**В.В. МАВРИЩЕВ**

# ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ЭКОЛОГИИ

**Учебник**

**Минск – 2020**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

**ОТ АВТОРА** . . . . . 5

**ПРЕДИСЛОВИЕ** . . . . . 7

**ГЛАВА 1. ПРЕДМЕТ ЭКОЛОГИИ, ЕЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ** . . . . . 10
1.1. Что такое экология? Экология как научная дисциплина . . . . . 10
1.2. Краткая история экологии . . . . . 15
1.3. Уровни организации живой природы . . . . . 39
1.4. Определение экологии . . . . . 50
1.5. Объекты экологии, основной предмет изучения экологии. . . . . 54
1.6. Основные экологические проблемы современности . . . . . 60
1.7. Практическая значимость экологических исследований и задачи современной экологии . . . . . 63
**ГЛАВА 2. АУТОЭКОЛОГИЯ. ОРГАНИЗМ И СРЕДА ОБИТАНИЯ. ОСНОВНЫЕ СРЕДЫ ЖИЗНИ** . . . . . 66
2.1. Природная среда обитания. абиотическая и биотическая среды . . . . . 67
2.2. Водная среда обитания . . . . . 69
2.3. Наземно-воздушная среда . . . . . 79
2.4. Почвенная среда жизни . . . . . 83
2.5. Живые организмы как среда обитания . . . . . 89
**ГЛАВА 3. АУТОЭКОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ**. . . . . 98
3.1. Экологические факторы среды. классификация экологических факторов . . . . . 98
3.2. Абиотические факторы . . . . . 101
3.3. Биотические факторы . . . . . 122
3.4. Антропогенные факторы . . . . . 127
3.5. Концепция лимитирующих факторов. . . . . 132
3.6. Адаптации организмов к факторам среды . . . . . 137
3.7. Биологические ритмы и фотопериодизм . . . . . 148
3.8. Жизненные формы организмов. . . . . 155
**ГЛАВА 4 ДЕМЭКОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ**. . . . . 159
4.1. Понятие и определение популяции. . . . . 160
4.2. Пространственная структура популяций . . . . . 165
4.3. Половая структура популяций . . . . . 172
4.4. Возрастная структура популяций. . . . . 173
4.5. Этологическая структура популяций. . . . . 179
4.6. Динамические характеристики популяций . . . . . 186
4.7. Взаимодействия между популяциями. . . . . 192
4.8. Конкуренция, хищничество, паразитизм . . . . . 201
4.9. Гомеостаз и колебание численности популяций . . . . . 210
4.10. Цели и задачи популяционной экологии. . . . . 214
**ГЛАВА 5. СИНЭКОЛОГИЯ. УЧЕНИЕ О БИОЦЕНОЗАХ** . . . . . 218
5.1. Понятие биоценоза . . . . . 219

5.2. Видовая структура биоценоза . . . . . 221
5.3. Пространственная структура биоценоза . . . . . 224
5.4. Континуум, экотоны, краевой эффект . . . . . 228
5.5. Экологическая ниша. . . . . 232
**ГЛАВА 6. ЭКОСИСТЕМНАЯ ЭКОЛОГИЯ** . . . . . 237
6.1. Понятие экосистемы. . . . . 238
6.2. Особенности природных экосистем. . . . . 241
6.3. Круговорот веществ в экосистемах . . . . . 245
6.4. Автотрофный и гетеротрофный компонент экосистемы . . . . . 247
6.5. Поток энергии. пищевые цепи и экологические пирамиды . . . . . 249
6.6. Биологическая продуктивность экосистем . . . . . 262
6.7. Динамика экосистем . . . . . 264
6.8. Экологическая сукцессия. Классификация сукцессий.
Проблемы стабильности экосистем . . . . . 268
6.9. Классификация экосистем. Биомы. . . . . 273
6.10. Концепция биогеоценоза. . . . . 287
6.11. Агроэкосистемы, их особенности. . . . . 292
**ГЛАВА 7. УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ**. . . . . 297
7.1. Понятие и определение биосферы. структура биосферы. . . . . 297
7.2. Учение В.И.Вернадского о биосфере. . . . . 303
7.3. Живое вещество планеты. . . . . 308
7.4. Понятие ноосферы. . . . . 314
7.5. Биологическое разнообразие как основа стабильности биосферы . . . . . 320
7.6. Биоразнообразие и проблема инвазивных видов. . . . . 325
7.7. Значение сохранения биологического разнообразия . . . . . 330
**ГЛАВА 8. ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ БИОСФЕРЫ** . . . . . 336
8.1. Общая характеристика природных ресурсов . . . . . 336
8.2. Проблема исчерпаемости природных ресурсов . . . . . 338
8.3. Водные ресурсы. проблема дефицита пресной воды . . . . . 339
8.4. Почвенные ресурсы и проблема опустынивания . . . . . 344
8.5. Ресурсы сырья и энергии . . . . . 348
8.6. Гидро- и тепловая энергетика . . . . . 352
8.7. Современное состояние атомной энергетики. . . . . 353
8.8. Альтернативная энергетика . . . . . 356
8.9. Биологические ресурсы и их использование. . . . . 361
**ГЛАВА 9. ОСНОВНЫЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА**. . . . . 364
9.1. Понятие и причины экологического кризиса . . . . . 366
9.2. Демографический взрыв и проблема численности населения планеты . . . . . 370
9.3. Атмосфера. источники загрязнения атмосферы . . . . . 376
9.4. Глобальное потепление и парниковый эффект. . . . . 382
9.5. Озоновый экран и причины его нарушения . . . . . 389
9.6. Кислотные осадки. . . . . 396

9.7. Истребление лесного покрова земли . . . . . 401

9.8. Загрязнение окружающей среды и здоровье человека . . . . . 409
**ГЛАВА 10. ЭКОЛОГИЯ И ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ** . . . . . 414
10.1. Красная книга и охрана природы . . . . . 418
10.2. Особо охраняемые природные территории . . . . . 423
10.3. Биосферные заповедники: их цели и задачи . . . . . 427
10.4. Охраняемые территории Беларуси . . . . . 430
10.5. Мониторинг окружающей среды . . . . . 437

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ** . . . . . 445

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА** . . . . . 447

# ОТ АВТОРА

*Из науки о взаимоотношении организма и среды его обитания, формально возникшей в 1866 году (когда ей Э. Геккелем было дано название «экология»), она превращается в науку о выживании человечества, всех и каждого на нашей планете.*

**Н.Ф. Реймерс – российский зоолог, эколог**

Если спросить – какое слово сейчас очень популярно и в бытовом общении, и в средствах массовой информации, и в речах политиков, то слово «экология» займет одно из первых почетных мест. Однако истинное значение этого слова понятно сегодня не многим. Современное значение понятия экология имеет более широкое значение, чем в первые десятилетия развития этой науки. В настоящее время чаще всего вопросы экологии ошибочно понимаются, прежде всего, как вопросы охраны окружающей среды и относят их исключительно к человеку, его здоровью и условиям жизни.

На самом деле экология – это сложная разветвленная наука, в центре внимания которой – законы устойчивости живой природы, связи организмов друг с другом и средой обитания, позволяющие выживать, развиваться и противостоять изменениям условий. Эти связи как раз и поддерживают общую систему жизни на Земле – от бактерий до человека.

Произошло это из-за того, что экологические проблемы обрели глобальное значение и стали касаться жизни каждого человека планеты, где бы он не обитал. Сегодня на Земле не осталось ни одного уголка, до которого не дотянулась бы угрожающая рука человека. Даже те места, где нога человека еще не ступала не застрахованы от опасного воздействия человеческой деятельности. Это касается прежде всего трансграничного переноса загрязнений, начиная от кислотных осадков и заканчивая радиационным загрязнением. Достаточно сказать, что после аварии на Чернобыльской АЭС радиоактивное облако несколько раз обошло вокруг Земного шара, и где оно выпало в виде смертельных осадков – никто не регистрировал.

Всех экологий, что народились за последние годы, не перечесть — от традиционной аутоэкологии (экологии организмов, их популяций), синэкологии (экологии сообществ) и общей экологии, объединяющей все экологическое знание, до глобальной экологии, экологии города, экологии жилища, и даже экологии отдыха (рекреационной экологии).

Поэтому и появилось большое количество книжных публикаций по экологии, авторами которых выступают не профессиональные экологи, а многие специалисты других наук – философы, историки, экономисты, политологи, юристы и многие другие. Экология стала модной наукой, в связи с чем сама сущность, структура и значение современной экологии весьма изменились по сравнению с экологией, понимаемой как биологической наукой.

Настоящий учебник написан на основе уже опубликованных апробированных учебников и учебных пособий автора: «Основы общей экологии» (2000), «Экология в терминах и понятиях» (2002), Основы экологии (2003, 2005, 2007), «Экология» (2004), «Общая экология. Курс лекций» (2005, 2007. 2012, 2015), «Основы экологии и энергосбережения» (2010) и др. Автор попытался не выходить из рамок классической

экологии, однако, тем не менее не перегружать текст громоздкими определениями и деталями. Учебник предназначен для студентов биологических специальностей и содержит основные положения, понятия, направления и законы современной экологии.

Автор будет благодарен за все замечания и предложения по улучшению структуры и содержания учебника «Основы общей экологии».

В. В. Маврищев

*Люди погибнут от неумения пользоваться*
*силами природы и от незнания истинного мира.*

**Надпись, вырезанная на пирамиде Хеопса**

## ПРЕДИСЛОВИЕ

*Экология стала самым громким словом на земле, громче войны и стихии. Оно характеризует собой одно и то же понятие вселенской беды, никогда прежде не существовавшей перед человечеством.*

**В. Г. Распутин – российский писатель.**

Наступивший XXI век с полной уверенностью можно назвать веком экологии, экологических исследований и экологических свершений. Ни одна из наук современности не подействовала так на умы людей, как экология. Экологические вопросы на первый взгляд понятны и доступны большому количеству обывателей. Следствием этого явилась профанация экологии как науки.

Сейчас почти все стали экологами и почти всё стали называть «экологией», в том числе охрану природы, охрану окружающей среды, саму природу. Таким образом, произошло смешение понятий «экология», «природа», «окружающая среда», «природная среда». Появились несуразные выражения, в том числе и в печати, типа «хорошая и плохая» экология, «чистая и грязная» экология, «Охраняем экологию города», «охраняем и улучшаем экологию» и т.д. Или еще пример. Вот какое предложение было опубликовано в заголовке одного из новостных сайтов: «Как в Евросоюзе будут защищать экологию?». Все эти выражения говорят не в пользу тех, кто пропагандирует значимость экологии в современном мире. Такое положение никак не способствует экологической грамотности населения. Это признаки экологической неграмотности.

На простой вопрос: «Что такое экология?» - обыватель в подавляющем большинстве случаев отвечает: «Это охрана природы». Однако, давайте задумаемся, разве простой лесник, охраняющий выделенный ему участок леса, или члены известной международной организации «Гринпис», куда входят люди различных профессий, либо вовсе без них, являются экологами? Ответ однозначен – нет. А ведь считается, что они тоже охраняют природу.

Сегодня ученых, изучающих экосистемы, а также защитников окружающей среды и «зеленых» популистов любят называть одним словом – экологи. А это в корне неправильно. Прежде всего потому, что экология – это наука, которая изучает взаимодействие организмов и их сообществ между собой и с окружающей средой.

Особенно это стало заметно после Чернобыльской аварии, когда люди объединялись, создавая различные природоохранные организации, партии (например, партия «зеленых» в ФРГ). Это был благородный порыв, набиравший популярность по всему тогдашнему Советскому Союзу. И на нем, разумеется, попытались сделать имя личности, не имеющие отношение ни к науке, ни к охране окружающей среды.

Они приватизировали модное и звучное слово «экология», не задумываясь над смыслом термина. Их вовремя не поправили, и эта лексическая ошибка настолько закрепилась в речи, что вслед за популистами ее подхватили СМИ, а затем и читатели.

Словом, сегодня экологом называют юриста, который специализируется на экологических проблемах, активиста, выступающего против загрязнения пластиком, политика, сделавшего карьеру на громких заявлениях в защиту природы, или экологического проповедника, зарабатывающего деньги на тренингах. Иногда они сами себя так называют. Все это приводит к заблуждению многих людей, интересующихся природой, которых волнует будущее человечества.

Как животные и растения взаимодействуют друг с другом, как они приспосабливается к колебаниям природных факторов – вот основные вопросы первоначальной экологии. Эту дисциплину изучали на биологических факультетах университетов, но за исключением узкого круга специалистов о ней никто ничего не знал. Перелистайте газеты и научно-популярные журналы, выходившие до 1970 г., и вы нигде не встретите слова «экология».

А сейчас оно у всех на слуху. Экологию преподают почти во всех высших учебных заведениях, курс экологии вводят в школьные программы, издаются специальные экологические газеты и журналы, по экологии защищают многочисленные диссертации.

Такая резкая перемена на протяжении 30 лет произошла в силу двух взаимосвязанных обстоятельств, характерных для второй половины века: роста населения Земли и научно-технической революции.

Экология сейчас – это и наука, и учебная дисциплина, и мировоззрение.

Экология стала настолько популярной, что под ее рубрику подводят все что угодно: строительство очистных сооружений, региональное планирование землепользования, вторичную переработку бумаги и выращивание овощей на одних лишь органических удобрениях. Вся эта деятельность, пусть необходимая, по большей части представляет собой просто попытку смягчить тот удар, который нанесет нам Природа своим приговором за наше вопиющее нарушение ее законов - нежелание вести игру с соблюдением старых и испытанных правил, - и стремление хоть немного отсрочить возмездие. Однако, решая конкретные вопросы охраны окружающей среды, мы забываем, что без знания законов существования и развития природы все наши усилия направляются на борьбу с последствиями, а не с причиной, породившей конфликт человека и природы. Спасти человека - это, прежде всего, сохранить природу. Вывод из сказанного прост: начинать надо с изучения законов, по которым живет и развивается природа.

Автор исходит именно из этого принципа. Осознание экологических проблем возможно только при тщательном рассмотрении причин, их породивших. Для этого же необходимо получить основы тех знаний, которые предоставляет нам наука экология.

В современном человеческом обществе богатства и сытости уже недостаточно для выживания. Нужна также благоприятная среда жизни. Мы называем это окружающей средой, или природной средой. Если качество этой среды не соответствует определенным параметрам, то и интенсивность проявления деятельности человека будет резко снижена до определенной границы, за пределами которой наступает коллапс (угрожающее жизни состояние), и последующая гибель.

Вот такая ситуация может ожидать нас, все человечество, если всерьез не заняться решением основных экологических проблем, накопившихся в окружающем нас мире. И источником всех этих бед и проблем в конечном счете является сам человек.

Человек противопоставил себя природе раз и навсегда. Поэтому задачи человечества на современном этапе коренным образом отличаются от тех, которые были поставлены перед ним на заре цивилизации, когда нужно было выживать в природной среде. Человек перестал быть гармоничной частью биосферы, выйдя за пределы ее ресурсных циклов. Мощь цивилизации возрастает неизмеримо быстрее, чем способность природы к самовосстановлению. И здесь важно знать те критические значения параметров биосферы, за которыми может начаться непредсказуемое развитие природных сил и переход современной биосферы в новое состояние, где для человека (увы!), места может не оказаться. Сейчас человеку нужно сохранить те оставшиеся лоскутки природного одеяла, которые еще сохранились на теле нашей планеты.

Нельзя, однако, сказать, что человек только и делал, что бездумно и методично разрушал дом, в котором живет. На разных стадиях развития биосферы определенные цивилизации проявляли особое уважение к живому, справедливо полагая, что их жизнь в полной мере зависит от даров природы. И хотя уже на стадии собирательства и охоты человек извел всех крупных млекопитающих (прежде всего копытных), чем поставил себя перед лицом экологической катастрофы, он нашел в себе силы и умение обратиться лицом к природе, перейдя от охотничьего образа жизни и собирательства к оседлому земледелию.

В ходе сельскохозяйственной революции человечество изобрело массу различных предметов - от плуга и лошадиного хомута до пресса, паруса и помпы. Все эти продукты аграрного образа жизни, точнее, процессы, с ними связанные, имели определенное воздействие на природу, правда, поначалу весьма ограниченное. ми орудиями земледельца остаются плуг, мотыга и лопата. Иначе обстоит дело на современном этапе эволюции человека и природы. Промышленная цивилизация и сельскохозяйственная революция охватили весь мир. Человек оказался подхваченным вихрем демографического взрыва и вовлеченным в стремительный темп современной жизни. Наши разнообразные потребности - действительные и надуманные - в последнее время начали оказывать на природу столь мощное давление, что возникла вполне реальная угроза самому существованию Человека как биологического вида.

Чтобы выжить, человечеству нужно не бороться с природой, а подражать ей. Присмотреться, как эволюционируют виды в живой природе, и попробовать использовать ее приемы. Если мы и дальше будем хозяйничать без оглядки на исконных обитателей планеты, то не за горами тот день, когда мы с удивлением констатируем, что «львы, орлы и куропатки, рогатые олени, гуси, пауки, молчаливые рыбы, обитавшие в воде, морские звезды и те, которых нельзя было видеть глазом, - словом, все жизни, все жизни, все жизни, совершив печальный круг, угасли» (А.Чехов).

# ГЛАВА 1. ПРЕДМЕТ ЭКОЛОГИИ, ЕЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

## 1.1. ЧТО ТАКОЕ ЭКОЛОГИЯ? ЭКОЛОГИЯ КАК НАУЧНАЯ ДИСЦИПЛИНА

*Современная экология – это наука о том,*
*как передать Природу, наш общий дом,*
*нашим детям и внукам, чтобы им в нём*
*было жить лучше и удобней, чем нам.*
**Н.Н. Моисеев - российский математик**

С понятием и определением науки экология сегодня сложилось несколько парадоксальное положение. Само слово и термин «экология» в настоящее время стали популярными. К сожалению, довольно часто слово «экология» с лёгкой руки непрофессионалов широко употребляется для обозначения всех форм взаимоотношений человека с окружающей средой, в том числе им же созданной. Во многих случаях оно используется как слово-паразит, для придания речи наукообразия.

Сегодня в понятие «экология» вкладывается значительно более широкое содержание, ее границы раздвинуты далеко за рамки даже синтетической биологической дисциплины (говорят о «социальной экологии», «инженерной экологии», «политической экологии», «экологии культуры» и пр.). Это произошло по ряду причин. На рубеже XX и XXI вв. экология получила широкое толкование. Как отмечал А.В. Яблоков (1985), в 70-е г. XX в. возникло не менее 50 различных «экологий»: глобальная, медицинская, моря, суши, атмосферы, почвы, города, культуры и т.д. Одни считают экологию частью биологии, другие - комплексной или синтетической наукой, третьи - дисциплиной, изучающей общие закономерности функционирования экосистем, четвёртые - общенаучной областью знания. Почему же все так произошло?

Прежде всего из-за понимания самого термина **«экология»** (от греческого «oikos» – дом, «logos» – наука). В переводе на обыденный язык «экология» – наука о доме, о взаимоотношениях между живыми организмами и окружающей их средой. Слово «ойкос» у древних греков означало слитное единство жилища и хозяйства вокруг дома и усадьбы. Таким образом, при дословном переводе экология занимается изучением «природного дома», живущих в нём организмов (в том числе и человека) и всех процессов, делающих этот «дом» пригодным для жизни.

Недаром М.Горький еще в 1931 г. Писал: «Земля должна быть достойна человека, и для того, чтоб она была вполне достойна его, человек должен устраивать землю так же заботливо, как он привык устраивать свое жилище, свой дом».

Далее, Человек – тоже живой организм, находящийся во взаимоотношениях с окружающей средой, причем его поведение оказывает очень значительное влияние на Природу. Поэтому экология воспринимается в большей степени как наука, «обслуживающая» Человека в зависимости от изменения его экономического или социального статуса, чем естественно-научная дисциплина.

