

ЭКОСИСТЕМА

§ 5. Определение и общая характеристика экосистемы

Термин «экосистема» предложил английский эколог А. Тенсли в 1935 году. *Экосистема* — это любая совокупность взаимодействующих живых организмов и условий среды. Экосистемами являются, например, муравейник, участок леса, территория фермы, кабина космического корабля, географический ландшафт или даже весь земной шар.

Экологи используют также термин «*биогеоценоз*», предложенный русским ученым В. Н. Сукачевым. Этим термином обозначается совокупность растений, животных, микроорганизмов, почвы и атмосферы на однородном участке суши. Биогеоценоз — это один из вариантов экосистемы.

Между экосистемами, как и между биогеоценозами, обычно нет четких границ, и одна экосистема постепенно переходит в другую. Большие экосистемы состоят из экосистем меньшего размера.

На рисунке 2 показана «матрешка» экосистем. Чем меньше размер экосистемы, тем теснее взаимодействуют входящие в ее состав организмы. В муравейнике живет организованный коллектив муравьев, в котором все обязанности распределены. Есть муравьи-охотники, охранники, строители.

Экосистема муравейника входит в состав лесного биогеоценоза, а лесной биогеоценоз — часть географического ландшафта. Состав лесной экосистемы более сложный, в лесу совместно проживают представители многих видов животных, растений, грибов, бактерий. Связи между ними не столь тесны, как у муравьев в муравейнике. Многие животные проводят в лесной экосистеме только часть времени.

Внутри ландшафта разные биогеоценозы связаны надземным и подземным движением воды, в которой растворены минеральные вещества. Наиболее интенсивно перемещается вода с минеральными веществами в пределах водосборного бассейна водоема (озера, реки) и примыкающих к нему склонов, с которых в этот водоем стекают надземные и подземные воды. В экосистему водосборного бассейна входят несколько разных экосистем — лес, луг, участки пашни. Организмы всех этих экосистем могут не иметь прямых взаимоотношений и связаны через подземные и надземные потоки воды, которые перемещаются к водоему.

