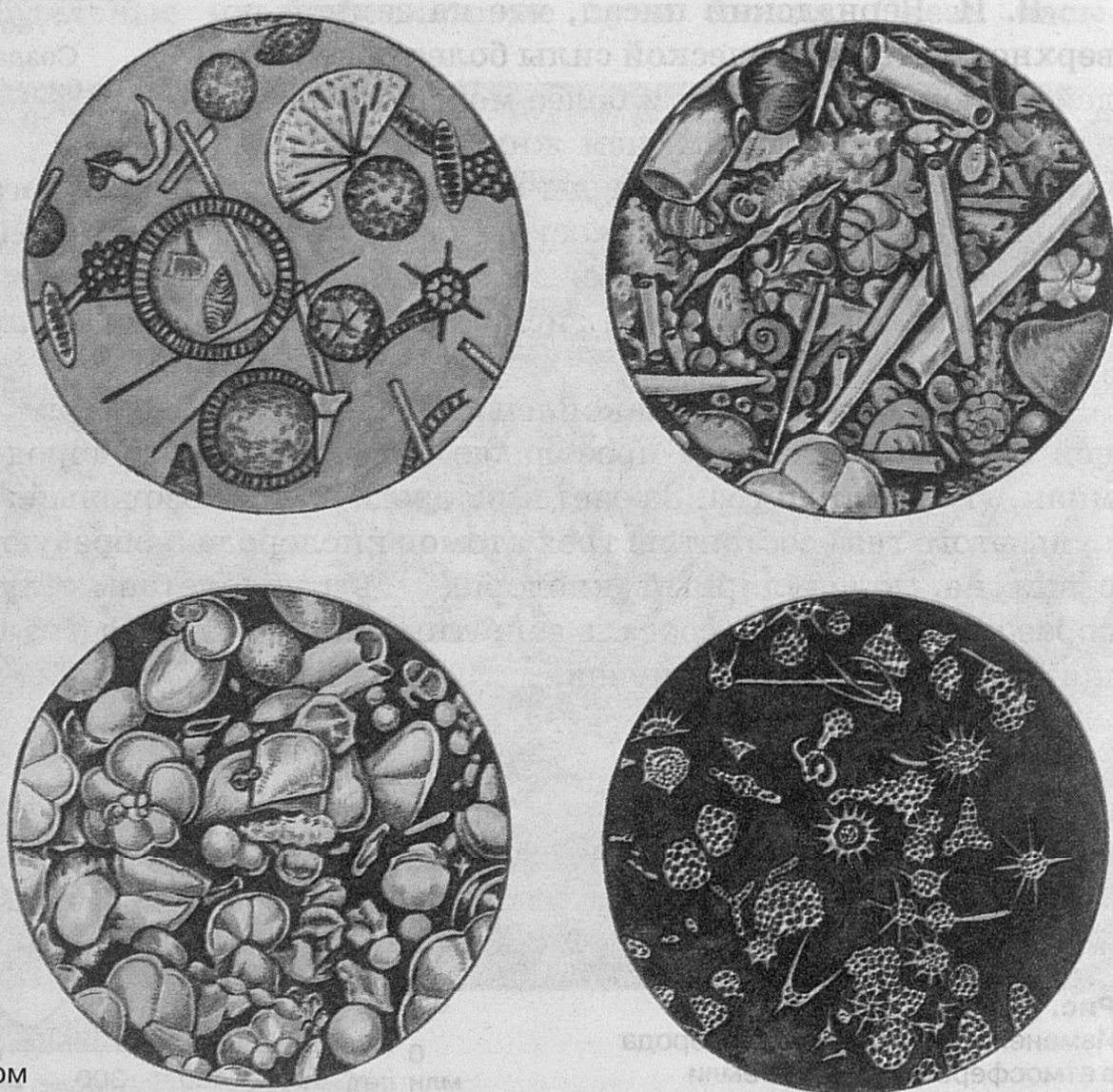


Рис. 83.
Океанические
грунты
под микроскопом

органические вещества и многочисленные микро- и макроорганизмы, что В. И. Вернадский отнес ее к особым, *биокосным* телам природы. Такой же биокосный состав имеют и воды Мирового океана, насыщенные продуктами обмена веществ и населенные бесчисленными обитателями.