И, наконец, экология в настоящее время является развивающейся наукой, и ее понятийный, методический и теоретический аппараты еще не устоялись (так, например, продолжаются дискуссии даже об основном объекте изучения экологии).

Современная экология охватывает значительный круг проблем: политических, социально-биологических, медико-гигиенических, нравственно-этических, психолого-педагогических и иных. Таким образом, экология принадлежит к числу наиболее актуальных, интенсивно развивающихся отраслей современного естествознания. В то же время, необходимо отметить и такое свойство экологической науки, как ее пограничность. Многие вопросы, рассматриваемые экологией сегодня – это вопросы, стоящие на стыке различных наук.

Экология в XXI в. является для человека жизненно важной наукой, прежде всего потому, что изучает его непосредственное природное окружение. Наблюдая природу и присущую ей гармонию, человек невольно стремился внести эту гармонию в свою жизнь. Но постепенно прогресс, техническое развитие цивилизации и неразумная хозяйственная деятельность привели к разрушению природной среды. Ее деградация оказала неблагоприятное влияние на самого человека. Именно поэтому термин «экология» получил такое широкое распространение.

Экология сейчас – это и наука, и учебная дисциплина, и мировоззрение. Ни одна из наук современности не подействовала так на умы людей, как экология. Она стала настолько популярной, что под ее понятие подводится все что угодно: строительство очистных сооружений, региональное планирование землепользования, вторичная переработка бумаги, выращивание овощей на одних лишь органических удобрениях и т.д. К сожалению, как это часто бывает, употребление к месту и не к месту некоторых, ставших модными слов приводит к тому, что они начинают приобретать очень неопределенное значение, как бы теряя свой истинный смысл. Это и произошло с термином «экология».

Истоки искажения научного термина «экология» восходят к 60-80-м годам прошлого века, когда мощный взрыв народонаселения планеты породил множество негативных явлений в окружающей человека природной среде, которые сейчас носят всеобъемлющее название «экологический кризис».

В то время были отмечены первые опасные проявления наплевательского отношения к природе что заставило человека обратить пристальное внимание к состоянию окружающей среды. И для различных негативных явлений в природе начали применять термин «экология», не задумываясь о его действительном значении.

Именно тогда наметилось резкое расхождение по двум основным генеральным направлениям в развитии цивилизации: с одной стороны, циклическое (спиральное) развитие природных явлений, а с другой – направленное векторное направление научно-технического прогресса. В этом и состоит суть противоречия, возникшего между человеком и природой.

Природа, как известно, развивается циклически. До поры до времени (а именно, когда человек был только собирателем и охотником) он являлся органическим составляющим природных циклов. Человек не противопоставлял себя природному окружению. Да, он убивал животных, но убивал ровно столько, сколько нужно, чтобы прокормиться в данный конкретный момент, как делают дикие животные. Да, он рвал растения, выкапывал корни, собирал плоды, но не вырывал больше, чем нужно для пропитания, не уничтожал целенаправленно и цинично дикие виды.

Однако, на определенном этапе становления человеческого общества естественных природных ресурсов стало не хватать для его развития в дальнейшем. Тогдашнее человечество, будучи естественной, органической составляющей природной среды, ощутило резкую нехватку обычной пищи для поддержания своего рода. Человек в то время являлся только собирателем и охотником, т.е. питался, образно говоря, только подножным кормом. А так как человек является единственным живым существом, которое размножается бесконтрольно (в отличие от других представителей животного мира), то вполне очевидно, что пищевой базы для нормального его существования попросту стало недостаточно.

И вот, на каком-то этапе своего развития, безымянный представитель человеческого племени бросил (уронил?) в землю зерно пищевого растения. Одно зерно родило несколько зерен, те, в свою очередь дали начало новым растениям, и через некоторое время Человек уже смог собрать достаточный урожай, чтобы часть его использовать на корм пойманных животных, за которыми он раньше не всегда удачно охотился. Таким образом зародились первичное земледелие и скотоводство.

Именно в то время человечество стало на путь прогресса. А это означает, что в отличие от естественного развития природы Человек начал осваивать вектор направленного прямолинейного развития (в отличие от циклического природного), который увел его жизнедеятельность далеко от естественного природного цикла. С тех пор Человек постепенно стал становиться антагонистом своего природного окружения. Последствия этих событий мы и наблюдаем сегодня.

И чем быстрее прогрессировало человеческое общество, тем дальше и дальше человек отдалялся от своего природного окружения. И, видимо, процесс приобрел уже необратимый характер. Задача современного человека – попытаться хотя бы сохранить те остатки, которые еще не затронула прожорливая цивилизация.

Таким образом, человечество только тогда заговорило о перспективах экологической катастрофы, когда стало очевидным, что без природы, природного окружения человек не выживет и исчезнет как биологический вид. Это и побудило его к активным действиям по охране окружающей среды, разработке основ экологического образования и воспитания, а вот природа прекрасно обойдется и без человека (если только раньше он не уничтожит все живое).

Морские членистоногие – трилобиты царствовали на нашей планете на протяжении 300 миллионов лет. Люди же на Земле прожили пока что только полпроцента этого срока.

Осознание своей неисключительности и побудило человека к активным действиям по охране окружающей среды, разработке основ экологического образования и воспитания.

Так что же такое экология?

Всё сказанное даёт основание определить экологию как фундаментальную биологическую науку, исследующую системы надорганизменного уровня, их структуру и функционирование в пространстве и времени в естественных и изменяемых человеком условиях. Такое понимание экологии позволяет сохранить её как науку, отличая от наук об окружающей среде. За последние 50-70 лет экология превратилась в фундаментальный раздел знаний, ориентированный на изучение естественных взаимосвязей между живым организмом и окружающей средой. Экология, опираясь на весь комплекс биологических и

смежных наук, создаёт фундаментальную научную базу для гармоничного сочетания возрастающего воздействия человеческого общества с законами природы, управляющими биосферой.

Существует много определений экологии, однако большинством современных исследователей признается, что ***экология - это наука, изучающая условия существования живых организмов и взаимосвязи между организмами и средой, в которой они обитают***. Таким образом, необходимо понимать, что экология – фундаментальная научная дисциплина, идеи которой имеют очень важное значение.

Экология - наука сравнительно молодая и находится еще пока в фазе становления. Это связано с тем, что она в той или иной мере затрагивает почти все сферы жизнедеятельности живых организмов (и их совокупностей) и деятельности человека.

По своему зарождению и особенно развитию экология весьма отличается от других наук, большинство из которых, например биологию, можно представить в виде ствола дерева, от которого отходят многочисленные ветви (цитология, гистология, физиология и т.п.). Экология же представляет собой как бы массу корней, которые, сливаясь воедино, образуют единый ствол: вначале идут ботаника, зоология, климатология, почвоведение и физическая география, затем биохимия и микробиология, высшая математика (для построения моделей) и, наконец, социология, география населенности, психология и даже экономика. Именно это широкое слияние дисциплин придает экологии силу, вооружает ее средствами для поиска решений все более сложных проблем окружающей среды.

Термин «экология» был предложен и введен в науку немецким биологом Эрнстом Геккелем в 19 веке (1866). Он определил экологию как область знаний, изучающую экономику природы - исследование общих взаимоотношений животных как с живой, так и с неживой природой. Однако следует отметить, что впервые это слово было употреблено на 8 лет ранее американским философом, писателем-романистом и натуралистом широкого профиля Генри Дэвидом Торо (1817-1862), главная книга которого «Жизнь в лесу» была переведена на многие языки, в том числе и на русский. В письме от 1 января 1858 г. Он сообщал одному из ученых: «Мистер Гоар все еще в Конкорде, занимается ботаникой и экологией…».

Древнегреческое слово «ойкос» или «эйкос» правильнее переводить как «местообитание». Г. Д. Торо употребил слово «экология» в смысле «природоведение», считая, что природу надо изучать, потому что она, а не строение городов, является истинным домом для человечества. В дословном переводе слово «ойкос» может означать «домоводство», что может быть сопоставимо со значением «домашнее хозяйство». Значение термина «экология» с течением времени сильно менялось.

В конце XIX - начале XX века экология понималась как часть зоологии, и не претендовала на науку, обобщающую всю сумму биологических знаний. Со временем на то, что мы понимаем под экологией, выкристаллизовалось две точки зрения. Согласно одной - экология - это наука, изучающая взаимоотношения организмов и среды. Другие же подчеркивают, что экология - это огромная отрасль знаний, совокупность научных и учебных дисциплин. Действительно, экология тесно связана с другими биологическими дисциплинами, например, с зоологией и ботаникой. Это действительно так. На заре развития этих наук внимание исследователей было сосредоточено на систематике и

строении организмов. Но уже в первых сочинениях по флоре описание каждого вида растения стало сопровождаться указанием мест его произрастания. В изучении фауны также пришли к тому, что образ жизни животного взаимосвязан с условиями его обитания. Большинство этих сведений относятся, по существу, и к экологии.

Ни одна наука, как экология так интересует и беспокоит каждого из нас. Экология – это ключ к решению многих проблем, возникающих при взаимодействии человека с природными системами. Она может помочь разработать систему мер, спланировать действия, управлять ими и защищать окружающую нас природную среду, гарантируя, что мы сами сможем наслаждаться здоровой жизнью, а также сможем передать здоровые экосистемы нашим внукам.

Наука экология должна стать фактором, влияющим на принятие политических решений. Если мы не будем учитывать экологический фактор, мы рискуем в будущем получить множество проблем — от увеличения масштабов деградации земель до гибели растений и животных и до усугубления глобальных изменений климата.

Теоретик экологии Н. Ф. Реймерс отмечает (1994): «Став великаном, человек увидел, что это гибельно для него если не сейчас, то в уже видимой перспективе. И если люди экологически не поумнеют, они обречены. Глубоко пессимистичный, но необходимый вывод. Одновременно он и оптимистичен, ибо перспектива все же есть».

Наше будущее здоровье зависит от тонкого баланса между качеством воздуха, воды, почвы, между микроорганизмами, растениями, животными. Экология дает нам возможность понять, как работает этот баланс, что нарушает его, и как загрязнители удерживаются и высвобождаются природными системами.

Загрязнение угрожает пищевым цепям, убивает жизнь в реках и морях и может разрушать репродуктивную систему рыб, животных и людей. Наука экология показывает, куда идут загрязнители, как они влияют на различные формы жизни, где они вырабатываются и что можно сделать для предотвращения их вредного влияния.

Производство продуктов питания зависит от интенсивности хозяйствования и от внесения в землю удобрений и пестицидов. Наука экология может помочь найти способ уменьшить использование удобрений, избежать побочных эффектов от пестицидов и использовать естественные способы контроля за заболеваниями и паразитами, влияющими на урожаи и продукцию животноводства.

Глобальные климатические изменения вызываются парниковым эффектом, который в свою очередь является результатом деятельности человека. Экология определяет ключевые процессы, которые позволят природным системам уменьшить количество углекислого газа, выделяемого в атмосферу, и тем самым замедлить глобальное потепление.

Известно, что удар цунами в Индийском океане в 2004 году, возникшее в результате поземного землетрясения, и унесшее жизни около 230 тысяч человек, был менее разрушающим в тех местах побережья, которые были защищены мангровыми зарослями. Экологическое восстановление мангровых лесов может в значительной степени уменьшить нашу уязвимость перед природными катаклизмами. Посадка травы в 1930-е годы позволила китайцам защитить большие участки их побережья.

Специфика современной экологии в том, что она из строго биологической науки превратилась в значительный цикл знаний, вобрав в себя разделы географии, геологии, химии, физики, социологии, культуры, экономики, информатики и других наук.

## 1.2. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ЭКОЛОГИИ

*...Под экологией мы подразумеваем общую науку*
*об отношении организма к окружающей среде,*
*куда мы относим все «условия существования»*
*в широком смысле этого слова.*
*Они частично органической, частично*
*неорганической природы*
**Эрнст Геккель, немецкий естествоиспытатель**

### *Истоки и предыстория экологии*

Говоря о истоках экологии, видимо, следует говорить не о истории экологии в целом, а о истории взаимодействия человека (человечества) с окружающей природной средой. Об истории развития экологии как науки, вероятно, следует говорить только со времени зарождения этой науки, а конкретнее, начиная с 1866 года, когда Э.Геккель впервые употребил термин «экология» для характеристики науки о связи живых организмов с окружающей их природной средой.

С самого начала появления на планете Земля Человек бессознательно в той или иной мере с разной интенсивностью видоизменял природу своего окружения. Влияние Человека на экосистемы проявилось гораздо раньше, чем принято думать. Даже такими простыми действиями, как охота и собирание растений, человек видоизменил — сознательно или бессознательно — межвидовые взаимоотношения в пользу одних видов за счет других. Влияние это стало еще более заметным с возникновением земледелия: одомашнивание некоторых животных и культивирование растений (таких, как собака, крупный рогатый скот, злаки) стало первым сознательным актом сохранения природы. Так началась первая в истории аграрная революция.

Толчок этой самой первой в истории человечества научно-технической революции был дан неким безымянным доисторическим представителем человеческого рода, посадившим во влажную землю первое зерно и вызвавшим этим поступком революцию сельскохозяйственную со всеми сопутствующими ей социальными потрясениями.

На вопрос о том, когда же человек начал изменять природу, американский биолог Пол Эрлих ответил однажды так: «Точно сказать не могу, но это произошло, видимо, от пятнадцати до двадцати пяти тысяч лет тому назад. Все началось тогда, когда первый крестьянин бросил в почву первое зерно в надежде, что оно даст ему новое растение и принесет двадцать новых зерен. Так человек начал систематическое преобразование природы».

Как писал в своей книге «Sapiens. Краткая история человечества» историк Ю. Н. Харари «Аграрная революция – одно из самых противоречивых событий в истории. Некоторые ученые твердят, что она вывела человечество на путь прогресса и процветания.

Другие уверены: на той развилке человечество выбрало тропу, ведущую в бездну. То была точка невозврата, утверждают они: Homo sapiens отрекся от родства с природой и устремился навстречу алчности и отчуждения».

Американский натуралист Арнольд Ньюмен предложил следующую теоретическую модель развития нашей планеты. «История эволюции насчитывает 3,5 миллиарда лет; приняв каждые десять миллионов лет за один день, мы получим условный календарный год. Жизнь зародилась в «январе». Затем появляются простейшие бактерии и необъяснимым образом почти мгновенно распространяются по всему свету. Первые водоросли возникают (судя по ископаемым остаткам) в начале «мая»; древнейшие морские черви формируются не раньше «ноября»; в середине «декабря» начинается переселение из плацентарных морей на сушу, а человек - запомните это! - выходит на сцену за 15 минут до конца года. За короткое время пребывания на земле мы успели натворить многое, о чем приходится сожалеть».

Человек во все времена своего существования был стихийным «экологом». Экологические проблемы в той или иной мере решались человечеством стихийно и неосознанно на протяжение все естественной истории. Оно рано поняло, что пользоваться природными богатствами необходимо разумно, не нарушая при этом продуктивных физических и биологических природных механизмов и сохраняя тем самым основу своего существования. Но не всегда благие намерения достигали поставленных целей. Человек решал прежде всего свои, меркантильные, задачи.

Раскидистое «древо» экологического знания возникло на перекрестке наук о живом. Корни экологического знания уходят в глубокую древность. Наскальные рисунки, сделанные первобытными людьми, свидетельствуют о том, что интерес человека к окружающему миру был далек от простого любопытства. Наскальные изображения первобытных эпох, в которых современный человек узнает силуэты знакомых животных, являются свидетельством того, что проблемы первобытных людей в своей сущности были экологическими. Современный ученый по наскальным рисункам может получить представление о повадках и облике животных, имевших хозяйственную ценность в то далекое от нас время, и в какой-то мере судить о проблемах первобытного человека, может быть в большей степени, экологических. Следует подчеркнуть, что экологические представления возникли непосредственно в связи с практическими запросами человечества. Множество интересных сведений об экологическом мышлении того времени оставили нам древние египетские, индийские, тибетские и античные источники. В эпических поэмах «Махабхарата» и «Рамаяна» (VI-IV вв. до н.э.) описаны образ жизни и местообитания примерно 50 видов животных. Там же можно найти сведения об изменении численности животных и даже об охотничьих запретах (на убой самок). Император Ашока, живший в III в. до н. э. (304–232 до н. э.), издал несколько законов, которые требовали доброго отношения к животным, открытия для них больниц, кормления животных на дорогах, прекращения охоты, ввел запрет на ритуальное жертвоприношение животных.

Истоки экологической культуры уходят в глубь веков, мировоззрений и религий древних цивилизаций. Одной из таких цивилизаций является Древний Египет. Факт существования Египетской цивилизации на протяжении порядка 4 тыс. лет в равновесии с биосферой является уникальным в мировой истории. В Древнем Египте человек считался

частью природы, нарушение законов которой было недопустимо. Мифы Древнего Египта зовут человека слиться с природой, принять раз и навсегда заведенный мудрый порядок, подчиниться этому порядку и не пытаться что-то изменить, ибо всякое изменение будет только к худшему (Рис. 1.1.).

Древнеегипетские жрецы могли читать небо по звездам, предсказывать погоду, управлять разливами Нила, знали анатомия человека и животных, а также познания более тонких материй и энергий.

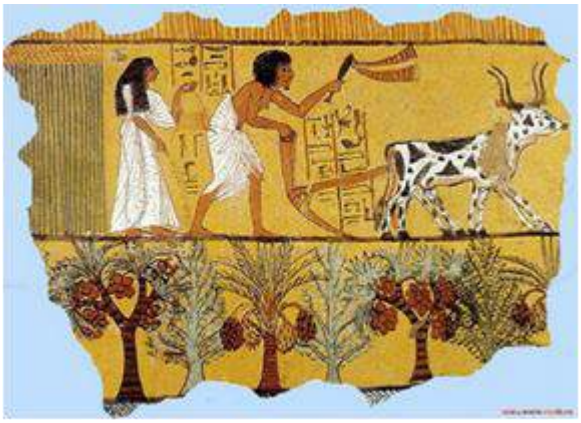


Рис. 1.1. Сбор урожая в Древнем Египте

Многих диких животных египтяне мифологизировали и поклонялись им. Так, они почитали священных быков Аписа и Мневиса. Священное животное после смерти мумифицировалось. Во всём Египте широкое распространение получил культ священной коровы — богини Хатхор. Древние египтяне считали также священными и некоторых птиц, которые оказывали помощь земледельцам. В Фивах существовал особый культ крокодила. Прирученного крокодила украшали золотыми серьгами и кольцами. Крокодил принимал от всех знаки почитания и благоговения. Древние египтяне первыми одомашнили кошек около 5000 лет тому назад и возвели их в ранг священных. В Древнем Египте кошек считали полноправными членами семьи. Иметь дома собственную кошку у египтян считалось знаком богатства и достатка. К кошкам относились с любовью и уважением как при жизни, так и после смерти. Первое упоминание о кошках встречается у греческого писателя — историографа Геродота, жившего в V веке до н. э. В Древнем Египте священным животным была и собака. К собакам относились бережно и с почитанием. Собака считалась стражем царства мертвых и спутником в загробном мире. Изображения собак часто встречаются в гробницах фараонов.

Предыстория экологии охватывает также античный период и эпоху Возрождения. Взгляды на природу древнегреческих ученых в значительной мере повлияли на становление экологического мышления биологов современной эпохи.

Защиту идеи охраны природы и, в частности, красоты естественных лесов можно найти еще в глубокой древности. Так, великий поэт эпохи Августа, Гораций, в письме патрицию Фуску Авидию говорит: «В ваших садах великолепные колоннады. Не для того ли они построены, чтобы запереть рощи и леса? Природа, которую вы гоните прочь ударами секир, которую вы гоните в двери из ваших домов, к счастью возвращается обратно через окно».