В пределах ландшафта переносятся семена растений, пере-

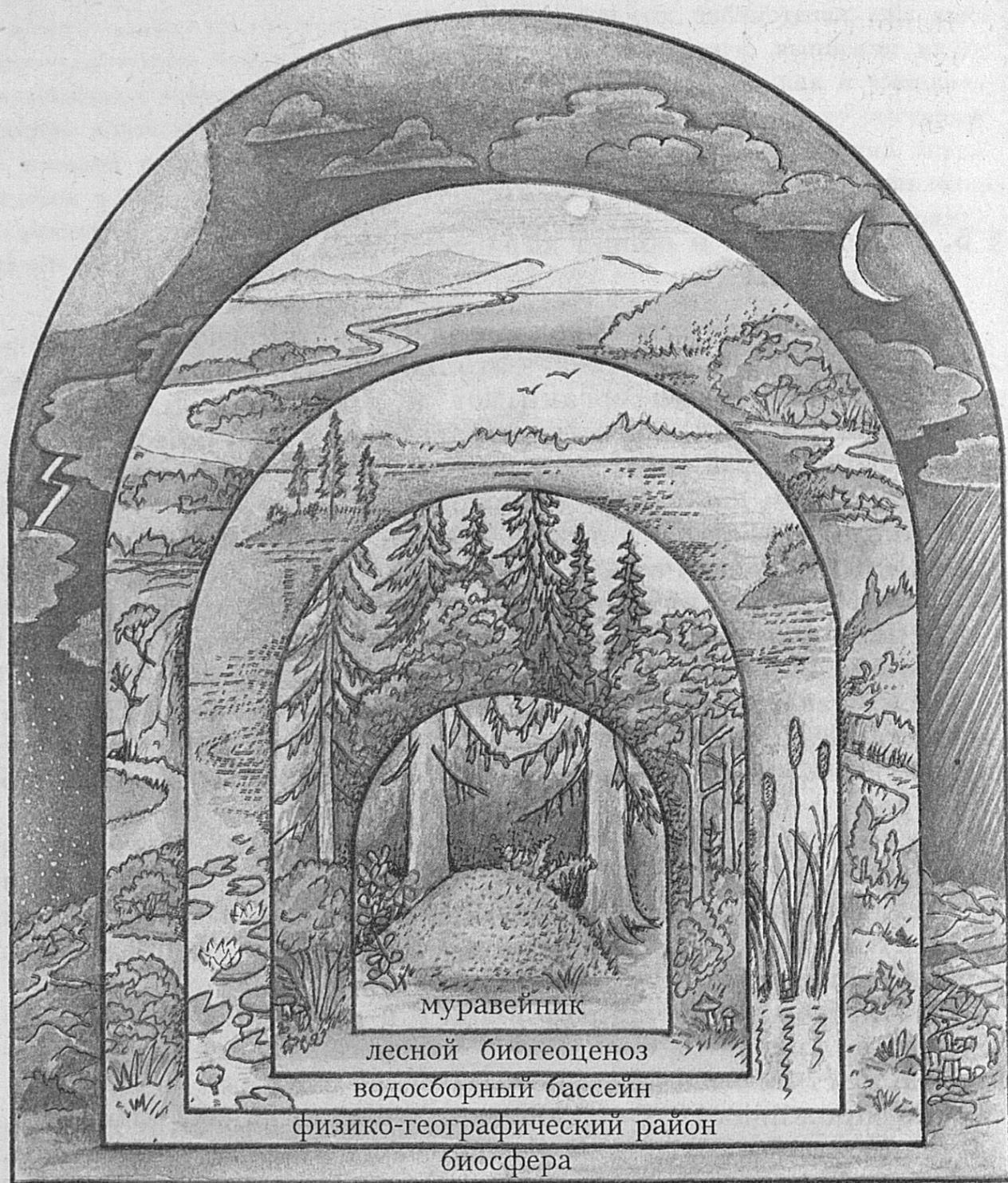


Рис. 2. «Матрешка» экосистем.

мещаются животные. Нора лисы или логово волка находятся в одном биогеноценозе, а охотятся эти хищники на большой территории, состоящей из нескольких биогеноценозов.

Ландшафты объединяются в физико-географические районы (например, Русская равнина, Западно-Сибирская низменность), где разные биогеноценозы связаны общим климатом, геологическим строением территории и возможностью расселения животных и растений. Связи между организмами, включая человека, в экосистемах физико-географического района и биосферы осуществляются через изменение газового состава атмосферы и химический состав водоемов.

Наконец, все экосистемы земного шара связаны через атмосферу и Мировой океан, в который поступают продукты жизнедеятельности организмов, и составляют единое целое — биосферу.



Контрольные вопросы

1. Что такое экосистема?
2. Что такое экологическая «матрешка» экосистем?

§ 6. Состав экосистемы

В состав экосистемы входят живые организмы (их совокупность можно назвать биогеоценозом или биотой экосистемы) и неживые (абиотические) факторы — атмосфера, вода, питательные элементы, свет и мертвое органическое вещество — детрит.

Все живые организмы по способу питания разделяются на две группы — *автотрофов* (от греческих слов *аутос* — сам и *трофа* — питание) и *гетеротрофов* (от греческого слова *гетерос* — другой).

Автотрофы используют неорганический углерод и синтезируют органические вещества из неорганических, это — *продуценты* экосистемы. По источнику энергии они в свою очередь также делятся на две группы.

Фотоавтотрофы — для синтеза органических веществ используют солнечную энергию. Это зеленые растения, имеющие хлорофилл (и другие пигменты) и усваивающие солнечный свет. Процесс, при котором происходит его усвоение, называется фотосинтезом.

Хемоавтотрофы — для синтеза органических веществ используют химическую энергию. Это серобактерии и железобактерии, получающие энергию при окислении соединений серы и железа. Хемоавтотрофы играют значительную роль только в экосистемах подземных вод. Их роль в наземных экосистемах сравнительно невелика.

Гетеротрофы используют углерод органических веществ, которые синтезированы продуцентами, и вместе с этими веществами получают энергию. Гетеротрофы являются *консументами* (от греческого слова *консуме* — потребляю), потребляющими живое органическое вещество, *детритофагами*, или *сапротофагами* (от греческого слова *сапрос* — гнилой), потребляющими мертвое органическое вещество, и *редуцентами*, разлагающими его до более простых соединений. Существует несколько групп консументов, например, фитофаги, зоофаги, паразиты и т. п.