Живые организмы играют большую роль в разрушении и выветривании горных пород на суше. Они — главные разрушители мертвого органического вещества.

Таким образом, за период своего существования жизнь преобразовала атмосферу Земли, состав вод океана, создала озоновый экран, почвы, многие горные породы. Изменились условия выветривания пород, большую роль стал играть микроклимат, создаваемый растительностью, изменился и климат Земли.

Совершая гигантский биологический круговорот веществ в биосфере, жизнь поддерживает стабильные условия для своего существования и существования в ней человека.

Живые организмы создают в биосфере круговороты важнейших биогенных элементов, которые попеременно переходят из живого вещества в неорганическую материю. Эти циклы делят на две основные группы: круговороты газов и осадочные круговороты. В первом случае главный поставщик элементов — атмосфера (углерод, кислород, азот), во втором — горные осадочные породы (фосфор, сера и др.).

Круговорот углерода (рис. 84). Источником его для фотосинтеза служит углекислый газ (диоксид углерода), находящийся в атмосфере или растворенный в воде. Углерод, связанный в горных породах, вовлекается в круговорот значительно медленнее. В составе синтезированных растением органических веществ углерод поступает затем в цепи питания через живые или мертвые ткани растений и возвращается в атмосферу снова в форме углекислого газа в результате дыхания, брожения или сгорания топлива (древесины, нефти, угля и т. п.). Продолжительность цикла углерода равна трем-четырем столетиям.

Круговорот азота (рис. 85). Растения получают азот в основном из разлагающегося мертвого органического вещества посредством деятель-



В. В. Докучаев
(1846—1903)

основоположник
современного
почвоведения,
основанного на идее
глубокой взаимосвязи
живой и неживой
природы