Взгляды на природу древнегреческих ученых в значительной мере повлияли на становление экологического мышления биологов современной эпохи. Так, к примеру, Аристотель (384-322 гг. до н.э.), не будучи экологом в современном понимании, придавал предложенной им классификации животных экологическую окраску. В своих многочисленных трудах («О частях животных», «Возникновение животных», «Описание животных») он одним из первых рассматривает животных в связи с их местообитанием. Трактат Аристотеля «История животных» стала первой попыткой систематизировать представителей животного мира в соответствии с их строением, средой обитания, способом размножения и т.д. В наше время некоторые названия, использованные философом, кажутся по-детски наивными. Например, Аристотель поделил животных на «кровяных» (собака, лошадь) и бескровных (сюда вошли насекомые). Однако не стоит недооценивать значение этого труда, состоящего из 10 книг, для становления современной науки экологии. На протяжении столетий, начиная с эпохи Средневековья и заканчивая XVIII веком, «История животных» использовалась как важнейший источник систематизированной информации о животных и природе.

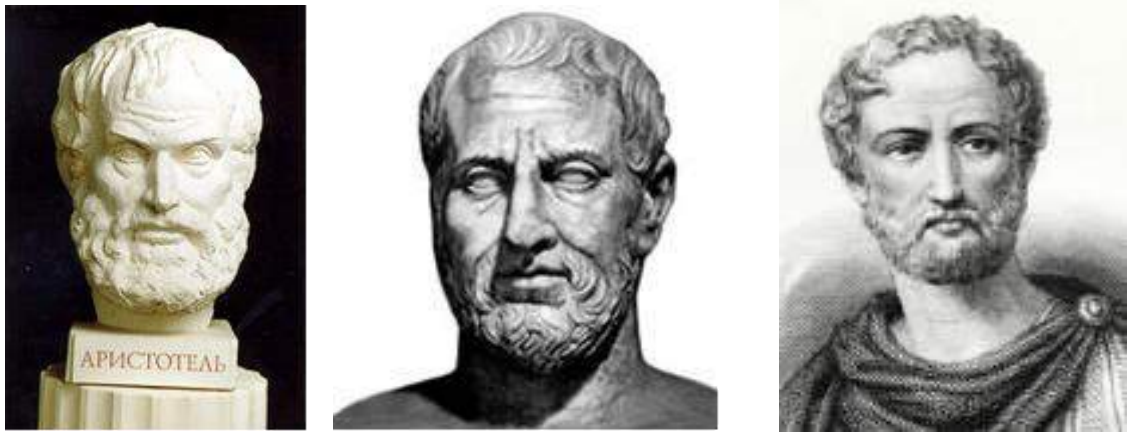



Рис. 1.2. Аристотель, Теофраст, Плиний Старший

Ученик Аристотеля Теофраст (372—287 гг. до н. э.) описал естественные группировки растений и типы деревьев, произрастающих на разной высоте. Ему принадлежат зрелые высказывания экологической направленности. В своих книгах «Естественная история растений» и «О причинах растений» он описывает естественные группировки растений, приуроченные к определенным местообитаниям. Теофраст указывал на приспособительное значение окраски животных и ее изменений. Он заложил основу экологии растений, создал их классификацию, систематизировал наблюдения по их морфологии, распространению и медицинскому использованию.

Древнегреческие мыслители передали эстафету пришедшим им на смену римским ученым, таким как создатель знаменитой «Естественной истории» Плиний Старший, который обобщил данные по зоологии, ботанике, лесному хозяйству, описал практику использования животных в различных отраслях хозяйства, а те «перекинули мостик» к мыслителям эпохи Возрождения.

Интерес к экологии в Средние века заметно поутих в сравнении с Древним миром.

Внимания общества, сосредоточенного на богословии, элементарно не хватало на изучение природы и её законов. Весь интерес к природе ограничивался изучением целебных свойств трав, а происходящее вокруг принято было считать промыслом Божиим и принимать как неизбежность.

Однако наблюдалось и проявление интереса к характеру природы в чужих, неизведанных странах. Существенные изменения в плане интереса к экологии произошли лишь в XIII веке. Немалую роль в развитии экологии сыграли путешествия бесстрашного Марко Поло и его книга, написанная под впечатлением посещения невиданных в те времена далёких земель — «Книга о разнообразии Мира».

Великие географические открытия эпохи Возрождения послужили толчком для развития природопользования. Ученые и путешественники не только описывали внешнее и внутреннее строение растений, но и сообщали сведения об их зависимости от условий произрастания или возделывания. Описание животных сопровождалось сведениями об их повадках, местах обитания.

В конце XV и в XVI вв. начинается прокладывание морских торговых путей, завоевание ранее неизвестных стран, из которых в Европу были привезены многочисленные и разнообразные животные и растения. По всей Европе в XVI, а затем и в XVII в. создаются ботанические сады, которые становятся научными центрами. Эта эпоха характеризуется также усиленным интересом к древнегреческим ученым и философам.

Постепенно человечество начало открывать для себя все новые перспективы в освоении природы. Нужно было разобраться во всем многообразии флоры и фауны, оценить возможное хозяйственное значение открытых учеными экзотических видов.

Появление в рационе современных людей таких привычных всем растений как картофель, томаты, табак, кофе, кукуруза, рис и многих других стало возможным только благодаря экспедициям знаменитых путешественников того времени – Христофора Колумба, Васко да Гама, Америго Веспуччи и др.

Интенсивное внедрение новых видов животных и растений, развитие земледелия и животноводства привело к интенсивному наступлению на дикую природу. Численность населения Земли к 1500 г. составила около 350 млн человек, из которых на долю охотников, рыболовов и собирателей приходился 1%. Но в абсолютном исчислении это была немалая цифра – 3,5 млн человек. Экологические и экономические последствия внедрения новых видов растений в культуру огромны, этот процесс, связанный с эпохой Великих географических открытий, можно назвать первой зеленой революцией. Численность крупного рогатого скота стала измеряться сотнями миллионов, а мелкого скота – миллиардами особей.

Удивительные открытия, которые принесли с собой путешествия в отдаленные страны и великие географические открытия эпохи Возрождения, послужили толчком для развития природопользования. Ученые и путешественники не только описывали внешнее и внутреннее строение растений, но и сообщали сведения о зависимости растений от условий произрастания или возделывания. Описание животных сопровождалось сведениями об их поведении, повадках, местах обитания.

Если развитие экологии как науки в Средние века было сопряжено с накоплением знаний, то вполне естественным является то, что основной особенностью периода

Возрождения стала систематизация и анализ имеющихся данных.

Приток новых знаний требовал осмысления фактов, разработки классификаций животных и растений, понимания роли и места человека в общей естественнонаучной системе. Накопленный материал позволил ученым создавать научные труды с привлечением новейших данных.

Швейцарский естествоиспытатель Конрад Геснер (1516—1565) издает пятитомную «Историю животных», в которой, следуя классификации Аристотеля, описывает животных. Заслугой Геснера было то, что в свою классификацию он включил признаки среды обитания. Геснер основал в Цюрихе ботанический сад и первый естественно-исторический музей.

Андреа Цезальпин или Чезальпино (1519—1603), открыл период искусственных систем в ботанике и систематизировал растения согласно строению их семян, цветков и плодов, опираясь на труды Аристотеля.

Итальянский натуралист Улиссе Альдрованди (1522—1605) основывает при университете г. Болонья один из первых ботанических садов и музей животных и растений. В своих трудах «Орнитология», «О насекомых» и др. возрождает интерес к биологическим сочинениям Аристотеля.

Жозеф Питтон де Турнефор (1656— 1708) — член Парижской академии наук, создал оригинальную классификацию растений на основании строения венчика цветка.

Английский биолог Джон Рей (1623—1705), создавший научное естественноисторическое общество в Англии, в 1670 г. предложил первую естественную систему растений, ввел представление об однодольных и двудольных растениях и впервые использовал категории вида и рода в смысле, близком к современному.

Проведение первого в истории человечества эксперимента экологической направленности стало своеобразным предвестником появления экологии как науки. В том же 1670 году известный химик Роберт Бойль (1627—1691) впервые осуществил экологический эксперимент: он опубликовал результаты сравнительного изучения влияния низкого атмосферного давления на различных животных. Он выяснил, что наибольшей стойкостью к вакууму обладают водные, земноводные и пойкилотермные (т. е. с непостоянной температурой тела) животные и объяснил это их образом жизни.

Французский естествоиспытатель Рене Реомюр (1683—1757) в шеститомном труде «Мемуары по естественной истории насекомых» публикует огромное количество сведений об условиях жизни насекомых, их общественном устройстве, сезонных явлениях, паразитизме и др. В 1735 году он установил, что сумма средних дневных температур воздуха в тени постоянна для данного сезонного периода в жизни организмов.

Голландец Антони ван Левенгук (1632-1723), известный всему человечеству как изобретатель микроскопа, в то же время был пионером в изучении «пищевых цепей» и регулирования численности популяций.

Рис. 1.3. Левенгук и его микроскоп

Еще в молодые годы Левенгук увлекся необычным делом — шлифовкой стекол и стал успешным изготовителем линз. Устанавливая свои линзы в металлические оправы, он собрал микроскоп и с его помощью проводил самые передовые по тем временам исследования. Всего за свою жизнь он изготовил более 500 линз и как минимум 25 микроскопов, 9 из которых дошли до наших дней (рис. 1.3).

В 1677 году Левенгук сделал величайшее открытие, которое повлияло не только непосредственно на биологию и медицину, но и на все другие науки — он открыл микробов. Он назвал их маленькими животными. «Самое мелкое из этих крошечных животных в тысячу раз меньше глаза взрослой вши», — так писал Левенгук.

Этот маленький микроскоп – подлинный оптический шедевр XYII века. Металлическая пластина, миниатюрная сферическая линзочка диаметром до 2-3 мм, закрепленная в центре этой пластины, да еще маленькая иголочка – вот и все его устройство. Но этот микроскоп позволил получить увеличение до 300 раз и открыть микромир на кончике иглы. Тайну создания линзы с таким большим увеличением Левенгук унес с собой. Только спустя почти три столетия ученые раскрыли ее, рассмотрев микроскоп Левенгука через другой микроскоп.

Одной из наиболее ярких фигур среди ученых натуралистов XVIII в. был Карл Линней (1707—1778) (рис. 1.4). В научном отношении он стоит на рубеже двух эпох. Линней обобщил всю сумму фактических знаний, накопившихся с эпохи Возрождения, создал систематику животного и растительного мира и тем самым как бы завершил биологию метафизического периода.

Рис. 1.4. Карл Линней

Линней был энциклопедически образованным ученым с исключительной памятью и наблюдательностью и с особой, как говорили, «систематической жилкой». Линней систематизирует все — минералы, животных, растения и даже болезни (так, к выпущенному им в 1749 г. первому научному труду по лекарственным растениям «Materia medica» Линней приложил «Каталог болезней», причем указал, чем лечить каждую болезнь).

Карл Линней является основателем современной таксономии (систематики). Ему мы обязаны современной системой классификации, применимой как для животных, так и для растений. Впервые он опубликовал свою Systema Naturale в 1735 году, а в 1758 году вышло уже десятое издание. Линней установил классификацию и критерии, которыми мы пользуемся по сей день. Его система основана на внешней и внутренней анатомии. В случае с растениями он использовал цветок в качестве основы для классификации. На нижних уровнях — роды и виды — его система осталась почти без изменений. Высшие категории (крупные таксоны) его классификационной схемы были реорганизованы.

Основные заслуги Линнея заключаются в следующем:

1. Он создал очень простую и удобную систему таксономических единиц (класс, отряд, семейство, род, вид), подчиненных одна другой.

2. Классифицировал по своей системе животный и растительный мир.

3. Установил определение вида для растений и животных.

4. Линней впервые последовательно применил бинарную (двойную) номенклатуру, т.е. обозначил для каждого вида растений, животных и микроорганизмов двойное латинское название: первое означало название рода, второе - видовую принадлежность. Одновременно Линней построил наиболее удачную искусственную классификацию растений и животных. За 120 лет до появлении теории Дарвина великий швед поставил человека первым в классе млекопитающих, вместе с обезьянами и полуобезьянами. В системе Линнея человек получил свое научное имя Homo sapiens - человек разумный.

*Люди принадлежат к надцарству эукариот Eucarya, царству животных (Animalia), типу хордовых (Chordata), подтипу позвоночных (Vertebrata), классу млекопитающих (Mammalia), отряду приматов (Primates), семейству гоминид (Hominidae), роду Homo (человек), виду sapiens (разумный).*

Таким образом, со времени Линнея каждый животный или растительный организм обозначается двумя латинскими названиями, названием рода к которому принадлежит данное животное, и вида; к ним присоединяется обычно в сокращенном виде фамилия исследователя, впервые описавшего данный организм.

Так, например, обыкновенный волк обозначается — Canis lupus L; где слово Canis обозначает род (собака) — слово lupus это вид (волк) и буква L фамилия автора (Линнея), описавшего впервые данный вид.

Сходные виды по системе Линнея объединяются в роды (так волк, шакал, лисица, домашняя собака объединяются в род собаки). Сходные роды объединяются в семейства (так волк принадлежит к семейству собачьих); семейства объединяются в отряды (напр. сем. собачьих относится к отряду хищных), отряды — в классы (напр. хищные принадлежат к классу млекопитающих), классы — в типы (млекопитающие принадлежат к типу хордовых).

«Экономия природы» Линнея оказала в свое время заметное влияние на Чарлза

Дарвина, который косвенно почерпнул из нее понятие о равновесии в природе и о борьбе за существование. В додарвиновский период развития биологии были созданы основы научной систематики, в качестве самостоятельных наук возникли морфология (наука о строении организмов) и физиология (наука о жизнедеятельности организмов). И хотя в это время при описании флоры и фауны большое внимание уделялось установлению связей между организмами и окружающей средой, экология как самостоятельная наука начала складываться только к концу XIX века. Именно тогда началось победное шествие теории происхождения видов путем естественного отбора Чарлза Дарвина.

Знаменитый французский натуралист Жорж Бюффон (1707-1788) публикует 44-томную «Естественную историю» (которая была завершена уже после его смерти). В этом труде он описывает огромное количество животных в связи с влиянием на их жизнь разнообразных факторов внешней среды. Будучи сторонником изменяемости видов (трансформистом), он считал, что виды изменяются под влиянием температуры, климата, пищи и «гнета порабощения», то есть одомашнивания и приручения. Бюффон выдвинул положение о единстве растительного и животного мира. В противоположность К.Линнею, Бюффон отстаивал идею об изменяемости видов под влиянием условий среды.

Большое влияние на формирование экологических взглядов имел капитальный труд Жана Батиста Ламарка «Философия зоологии» (1809 г.), в котором он затронул проблему воздействия внешних условий на «действия и привычки» животных. В своих многочисленных трудах Ламарк обосновывал идеи о роли среды в жизни организмов. Первая эволюционная теория, автором которой был Ламарк, во главу угла ставит изменчивость организмов под влиянием среды как источник их эволюционного развития.

Развитию экологических взглядов биологов XIX века способствовали труды немецкого путешественника и географа Александра Гумбольдта (1769-1859), заложившего основы ботанической географии, в том числе ее экологического направления (рис. 1.5). Основатель учения о жизненных формах, Гумбольдт выделяет 19 основных жизненных форм растений, группы растительных ландшафтов, устанавливает закономерности вертикальной растительной зональности в горах и горизонтальных растительных зон на равнинах. Гумбольдт подробно изучил основные климаты Северного полушария и составил карту его изотерм.

Рис. 1.5. Александр Гумбольдт

Гумбольдта часто называют отцом экологии. Он был первым, кто взялся за изучение взаимосвязи между организмами и окружающей их средой. Он выявил существующие отношения между наблюдаемыми видами растений и климата, и описал растительные зоны в зависимости от широты и высоты над уровнем моря. Гумбольдт заложил основы новой науки — биогеографии (главным образом географии растений). Основатель учения о жизненных формах, он выделил 19 основных жизненных форм растений, основные группы растительных ландшафтов, устанавливает закономерности вертикальной растительной зональности в горах и горизонтальных растительных зон на равнинах.

Гумбольдт подробно изучил основные климаты Северного полушария и составил карту его изотерм. Кроме этого, Гумбольдт внес большой вклад в геофизику, вулканологию, гидрографию. Исследовал природу стран Европы, Центральной и Южной Америки («Путешествие в равноденственные области Нового Света», т.1-30, 1807-1834). В труде «Космос» (т. 1-5, 1845-62) предпринял попытку обобщения достижений науки о Земле.

И все же на заре развития экология представляла собой описательное изучение природы, своего рода естественную историю. Великие исследователи и естествоиспытатели XIX века оставили нам полные лиризма описания и наблюдения природных явлений. Достаточно назвать с интересом читаемый и сегодня многотомный труд Альфреда Брема «Жизнь животных», первый том которого появился в 1863 году. Французский энтомолог Жан Анри Фарб в 1870 году издал свою работу «Записки энтомолога», которая до сих пор поражает читателя точностью наблюдений за удивительным миром насекомых.

### *Становление и развитие экологии как науки*

Ключевым моментом в истории экологического знания было возникновение самого термина «экология», появление которого ознаменовало рождение новой перспективной и значимой в научном плане науки.

Экология, вероятно, является одной из немногих (а может быть и единственной) наук, которые имеют свой день рождения. Таким днем можно считать 14 сентября 1866 года, когда молодой немецкий ученый-биолог Эрнст Геккель закончил написание фундаментального труда «Всеобщая морфология организмов». Книга вышла в свет в октябре 1866 года, а 14 сентября в предисловии к ней, классифицируя разделы биологии, Геккель впервые употребил термин «экология». Считается, что эту дату и следует принять за официальный «день крещения» экологии.

*Эрнст Генрих Геккель (1834–1919) родился 16 февраля 1834 в Потсдаме. Изучал медицину и естествознание в Берлинском, Вюрцбургском и Венском университетах. В 1857 получил диплом врача. В 1865–1909 – профессор Йенского университета (рис. 1.6).*

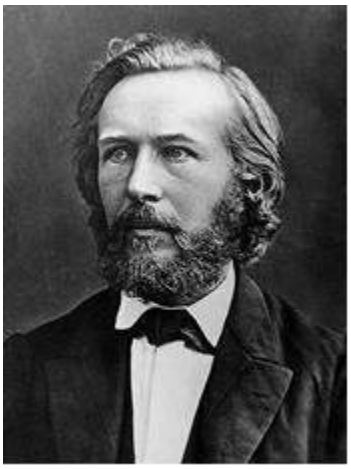


Рис. 1.6. Эрнст Геккель

Рис. 1.7. Книга Геккеля и рисунок из книги

*Сильнейшее воздействие на Геккеля оказали дарвиновские идеи. В 1863 он выступил с публичной речью о дарвинизме на заседании Немецкого научного общества, а в 1866 вышла его книга Общая морфология организмов (Generelle Morphologie der Organismen), где впервые предложен термин «экология». Спустя два года появилась Естественная история миротворения (Natrliche schpfungsgeschichte), где развиваемый им эволюционный подход излагался в более популярной форме, а в 1874 Геккель опубликовал работу Антропогения, или история развития человека (Anthropogenie; oder, Entwickelungsgeschichte des menschen), в которой обсуждались проблемы эволюции человека. Ему принадлежит мысль о существовании в историческом прошлом формы, промежуточной между обезьяной и человеком, что было позже подтверждено находкой на о. Ява останков питекантропа.*

*Геккель разработал теорию происхождения многоклеточных (теория гастреи) (1866), совместно с зоологом Ф.Мюллером сформулировал биогенетический закон, согласно которому в индивидуальном развитии организма как бы воспроизводятся основные этапы его эволюции, построил первое генеалогическое древо царства животных. Продолжая свои зоологические исследования в лаборатории и в ходе экспедиций на остров Мадейра, на Цейлон, в Египет и Алжир, Геккель публикует монографии по радиоляриям, глубоководным медузам, сифонофорам, глубоководным рыбам-удильщикам, а также свой последний систематический труд – внушительную Систематическую филогению (Systematische Philogenie, 1894–1896). Кроме названия новой науки, Геккелю принадлежат такие термины как «питекантроп», «онтогенез» и «филогенез».*

*Кроме научной деятельности, Геккель был прекрасным художником-иллюстратором. Одной из наиболее известных его работ является альбом «Красота форм в природе» (Kunstformen der Natur). Она публиковалась с 1899 по 1904 год в виде комплектов по 10 листов-оттисков (рис. 1.7). Полная же версия из 100 оттисков вышла в свет в 1904 году. Второе издание 1924 года содержало лишь 30 рисунков.*

*Большая часть организмов, изображенных в книге, были описаны самим Эрнестом Геккелем. Было изготовлено около 1000 гравюр, в основу которых легли эскизы и зарисовки Геккеля. Для альбома из них были выбраны лучшие. И, действительно, совершенство форм животного мира поражает воображение. Идеально симметричные медузы и микроорганизмы, детально прорисованные рыбы и аммониты, замысловатые актинии и сифонофоры - уникальные создания природы - служат вдохновением и в свое время оказали влияние на многих представителей архитектуры и искусства.*

*После 1891 Геккель целиком уходит в разработку философских аспектов эволюционной теории. Умер Геккель в Йене 9 августа 1919 г.*

Конечно, Геккелю и в голову не могло прийти, что именно его станут величать «крестным отцом», а иногда и основоположником новой научной дисциплины, ставки которой в настоящее время повышаются с каждым годом. Он дал следующее определение этой науки: «Это познание экономики природы, одновременное исследование всех взаимоотношений живого с органическими и неорганическими компонентами среды, включая непременно неантагонистические и антагонистические взаимоотношения животных и растений, контактирующих друг с другом. Одним словом, экология - это наука, изучающая все сложные взаимосвязи и взаимоотношения в природе, рассматриваемые Дарвином как условия борьбы за существование».