Фитофаги (растительноядные). К ним относятся животные,

которые питаются живыми растениями. Среди фитофагов есть и небольшие животные, такие, как тля или кузнечик, и гиганты, такие, как слон. Фитофаги почти все сельскохозяйственные животные: коровы, лошади, овцы, свиньи, кролики, куры. Есть фитофаги среди водных организмов, например, рыба белый амур, поедающая растения, которыми зарастают оросительные каналы. Важный фитофаг — бобр. Он питается ветками деревьев, а из стволов сооружает плотины, регулирующие водный режим территории.

Зоофаги (хищники, поедатели животных). Зоофаги разнообразны. Это и мелкие животные, питающиеся амебами, червями или рачками. И крупные, такие, как медведь, волк. Хищники, питающиеся более мелкими хищниками, называются хищниками второго порядка. Есть растения-хищники (росянка, пузырчатка), которые используют в пищу насекомых.

Паразиты. Это разные животные (черви, насекомые, клещи), грибы, бактерии, вирусы, реже — растения (заразиха, повилика, омела и др.), которые живут за счет организма-хозяина. Хозяином может быть растение или животное (включая человека). Паразит обычно не убивает хозяина, как хищник жертву, а поселяется на нем (или внутри него) и долго использует его для питания. Паразиты могут снижать продолжительность жизни хозяина, его упитанность и плодовитость.