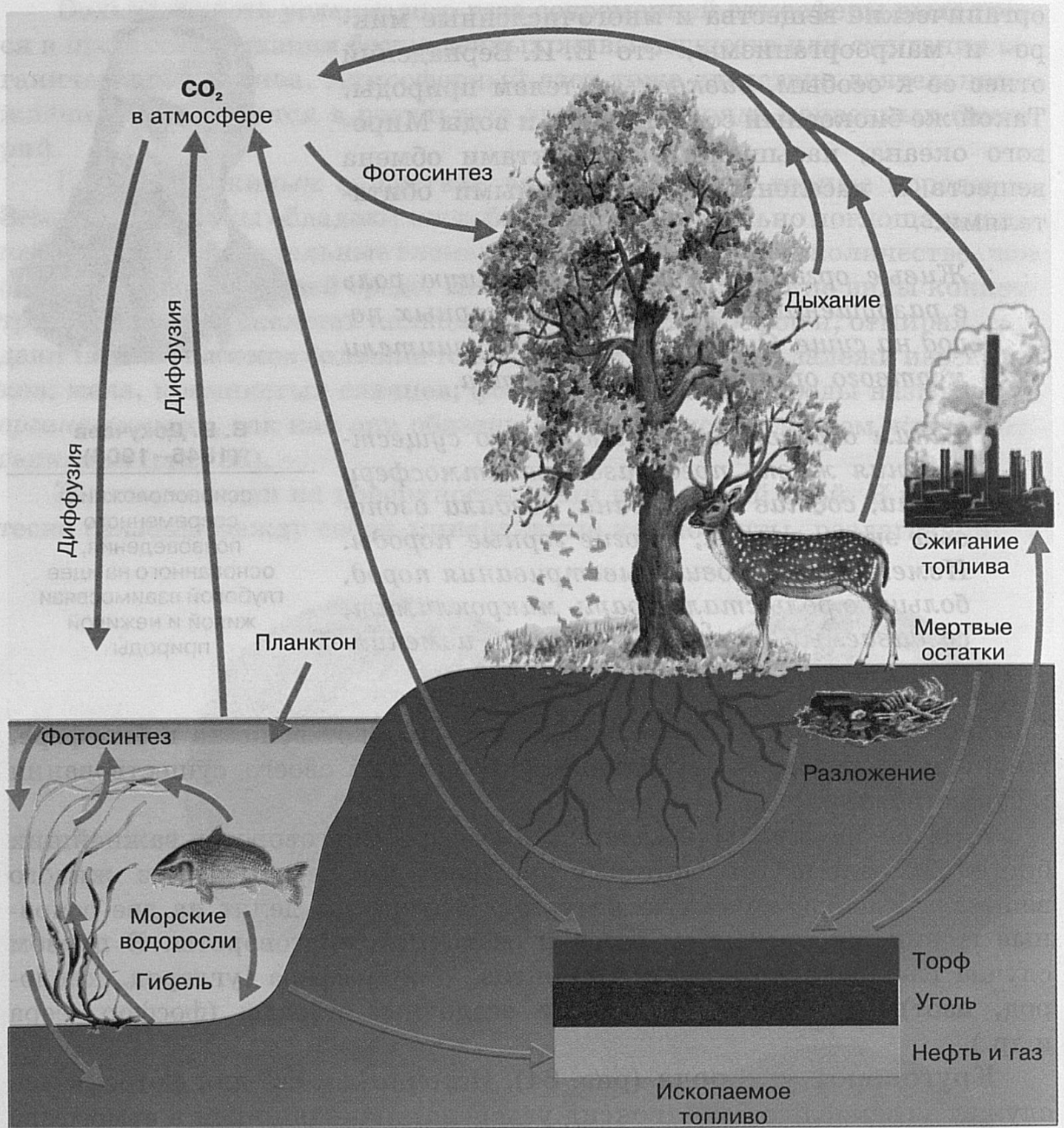


Рис. 84.
Круговорот углерода в биосфере

ности бактерий, которые превращают азот белков в усваиваемую растениями форму. Другой источник — свободный азот атмосферы — растениям непосредственно недоступен. Но его связывают, т. е. переводят в другие химические формы, некоторые группы бактерий и синезеленые водоросли, они обогащают им почву. Многие растения находятся в симбиозе с азотфиксирующими бактериями, образующими клубеньки

на их корнях. Из отмерших растений или трупов животных часть азота, за счет деятельности других групп бактерий, превращается в свободную форму и вновь поступает в атмосферу.

Круговорот фосфора и серы. Фосфор и сера содержатся в горных породах. При их разрушении и эрозии они поступают в почву, откуда используются растениями. Деятельность организмов-редуцентов снова возвращает их в почву. Часть соединений азота и фосфора смывается дождями в реки, а оттуда — в моря и океаны и используется водорослями. Но в конце концов в составе мертвого органического вещества они оседают на дно и снова включаются в состав горных пород.

Цикл кислорода. Цикл кислорода занимает на Земле около 2000 лет, воды — около 2 млн лет. Это значит, что атомы этих веществ за историю Земли многократно проходили через живое вещество, побывав в телах древних бактерий, водорослей, древовидных папоротников, динозавров и мамонтов.

Биосфера прошла длительный период развития, в течение которого жизнь меняла формы, распространилась из воды на сушу, изменила систему круговоротов. Содержание кислорода в атмосфере постепенно росло (см. рис. 82).