«...К сожалению, - пояснял профессор, - нам в большинстве случаев совершенно неизвестны эти крайне запутанные взаимоотношения, так как до сих пор им почти не уделялось внимания. Открывается огромная, столь же весьма интересная, сколь и чрезвычайно важная область для дальнейших исследований. Экология, или наука об экономии природы, которая до сих пор даже не упоминалась в учебниках, в этом отношении сулит блестящие и самые неожиданные плоды».

В разделе «Экология и хорология» Геккель пишет: «Под экологией мы подразумеваем общую науку об отношениях организма к окружающей среде, куда мы относим все «условия существования» в широком смысле этого слова. Они частично органической, частично неорганической природы; поскольку они, как мы отмечали выше, оказывают влияние на форму организмов, то тем самым они заставляют их приспосабливаться к этим условиям».

Немецкого ученого в какой-то мере можно назвать провидцем с той точки зрения, что он, быть может неосознанно, предвидел всю важность проблем, которые призвана была решать экология. Геккель, дальновидный биолог, поддерживающий теорию Дарвина, сдабривал свои труды новыми и зачастую гармонично звучащими словами, большинство из которых сегодня забыто. «Экология» была самой удачной его находкой, если судить по популярности этого слова и тем научным достижениям, которые оно стимулировало.

К концу XIX века термином «экология» начали пользоваться многие биологи, причем не только в Германии, но и в других странах. В 1868 году в России под редакцией известного физиолога И.И.Мечникова вышел в конспективном изложении труд Геккеля «Общая морфология», где впервые было упомянуто слово «экология» на русском языке.

Русские ученые активно включились в общее направление экологических исследований. Профессор Московского университета Карл Францевич Рулье (1814—1858) основывает первую научную экологическую школу (рис. 1.8). В своих многочисленных статьях, научных трудах и даже популярных изданиях, например, в газетных статьях, он постоянно подчеркивал необходимость изучения животных в связи с условиями их обитания. Рулье доказал зависимость эволюции живых форм от изменения среды их обитания.

Рис. 1.8. Карл Рулье

Рулье на протяжении 1841-1858 гг. дал практически полный перечень принципиальных проблем экологии, не найдя, однако, выразительного термина для обозначения этой науки. Будучи крупным биологом, зоологом, он сформулировал принцип, лежащий в основе всех наук о живом, - принцип исторического единства организма и окружающей среды. Рулье подчеркивал, что ни один из организмов не может существовать независимо от окружающей среды, причем среда изменяется организмами, а изменения организмов контролируются средой. Рулье так писал о всеобщей связи в природе: «Научный путь есть опытное исследование предмета или явления в его последовательном развитии не как уединенного, оторванного, но как необходимо связанного с другими относительно внешними явлениями». Эта мысль, высказанная полтора столетия назад, созвучна рассуждениям и взглядам современных экологов, когда они говорят о целостном подходе к взаимоотношениям человека и природы, об экологическом мышлении.

В 1854 году петербургский академик Карл Бэр (1792—1876), более известный как автор закона зародышевого сходства, публикует сведения, которые можно считать основами современной теории динамики популяций рыб. Он сформировал представления о соразмерности рыбных ресурсов с обеспеченностью рыб пищей, балансе между размножением и смертностью рыб в зависимости от наличия корма.

В 1855 году ученик К. Ф. Рулье Николай Алексеевич Северцов (1827—1885) публикует первую диссертацию на чисто экологическую тему «Периодические явления в жизни зверей, птиц и гад Воронежской губернии». Этот труд имел большое значение для развития экологии. Им впервые были предприняты попытки классификации животных по биологическим типам (жизненным формам).

Если Геккеля можно считать в какой-то мере праотцом новой науки, интуитивно предвосхитившим всю значимость и глобальность экологии, то Дарвин заложил ее биологический фундамент - то основание, на котором в дальнейшем росло экологическое знание. Вначале оно имело практической целью регулирование численности экономически важных видов животных и направленное изменение естественных сообществ (биоценозов) в выгодном для человека направлении.

В 1859 году Чарлз Дарвин (1809-1882) публикует свою книгу «Происхождение видов путем естественного отбора, или сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь», которая совершила переворот в биологии и подготовила почву для появления

экологии как науки.

Если Геккеля можно считать праотцом новой науки, интуитивно предвосхитившим всю значимость и глобальность экологии, то Дарвин заложил ее биологический фундамент — основание, на котором строилось экологическое знание. Вначале оно имело практической целью регулирование численности экономически важных видов животных и изменение естественных сообществ (биоценозов) в выгодном для человека направлении.

Важным шагом на пути экологии к описанию целостных природных комплексов стало введение немецким гидробиологом Карлом Мёбиусом (1825-1908) в 1877 г. понятия о биоценозе. Он сформулировал эту мысль в книге «Устрицы и устричное хозяйство» («Die Auster und die Austernwirthschaft»), где описал комплексы донных животных и воспроизводство моллюсков на устричных отмелях (устричные банки) Северного моря. Он обосновал представление о биоценозе, как внутренне связанном сообществе организмов, населяющих тот или иной однородный участок морского дна. Он отметил эволюционно сложившуюся жёсткую привязку отдельных видов не только друг к другу, но и к специфическим условиям местной среды (биотопу). Впоследствии понятие биоценоза было распространено на пресноводные и наземные сообщества — биоценоз пруда, озера; биоценоз берёзового леса и т. д.

Рис. 1.9. Карл Мёбиус

Заслуга Мёбиуса в том, что он сумел раскрыть многие закономерности формирования и развития естественных природных сообществ (биоценозов). Тем самым были заложены основы важного направления в экологии - биоценологии.

Термин «биоценоз» получил распространение в научной литературе на немецком (biocönose) и русском языках, а в англоязычных странах этому понятию соответствует термин «сообщество» (community).

В русской литературе термин «биоценоз» широко использовали такие классики науки, как В. В. Докучаев, Г. Ф. Морозов, В. Н. Сукачев. Последний наряду с термином «биоценоз», обозначающим сообщество, предложил термин «биогеоценоз», который соответствует термину «экосистема» в англоязычной литературе.

Таким образом, К. Мёбиус одним из первых применил к исследованию объектов живой природы особый подход, который получил в наши дни название системного подхода. Этот подход ориентирует исследователя на раскрытие целостных свойств объектов и механизмов, их обеспечивающих, на выявление многообразных связей в биологической системе и разработку эффективной стратегии ее изучения. Следует отметить, что в современной науке системная парадигма (господствующая теоретическая

концепция, система взглядов) доминирует, а в экологии системный подход к рассмотрению объектов живой природы является основным.

И все же на заре своего развития экология занималась описательным изучением природы. Великие исследователи и естествоиспытатели XIX в. оставили полные лиризма описания и наблюдения природных явлений. Достаточно назвать с интересом читаемый и сегодня многотомный труд А. Брема «Жизнь животных», первый том которого появился в 1863 г. Французский ученый Ж.А. Фарб в 1870 г. издал «Записки энтомолога», которые до сих пор поражают точностью наблюдений за удивительным миром насекомых.

Временем возникновения экологии как науки можно считать середину XIX века, однако, **как признанная самостоятельная научная дисциплина экология оформилась около 1900 года.**

В начале XX века вклад в исследования надорганизменного уровня внесли биологи самых разных направлений - ботаники, зоологи, гидробиологи, лесоводы. Удалось выявить некоторые общие закономерности, характерные для развития самых разных комплексов организмов (сообществ, биоценозов) в ходе взаимодействия с окружающей средой. К таковым, например, относится процесс сукцессии — закономерной стадийности развития экосистем.

Вскоре пришло время более детального исследования окружающей среды, в которой обитают те или иные виды. Возник особый раздел экологии - аутэкология (экология отдельных видов, организмов - от греч. «аутос» - сам), изучающая взаимоотношения организма (особи, вида) с окружающей его средой. Аутэкология имела и по сей день имеет большое прикладное значение, особенно в области биологических методов борьбы с вредителями растений, исследований переносчиков болезней и профилактики переносимых паразитами инфекций.

Однако каждый отдельный вид даже при изучении его во взаимосвязи с другими видами, оказывающими на него непосредственное влияние, является всего-навсего мельчайшей частичкой среди тысяч таких же видов растений, животных и микроорганизмов, которые обитают в той же зоне - в лесу, на лугу, в водоеме или на побережье. Осознание этого факта привело к появлению в середине 20-х годов XX в. синэкологии (от греч. приставки «син-», означающей «вместе»), или биоценологии, исследующей взаимоотношение популяций, сообществ и экосистем со средой. На III Международном ботаническом конгрессе в Брюсселе в 1910 году ботаники наряду с другими вопросами обсуждали программу экологических исследований. Был поставлен вопрос о разделении экологии на два раздела: экологию особей и экологию сообществ; синэкология официально оформилась в качестве составной части экологии.

В первой трети XX века наряду с ауто- и синэкологией оформилось новое направление – изучение популяций – демэкология (от греч. «демос» - народ), или популяционная экология.

Основоположником популяционной экологии считается британский эколог и зоолог Чарльз Элтон (1900-1991). В 1927 году выходит программная монография Элтона «Экология животных». Она способствовала переключению внимания зоологов с отдельного организма на популяцию в целом как на самостоятельную единицу. В этом ставшем классическим труде впервые описана структура и распределение сообществ животных, а

кроме того, введено понятие экологической ниши и сформулировано правило экологических пирамид - последовательного уменьшения численности организмов по мере перехода от нижних трофических уровней к высшим (от растений к травоядным животным, от травоядных к хищникам и т.д.).

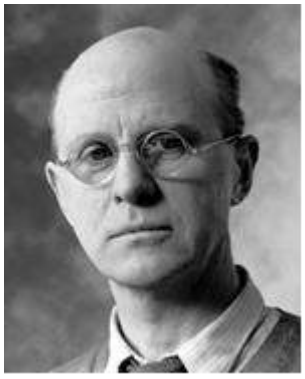


Рис. 1.10. Чарльз Элтон

Популяционная экология (демэкология) изучает закономерности, лежащие в основе размножения и динамики численности популяций в разных условиях среды, способов освоения нового пространства. Для понимания популяционных законов много дала развивающаяся со второй половины XX века наука о поведении животных — этология, открывшая удивительно сложный мир отношений между особями в пределах вида. С выходом в 1930 году работы «Экология животных и эволюция» Элтон становится признанным основоположником эволюционной экологии. Он ввел понятия: трофическая ниша, продуценты, консументы, редуценты, пирамиды биомасс.

Постепенно ученые-экологи перешли от стадии описательной к стадии осмысления собранных фактов. Интенсивное развитие получили экспериментальная и теоретическая экология. Именно на 20-40-е годы XX века приходится расцвет теоретической экологии. В то время были сформулированы основные задачи изучения популяций и сообществ, предложены математические модели роста численности популяций и их взаимодействий, проведены лабораторные опыты по проверке этих моделей. Были установлены математические законы, описывающие динамику популяций взаимодействующих групп особей.

В тот же период появились первые основополагающие экологические концепции как «пирамида чисел» (в соответствии с этой концепцией численность особей снижается в прогрессии от растений - в основе пирамиды до травоядных животных - на ее вершине), «цепь питания», «пирамида биомасс».

С самого начала те, кто называл себя экологами, пытались осознать предмет своей деятельности как целостную дисциплину, призванную свести множество разнообразных фактов в стройную систему, вскрыть достаточно общие закономерности, а главное - объяснить и по возможности составить прогноз тех или иных явлений. Экология приняла в своих самых разнообразных дисциплинах строго научный подход. Но одновременно она продемонстрировала, что новая наука распыляет свои усилия по слишком многим различным направлениям и что в первую очередь ей недостает базовой единицы изучения, каковой является, например, атом в физике, клетка в цитологии, ткань в гистологии и орган

в физиологии. Отсутствие четко определяемой единицы изучения несколько тормозило развитие экологии.

Такой основной единицей стала экологическая система, или экосистема. Термин «экосистема» впервые был предложен английским экологом Артуром Тенсли в 1935 г., но, конечно, представления о ней возникло значительно раньше (рис. 1.11).

Рис. 1.11. Артур Тенсли

Ее можно определить как ограниченное во времени и пространстве единство, природный комплекс, образованный живыми организмами (биоценоз) и средой их обитания (косной, например атмосфера, или биокосной — почва, водоём и т.п.), связанными между собой обменом веществ и энергии. Экосистема понималась Тенсли как совокупность сосуществующих видов и условий среды их обитания. Это одно из основных понятий экологии, приложимое к объектам разной сложности и размеров.

Примером экосистемы может служит пруд с обитающими в нём растениями, рыбами, беспозвоночными животными, микроорганизмами, донными отложениями, с характерными для него изменениями температуры, количества растворённого в воде кислорода, состава воды и т.п. Примером экосистемы может служить тропический лес в данном месте и в данный момент с тысячами видов растений, животных, микробов и грибов, живущих в почве и в воздушном пространстве, с миллионами происходящих между ними специфических взаимодействий, с различными влияниями, которые оказывают на их жизнь климат и почва, а также с изменениями, которым климат и почва подвергаются в результате жизнедеятельности организмов и самого существования леса. Экосистемой также является и гниющий пень с живущими на нём и в нём организмами и условиями обитания, и озеро с его обитателями, и муравейник в лесу.

Концепция экосистемы согласуется с общей теорией систем Людвига фон Берталанфи, согласно которой целое представляет собой нечто большее, чем сумма составляющих его элементов, поскольку главная характеристика целого - взаимодействие, протекающее между его различными элементами.

В 1942 г. Молодой американский эколог Раймонд Линдеман опубликовал небольшую по объёму работу «Трофическо-динамические аспекты экологии». Эта статья, без преувеличения, сделала эпоху в экологии и считается сегодня классическим трудом. На неё и сегодня ссылаются экологи во всех уголках Земли. Линдеман разработал общую схему

трансформации энергии в экосистеме и изложил основные методы расчёта её энергетического баланса. Он, в частности, теоретически показал, что при переходе с одного трофического уровня на другой количество энергии уменьшается так, что организмам каждого последующего уровня оказывается доступна только небольшая, не более 10%, часть от той энергии, что была в распоряжении организмов предыдущего уровня. Линдеман обрисовал будущие концептуальные и методологические основы изучения. Он умер в 27 лет, так и не увидев своего труда, вышедшего посмертно в журнале «Экология».

В России, а затем и в Советском Союзе развитие теоретической экологии шло по несколько иному руслу. Естественнонаучные взгляды формировались под влиянием воззрений ученых, которые относились к традиционно сильной в России школе лесоведения, лесоводства и лесной геоботаники. Среди них следует отметить прежде всего таких выдающихся ученых, как Г.Ф. Морозов, издавший классический труд «Учение о лесе», Г.Н. Высоцкий, М.Е. Ткаченко и др.

Еще в 1899 г. В.В. Докучаев писал, что в последнее время все больше формируется и обособляется одна из наиболее интересных дисциплин в области современного естествознания, а именно учение о многогранных соотношениях и взаимоотношениях (а одновременно и о законах, управляющих вековыми изменениями), которые существуют между неживой и живой природой: между поверхностными горными породами, пластикой земли, почвами, наземными и почвенными водами, климатом страны и растительными и животными организмами, в том числе и человеком, гордым венцом природы.

Такой дисциплиной, возникшей в недрах лесной геоботаники и оформившейся впоследствии в фундаментальную науку со своими задачами и методами, является биогеоценология (био... + гео... + гр. koinos - общий). Основоположником биогеоценологии стал выдающийся геоботаник, лесовод и эколог академик Владимир Николаевич Сукачев, предложивший свою трактовку структурной организации биосферы (рис. 1.12). В.Н. Сукачев посвятил свою жизнь разработке общих вопросов фитоценологии - науки о растительных сообществах (фитоценозах). В своих работах он придавал большое значение изучению межвидовых и внутривидовых взаимоотношений растений в растительных сообществах.

Эволюция взглядов В.Н.Сукачева привела его сначала к идее единства и взаимосвязи биоценоза и среды его обитания (биотопа), а затем к понятию «биогеоценоз». Биогеоценология как учение развивалась на стыке биологических и физико-географических наук и отразила комплексный характер изучения живой природы.

По В.Н.Сукачеву, биогеоценоз - это элементарная ячейка насыщенных организмами слоев биосферы, маркируемая фитоценозом - растительным сообществом. Это эволюционно сложившаяся, относительно пространственно ограниченная, внутренне однородная природная система живых организмов и абиотической среды, в которой происходит постоянный обмен веществом и энергией. Термин «биогеоценоз» соответствует термину «экосистема» в англоязычной литературе.

Огромное влияние на развитие экологии оказали работы выдающегося русского геохимика В. И. Вернадского (рис. 1.13). Он посвятил себя изучению процессов, протекающих в биосфере, и разработал теорию, названную им биогеохимией, которая легла в основу современного учения о биосфере – оболочке Земли, которая включает в себя все

области нашей планеты, освоенные жизнью. Это и атмосфера, и океан, и все части земной поверхности, где утвердилась жизнь в любых ее формах.

Рис. 1.12. В.Н.Сукачев

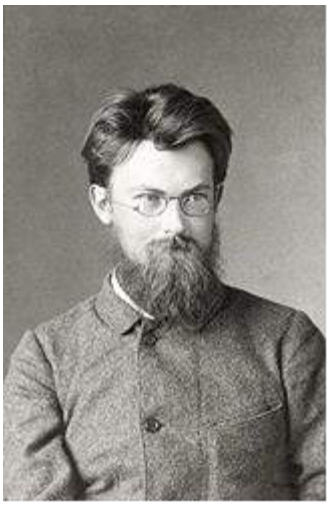


Рис. 1.13. В.И.Вернадский

Появление и развитие учения о биосфере стало новой вехой в естествознании, в изучении взаимодействия и взаимоотношений между косной и живой природой, между человеком и окружающей средой.

В опубликованном в 1926 году труде под общим названием «Биосфера» Вернадский выдвинул идею целостного мира, в котором живая материя («плёнка жизни») объединена через систему биогеохимических циклов с атмосферой, гидро- и литосферой. Оболочку Земли, в которой протекают биохимические процессы, он и предложил называть биосферой.