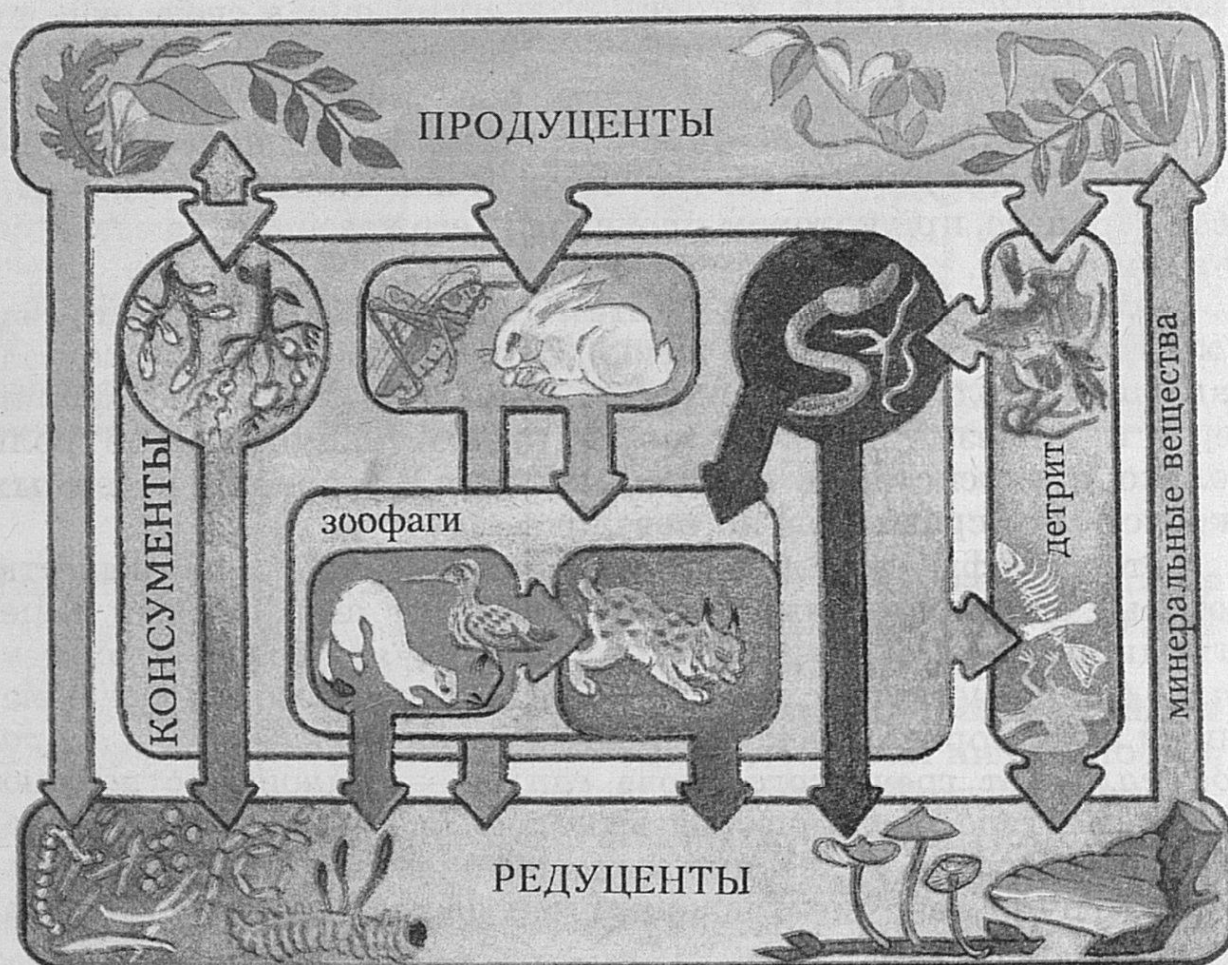


Рис. 3. Структура экосистемы.

Симбиотрофы. Это бактерии и грибы, которые питаются корневыми выделениями растений. Симбиотрофы очень важны для жизни экосистемы. Нити грибов, опутывающие корни растений, помогают всасыванию воды и минеральных веществ. Бактерии-симбиотрофы усваивают газообразный азот из атмосферы и связывают его в доступные растениям соединения (аммиак, нитраты). Этот азот называется биологическим (в отличие от азота минеральных удобрений).

К симбиотрофам относятся и микроорганизмы (бактерии, одноклеточные животные), которые обитают в пищеварительном тракте животных-фитофагов и помогают им переваривать пищу. Такие животные, как корова, без помощи симбиотрофов не способны переварить поедаемую траву.

Детритофаги — организмы, питающиеся мертвым органическим веществом. Это птицы (вороны), млекопитающие (крысы), насекомые (жуки-навозники), черви (дождевой червь) и многие другие. Детритофаги становятся добычей хищников и в этом случае органические вещества трупов возвращаются в биологический круговорот.

Редуценты — организмы, которые по своему положению в экосистеме близки к детритофагам, так как они тоже питаются мертвым органическим веществом. Однако редуценты — бактерии и грибы — разрушают органические вещества до минеральных соединений, которые возвращаются в почвенный раствор и снова используются растениями.

Органические вещества, созданные автотрофами, служат пищей (источником энергии), для гетеротрофов: консументы-фитофаги поедают растения, фитофагов — хищники первого порядка, хищники второго порядка — хищников первого порядка и т. д. Такая последовательность называется *пищевой цепью*, ее звенья расположены на разных трофических уровнях.

Для переработки трупов редуцентам нужно время. Поэтому в экосистеме всегда есть *детрит* — запас мертвого органического вещества. Детрит — это опад листьев на поверхности лесной почвы (сохраняется 2—3 года), ствол упавшего дерева (сохраняется 5—10 лет), гумус почвы (сохраняется сотни лет), отложения органического вещества на дне озера (сапропель) и торф на болоте (сохраняется тысячи лет). Наиболее долго сохраняющимися детритами являются каменный уголь и нефть.

На рисунке 3 показана структура экосистемы, основу которой составляют растения — фотоавтотрофы, а в таблице 2 приведены примеры представителей разных трофических групп для некоторых экосистем.

**Представители разных трофических групп
некоторых экосистем**

Трофическая группа	Лес	Водоем	Сельскохозяйственные угодья
Продуценты	Ель, береза, сосна	Рдест, кувшинка, ряска, водоросли	Пшеница, рожь, картофель, осот, марь белая
Консументы-фитофаги	Лось, заяц, белка	Ондатра, толстолобик, дафния	Человек, корова, овца, мышь, полевка, долгоносик, тля
Консументы-зоофаги Консументы-детритофаги	Волк, лисица, хорь Жук-мертвоед, кивсяк, дождевой червь	Чайка, окунь, язь, щука, сом Перловица, мотыль, дафния	Человек, скворец, божья коровка Личинки жуков и мух, дождевой червь

2

Контрольные вопросы

1. Организмы каких трофических групп входят в состав экосистем?
2. Какие организмы относят к консументам?
3. Какие организмы относят к редуцентам?
4. В чем отличие симбиотрофных и сапротрофных организмов?