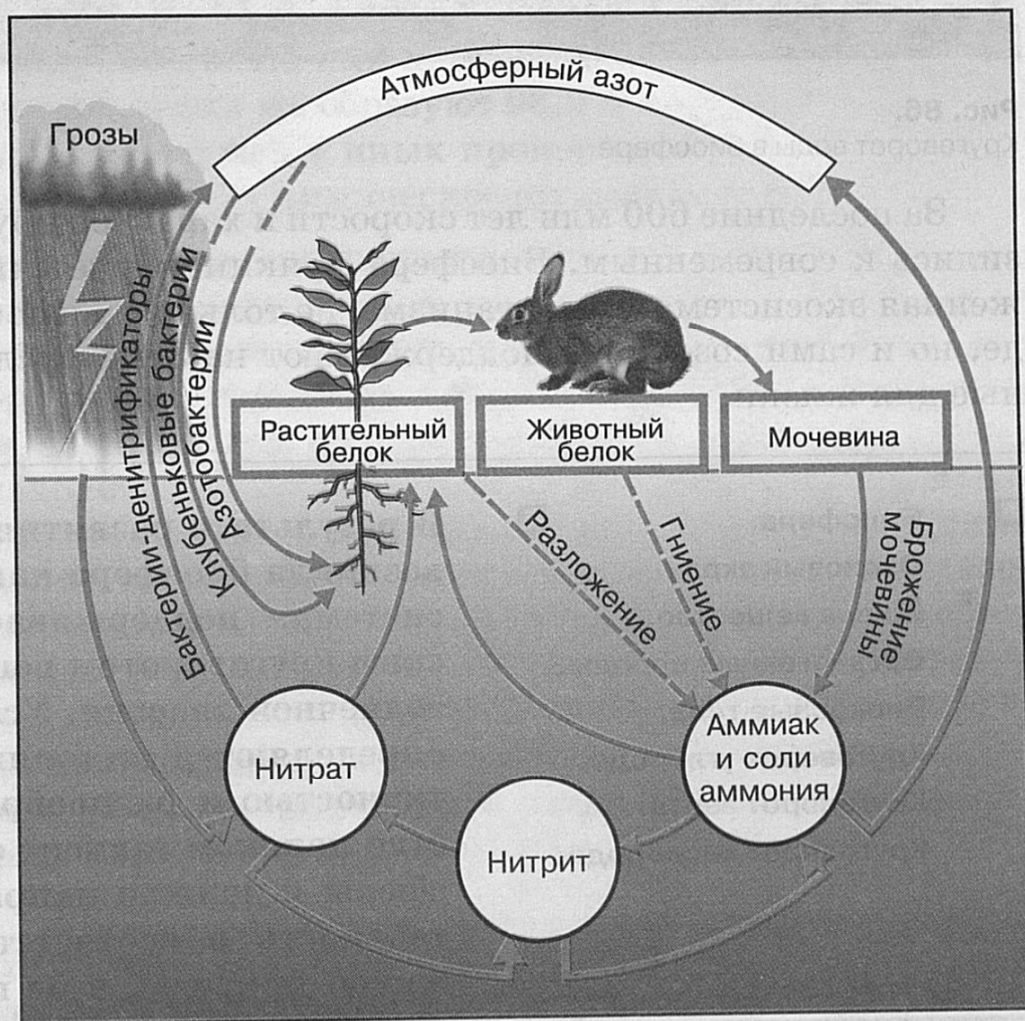


Рис. 85.
Круговорот азота
в биосфере

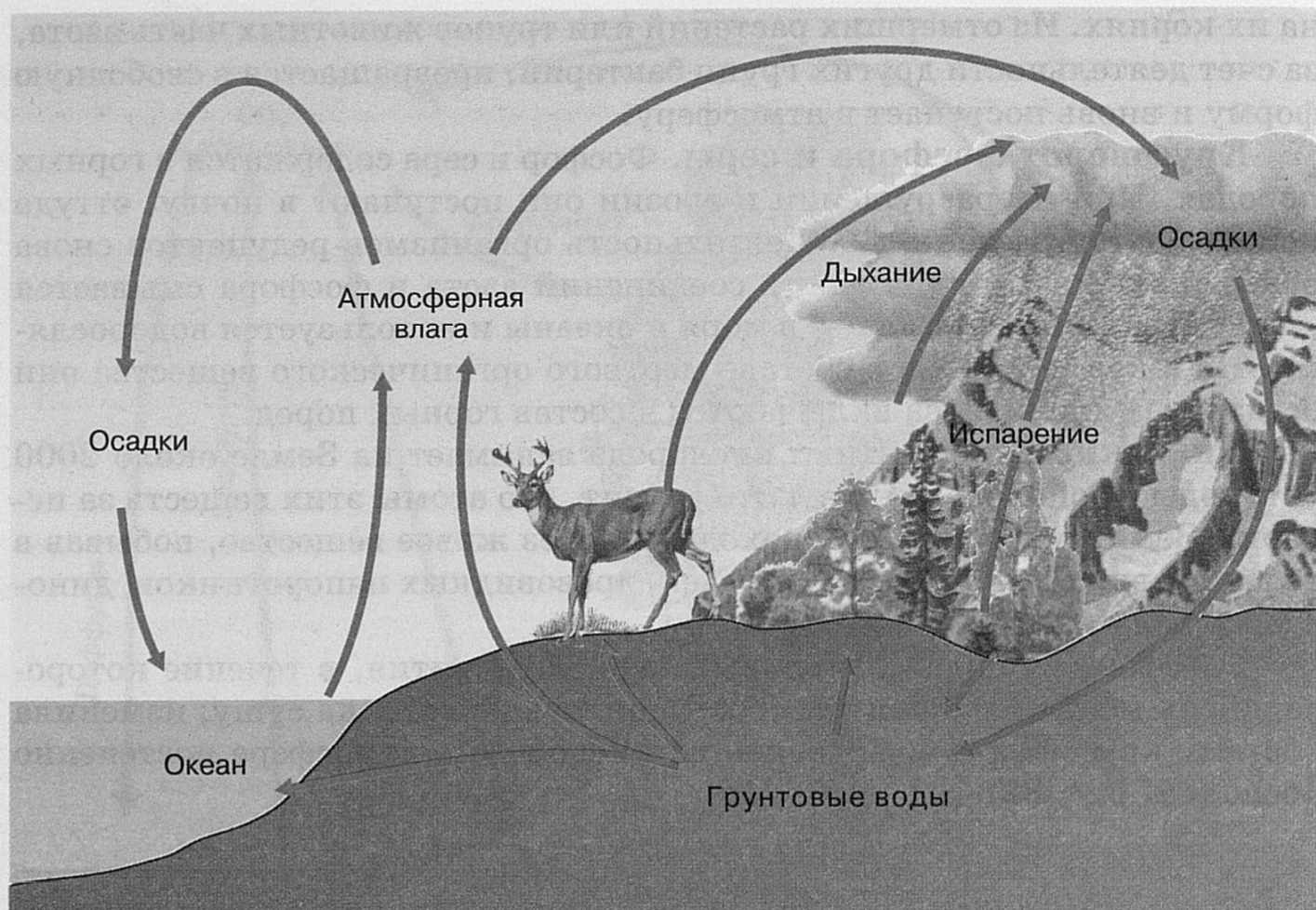


Рис. 86.
Круговорот воды в биосфере

За последние 600 млн лет скорости и характер круговоротов приблизились к современным. Биосфера функционирует как гигантская слаженная экосистема, где организмы не только приспосабливаются к среде, но и сами создают и поддерживают на Земле условия, благоприятные для жизни.

- Биосфера.
- Озоновый экран.
- Живое вещество.
- Органогенные породы.
- Биокосные тела.
- Круговорот углерода.
- Круговорот азота.
- Круговорот кислорода.

□ В результате развития жизни на Земле возникла биосфера как глобальная экосистема, поддерживаемая биологическим круговоротом веществ и потоками солнечной энергии. Условия в биосфере определяются состоянием жизни, ее активностью и разнообразием. Человечество целиком зависит от состояния биосферы и должно направлять свою деятельность в соответствии с законами живой природы, а не против них.

■ Примеры и дополнительная информация

1. На ранней Земле, когда не было растительного покрова, испарение воды с суши было понижено, а сток в реки и моря — повышен. Появление наземных растений и почв и постепенное увеличение занятых ими площадей сильно уменьшило сток. В воздух стало поступать значительно больше паров через испарение растительностью, что привело к увеличению количества осадков на суше. В свою очередь это способствовало продвижению растений в глубь континентов. Таким образом растительность изменяла климат в благоприятную для себя сторону. Это пример положительной обратной связи между организмами и окружающей средой, когда начавшийся процесс усиливает сам себя и ведет к направленным изменениям условий.