Книга «Биосфера» ознаменовала рождение новой науки о природе, о взаимосвязи с ней человека. В ней биосфера впервые показана как единая динамическая система, населенная и управляемая жизнью, живым веществом планеты. В работах по биосфере ученый показал, что живое вещество во взаимодействии с косным есть часть большого механизма земной коры, благодаря которому происходят разнообразные геохимические и биогенные процессы, миграции атомов, осуществляется их участие в геологических и биологических циклах.

В.И.Вернадский показал, что химическое состояние наружной коры нашей планеты всецело находится под влиянием жизни и определяется живыми организмами, с деятельностью которых связан великий планетарный процесс - миграция химических элементов в биосфере.

В его учении о биосфере не только рассматривались основные свойства живого вещества и влияние на него косной природы, но и впервые было раскрыто грандиозное обратное воздействие жизни на абиотическую среду и формирование в результате этого процесса биокосных природных субстанций, таких, например, как почва. Впервые вся живая оболочка планеты предстала как единое, сложное, но в то же время и хрупкое образование. В итоговом обобщающем труде «Химическое строение биосферы Земли и её окружения» Вернадский писал: «На нашей планете в биосфере существует не жизнь, от

окружения независимая, а живое вещество, т.е. совокупность живых организмов, теснейшим образом связанная с окружающей её средой биосферы — мощным геологическим фактором от биосферы неотделимым».

На пути к современному пониманию биосферы в конце жизни В. И. Вернадский приходит к выводу, что биосфера тесно связана с деятельностью человека; от этой деятельности зависит сохранность равновесия состава биосферы. Он вводит новое понятие - ноосфера, что означает «мыслящая оболочка», то есть сфера разума. В. И. Вернадский писал: «Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. Перед ним, перед его мыслью и трудом становится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободного мыслящего человечества как единого целого. Это новое состояние биосферы, к которому мы, не замечая этого, приближаемся, и есть ноосфера».

В начале 20-х годов XX века термин «экология» чаще всего отождествляли с «научной естественной историей». Под такой естественной историей обычно понимали регистрацию наблюдений о встречаемости организмов и некоторые весьма условные попытки связать эти данные с факторами среды. Во множестве публиковались ценные наблюдения, характеризующие образ жизни различных организмов и отдельных видов, в которых не было даже намека на попытку связать их с проблематикой динамики популяций.

Вскоре пришло время более детального исследования окружающей среды, в которой обитают те или иные виды. Возник новый раздел экологии - аутэкология (экология отдельных видов, организмов; - от греч. «аутос» - сам), изучающая взаимоотношения организма (особи, вида) с окружающей его средой. Аутэкология имела и по сей день имеет большое прикладное значение, особенно в области биологических методов борьбы с вредителями растений, исследований переносчиков болезней и профилактики переносимых паразитами инфекций.

Однако каждый отдельный вид даже при изучении его с другими видами, оказывающими на него непосредственное влияние, является всего-навсего мельчайшей частичкой среди тысяч таких же видов растений, животных и микроорганизмов, которые обитают в той же зоне - в лесу, на лугу, в водоеме или на побережье. Осознание этого факта привело к появлению в середине 20-х годов синэкологии (от греч. приставки «син-», означающей «вместе»), или биоценологии, исследующей взаимоотношение популяций, сообществ и экосистем со средой. Термин «синэкология» был предложен швейцарским ботаником Шретером в 1902 г. На III Международном ботаническом конгрессе в Брюсселе в 1910 году ботаники наряду с другими вопросами обсуждали программу экологических исследований. Был поставлен вопрос о разделении экологии на два раздела: экологию особей и экологию сообществ; синэкология официально оформилась в качестве составной части экологии.

Постепенно ученые-экологи перешли о стадии описательной к стадии осмысления собранных фактов. Интенсивное развитие получили экспериментальная и теоретическая экология. В 20-30-е годы XX века были сформулированы основные задачи изучения популяций и сообществ, предложены математические модели роста численности популяций и их взаимодействий, проведены лабораторные опыты по проверке этих моделей. Были установлены математические законы, описывающие динамику популяций взаимодействующих групп особей. Это модельные уравнения А. Лотки, В.Вольтерра,

принцип (закон) конкурентного исключения Гаузе.

Появились первые основополагающие экологические концепции как «пирамида чисел» (в соответствии с этой концепцией численность особей снижается в прогрессии от растений - в основе пирамиды до травоядных животных - на ее вершине), «пирамида биомасс», «цепь питания (пищевая цепь)».

*Каким образом эти понятия повлияли на развитие экологии, можно проследить на следующем примере.*

*Швейцарскому химику Паулю Герману Мюллеру в 1948 г. была присуждена Нобелевская премия в области физиологии и медицины. за открытие инсектицидных особенностей ДДТ (дихлордифенилтрихлорметилметан) - чудесного препарата по борьбе с малярией и голодом. Во время Второй мировой войны возникла большая потребность в инсектицидах - веществах, убивающих вредных насекомых. Быстро прогрессировало развитие таких болезней, как малярия и сыпной тиф в связи с тем, что против этих заболеваний не существует вакцин. Исследования показали, что распространение малярии и сыпного тифа может быть приостановлено, если удастся ограничить распространение комаров и вшей, которые являются переносчиками этих заболеваний. Новый инсектицид ДДТ казался идеальным для этой цели. Его токсичность для людей представлялась настолько низкой, что препарат предполагалось распылять непосредственно на тело для предупреждения возникновения сыпного тифа.*

*В первые годы после войны ДДТ применяли на полях кормовых и продовольственных культур, так как он считался совершенно безвредным для теплокровных животных. Кроме предотвращения возникновения малярии, препарат помогал резко увеличить урожайность новых видов сельскохозяйственных культур.*

*Лишь позже были обнаружены неблагоприятные действия ДДТ. Оказалось, что корм для коров, обработанный ДДТ опасен не столько для поедающих его животных, сколько для телят, так как, поступая через молоко, он вызывает у них серьезные заболевания, вплоть до смертельного исхода. Одна из особенностей этого средства, сделавшего его вначале столь привлекательным, - стабильность по сравнению с естественными растительными инсектицидами. Не распадаясь постепенно на безвредные компоненты, ДДТ накапливается в почве, воде и организме животных. Например, нитчатая зеленая водоросль кладофора за три дня извлекает из воды столько ДДТ, что его концентрация увеличивается при этом в 3000 раз. Обитатели морей асцидии при поглощении ДДТ из воды концентрируют его в миллион раз. При исследовании одной экосистемы в озере Мичиган (США) было обнаружено следующее накопление ДДТ в пищевых цепях:*

- *0,014 мг/кг (в расчете на сырой вес) в донном иле озера;*
- *0,41 мг/кг в ракообразных, питающихся на дне;*
- *3-6 мг/кг в различных рыбах (бельдюговые, язь, елец);*
- *свыше 2400 мг/кг в жировой ткани чаек, питающихся рыбой.*

*Общая схема накопления ДДТ в водных экосистемах приведена на рис. 1.14.*

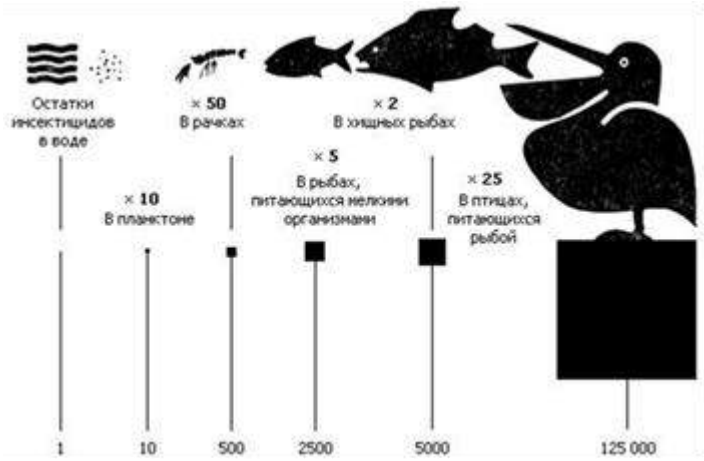



Рис.1.14. Накопление токсикантов (ДДТ) в водной пищевой цепи

*Особенно много побочных продуктов ДДТ накапливается в организме человека, употребляющего в пищу мясо птиц, молоко и сыр.*

*Совсем недавно ученые, исследуя жизнь пингвинов в Антарктиде, обнаружили в их печени и жировых тканях побочные продукты ДДТ. Казалось бы, совершенно невероятно, что в таких отдаленных от цивилизации местах можно столкнуться с последствиями дел человеческих. Но факт остается фактом. Ничто живое на Земле не застраховано от вредного воздействия техногенных препаратов. По цепям питания, или трофическим цепям, ДДТ из сточных вод попадает в реки, оттуда в моря и дальше в океаны, достигая самых отдаленных уголков нашей планеты. Установлено, что вне зависимости от места применения конечным пунктом накопления пестицидов и их продуктов считаются моря и океаны.*

Взаимосвязи в живой природе, с которыми приходится сталкиваться ученым чрезвычайно широки и многообразны. Поэтому идеальный эколог, если только таковой существует, должен быть чуть ли не энциклопедистом, обладающим комплексом знаний, концентрированных во многих научных и общественных дисциплинах. Естественно, таких людей нет, и поэтому для успешного решения реальных экологических задач необходима совместная междисциплинарная работа исследовательских групп, каждая из которых представляет различные отрасли науки. Именно поэтому во второй половине XX века в экологии уже действовали сложившиеся экологические школы ботаников, зоологов, геоботаников, гидробиологов, почвоведов и др.

К концу двадцатого столетия происходит своего рода «экологизация» современной науки. Это связано с осознанием огромной роли экологических знаний, с пониманием того, что деятельность человека зачастую не просто наносит вред окружающей среде, но и, воздействуя на нее негативно, изменяя условия жизни людей, угрожает самому существованию человечества. Экология становится теоретической основой для рационального использования природных ресурсов.

О многих ученых, внесших весомый вклад в развитие экологических знаний можно было бы упомянуть в историческом экскурсе в экологию. Остановимся еще на одном из них, имеющим непосредственное участие в становление экологии как учебной дисциплины.

Юджин Одум (1913-2002) – американский эколог, профессор экологии из

Университета Джорджии, один из наиболее известных американских экологов, автор классического учебника «Экология» (рис. 1.15). Наиболее известный современному читателю труд – двухтомник «Экология» (перевод 1986) охватывает огромный материал и при этом очень четко структурирован. Предыдущее 2-е английское издание книги Ю.Одума сформировала в Америке целое поколение экологов. Впоследствии выходило еще несколько изданий этой книги. По словам известного российского биолога Г.С.Розенберга: «В соответствии с расхожей фразой о русских писателях – все мы вышли из Шинели Гоголя – можно смело говорить о том, что все экологи второй половины XX века вышли из «Экологии» Юджина Одума».

Рис. 1.15. Юджин Одум и его основополагающий труд

Благодаря научным работам Ю. Одума, произошел качественный сдвиг в понимании многими учеными экологической проблематики. Экология, ранее в основном осуществлявшая изучение адаптаций живого в основном к абиотическим факторам внешней среды и на организменном уровне организации, в основном оказалась направлена на исследование экологических закономерностей функционирования более высокого уровня организации живого – ландшафтно-ценотичного (биогеоценотического), или экосистемного.

В 2007 году Институт экологии (Institute of Ecology), основанный Одумом при Университете Джорджии, был преобразован в Школу Одума по экологии.

В настоящее время в экологии выделяют ряд научных отраслей и дисциплин: популяционная экология, географическая экология, химическая экология, промышленная экология, экология растений, животных, человека.

Несмотря на все многообразие, в основе всех направлений современной экологии лежат фундаментальные биологические идеи об отношении живых организмов с окружающей их средой.

Таким образом, всю историю развития экологии можно условно разделить на пять этапов.

**I этап** - накопление экологических сведений о взаимодействии растений и животных

со средой в рамках ботаники и зоологии. Этот этап продолжался с глубокой древности до конца XVIII века.

Данный этап развития экологии является самым длительным, и поэтому его подразделяют на 3 периода.

1. Период древнегреческих философов. В этом периоде накопленные экологические сведения нашли свое отражение в трудах древнегреческих философов.

2. Период древнегреческого застоя. В этом периоде накопление экологических сведений не происходило, поскольку в науке доминирующей была теологическая теория происхождения жизни и виды считались неизменными, влияние среды вообще отрицалось.

3. Период эпохи Возрождения. В эту эпоху великие географические открытия послужили толчком дальнейшего развития различных наук, в том числе и экологии.

**II этап** - формирование экологических направлений в рамках ботанической и зоологической географии. Он продолжался с конца XVIII века до середины XIX века. На этом этапе быстро развивалась наука биогеография, которая состояла из двух разделов: ботаническая география и зоологическая география, в рамках которых экологические сведения анализировались и на основании этого формировались экологические направления.

**III этап** - формирование экологии растений и экологии животных как наук об адаптационных организмов к среде обитания. Данный этап продолжался с середины XIX века до начала XX века. Он начинается с момента выхода в свет книги И. Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора, или сохранения благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь» в 1859 году. В это время вышла работа Э. Геккеля «Всеобщая морфология организмов».

**IV этап** - становление экологии как общебиологической науки, являющейся теоретической базой охраны природы. Продолжался он с начала XX века по 60-ые годы. Этап знаменателен тем, что темпы развития экологии существенно ускорились и она сформировалась как общебиологическая наука. Этому способствовало появление и развитие новых научных направлений. В 1923-27 гг. В.И. Вернадский создал учение о биосфере как глобальной биологической системе планеты Земля.

**V этап** - развитие глобальной экологии с выделением в ее рамках антропоэкологии (экологии человека). Начался данный этап с 60-х годов XX века и продолжается в настоящее время. Экология начала развиваться такими мощными темпами, что стала проникать во все сферы человеческого знания и человеческой деятельности. Возникли пограничные науки: математическая экология, экологическая биохимия. Появились – промышленная экология, сельскохозяйственная экология, медицинская экология, экономическая экология, социальная и др.

Современный этап развития экологической науки характеризуется признанием того, что проблемы окружающей среды затрагивают все страны мира. Определились приоритетные проблемы глобального характера, такие, как изменения в озоновом слое атмосферы, повышенное накопление углекислого газа, загрязнение океана, которые не имеют политических границ, и решение которых возможно только при объединении усилий ученых многих стран.

## 1.3. УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

*Каждая форма жизни является уникальной, заслуживающей уважения, вне зависимости от ее ценности для человека.*
**«Мировая хартия охраны природы» ООН**

*Лишь иерархическая упорядоченность мира позволяет обозреть его многообразие.*
**Б.С. Флейшман – российский учёный в области системологии**

Возникновение жизни на Земле связано с биологическим круговоротом веществ в пределах границ, определяемых областью распространения жизни, т.е. биосферой. Такой круговорот осуществляется посредством взаимодействия огромного множества различных живых организмов, которые относятся к тому или иному виду растений, животных или микроорганизмов. Элементарной единицей в круговороте веществ и основной формой организации материи является вид. Эволюция видов - основной вопрос эволюционной теории.

В биологии есть сложившееся представление об уровнях организации живой материи. Американский эколог Ю. Одум (1975) считает, лучше всего, содержание современной экологии, определять находя из концепции уровней организации жизни. Если расположить эти уровни в иерархическом порядке от микросистем к глобальным системам слева направо, то они в общем виде выглядят следующим образом: гены - клетка - органы - организмы - популяции – сообщества различного уровня – биосфера.

Живые организмы, населяющие Землю, не разбросаны хаотично по ее поверхности, а организованы в определенные развивающиеся группы. Такие группы, начиная с отдельных индивидов, составляют уровни организации живого, или структурные уровни. Жизнь предстает перед нами как сложная иерархическая система, в которой элементы низшего уровня организации служат составными частями для структур более высокого уровня.

В настоящее время имеется множество схем, отражающих иерархическую соподчиненность уровней живого. Еще сравнительно недавно высшим уровнем организации живого считался организменный уровень, рассматривающий организм как наиболее целостный и самостоятельный элемент организации живого. Прогресс биологических наук заставил пересмотреть эту точку зрения. Успехи молекулярной биологии, с одной стороны, и экологии, с другой, способствовали выявлению более сложной иерархии уровней. Вопрос об уровнях организации живых систем в настоящее время до конца еще не решен, поскольку разные авторы называют неодинаковое число уровней.

Материя изучается естественными науками на всех уровнях ее организации, общая схема которых представлена на рисунке 1.16.

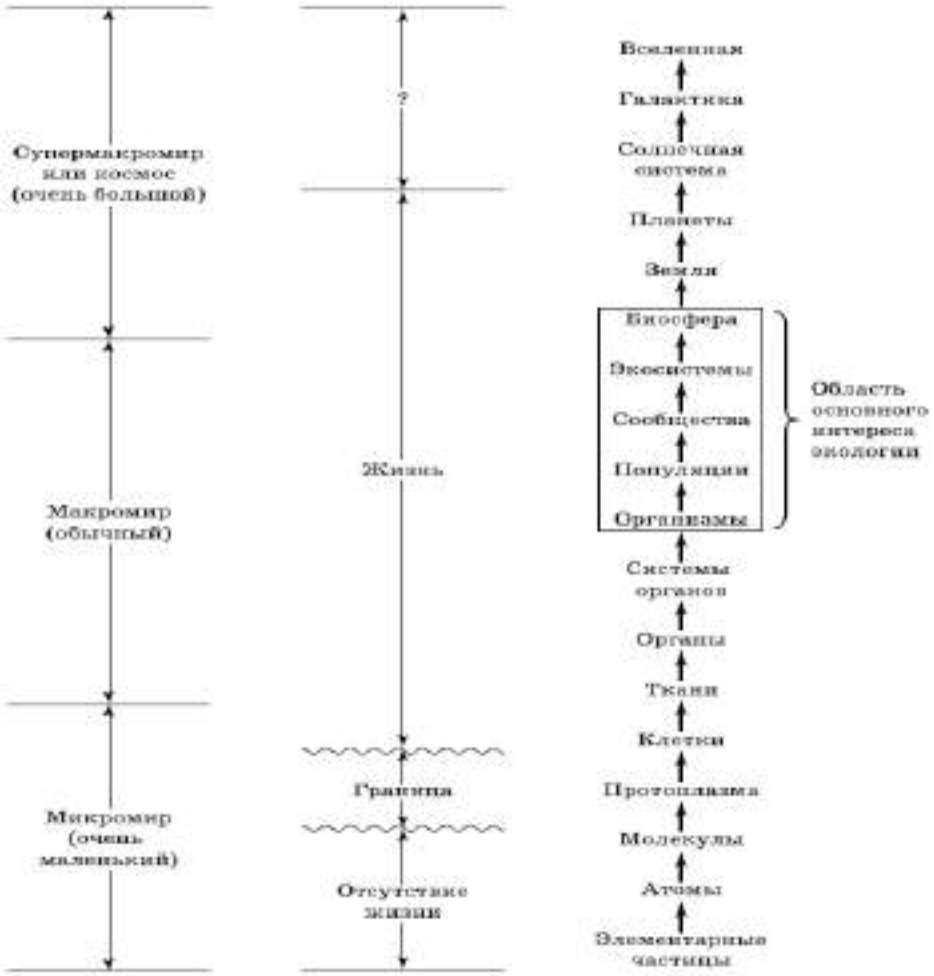



Рис. 1.16. Уровни организации материи

К 60-м гг. XX в. в биологической науке сложилось представление о структурности всего живого, которое позволяет осознать диалектическое единство схожести и многообразия живых организмов и составляющих их структур. Согласно общей теории систем, созданной в 1932 г. австрийским биологом и философом Людвигом фон Берталанфи (1901-1972) все объекты природы и общества являются системами. Под системой понимается единство, или целостность, состоящее из множества элементов, находящихся в определенных взаимоотношениях и взаимосвязях между собой. Организация любой системы, как правило, иерархична, т.е. имеет ряд соподчиненных уровней. Органический мир также представляет собой систему взаимосвязанных частей, которой свойственна иерархическая организация. Следовательно, любой живой объект – типичная система, имеющая структурную и функциональную упорядоченность, т.е. определенную организацию и иерархию.