● § 7. Пищевые цепи и пищевые сети

Организмы разных трофических групп, связанные в процессе питания и передачи энергии от зеленых растений к фитофагам и хищникам, образуют *пищевые цепи* (рис. 4). Две первые пищевые цепи представляют естественные экосистемы — наземные и водные. В наземной экосистеме цепь замыкают такие хищники, как лиса, волк, орлы, питающиеся мышами или сусликами. В водной экосистеме солнечная энергия, усвоенная в основном водорослями, переходит к мелким консументам — рачкам-дафниям, далее к мелким рыбам (плотва) и, наконец, к крупным хищникам — щуке, сому, судаку. В искусственных экосистемах пищевая цепь может быть полной — при разведении сельскохозяйственных животных, или укороченной, когда выращиваются растения, непосредственно используемые человеком в пищу. Последняя пятая пищевая цепь — детритная. В такой цепи мертвое вещество возвращается в кругооборот, минуя полное разложение и уровень продуцентов, детритофаги служат пищей хищникам.

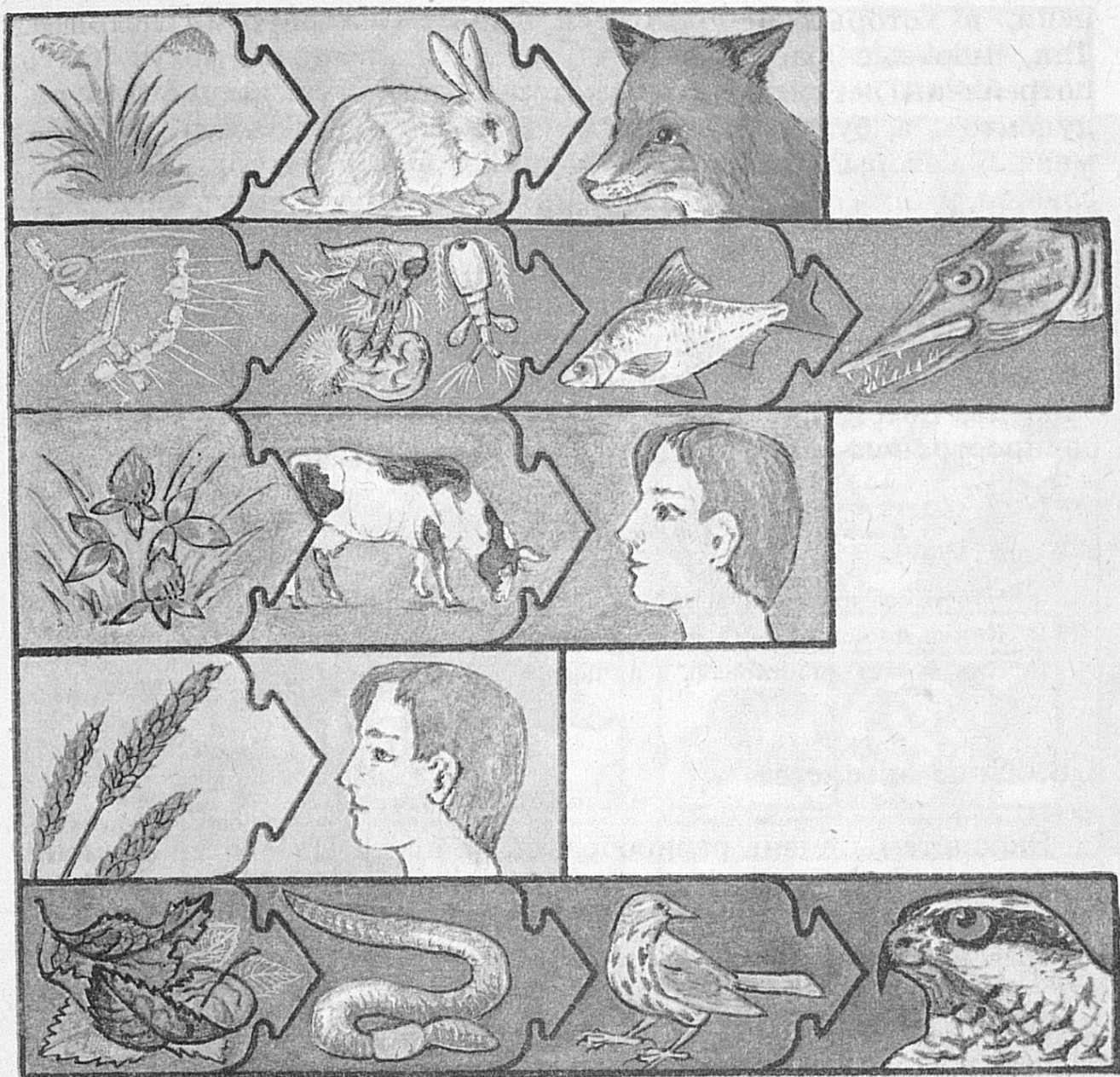


Рис. 4. Некоторые пищевые цепи в экосистемах.

Приведенные примеры упрощают действительную картину, так как одно и то же растение может быть съедено разными травоядными животными, а они, в свою очередь, стать жертвами разных хищников. Лист растения могут съесть гусеница или слизень, гусеница может стать жертвой жука или насекомоядной птицы, которая может заодно склевать и самого жука. Жук может стать также жертвой и паука. Поэтому в реальной природе складываются не пищевые цепи, а *пищевые сети*.

Наряду с цепями передачи энергии через живое органическое вещество (продуцент — консумент), существуют *детритные пищевые цепи* с участием детритофагов и редуцентов, использующих мертвое органическое вещество. Так, при разрушении листового опада, трупов животных или их экскрементов работает целый конвейер, в котором участвуют животные, грибы и микроорганизмы. Бывают и более сложные пищевые