2. В составе живого вещества обнаружено больше половины элементов таблицы Менделеева, но преобладают 14 из них. Десятки процентов веса приходятся всего на два элемента — кислород и водород, проценты — на углерод, азот и кальций, десятые доли процента составляют фосфор, кремний, калий и сера, сотые доли — магний, железо, натрий, хлор и алюминий. Остальные элементы более редки, хотя часто бывают необходимы. Эти 14 элементов не случайная совокупность. На них приходится 99,9% общей массы живых организмов, и они же образуют 98,9% веса всей земной коры, хотя и находятся в ней в иных пропорциях. Таким образом, жизнь — «плоть от плоти» химическое производное нашей Земли.
3. Жизнь распределена на поверхности Земли неравномерно. Существуют области ее повышенной концентрации в биосфере — на границах раздела разных сред: воды, воздуха и горных пород. В. И. Вернадский назвал их «пленками жизни». В верхнем 100-метровом слое океанов сосредоточено 95% всего планктона, в 1 г почвы находится до 2,5 млрд клеток микроорганизмов. Наиболее полно развита жизнь и наиболее активны биогеохимические процессы в местах контакта всех трех сред: воды, воздуха и твердого субстрата. Здесь в оптимуме находятся все факторы, необходимые для жизни. В устьях рек, на побережьях морей развиваются богатые сообщества, которые могут быть названы «сгущениями жизни». Дополнительная неравномерность распределения жизни на Земле обусловлена географической зональностью и масштабами поступления солнечной энергии на разные участки земной поверхности.
4. На суше ежегодно в круговорот веществ поступает около 150 млрд т растительной продукции. Океаны создают вдвое мень-