Отличительная особенность организации живого на Земле состоит в том, что все функциональные единицы структурных уровней находятся в иерархическом соподчинении. Это означает, что меньшие подсистемы составляют большие системы, а сами в то же время являются подсистемами более крупных систем. Например, клетка является составной частью живой ткани, последняя включается в систему органа, из органов состоит организм (особь), организмы же одного вида составляют популяцию и т.д. По мере усложнения

уровня организации подсистем, системы, их включающие усложняются и увеличиваются. Причем, в одних случаях системы и их подсистемы оказываются относительно независимыми образованиями (напр., особь в популяциях), в других же случаях эта самостоятельность намного меньше (орган в организме, клетка в живой ткани). Иерархический принцип организации органического мира позволяет выделить в нем определенные уровни организации живой материи.

***Уровни организации живой материи*** – *иерархически соподчиненные уровни* организации биосистем, отражающие степень усложнения их организации.

Современная концепция уровней организации живых систем сложилась в биологии в 50-60-х гг. XX в. и основывается на классических работах многих ученых, в которых отражался системный анализ для разных уровней организации живого. К ним относятся труды М. Шлейдена, Э. Геккеля, Г. Спенсера, В.И. Вернадского, К. Бернара (1813-1878), У. Кеннона (1871-1945), И.И. Шмальгаузена (1884-1963), Н.В. Тимофеева-Ресовского (1900-1981), Э.С. Бауэра (1890-1938), А.А. Ляпунова (1911-1973), П.К. Анохина (1898-1974) и др. Данная концепция основана на принципах системности, целостности, соподчиненности живых организмов и надорганизменных структур. В соответствии с ними структурные уровни различаются не только по степени сложности, но и по закономерностям функционирования. Концепция структурных уровней организации живых систем отражает объективную реальность исторического развития живого.

В настоящее время имеется множество схем, отражающих иерархическую соподчиненность уровней живого. Еще сравнительно недавно высшим уровнем организации живого считался организменный уровень, рассматривающий организм как наиболее целостный и самостоятельный элемент организации живого. Прогресс биологических наук заставил пересмотреть эту точку зрения. Успехи молекулярной биологии, с одной стороны, и экологии, с другой, способствовали выявлению более сложной иерархии уровней. Вопрос об уровнях организации живых систем в настоящее время до конца еще не решен, поскольку разные авторы называют неодинаковое число уровней.

Чаще всего выделяют до десяти уровней организации живой материи (рис. 1.17).

| | | | |
|---|---|---|---|
| **НАДОРГАНИЗМЕННЫЕ УРОВНИ** | Биосферный | | Планета Земля |
| | Экосистемный | | Экосистема |
| | Биоценотический | | Биоценоз пруда |
| | Популяционный (популяционно-видовой) | | Популяция оленей |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Организменный | | Бабочка |
| **СУБОРГАНИЗМЕННЫЕ УРОВНИ** | Органный | | Печень |
| | Тканевой | | Нервная ткань |
| | Клеточный | | Растительная клетка |
| | Органоидный | | Митохондрия |
| | Молекулярно-генетический | | Молекула ДНК |

Рис. 1.17. Уровни организации живой природы

### 1. Молекулярно-генетический уровень организации живой материи

Казалось-бы, что первым из уровней организации живой природы можно назвать атомный. Но, оглянемся вокруг: весь окружающий нас мир состоит из атомов, однако, наш мир мы можем разделить на мир живой природы и неживые элементы. Так вот, эти неживые элементы тоже состоят из атомов.

Чуть усложним условие и предположим, что первым уровнем будет молекулярный. Загвоздка все в том же. Шариковая ручка, которой вы пишете на бумаге, как и сама бумага, пластмассовые клавиши ваших компьютеров – все они состоят из молекул, но это неживые образования.

Так что же будет самым первым уровнем в организации живой природы (материи), что лежит в основе понятия «жизнь»? Очевидно, что от молекул нам никуда не деться. Только здесь требуется определенное условие – чтобы эта молекула несла в себе признаки живого. Основной атрибут живой материи — генетическая информация, используемая для репликации (процесс удвоения молекулы ДНК). Таким образом первым уровнем организации живой материи следует считать молекулярно-генетический уровень. Молекула ДНК – это программа, которая говорит клетке, как соединять белки, как поддерживать жизнь, как осуществлять обмен веществ, как перерабатывать энергию. Клетка осуществляет вычисление, которое позволяет ей жить и размножаться. Это алгоритм переработки энергии, закодированный в ДНК.

Самое интересное состоит в том, что несмотря на то, что человек не может жить без ДНК, сама по себе эта молекула неживая. В этом и таится загадка природы – каким образом безжизненное вещество может находиться в самой сердцевине жизни.

Молекулярно-генетический уровень является тем уровнем организации живой материи, на котором совершался переход от атомно-молекулярного уровня неживой материи к макромолекулам живой. Это уровень функционирования биополимеров, таких как белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды. На этом уровне элементарными структурными единицами являются гены. Вся наследственная информация у живых организмов заложена в молекулах ДНК. Реализация этой информации связана с участием молекул РНК.

Молекулярно-генетический уровень организации живой материи – самый глубинный. Знание его закономерностей является необходимой предпосылкой для понимания всех жизненных процессов, т.к. важнейшие процессы жизнедеятельности, а именно дыхание, обмен веществ и энергии, кодирование и передача наследственной информации и др., начинаются именно здесь.

Итак, первым, начальным уровнем организации живых организмов на Земле является молекулярно-генетический уровень, представленный сложными биополимерами.

***Биополимеры*** – высокомолекулярные органические соединения, являющиеся структурной основой всех живых организмов и играющие определяющую роль в процессах жизнедеятельности. Макромолекулы биополимеров состоят из большого числа повторяющихся структурных единиц (звеньев) – мономеров – одного или нескольких типов. Основу молекул органических соединений составляют атомы углерода.

На этом уровне живая материя организуется в сложные высокомолекулярные органические соединения, такие, как белки, нуклеиновые кислоты и др. Их главной функцией является хранение и передача наследственной информации, а также реализация этой информации в процессе биосинтеза белка.

С самого начала эволюции природы установилась обратная (нашему стереотипному представлению) иерархия и субординация. Низшее (в то же время самое стабильное и детерминированное) звено стало оказывать направляющее влияние на свойства и функции высшего. Иначе говоря, установилась жесткая и обязательная к исполнению «вертикаль власти», идущая, однако, снизу вверх, а не сверху вниз. Установилась диктатура генома. Смысл жизни оказался в полном подчинении генетическому смыслу.

Известно 2 нуклеиновые кислоты: ДНК и РНК. Нуклеиновые кислоты присутствуют в клетках всех живых организмов и выполняют важнейшие функции по хранению, передаче и реализации наследственной информации.

*ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота)* - биополимер, состоящий из двух нуклеотидных, спирально закрученных относительно друг друга цепочек. Молекула ДНК – это программа, которая говорит клетке, как соединять белки, как поддерживать жизнь, как осуществлять обмен веществ, как перерабатывать энергию. Клетка осуществляет вычисление, которое позволяет ей жить и размножаться. Это алгоритм переработки энергии, закодированный в ДНК.

*РНК (рибонуклеиновая кислота)* – одноцепочечный полимер - состоит из длинной цепи, в которой каждое звено называется нуклеотидом.

Если говорить о молекуле – праматери жизни, то, согласно последним теориям ученых, следует признать таковой молекулу РНК, а не ДНК.

Недавно ученые экспериментально доказали существующую теорию происхождения жизни на Земле, называемую «Мир РНК». Согласно РНК-теории, первые молекулы рибонуклеиновой кислоты были слишком короткими и появились в результате случайной самосборки. Они обладали каталитической активностью, благодаря чему выполняли функцию появившихся позже белков и, сохраняя данные о собственном строении, были способны делиться, передавая информацию потомкам. Это была первичная автокаталитическая система, с которой началась жизнь на Земле. У РНК выработалась способность катализировать синтез собственных копий. Возникшая автокаталитическая система должна была сразу вбирать в себя и другие абиогенно синтезированные молекулы РНК – такая РНК (с полимеразной активностью) может синтезировать не только свои собственные копии, но и копии других «соседних» РНК, которые тем самым становятся материалом для отбора.

Постепенно молекулы рибонуклеиновой кислоты совершенствовались, создавая более длинные нуклеотидные последовательности, и, в определенный момент приобрели способность синтезировать белки. РНК уступила часть своих обязанностей более совершенным регуляторам происходящих в организме процессов – белкам, оставив за собой право хранителя наследственной информации (некоторые существующие на сегодня вирусы до сих пор снабжены такой рибонуклеиновой кислотой).

Впоследствии, вероятно из-за ошибок, случавшихся в процессе копирования, в некоторых потомках РНК произошла замена одних веществ другими (азотистое основание урацил заменился тимином, сахар рибоза был заменен дезоксирибозой). В результате таких эволюционных мутаций появилась ДНК, которая, благодаря своему строению, оказалась более надежным хранителем наследственной информации.

## 2. Органоидный (субмолекулярный) уровень организации живой материи

На этом уровне живая материя организуется в органоиды: хромосомы, клеточную мембрану, эндоплазматическую сеть, митохондрии, комплекс Гольджи, лизосомы, рибосомы и другие субклеточные структуры. Все органоиды погружены в гиалоплазму, или основное вещество клетки, и вместе с ней образуют цитоплазму. Большинство органоидов отделено от гиалоплазмы мембранами. В зависимости от наличия либо отсутствия мембран органоиды делятся на 2 группы: мембранные и немембранные. К немембранным относятся рибосомы и клеточный центр. Мембранные же органоиды в свою очередь в зависимости от количества мембран делят на одномембранные (эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи, лизосомы, вакуоли растительных и грибных клеток, пульсирующие вакуоли и др.) и двумембранные (пластиды, митохондрии и клеточное ядро).

## 3. Клеточный уровень организации живой материи

На данном уровне организации живого главным объектом исследования является *клетка*, как элементарная живая система, представляющая собой основную структурную и

функциональную единицу всех живых организмов. Главнейшая специфическая черта этого уровня заключается в том, что с него начинается жизнь. Будучи способными к жизни, росту и размножению, клетки являются основной формой организации живой материи, элементарными единицами, из которых построены все живые существа (прокариоты и эукариоты).

Именно в клетке содержатся все ее основные элементы, называемые органоидами (например, ядро, в котором содержатся хромосомы, включающие ДНК). В хромосомах сосредоточена бóльшая часть наследственной информации, которые предназначены для её хранения, реализации и передачи.

ДНК, белки и другие компоненты жизни не могут благополучно существовать без особого рода оболочки, которая их содержит. Ни один атом или молекула не могут стать живыми сами по себе. Только когда эти разнообразные вещества собираются вместе в питательной среде клетки, они могут принять участие в том поразительном процессе, который мы называем жизнью. Без клетки они не более чем интересные химические соединения.

Изучение клетки позволяет вскрыть сущность жизни, рассмотреть проявление на клеточном уровне таких фундаментальных свойств живой материи, как хранение и преобразование генетической информации, биосинтез молекул, самовоспроизведение, саморегуляция, способность к движению и осуществлению приспособительных реакций. Таким образом, на клеточном уровне так же, как и на молекулярно-генетическом, отмечается однотипность всех живых организмов.

Клетка может существовать как самостоятельный организм (простейшие, бактерии), так и в составе многоклеточных организмов. Размеры клеток и их число в многоклеточных организмах варьируют в широких пределах. Например, тело взрослого человека состоит из 1015 клеток более 200 различных видов.

## 4. Тканевый уровень организации живой материи

Совокупность клеток и межклеточного вещества, объединённых общим происхождением, строением и выполняемыми функциями, носит название *ткань*. Таким образом, следующий уровень организации живого – тканевой. Тканевый уровень, как и последующий – органный, являются промежуточными между клеточным и организменным. Данные уровни можно выделить только у многоклеточных организмов.

Ткани возникли в ходе исторического развития вместе с многоклеточностью. У многоклеточных организмов они образуются в процессе онтогенеза как следствие дифференциации клеток. У животных различают несколько типов тканей (эпителиальная, соединительная, мышечная, нервная, а также кровь и лимфа). У растений различают меристематическую, защитную, основную и проводящую ткани. На этом уровне происходит специализация клеток.

## 5. Органный уровень организации живой материи

На этом данном уровне основной единицей изучения являются органы – части тела растений или животных, образованные различными тканями, но выполняющие при

согласованной работе единые функции.

Органы находятся в постоянном и непосредственном взаимодействии между собой. Совокупность органов, сходных по своему строению, развитию и выполняемым функциям составляют систему органов. В организме человека и высших животных выделяют такие системы органов, как опорно-двигательная, пищеварительная, дыхательная, сердечно-сосудистая, выделительная, половая, нервная и др.

## 6. Организменный уровень организации живой материи

На организменном (онтогенетическом) уровне организации живого изучаются отдельные биологические особи, дискретные индивиды, каждый из которых является неделимой и целостной единицей жизни на Земле. Этот уровень может быть представлен как одноклеточными, так и многоклеточными организмами.

Организм представляет собой живое существо, реальный носитель жизни, характеризующийся всеми свойствами живого. Любая биологическая особь, будь то одноклеточный организм, состоящий всего из одной клетки, либо многоклеточный, образованный миллионами и миллиардами клеток, представляет собой целостную биологическую систему. Характеристика любой особи не может быть исчерпана только рассмотрением физико-химических свойств макромолекул, входящих в ее состав. Невозможно разделить особь на части так, чтобы она не утратила свою индивидуальность и уникальность. Это позволяет считать организменный уровень особым уровнем организации живого. Любой живой организм – законченный и устойчивый уровень биологической организации. Он способен к самостоятельному существованию, размножению, развитию.

Индивидуальное развитие живого организма называется онтогенезом. Именно организменный уровень и является тем *первым уровнем организации* живого, с которого начинаются объекты изучения экологии.

## 7. Популяционно-видовой уровень организации живой материи

В природе особи не существуют изолированно друг от друга, а объединены в живые системы более высокого ранга – виды и популяции, которые составляют первый надорганизменный (т.е. следующий за организменным) уровень организации живого. На определенном этапе развития материальных носителей жизни образуются особые уровни организации живой материи - надорганизменные структуры (системы). К ним относятся прежде всего популяции. Кроме популяции к надорганизменным уровням организации живой материи относятся биоценозы, экосистемы и биосфера.

Создавая надорганизменную систему, популяции характеризуются определенным генофондом и определенным местом обитания. В популяциях начинаются и элементарные эволюционные преобразования, происходит выработка адаптивной формы.

На популяционно-видовом уровне осуществляется как генетическая преемственность поколений, так и регуляция таких важных свойств, как плодовитость, численность, устойчивость к заболеваниям и др. Все эти свойства определяются совокупностью наследственной информации, которая передается от родителей к потомкам и сохраняется во времени в условиях постоянно изменяющейся среды.

Понятие популяция употреблялось по отношению к человеческому обществу в значении «собрание, группа людей» еще в Древней Греции и Риме. Как научный термин, это понятие было использовано впервые в 1903 г. В.Л. Иоганнсеном для обозначения естественной совокупности особей одного вида, неоднородной в генетическом отношении. Значительно раньше обратил внимание на неоднородность особей вида Ч. Дарвин, что, в его понимании, и являлось основной предпосылкой для конкуренции и естественного отбора.

Существует множество определений терминов популяция и вид. В обобщенном виде *популяция* – любая совокупность особей одного вида, проживающая длительное время на определенной территории, свободно скрещивающаяся друг с другом и дающая плодовитое потомство.

Популяция обладает биологическими свойствами, присущими как популяции, так и составляющим ее особям, и групповыми свойствами, характерными только для популяции, т.е. для группы особей данного вида. К числу свойств, общих для особи и популяции, относятся рост, дифференцировка, способность к самоподдержанию.

Популяционными свойствами являются статические и динамические характеристики популяции, различные типы ее структуры. По этим признакам популяция качественно отличается от организменного уровня организации живых систем. Популяция не имеет морфологической отграниченности от среды и других популяций, в ее строении нельзя выделить морфологически отличающиеся части, аналогичные физиологическим функциональным системам организма. Организм, как биологическая система, относительно недолговечен, а популяция при сохранении необходимых условий практически бессмертна.

К основным динамическим признакам популяции относятся: рождаемость, смертность, прирост популяции и др.

Основными статическими характеристиками популяции являются: численность и плотность.

Вид в природе существует в форме отдельных популяций. Популяционный состав видов чрезвычайно разнообразен. В составе одного вида может быть от одной до многих тысяч популяций, представители которых характеризуются самым различным местообитанием и занимают разные экологические ниши. Особи одной популяции обладают большим сходством по всем признакам по сравнению с особями других популяций данного вида. Возможность скрещивания между особями одной популяции значительно выше, чем между особями соседних популяций, т.к. этому препятствуют многочисленные барьеры. Эти барьеры могут быть географическими (горы, климат, водные объекты), биологическими (различия в сроках спаривания и гнездования, инстинкте сооружения жилищ, поведении в период спаривания у животных; различия в периодах цветения и опыления, в скорости прорастания пыльцы, в отношениях с насекомыми-опылителями у растений). Это прежде всего относится к двуполым животным и к растениям с перекрестным опылением.

Виды также отличаются между собой по различным признакам, которые называются *критериями вида.* Выделяют следующие критерии: морфологический, генетический, физиологический, географический, экологический.

## 8. Биоценотический уровень организации живой материи

Популяции отдельных видов неизбежно вступают в различные взаимоотношения с представителями других популяций, т.к. связь с другими организмами, с одной стороны, – необходимое условие питания и размножения, возможность защиты, смягчения неблагоприятных условий среды, а с другой стороны – это опасность ущерба и часто даже непосредственная угроза существования индивидуума. В результате этого образуются биоценозы, или сообщества, являющиеся вторым надорганизменным уровнем организации живой материи.

Термин «биоценоз» впервые был использован немецким зоологом Карлом Мебиусом в 1877 г. В современной трактовке *биоценоз* (сообщество) – система совместно живущих и взаимодействующих между собой в пределах некоего пространства популяций живых организмов (растений, животных, микроорганизмов, грибов). Пространство с более или менее однородными условиями, заселенное тем или иным сообществом, называется *биотоп*.

Концепция сообщества относится к числу наиболее важных в современной экологической теории и практике. Она важна с теоретической точки зрения, т.к. живые организмы различных видов не распределены по территории земного шара случайно, а образуют организованные системы. Разнообразие живых организмов в биоценозе, утонченность их адаптаций, разнообразное поведение в конечном итоге приводит к получению каждым организмом своей доли энергии из пищи, поток которой течет от одного члена сообщества к другому.

Концепция сообщества имеет большое значение и в экологической практике, поскольку функционирование организма зависит от сообщества, в которое этот организм входит, поэтому если человек хочет контролировать численность какого-либо вида, то часто лучше несколько модифицировать все сообщество, чем влиять на отдельно взятый вид.

## 9. Экосистемный (биогеоценотический) уровень организации живой материи

Живые организмы и их совокупности тесно связаны не только между собой, но и с окружающей их неорганической природой. В результате такой взаимосвязи, взаимозависимости, взаимодействия и взаимовлияния формируются сложные образования – экологические системы (экосистемы), которые составляют следующий уровень организации живой материи. Природные образования, которые представляют собой системы, состоящие из взаимозависимых сообществ организмов и абиотических факторов среды, сложившиеся в ходе исторического развития, это и есть экосистемы (биогеоценозы)

Экосистемам присуще динамическое (подвижное) равновесие между организмами и абиотическими факторами. На этом уровне осуществляются вещественно-энергетические круговороты, связанные с жизнедеятельностью организмов.

Экосистема – основная функциональная единица в экологии, т.к. в нее входят организмы и неживая среда – компоненты, взаимовлияющие на свойства друг друга и необходимые условия для поддержания жизни в той ее форме, которая существует на земле.