цепи, в которых используется вещество и энергия детрита. Так, мертвые растения или трупы животных могут быть потреблены детритофагами, которые станут не пищей для редуцентов, а будут съедены хищниками, и питательные элементы, которые содержатся в трупе, будут повторно использованы, минуя стадию разложения, до того состояния, когда они становятся доступными для растений. Например, дождевой червь, питающийся мертвыми листьями, не будет разрушен грибами и бактериями после смерти, а будет съеден птицей. Личинки мух падалиц, питающиеся на трупе животного, могут стать пищей травяной лягушки, которую, в свою очередь, съест уж. Такие сложные детритные цепи широко распространены в природе.



Контрольные вопросы

1. Что такое пищевая цепь?
2. Какие пищевые цепи вы знаете?
3. Как может участвовать в пищевых цепях детрит?

§ 8. Типы экосистем

Экосистемы очень разнообразны (рис. 5). Их состав зависит от многих факторов, в первую очередь от климата, геологических условий и влияния человека. Они могут быть *автотрофными*, если главную роль играют автотрофные организмы — продуценты, или *гетеротрофными*, если продуцентов в экосистеме нет или их роль незначительна. Экосистемы могут быть *естественными* или созданными человеком — *антропогенными* (от греческих слов *антропос* — человек и *генезис* — происхождение).

Естественные (природные) экосистемы формируются под влиянием природных факторов, хотя человек может оказывать влияние на них. В лесу человек заготавливает древесину и охотится, на степном пастбище пасет скот, в водоемах ловит рыбу. Он может загрязнять атмосферу, почву, воду. Однако влияние человека в этих экосистемах меньше, чем влияние природных факторов.

Антропогенные (искусственные) экосистемы создаются человеком в процессе хозяйственной деятельности. Их примеры: сельскохозяйственные ландшафты с посевами и стадами скота, города, лесопосадки, морские «огороды» из водоросли ламинарии и «фермы» устриц или морского гребешка. В состав антропогенных экосистем могут входить сохранившиеся более мелкие естественные экосистемы (лес или озеро на территории сельскохозяйственной экосистемы, лесопарк в городе).