ше. Если принять общую первичную продукцию суши за 100%, то вклад разных континентов будет примерно следующим: Европа — 6%, Азия — 28, Африка — 22, Северная Америка — 13, Южная Америка — 26, Австралия с островами Океании — 5%. Если же сравнить продуктивность растений на единицу площади, например на гектар, то она составляет (в процентах от средней по всем континентам) в Европе 89, в Азии — 103, в Африке — 108, в Северной Америке — 86, в Южной Америке — 220, в Австралии — 90.

5. Весь кислород, содержащийся в атмосфере, а также во многих поверхностных минералах, накоплен за счет фотосинтеза. При полностью замкнутом биологическом круговороте накопления кислорода не должно происходить, так как все его количество полностью расходовалось бы в процессах дыхания живых организмов и разложения мертвых остатков. Однако значительное количество органического вещества выпадало в прошлом из круговорота, превращаясь в каменный уголь, торф, горючие сланцы и др. Поэтому содержание кислорода в воздухе постепенно росло.
6. Вес живого вещества в биосфере ничтожен, он составляет примерно десятитысячную долю процента от веса земной коры. Ежегодно производится около 0,1 от существующей массы и столько же разрушается. Следовательно, за 10 млн лет через живые организмы проходит масса вещества, равная весу земной коры. Если можно было бы собрать всю биомассу, произведенную на Земле за последние 600 млн лет, то она покрыла бы Землю слоем 2000 км.

Вопросы. 1. Каковы закономерности распределения биомассы растений по климатическим зонам Земли? 2. Как связаны между собой различные экосистемы Земли? Приведите примеры. 3. Почему биосферу часто называют глобальной экосистемой? 4. Один из крупнейших русских ученых, К. А. Тимирязев, исследовавший фотосинтез растений, писал, что растения выполняют космическую роль на Земле. Подтвердите его точку зрения. 5. Следы препарата ДДТ, использовавшегося против вредных насекомых в сельском хозяйстве развитых стран, обнаружены на берегах Антарктиды. Какими путями мог попасть туда этот препарат?

Задание. Рассмотрите карту продуктивности разных районов земного шара. Оцените приблизительно, какова доля наиболее и наименее продуктивных районов в общей территории суши и океана. В каком по продуктивности районе мира расположена наша страна?

Темы для дискуссий. 1. Вечна ли биосфера? 2. Могут ли люди усовершенствовать биосферу? 3. Как изменятся условия жизни на Земле, если все захороненное в недрах органическое вещество будет сожжено или подвергнется разложению? 4. Почему считают, что человечество стало сейчас силой геологического масштаба?

§ 22. Экология как научная основа природопользования

Люди живут за счет природы, обеспечивая свое благополучие и развитие общества. В использовании и преобразовании природы современное общество руководствуется научными знаниями. На их основе работают заводы и фабрики, горнодобывающая и строительная промышленность, энергетические предприятия, сельское хозяйство и системы связи. Как же служит человечеству экологическая наука? Почему экология считается сейчас важнейшей областью знания, способной указать новые пути сохранения и развития человеческой цивилизации?

В центре внимания экологии — живая природа. А ведь именно она обеспечивает и пищевые ресурсы людей, и регуляцию условий жизни в биосфере. Что станет с человечеством, если живая природа Земли будет сильно разрушена в результате мощного наступления техники, как это уже происходит в настоящее время? Как предвидеть последствия разных форм человеческой деятельности, при которых сильно изменяется природная среда? Как выгоднее, разумнее вести хозяйство, чтобы не навредить будущим поколениям?