Термин «экосистема» был предложен в 1935 г. английским экологом А. Тенсли.

*Экологическая система (экосистема)* – это любая совокупность живых организмов и условий их среды обитания (например, муравейник, хвойный лес, лужа, озеро, океан, весь земной шар).

Для того, чтобы экосистема существовала неограниченно долго, она должна обладать свойствами связывания и высвобождения энергии и в ней должен осуществляться круговорот веществ. Свойства экосистем и механизмы, обеспечивающие устойчивое существование, определяются их структурной организацией.

Главный принцип функционирования всех природных экосистем – получение ресурсов и избавление от отходов в рамках круговорота всех элементов. Круговорот биогенных элементов, обусловленный синтезом и распадом органических веществ в экосистеме, называется биотическим круговоротом. Кроме биогенных элементов в биотический круговорот вовлечены важнейшие для биоты (исторически сложившаяся совокупность видов живых организмов, объединённых общей областью обитания) минеральные элементы и множество различных соединений. Поэтому весь циклический процесс химических превращений, обусловленных биотой, называют еще биогеохимическим круговоротом. Важнейшую роль играют биогеохимических круговороты углерода, кислорода, азота, фосфора, серы.

В 40-х гг. XX в. русским ученым В.И. Сукачевым была разработана концепция биогеоценоза и создано учение о нем – биогеоценология.

Биогеоценоз (от греч. bios жизнь + geo земля + coinos общий) – совокупность однородных природных элементов (атмосферы, горной породы, растительности, животного мира и мира микроорганизмов, почвы и гидрологических условий) *на определенном участке земной поверхности.*

Понятия «биогеоценоз» и «экосистема» некоторые ученые считают аналогичными, тождественными. Однако, это не так. Экосистема – это любая совокупность организмов и среды их обитания (болото, лес, озеро, океан). Биогеоценозы же выделяются только на суше, в водной среде их нельзя выделить. Границы биогеоценоза устанавливаются по границам фитоценоза. Границы же экосистемы выделяются произвольно, исходя из научных интересов исследователя. Следовательно, понятие «экосистема» шире, т.е. биогеоценоз – частный случай экосистемы. Отсюда – любой биогеоценоз – это тоже самое, что и экосистема, но не наоборот.

## 10. Биосферный уровень организации живой материи

Этот уровень является высшей формой организации живого (живых систем). Он представлен биосферой. На этом уровне осуществляется объединение всех вещественно-энергетических круговоротов в единый гигантский биосферный круговорот веществ и энергии. Термин «биосфера» был введен в 1875 г. австрийским геологом Э. Зюссом, однако целостное учение о биосфере было разработано в 1926 г. русским ученым В.И. Вернадским.

*Биосфера* (от греч. «bios» – жизнь + «sphaira» – шар) – оболочка Земли, состав, структура и энергетика которой определяются совокупной деятельностью живых организмов.

Биосфера включает в себя все области нашей планеты, освоенные жизнью. Это и атмосфера, и океан, и все части земной поверхности, где утвердилась жизнь в любых ее формах. Биосфера представляет собой сложнейшую планетарную оболочку жизни, населенную организмами, составляющими в совокупности живое вещество.

Биосфера - это самая крупная (глобальная) экосистема Земли - область системного взаимодействия живого и косного вещества на планете. Совокупная деятельность живых организмов в биосфере проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба. Появление и развитие учения о биосфере стало новой вехой в естествознании, в изучении взаимодействия и взаимоотношений между косной и живой природой, между человеком и окружающей средой.

## 1.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИИ

*Я утверждаю, что экология – это изучение систем на том уровне, на котором индивиды (организмы) рассматриваются как элементы, взаимодействующие между собой либо с окружающей средой. Системы такого уровня называются экосистемами, и экология есть не что иное, как биология этих систем.*
***Рамон Маргалеф, испанский биолог и эколог***

Экология – одна из самых актуальных наук современности. С нею связывают надежды на выживание человечества в усложняющемся мире и на возможности нового витка развития. Слово «экология» очень популярно сейчас и в бытовом общении, и в средствах массовой информации, и в речах политиков. Однако далеко не все представляют себе его истинное значение. Чаще всего его используют в смысле «состояние окружающей среды» и относят исключительно к человеку, его здоровью и условиям жизни. На самом деле экология – это сложная разветвленная наука, в центре внимания которой – законы устойчивости живой природы, связи организмов друг с другом и средой обитания, позволяющие выживать, развиваться и противостоять изменениям условий. Эти связи как раз и поддерживают общую систему жизни на Земле – от бактерий до человека.

Экология не только приобрела свойства фундаментальной науки, развив идеи основателя, но породила множество течений. Почти все отрасли знания «инфицированы» экологическим мировоззрением, а некоторые получили практическое содержание в гигиене, сельском хозяйстве и биологических науках.

Понятие «экология» в настоящее время приобретает глобальный характер, а вместе с этим разные ученые, считающие себя экологами, вносят разный смысл в само определение термина «экология».

Одни говорят, что экология – это некий раздел биологии. Другие утверждают, что экология – это биологическая наука, третьи обозначают экологию как науку, обобщающую всю сумму биологических знаний. Действительно, экология как наука сформировалась на базисе биологии, но в дальнейшем она обрела самостоятельность и в настоящее время является не разделом биологии, а самостоятельной, обособленной наукой.

Теоретик современной экологии Н.Ф.Реймерс дает такое определение этой науки:

«Современная экология - биологизированная (как и географизированная, математизированная и т. д.) биоцентричная наука, но не биология. Для экологии характерен широкий системный межотраслевой взгляд. Ее предмет - сохранение функциональной и структурной целостности того центрального объекта, который вычленяется в процессе исследования... Такая экология уже совсем не биология и никакая иная наука, она сама по себе, новый раздел знания, равный, а может быть, и более широкий, чем математика, физика, химия и так далее...». Далее он пишет: экология – «это совокупность отраслей знания, исследующих взаимодействие между биологически значимыми отдельностями и между ними и окружающей их средой».

Таким образом, с одной стороны признается, что экология - это наука, а с другой - подчеркивается, что это совокупность научных дисциплин.

Является ли экология естественной наукой или гуманитарной? Ответ: и той и другой. Но не такой естественной наукой, которая исключает человека, и не такой гуманитарной наукой, которая игнорирует природу. Это наука, которая может до конца сыграть свою роль лишь в том случае, если все, кто связан с ней, глубоко осознают всю ответственность за эволюцию становления человека.

На наш взгляд, экологии все же следует отвести подобающее самостоятельное место в ряду наук о природе. Экология - наука сравнительно молодая и находится еще пока в фазе становления. Это связано с тем, что она в той или иной мере затрагивает почти все сферы жизнедеятельности живых организмов (и их совокупностей) и деятельности человека. Это синтетическая наука, которая имеет полное право на существование в общей иерархии современных наук.

Определений экологии в современной научной литературе множество. И почти все они концентрируют внимание на взаимоотношениях между живыми организмами и средой их окружения.

Приведем некоторые, наиболее характерные определения экологии как науки.

«...Под экологией мы подразумеваем общую науку об отношении организма к окружающей среде, куда мы относим все «условия существования» в широком смысле этого слова. Они частично органической, частично неорганической природы» **(Э.Геккель).**

«Экология – это наука об обиталищах, или говоря более широко, об «условиях существования». Так как экология имеет дело с естественной историей и с функциональными процессами групп организмов на суше, в океане и в пресной воде, было бы правильнее придерживаться новейших идей и определить экологию как науку о строении и функциях природы» **(Е.Одум).**

«Экология относится к числу фундаментальных подразделений биологии, исследующей фундаментальные свойства жизни надорганизменного уровня организации. Иными словами, экология изучает совокупность живых организмов, взаимодействующих друг с другом и образующих с окружающей средой обитания единство (т.е. систему), в пределах которого осуществляется процесс трансформации энергии и органического вещества» **(В.Д.Федоров).**

«Экология – это наука о популяциях и популяция – основной объект изучения экологии» **(С.С.Шварц).**

«Я утверждаю, что экология является исследованием систем на таком уровне, когда особи могут рассматриваться как элементы взаимодействия друг с другом, или со свободно организованной матрицей окружающей среды. Системы на этом уровне рассмотрения называют экосистемами, и экология несомненно является биологией экосистем» **(Р.Маргалеф).**

«В буквальном смысле экология это «наука о местообитании». Существует довольно много определений экологии, однако подавляющее большинство современных экологов считает, что современная экология – это наука, изучающая условия существования живых организмов и взаимосвязями между организмами и средой, в которой они обитают» **(Р.Дажо).**

«Экологию – мы понимаем как синоним науки, изучающей в переводе с греческого «собственный дом». Именно в таком контексте мы говорим об экологии человека, экологии общества, когда домом человечества становится не только природа, его непосредственно окружающая, но и вся биосфера. Качество экологической обстановки мы видим в соответствии условий, определяемых окружающей средой, потребностями общества и, прежде всего, здоровью населения, возможностям его стабильного существования» **(Н.Н.Моисеев).**

«...Экология - наука о закономерностях в отношении организма как целого, как вида, к среде обитания, в комплексе» (**Д.Н.Кашкаров**).

«...Экология - биологическая дисциплина, изучающая взаимоотношения организмов и среды, обуславливающие образ жизни: размножение, питание, выживаемость, численность и распределение животных» **(Н.П.Наумов).**

«...Экология - это наука о взаимоотношениях организмов и образуемых ими сообществ, или биоценозов, с окружающей средой, о приспособленности организмов и биоценозов к условиям среды и о противоречиях организмов и биоценозов с окружающей средой (живой и мертвой)» **(Л.Г.Раменский).**

«...Экология посвящена изучению взаимоотношений живых организмов, растительных или животных, со средой; оно имеет целью выявит принципы, управляющие этими отношениями» **(Э.Макфедьен).**

«... экология - это наука, изучающая условия существования живых организмов и взаимосвязи между организмами и средой, в которой они обитают» **(Р.Дажо).**

«...Экология - наука о биологических системах надорганизменного уровня...» **(Н.П.Наумов).**

«...Экология - область биологической науки, изучающая живые системы в их взаимодействии со средой их обитания. Экологи исследуют живые системы высших уровней биологической организации: отдельные организмы, популяции, социэты (группы особей одного вида), сообщества (системы популяций обычно многих видов) и экосистемы» **(Р.Уиттекер).**

«...Экологию можно определить как систему научных дисциплин, изучающих жизнь на надорганизменном уровне организации... Именно экология призвана создать научную основу рациональной эксплуатации биологических ресурсов, прогнозирования изменений природы под влиянием деятельности человека и управления процессами, протекающими в биосфере, и сохранения среды обитания человека» **(М.С.Гиляров).**

«...Современная экология изучает жизнь, интегрированную в биологические макросистемы более высокого ранга, чем организм... Экология - это наука, исследующая закономерности жизнедеятельности организмов (в любых ее проявлениях, на всех уровнях интеграции) в их естественной среде обитания с учетом изменений, вносимых в среду деятельностью человека» **(В.А.Радкевич).**

«...Экология изучает совокупность живых организмов, взаимодействующих друг с другом и образующих с окружающей средой обитания некое единство (т.е. систему), в пределах которого осуществляется процесс трансформации энергии и органического вещества» **(В.Д.Федоров, Т.Г.Гильманов).**

«...Экологию следует рассматривать как биологическую науку, имеющую дело с тремя уровнями организации живых систем: организменным, популяционным и биоценотическим» **(И.А.Шилов).**

«...Экология (от греч. «oikos» - дом, место и «logos» - учение, слово) - наука об отношениях организмов или групп организмов к окружающей среде... Объектом экологии являются надорганизменные системы: виды, представленные популяциями, сообщества, биоценозы, биогеоценозы, экосистемы, биосфера... Экология по своему объему шире биогеоценологии в связи с существованием экосистем, которые не являются биогеоценозами (например, кабина пилотируемого космического корабля)» **(Б.М.Миркин, Г.С.Розенберг).**

«...Экология - это наука о взаимоотношениях живых существ между собой и с окружающей их неорганической природой, о связях в надорганизменных системах, о структуре и функционировании этих систем... Современная экология является теоретической основой рационального природопользования» **(Н.М.Чернова, А.М.Былова).**

«...Пора вспомнить, что экология - не часть биологии, а наука о взаимоотношении человеческого общества и среды его обитания (экология - «наука о доме», обратите внимание - даже не о «природе»)... Это социально-естественная наука, социально-биологическая, если хотите» **(А.Шубин).**

Таким образом, можно отметить некоторые общие положения при определении экологии:

1. экология – наука, изучающая отношения организмов к окружающей среде, взаимодействие организмов со средой;
2. экология – наука об исследованиях систем (популяция, экосистема);
3. экология – совокупность проблем взаимодействия общества и природы;
4. экология – наука о строении и функциях природы.

Резюмируя, можно сделать вывод, что прежде всего экология – это наука, изучающая отношения организмов между собой и окружающей средой, между которыми возникает множество разнообразных связей. Организмы же, благодаря этим связям, существуют в природе не как хаотичные скопления, а образуют определенные сообщества - надорганизменные системы. К надорганизменным системам относятся популяции, биоценозы, экосистемы и биосфера (о них речь пойдет ниже). Поэтому можно дать следующее обобщающее определение экологии:

**ЭКОЛОГИЯ – наука, изучающая взаимоотношения организмов и образующих их сообществ между собой и с окружающей их природной средой, а также структуру и организацию биологических (надорганизменных) систем различного уровня (популяции, биоценозы, экосистемы).**

## 1.5. ОБЪЕКТЫ ЭКОЛОГИИ, ОСНОВНОЙ ПРЕДМЕТ ИЗУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИИ

Возникновение жизни на Земле связано с биологическим круговоротом веществ, который осуществляется посредством взаимодействия огромного множества различных живых организмов. Элементарной единицей в круговороте веществ и основной формой организации материи является вид. Эволюция видов - основной вопрос эволюционной теории.

Экологов интересуют не эволюционные процессы, а поведение отдельных организмов, особей, составляющих вид в том или ином природном окружении, воздействие на них определенного комплекса окружающих условий (факторов среды). Одними из основных таких факторов являются климатические (освещенность, температура, влага и т.п.). Например, в умеренной зоне Земли развитие природы ограничено главным образом температурными показателями, а, скажем, в пустыне – недостатком влаги. Ясно, поэтому, что растения теплых местообитаний не смогут произрастать в нашем климате, а наши лесные звери в условиях повышенной температуры воздуха буду страдать от недостатка влаги. Так же для водных и почвенных организмов вода и почва являются главными и основными средами обитания. Таким образом, ***изучение поведения организмов при воздействии различных факторов окружающей среды и их реакция на эти воздействия является одним из объектов изучения экологии.***

На ***организменном*** уровне рассматриваются проблемы адаптации организмов, механизмы, обеспечивающие устойчивость их функционирования.

Следующий объект изучения экологии представляет собой группировку особей, которые составляет тот или иной вид живых организмов. В такой группировке особи развиваются не изолированно, а в составе группы таких же особей, занимающих определенную территорию. Такие группы называют популяциями. Здесь мы имеем дело уже не с отдельной особью, но с их совокупностью, а значит факторы окружающей среды начинают влиять уже на группу организмов, на изменение ее численности и состава.

Отличительная особенность популяции состоит в том, что ее свойства, как цельного образования, отличаются от свойств отдельных особей. Скажем, поймав муравья возле муравейника, мы можем описать его характеристики, его поведение, повадки и т.д. Но на основании этих характеристик мы не сможем описать характерные особенности муравейника в общем, как целой системы. Один муравей – это отдельная особь. Совокупность муравьев – это популяция, объединяющая в себе множество особей одного определенного вида, каждая из которых индивидуально неповторима. Все вместе они образуют своеобразную «общность», живущую по своим законам, отличным от законов каждого его члена. Это же касается и любой популяции, в том числе и популяции человека.

**Итак, еще одним *объектом экологии является группировка особей одного вида – популяция.*** Исследованием закономерностей существования, структуры, поведения популяций занимается популяционная экология.

На популяционном уровне экологи исследуют формы взаимоотношений между организмами, обеспечивающих существование популяции как целостной саморегулирующейся системы. Основное упор здесь делается на определение тех свойств популяции, которые обеспечивают возможность ее неограниченно длительного существования в постоянно изменяющихся условиях среды. Следует отметить, что популяционный уровень наиболее важен из-за возможности управления популяциями со стороны человека. Воздействие на отдельный организм никакого эффекта не дает, поскольку он смертен и его отдельно взятые индивидуальные свойства во взаимоотношениях между особями и средой в целом ничего не изменят. Но если воздействию подвергается вся популяция, то в случае ее гибели возможно ограничение (или уничтожение) какого-то природного ресурса, важного для человека.

Вполне очевидно, что живые организмы, составляющие популяции (как и сами популяции) встречаются на Земле не в любых случайных сочетаниях, а образуют закономерные комплексы – сообщества. Организмы и популяции обязательно вступают во взаимоотношения друг с другом. Это могут быть конкурентные взаимоотношения, когда особи и популяции подавляют друг друга в борьбе за жизненные ресурсы, а могут быть и взаимовыгодные связи.

В природе популяции разных видов всегда обитают совместно и образуют цельное природное сообщество, которое называется биоценоз. Это довольно устойчивое биологическое образование, так как обладает способностью к самоподдержанию своих природных свойств и видового состава при внешних воздействиях, вызываемых обычными изменениями климатических и других факторов. Устойчивость сообщества определяется не только устойчивостью входящих в него популяций, но и особенностями взаимодействия между ними.

Популяционный подход обеспечивает теоретическую базу для прогнозирования рождаемости, выживания и смертности особей в популяции. Он позволяет прогнозировать вспышки вредителей в лесном и сельском хозяйстве, позволяет выявить критическую численность вида, необходимую для его выживания.

**Таким образом, мы имеем *следующий объект изучения экологии – биоценоз (или сообщество).*** Исследованием биоценозов занимается направление экологии, которое называется биоценология.

Говоря о популяциях и сообществах мы рассматривали только взаимодействия самих живых организмов, вне взаимосвязи их с окружающей средой. В живой природе особи и популяции контактируют друг с другом, находятся во взаимодействии, воздействуют друг на друга, но это не происходит в отрыве от окружающей эти особи и популяции окружающей среды. Следовательно, факторы среды, в пределах которых происходит взаимодействие особей и популяций, являются важной характеристикой.

Сообщество развивается в некотором пространстве со свойственным для него набором условий, например географических, физических, химических, биологических,

климатических. Такое природное жизненное пространство, занимаемое сообществом, называется биотопом.

Биотоп (окружающая среда, факторы среды) вместе с сообществом (живыми организмами) образуют единую природную систему, которая называется экологическая система, или экосистема. ***Экосистема это еще один объект изучения экологии.*** В экосистеме длительное время поддерживаются устойчивые взаимосвязи между элементами живой и неживой природы.

На экосистемном уровне основной задачей является исследование закономерностей функционирования и продукционных процессов многовидовых биоценозов вместе с их неорганическим окружением. Экосистемный подход выдвигает на первый план общность структурно-функциональной организации всех экосистем, независимо от от состава сообществ, среды и места их обитания. Основное внимание при этом подходе уделяется изучению потока энергии и циклам круговорота веществ в экосистемах, установлению функциональных связей между биологической составляющей и окружающей средой, т.е. между биотическими факторами и абиотическими.

При этом подходе пристальное внимание уделяется анализу местообитаний, так как параметры факторов среды: физико-химические свойства почв, теплообеспеченность, влажность, освещенность, скорость ветра, и др., легко измеряются и поддаются классификации.