Существуют экосистемы, переходные между естественными

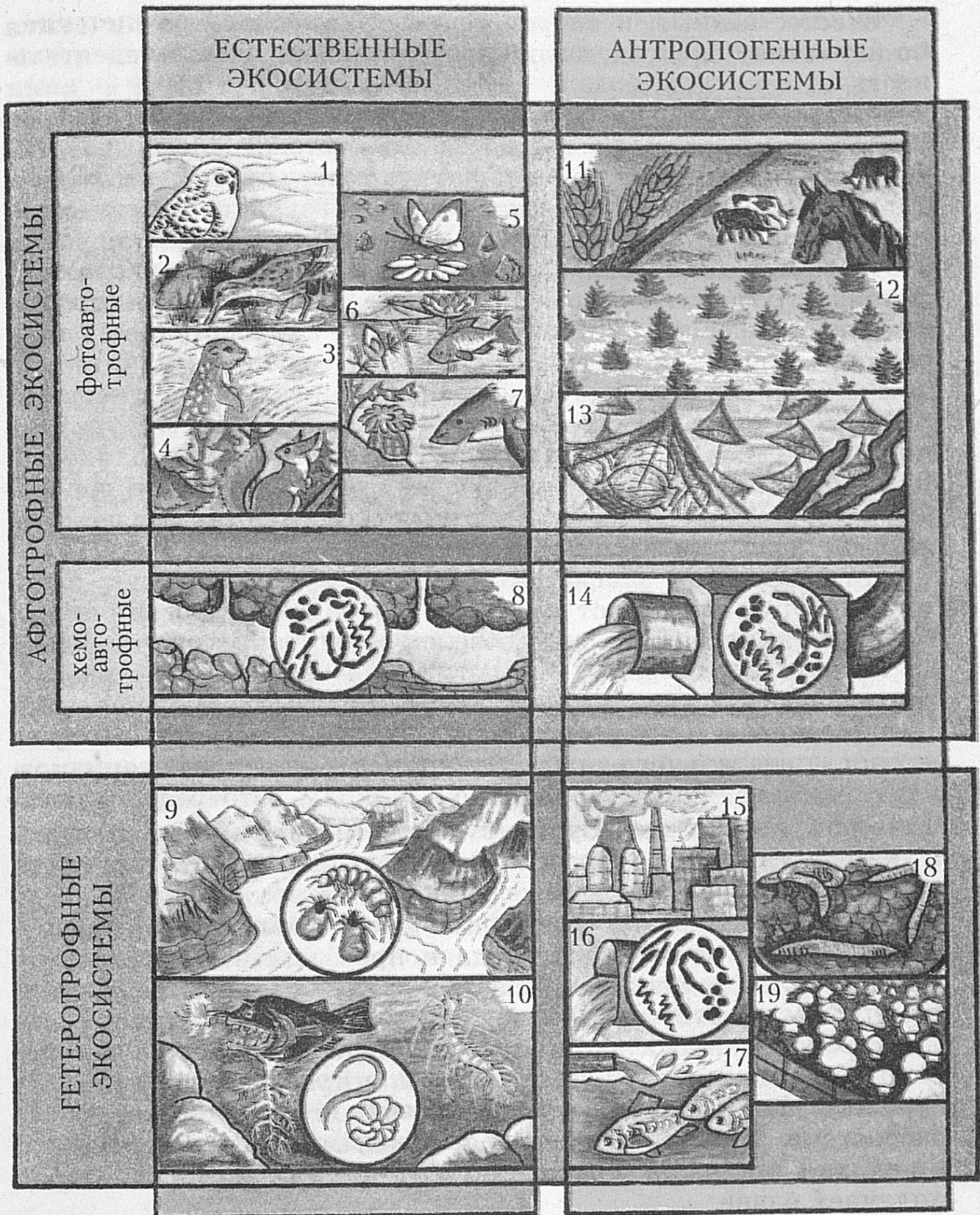


Рис. 5. Основные типы экосистем.

Цифрами обозначены: 1 — тундры, 2 — болота, 3 — степи, 4 — леса, 5 — луга, 6 — пресноводные водоемы, 7 — моря, 8 — экосистемы подземных вод, 9 — экосистемы высокогорных ледников, 10 — экосистемы океанических глубин, 11 — сельскохозяйственные экосистемы, 12 — лесные культуры, 13 — морские «огороды», 14 — экосистемы биологических очистных сооружений, 15 — города и промышленные предприятия, 16 — экосистемы биологических очистных сооружений, 17 — рыбозаводные пруды, 18 — культура дождевого червя, 19 — плантации шампиньонов.