В своей практической деятельности человек всегда был вынужден считаться с законами живой природы, особенно в сельском хозяйстве, лесоводстве и промыслах. Сначала это происходило стихийно, на основе опыта, проб и ошибок. С развитием научной экологии стало ясно, что именно она является основой, на которой возможно не стихийное, а сознательное, грамотное хозяйствование людей на Земле. Ведь экология — наука о связях, на которых основывается устойчивость всех форм жизни.

Практическая значимость экологии проявляется в каждом ее разделе, любом положении, от глобальных законов до частных зависимостей.

Так, когда были оценены масштабы биологической продукции на планете, стало ясным, что наступило время соотносить деятельность и потребности людей с возможностями биосферы. Понимание того, как устроены и поддерживают себя природные экосистемы, позволяет повышать устойчивость агроценозов, культурных ландшафтов, городской среды. Человеческая цивилизация не может уже развиваться, не считаясь с законами устойчивости природы. Главный из них — поддержание и усиление интенсивности круговорота веществ. Современные технологии промышленности и сельского хозяйства таковы, что не могут не нарушать природную среду. Стремительно ухудшаются и условия жизни людей. Поэтому встает вопрос об изменении методов использования природы и ее ресурсов.

Основной принцип экологически грамотного хозяйствования — действовать не против природы, а в соответствии с ее законами. Любое экологическое знание можно превратить в полезную и выгодную людям технологию.

Например, если мы знаем, что по цепям питания передаются и ядохимикаты, которые попадают из загрязненной среды сначала в растения, а затем в животных, то на основе этого может быть разработана и технология очистки почв или водоемов. Сейчас испытывается метод очистки почв, при котором на загрязненных тяжелыми металлами участках выращивают специально подобранные растения с высоким коэффициентом усвоения этих соединений, а затем превращают их в золу, очищая почвы. Еще эффективнее может быть использование для этих целей животных-сапрофагов, питающихся загрязненными растительными остатками.

Популяционная экология раскрывает возможности управления численностью видов. Это важно и для получения нужной биологической продукции, и для предупреждения размножения вредителей, и для борьбы со многими возбудителями болезней.

Знание экологии сообществ позволяет не только поддерживать природные биоценозы, но и управлять производительностью полей, пастбищ и садов. Зная законы самовосстановления и саморазвития сообществ, можно ускорить залечивание ран, нанесенных природе сведением лесов или добычей полезных ископаемых.

Экология становится наукой, необходимой во всех сферах деятельности человека. Она обладает огромным практическим потенциалом. Люди еще не научились полностью использовать уже накопленные экологические знания.

Трудности заключаются в том, что необходимо знать не только общие принципы, управляющие жизнью организмов, популяций, сообществ, экосистем и биосферы в целом. Ведь важнейшая черта жизни не только ее упорядоченность, но и огромное биологическое разнообразие. Каждый объект жизни уникален, поэтому нужно знать также отличительные особенности любой природной системы, на которую распространяется влияние человека.

Экологическое образование не кончается, а только начинается с познания основ общей экологии. Далее требуются развитие профессиональных знаний и экологическая специализация в любой отрасли деятельности.

Экология — многогранная и универсальная наука, затрагивающая все формы взаимоотношений человека с природой. Само человечество, как часть живой природы, также подчиняется многим экологическим зависимостям. Они составляют предмет особой области знания — социальной экологии.