и искусственными, например, экосистема естественных полупустынных пастбищ Калмыкии со стадами сельскохозяйственных животных.

И естественные, и антропогенные экосистемы различаются по источнику энергии, который обеспечивает их жизнедеятельность.

Автотрофные экосистемы находятся на энергетическом самообеспечении и разделяются на *фотоавтотрофные* — потребляющие солнечную энергию за счет продуцентов-фотоавтотрофов и *хемоавтотрофные* — использующие химическую энергию за счет продуцентов-хемоавтотрофов. Большая часть экосистем, в том числе и сельскохозяйственные, являются фотоавтотрофными. В сельскохозяйственные экосистемы человек вносит энергию, которая называется антропогенной (удобрения, горючее для тракторов и т. д.). Но ее роль незначительна по сравнению с используемой экосистемой солнечной энергией.

Естественные хемоавтотрофные экосистемы формируются в подземных водах. Антропогенные хемоавтотрофные экосистемы человек создает из микроорганизмов (бактерий и грибов) в некоторых биологических очистных сооружениях для очистки воды от неорганических загрязнителей.

Гетеротрофные экосистемы используют химическую энергию, которую получают вместе с углеродом от органических веществ или от созданных человеком энергетических устройств.

Пример естественной гетеротрофной экосистемы — экосистема океанических глубин, куда не доходит солнечный свет. Животные и микроорганизмы, входящие в нее, существуют за счет «питательного дождя» — трупов и остатков организмов, падающих на дно из освещенной солнцем автотрофной океанической экосистемы. Существуют гетеротрофные экосистемы и высоко в горах, где микроскопические клещи питаются остатками растений, которые приносит ветер.

Антропогенные гетеротрофные экосистемы очень разнообразны. Это, во-первых, города и промышленные предприятия. Энергия в них поступает по линиям электропередач, по трубам нефте- и газопроводов, в цистернах автомашин и железнодорожных вагонах. Поступают в город и сырье для работы промышленных предприятий, и продукты питания для горожан. Какое-то количество солнечной энергии городская экосистема получает благодаря зеленым растениям, но оно ничтожно мало по сравнению с энергией, которую город получает извне.

К гетеротрофным антропогенным экосистемам, кроме того, относятся:

Биологические очистные сооружения, в которых микроорганизмы разлагают органические вещества (в том числе и установки по сбраживанию навоза и получению из него биогаза).

Фабрики по разведению дождевых червей. Дождевые черви перерабатывают органическое вещество (навоз, опилки, солому) и дают биомассу, которая используется для откорма рыбы и

птицы (а в Японии белок червя используют как добавку в пищу человека). Образующийся продукт переработки органики — биогумус обогащен питательными элементами и используется в любительском садоводстве и огородничестве.

Плантации шампиньонов. Шампиньоны выращивают не только на специальных фабриках, но и в подвалах домов, которые нетрудно оборудовать — нужен лишь органический субстрат и тепло.

Рыборазводные пруды в городах. В этих прудах остатки пищевых продуктов горожан перерабатываются в биомассу рыбы.



Контрольные вопросы

1. Чем отличаются автотрофные и гетеротрофные экосистемы?

Приведите их примеры.

2. В чем различие естественных и антропогенных экосистем?

3. Назовите несколько вариантов антропогенных гетеротрофных экосистем.



СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

В США создана уникальная искусственная экосистема, названная «Биосфера-2». Она имеет площадь 1 га и изолирована от внешнего мира стеклянным колпаком, который пропускает только солнечную энергию. Замкнутые циклы «Биосферы-2», по которым питательные элементы циркулируют так же, как в естественной экосистеме, представляют полное автономное самообеспечение для восьми человек. В ней есть растения-продуценты,

животные-консументы и редуценты, разлагающие органические вещества для повторного вовлечения их в кругооборот.

Элементы замкнутости есть и в экосистемах космических аппаратов. Так, на российских космических станциях фекалии космонавтов перерабатываются личинками особых мух, которыми кормят японских перепелов. А космонавты периодически получают на завтрак свежие перепелиные яйца.