■ Примеры и дополнительная информация

1. В настоящее время стала очевидной огромная роль болот в поддержании стабильности климата Земли. До недавнего времени болота старались осушать и мелиорировать в целях преобразования природы. Сейчас подсчитано, что болотистые районы являются одними из главных поставщиков в атмосферу газа метана. Его вырабатывают бактерии, содержащиеся в бескислородных нижних слоях болот. Метан относится к так называемым «парниковым» газам, которые задерживают часть теплового излучения Земли в космическое пространство. Если содержание метана в атмосфере резко упадет, климат Земли похолодает вплоть до наступления нового ледникового периода. Болота Западной Сибири вносят особо ощутимый вклад в регуляцию парниковых газов в атмосфере всей Земли. Проекты осушения этих болот оказались антиэкологичными. Они подорвали бы биосферное равновесие.
2. Некоторые сложные органические соединения важны для ряда областей промышленности, хотя нужны в очень небольших количествах. Например, некоторые ферменты, вызывающие свечение белков. Для их синтетического получения необходимо разрабатывать сложные и дорогие химические технологии, загрязняющие среду. Эти же соединения легко получать в готовом виде из светящихся животных. Если освоить, например, разведение жуков-светлячков, производство обойдется в тысячи раз дешевле и безопаснее для природы.
3. В природе продукты жизнедеятельности одних организмов перерабатываются другими вплоть до полного разложения на простые соединения, вновь вовлекаемые в круговорот. Этот же принцип необходимо использовать и в организации промышленности. Производство построено экологически грамотно, если отходы одних предприятий являются сырьем для других и из них снова создается нужная человеку продукция. Например, тепловые электростанции и другие предприятия, сжигающие уголь, выбрасывают в атмосферу большое количество сернистых соединений. Сера — ценное сырье для промышленности. Улавливание ее из промышленных выбросов и дальнейшая переработка частично заменяют дорогостоящую добычу из земных недр. При этом не происходит загрязнения атмосферы.
4. Для борьбы с почвенными личинками жуков, которые в степной полосе наносят сильный вред всходам зерновых, на полях используют большое количество ядохимикатов. Яды убивают не только вредителей, но и полезных обитателей почвы, и в конце концов по цепям

питания попадают к людям. Ростовскими учеными разработан экологически чистый метод борьбы с этими вредителями. Установлено, что личинок привлекает даже слабый запах особого вещества — лизина, выделяемого прорастающими семенами. Для отвлечения вредителей от растений в почву вносят рядами специальные приманки, содержащие лизин из отходов пищевого производства. Личинки активно собираются возле них с расстояния в несколько метров. За время их передвижения, занимающего несколько дней, растения подрастают и вредители становятся им не страшны.

5. Сплошные рубки леса проводят без учета экологических связей. Для восстановления после такой рубки еловых лесов требуется не менее 100 лет, а лесов из кедровой сосны на Дальнем Востоке — более 200. Самое прибыльное ведение лесного хозяйства — выборочная рубка деревьев, при которой не нарушается все лесное сообщество. Такой лес можно использовать непрерывно, он самовосстанавливается. Выборочная рубка освобождает соседние деревья от конкуренции и усиливает их рост. Создается также пространственная мозаика лесного биоценоза, которая, по экологическим законам, способствует устойчивости экосистемы.

Экологические принципы лесного хозяйства были разработаны еще в начале XX века крупнейшим ученым-лесоводом Г. Ф. Морозовым. Они во многом нарушались в связи с применением мощной лесоповальной техники, позволяющей быстро вырубать леса на больших площадях. Так как сведение лесов и в нашей стране, и во всем мире принимает угрожающий характер, вновь возвращаются к пропаганде старых, экологически оправданных методов ведения лесного хозяйства.

- **Вопросы.** 1. Если бы вас попросили экологически грамотно спланировать будущий город, что бы вы предложили в вашем проекте? 2. Что более правильно с экологических позиций — широкое развитие общественного транспорта, включая междугородный, или личные автомобили в каждой семье? 3. В одной из книг вредители сельского хозяйства названы «незаконным порождением законов биоценологии». Попробуйте разъяснить мысль автора. 4. Приведите примеры, какие экологические проблемы можно, а какие нельзя решить в рамках одного государства. 5. В каких областях деятельности человеку приходится создавать искусственные биоценозы? 6. Минеральные удобрения часто сравнивают с кислородной подушкой для больных. Почему? Обсудите, может ли современное сельское хозяйство обходиться без минеральных удобрений. 7. Распространяются ли законы роста популяций и на человеческое общество? 8. Как экологически грамотно может работать тракторист? инженер-атомщик? нефтяник? школьный учитель? 9. Промышленность и транспорт забирают много кислорода из атмосферы. Предложите принципы какой-либо биотехнологии для увеличения содержания кислорода в воздухе. 10. Какие разрешения и запреты должны содержать экологически грамотные правила любительской рыбной ловли?