Совокупность разнообразных экосистем Земли (сухопутные, водные, океанические, горные, полярные, пустынные, лесные, степные и т.п.) образует самую крупную экологическую систему Земли, называемую биосферой. ***Биосфера*** – последний объект изучения современной экологии. Изучение биосферы - наивысший по сложности раздел экологии, именуемый *глобальной экологией или биосферологией..*

На биосферном (глобальном) уровне выявляются причины и механизмы изменения элементов биосферы в результате воздействия человеческой деятельности. Двоякое положение человека в биосфере (с одной стороны, это гетеротрофный живой организм, а с другой - высокоразвитое живое существо, наделенное разумом и вооруженное достижениями научно-технической революции) диктует необходимость предельной осторожности и взвешенности решений при любой его попытке вмешательства в исторически сложившиеся взаимосвязи и процессы живой природы.

Какой же из объектов экологии является основным, главным? Б.М.Миркин и Л.Г.Наумова (1994) дают следующий ответ на этот вопрос: «...Основным объектом экологии является экосистема – совокупность живых организмов (животных, растений, микроорганизмов) и среды их обитания. Кроме того, экология изучает и группы организмов одного вида, входящие в экосистемы, – популяции и отношение к среде отдельных организмов... Экология – это комплекс наук... В центре “экологического цветка” находится общая экология – наука о законах взаимоотношений организмов и условий среды. Лепестки цветка – это науки, посвященные конкретным объектам».

В статье «Об экологии всерьёз» российский гидробиолог и эколог А. Ф. Алимов (2002) пишет: «Главный объект исследований в экологии – экосистемы. Большинство экологов рассматривают экосистему как локализованную в пространстве и динамичную во времени совокупность совместно обитающих и входящих в сообщества популяций различных

организмов и условий их существования, находящихся в закономерной связи между собой и образующих систему взаимообусловленных биотических и абиотических процессов. В результате взаимодействия организмов между собой и окружающей их средой внутри экосистемы организуются потоки вещества, энергии и информации. Экосистема может быть представлена как разнообразие видов плюс взаимодействие потоков вещества, энергии и информации, последние рассматриваются как организующие и регулирующие».

Таким образом, центральным разделом экологии является изучение экосистем. В отличие от популяции или сообщества экологическую систему можно считать самостоятельным объектом - в ней имеется все, что необходимо для ее существования. Поэтому **экосистемы являются главным предметом изучения в экологии.**

Процессы биологического круговорота веществ и трансформации энергии в экосистемах организуются в результате жизнедеятельности живых организмов, различных взаимоотношений между организмами, главным образом через их трофические связи. Так в экосистемах образуются многочисленные трофические цепи и сложноразветвлённые трофические сети.

Динамическое взаимодействие потоков вещества, энергии и информации, обеспечивающее стабильность экосистемы во времени в конкретных условиях среды, и есть её функционирование. Разработка теории функционирования экосистем - одна из важнейших задач современной экологии.

Таким образом, объектами изучения экологии являются не только отдельные организмы, но, и их разнообразные группировки – популяции и сообщества в определенных средах обитания, то есть природные системы, развивающиеся и действующие по своим законам. Объекты изучения экологии представлены как отдельными видами, так и природными системами различной сложности.

В зависимости он уровня организации биологических систем в современной экологии выделяют три основных направления:

**Аутэкология** (экология особей и составленных ими видов; от греч. «аутос» - сам) – раздел экологии, в задачу которого входит изучение организма (вида, особи) с окружающей средой и исследование действия среды на морфологию, физиологию и поведение организмов. Задача аутоэкологии - установление пределов существования особи (организма) и тех пределов физико-химических факторов, в диапазоне которых он может существовать. Аутэкология изучает взаимоотношение организма с внешней средой, в основе которых лежат его морфофизиологические реакции на воздействие среды, ареал распространения вида, его экологическую нишу С изучения этих реакций начинается любое экологическое исследование.

**Демэкология** (от греч. «demos» – народ) изучает естественные группировки особей одного вида, то есть популяции. Важнейшая задача демэкологии – выяснение условий формирования популяций, а также внутрипопуляционных группировок и их взаимоотношений, структуры, динамики, демографии, численности популяции.

**Синэкология** (от греч. «syn» – вместе) или экология сообществ (биоценология) изучает ассоциации популяции разных видов растений, животных и микроорганизмов, образующих биоценозы, их формирование и развитие, структуру, динамику,

взаимодействие с физико-химическими факторами среды, энергетику, продуктивность, а также другие особенности.

Между разделами экологии существует тесная взаимосвязь и преемственность.

Исходя из вышесказанного необходимо сделать вывод о том, что в зависимости от того, на что обращается основное внимание – на особый (организм), популяцию, вид или комплекс видов, проводят аутэкологические, демэкологические, или синэкологические исследования.

Экологические подходы можно разделить на несколько групп.

**Частная,** или **специальная, экология** занимается изучением экологических аспектов конкретных организмов или сообществ. В зависимости от объекта исследований она подразделяется на экологию растений, животных, человека, экологию сельскохозяйственных экосистем - агроэкология, растительных сообществ - фитоценологию и т.д.

В недрах специальной экологии сформировался еще один раздел экологии - **прикладная экология**. Она стала изучать способы предотвращения нежелательных последствий антропогенного воздействия на природу и на здоровье самих людей. В этой области оказалось недостаточно достижений одной лишь биологии, поэтому и химия, и физика, и инженерные знания были использованы в полной мере. Такие науки, как промышленная (инженерная), сельскохозяйственная, промысловая экология, изучают возможность использования природных ресурсов и среды жизни, допустимые нагрузки на них, формы управления и хозяйствования. Они исследуют воздействие промышленности, транспорта, сельского хозяйства на природу и, наоборот, влияние естественной природной среды на функционирование промышленных предприятий и сельскохозяйственных комплексов.

В первой четверти XX века оформилось направление, позже получившее название **теоретической экологии**.

В наше время особое значение получает **количественая экология** – направление, изучающее динамику отдельных экологических систем, их продуктивность и математическое моделирование отдельных экологических процессов.

С 70-х гг. 20 в. складывается **экология человека**, или социальная экология, изучающая закономерности взаимодействия общества и окружающей среды, а также практические проблемы ее охраны; включает различные философские, социологические, экономические, географические и другие аспекты (напр., экология города, техническая экология, экологическая этика и др.). В этом смысле говорят об «экологизации» современной науки. Экологические проблемы, порожденные современным общественным развитием, вызвали ряд общественно-политических движений («Зеленые» и др.), выступающих против загрязнения окружающей среды и др. отрицательных последствий научно-технического прогресса.

Слово «экология» сегодня можно прочитать на лозунгах, под которыми проходят демонстрации представителей экологического движения, в статьях юристов, экономистов, представителей других профессий. В стороне остались только биологи - ученые, исканиями которых этот термин обрел жизнь и дал новое направление в современной науке.

Итак, прежде всего определимся, чем же экология отличается от направлений природоохранной деятельности.

**Охрана природы** представляет собой научный комплекс мер по сохранению, рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов и естественной окружающей среды, в том числе видового разнообразия флоры и фауны, богатства недр, чистоты вод, лесов и атмосферы Земли. Охрана природы является прикладной экологической областью знания о сохранении систем жизнеобеспечения Земли. Мероприятия по охране природы предполагают разработку общих принципов и методов сохранения и восстановления природных ресурсов и включают такие разделы, как охрану атмосферы, земель, вод, растительного и животного мира и т.п. Разработкой правовых мер по охране природы занимаются соответствующие министерства и ведомства.

Под **охраной окружающей среды** понимают комплекс мер, предназначенных для ограничения отрицательного влияния человеческой деятельности на окружающую среду. Охрана окружающей среды концентрирует свое внимание прежде всего на потребностях самого человека. Это комплекс самых различных мероприятий (административно-хозяйственных, технологических, юридических, общественных и пр.), направленных на обеспечение функционирования природных систем, необходимых для сохранения здоровья и благосостояния человека.

**Природопользование** предполагает использование природных ресурсов в процессе хозяйственной деятельности с целью достижения определённого экономического эффекта. Оно направлено на удовлетворение различных потребностей человека путем *рационального использования природных ресурсов* и природных условий. Объект природопользования – комплекс взаимоотношений между природными ресурсами, естественными условиями жизни общества и его социально-экономическим развитием.

В качестве рационального подхода к природопользованию можно привести несколько примеров.

*Пример первый. Рыболовство с давних пор было одним из главных занятий норвежцев. Ловить рыбу ходили через океан к отмелям у берегов Исландии и Нью-Фаундленда. Ловили преимущественно сельдь, но в небольшом количестве и семгу, или европейского лосося, который через фьорды заходит в горные речки Норвегии на нерест.*

*Около 20 лет назад норвежцы догадались изменить технику лова лососей. После захода рыбы на нерест они перегораживают выход из нескольких фьордов в море мелкоячеистой сетью. После созревания икры мальки лососей скатываются по речкам во фьорд, но выйти из него не могут. Их подкармливают сначала рыбным фаршем, а потом мелкой «сорной» рыбой, которую вылавливают у берегов Норвегии. Молодые лососи быстро растут, через 3-4 года достигают веса 9-10 кг, после чего их легко вылавливают неводами.*

*Новый способ разведения и лова позволил Норвегии увеличить ежегодную добычу лосося с нескольких десятков тысяч тонн до 500 тыс. т, т. е. более чем на порядок. В любом европейском ресторане теперь можно получить сравнительно дешевую норвежскую лососину. А норвежские рыболовы стали жить намного богаче.*

*Другим примером целесообразного изменения природных экосистем может служить разведение морских моллюсков в Японии, Китае и Вьетнаме. В этих странах некоторые виды бентосных морских моллюсков с давних пор употребляют в пищу. Однако в последние два десятилетия началось их искусственное разведение. Обширные площади прибрежного мелководья*

*этих стран были предварительно расчищены от другой донной фауны, а потом заселены теми видами съедобных моллюсков, что наиболее быстро растут.*

*Никто не знает, сколько съедобных морских моллюсков вылавливали раньше, но в последние годы их суммарная добыча составила 5 млн т, и это стало существенным подспорьем в пищевом балансе населения Юго-Восточной Азии.*

*Примером рационального природопользования может также служить лесное хозяйство Германии, где приняли закон (и он строго соблюдается), что площадь, занимаемая лесами, не должна быть меньше 27% всей территории страны. В лесах там нет ни поваленных гниющих стволов деревьев, ни пней. Леса Германии все вторичные и однородные. Для посадок выбраны породы деревьев с хорошей, крепкой древесиной и относительно быстрым ростом. До высоты примерно 600 м леса состоят из бука, а в горных районах юга Германии - из особого вида ели. Бук относительно быстро наращивает древесину - за 45 лет, ель - за 60 лет. По достижении такого возраста лес вырубают, а освободившиеся площади засаживают молодыми деревьями. Такой способ ведения лесного хозяйства обеспечивает Германию необходимой древесиной и не нарушает экологического равновесия. В лесах Германии водятся благородные олени, косули, кабаны и зайцы, гнездятся тетерева и певчие птицы.*

Таким образом, смешение понятий экологии, охраны природы, охраны окружающей среды и природопользование совершенно неправомерно, поскольку экология как фундаментальная наука о взаимоотношениях живых организмов и среды обитания значительно шире учения лишь об охране и защите этой природной среды. Экология является фундаментом, базисом, на основании которой развиваются указанные науки, которые являются ее прикладными сферами.

## 1.6. ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

*Одно из первых и всеми признаваемых условий счастья есть жизнь такая, при которой не нарушена связь человека с природой, то есть жизнь под открытым местом, при свете солнца, при свежем воздухе; общение с землей, растениями животными. Всегда все люди считали лишение этого большим несчастьем.*

**Л.Н.Толстой**

В настоящее время становится ясным, что многие, если не все без исключения, современные глобальные проблемы по своей сути экологические. И они не могут быть решены без использования экологической методологии. Это проблемы и голода, и энергетики, и использования ресурсов Мирового океана, и опустынивания, и чистой воды, и даже проблема проблем современного мира — проблема ядерной войны.

Экологические проблемы современности по своим масштабам условно могут быть разделены на *локальные, региональные и глобальные,* а среди большинства международных экологических конфликтов можно выделить четыре категории: распределение водных ресурсов, загрязнение морей, чистота воздуха, чистота воды.

Завод, сбрасывающий без очистки в реку свои промышленные стоки, вредные для здоровья людей, хищническая рубка векового лесного массива, ненормированные выбросы вредных веществ в атмосферу в результате работы промышленного предприятия - все это примеры *локальных* экологических проблем.

Примером *региональных* экологических проблем может служить проблема Полесья - болотистого края с недавно проведенной масштабной мелиорацией. Неправильный, неэкологичный подход к выбору мелиорируемых объектов и ненаучные методы проведения мелиорации привели к тому, что южная часть Беларуси выведена из состояния экологического равновесия. Шли под сведения леса, спрямлялись реки, уничтожались гнездовья водоплавающих птиц, торфяники отдавались под пропашные культуры. В результате пропали озера, уничтожен лес, постоянно распахиваются торфяники. Все это привело к черным пылевым бурям, которые периодически в апреле-мае закрывают горизонт. Верхний слой торфа сносится ветром и обнажаются подстилающие пески. Если учесть, что болота - санитары агроэкосистем, т.е. играют важную роль как регуляторы гидрологического режима территорий, запасают влагу в период таяния снегов и осенних осадков, а также питают ручьи и реки в сухие периоды года, то пример экологической катастрофы налицо.

К региональным экологическим проблемам можно также отнести: проблему Кузбасса – почти замкнутой в горах котловины, заполненной газами коксовых печей и дымами металлургического гиганта, об улавливании которых при строительстве никто не думал; проблему высыхающего Аральского моря с резким ухудшением экологической обстановки на всей его периферии; высокую радиоактивность почв в районах, прилегающих к Чернобылю.

Для решения таких проблем уже нужны научные исследования – разработка рациональных методов поглощения дымовых и газовых аэрозолей, точные гидрологические исследования для выработки рекомендаций по увеличению стока в Аральское море, выяснение влияния длительного воздействия слабых доз радиации на здоровье население и разработка методов дезактивации почв и т.п.

Однако антропогенное воздействие на природу достигло таких масштабов, что возникли проблемы *глобального* характера, о которых в начале XX в. никто не мог даже подозревать. Глобальные экологические проблемы современности (фр. global – всеобщий) – это совокупность проблем человечества, от решения которых зависит социальный прогресс и сохранение цивилизации, это проблемы, существующие в масштабах всего земного шара.

*Примером экологической катастрофы, вызванной воинским конфликтом, являются события, которые происходили на территории Кувейта и близлежащих територий Персидского залива после операции «Буря в пустыни» в начале 1991 г. Отступая из Кувейта, иракские оккупанты подорвали взрывчаткой свыше 500 нефтяных буровых скважин. Значительная их часть вспыхнула и горела на протяжении шести месяцев, отравляя вредными газами и сажей большую территорию. Из буровых скважин, которые не воспламенились, нефть била фонтанами, образовывая большие озера и стекала в Персидский залив. Сюда же вылилось большое количество нефти из подорванных терминалов и танкеров. В результате нефтью было покрыто близко 1554 км2 поверхности моря, 450 км береговой полосы, где погибло большинство птиц, морских черепах, дюгоней и других животных. В огневых факелах ежесуточно сгорало 7,3 млн л нефти, которая равняется объему нефти, которая ежедневно импортирует США. Черные дожди выпадали в*

*Саудовской Аравии и Иране, черный снег — в Кашмире (за 2 000 км от Кувейта). Загрязненное нефтяной сажей воздуха вредно влияло на здоровье людей, так как сажа содержала много канцерогенов.*

Особенности глобальных экологических проблем:

- имеют планетарный, общемировой характер, затрагивают интересы всех народов мира;
- угрожают деградацией и гибелью всему человечеству;
- нуждаются в неотложных и эффективных решениях;
- требуют коллективных усилий всех государств.

Ниже мы перечислим основные глобальные экологические проблемы современности, конкретно-же о некоторых из них поговорим в других разделах.

■ изменение климата Земли, парниковый эффект (глобальное антропогенное потепление);

■ разрушение озонового экрана, возникновение так называемых «озоновых дыр», снижающих защитные возможности атмосферы против поступления к поверхности Земли опасной для живых организмов жесткой коротковолновой ультрафиолетовой радиации;

■ химическое загрязнение атмосферы, и как следствие этого образование кислотных осадков;

■ демографическая проблема, демографический кризис, относительное перенаселение Земли в некоторых регионах;

■ чрезмерная урбанизация - рост количества и численности городов, приводящие к существенным перестройкам ландшафтов Земли;

■ загрязнение почв, уменьшение их площадей;

■ загрязнение Мирового океана и изменение свойств океанических вод за счет нефтепродуктов, насыщения их углекислым газом атмосферы;

■ загрязнение поверхностных вод суши;

■ радиоактивное загрязнение локальных участков с тенденцией его расползания по поверхности Земли;

■ опустынивание обширных территорий;

■ истребление лесного покрова Земли, уменьшение площадей тропических и северных лесов, сокращение площади тропических лесов и северной тайги - основных источников поддержания кислородного баланса планеты;

■ продолжающееся накапливание на поверхности Земли бытового мусора и всякого рода твердых и жидких отходов, управление отходами, образуемыми в процессе человеческой деятельности;

■ уменьшение биологического разнообразия флоры и фауны и устойчивости экосистем.

■ замусоривание околоземного космического пространства (ОКП), последствия которого до конца пока не осмыслены, если не считать реальную опасность космическим аппаратам, включая спутники связи, локации поверхности земли и другие, широко использующиеся в современных системах взаимодействия между людьми, государствами и

■ изменение геохимии ландшафтов, в связи с теплоэнергетикой, перераспределением элементов между недрами и поверхностью Земли в результате горно-металлургического

передела (например, концентрация тяжелых металлов) или извлечения на поверхность аномальных по составу, высокоминерализованных подземных вод и рассолов;

■ продовольственная проблема, состоящая в нехватке калорийного и рационального питания, которым, по данным ООН, обеспечена лишь треть населения Земли. Продовольственная проблема тесно связана с демографической проблемой;

■ энергетическая и сырьевая проблема. Проблема обеспечения человечества топливом и сырьем;

■ нарушение глобального и регионального экологического равновесия, соотношения экологических компонентов в прибрежной части суши и моря;

■ освобождение в результате всех вышеуказанных процессов экологических ниш и заполнение ими иными, видами;

■ исчерпание многих месторождений минерального сырья и постепенный переход от богатых ко все более бедным рудам.

Таковы основные насущные экологические проблемы современности. Решение их, а значит и спасение жизни на Земле, зависит не только от профессиональных экологов, но также и от всех простых людей на планете Земля. Каждый должен быть в ответе за судьбу нашей планеты.

## 1.7. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЗАДАЧИ СОВРЕМЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

Какое же значение играет экология и экологические исследования в жизни человеческого общества на современном этапе его развития?

Цель всех экологических исследований заключается в поиске путей обеспечения нормальных условий жизни людей настоящего и будущих поколений. Человек существует в окружающей его среде. Поэтому экологические исследования должны прежде всего обеспечить сохранение пригодной для жизни человека окружающей среды.

Следует учесть, что экология наука очень молодая (по сравнению с такими классическими науками, как математика, физика, ботаника, зоология, медицина, философия и др.). Но, несмотря на это, именно экология (как наука) является основой, базисом, фундаментом, на котором строят свои знания все остальные ответвления наук, связанные с охраной природы, охраной окружающей среды и рациональным природопользованием. Законы экологии вытекают из фундаментальных законов физики, биологии, математики. Они объективны и независимы от нас. Без знания законов существования и развития природы все наши усилия направляются на борьбу с последствиями, а не с причиной, породившей конфликт человека и природы. Спасти человека - это, прежде всего, сохранить природу. Вывод из сказанного прост: начинать надо с изучения законов, по которым живет и развивается природа.

Экология – наука, имеющая разнообразное практическое применение. Современному обществу просто необходимо знать и учитывать законы экологии для разумной хозяйственной деятельности, будь то сельское хозяйство, промышленное производство, исследования климата, почв. Экология непосредственным образом связана с вопросами здравоохранения, безопасности жизнедеятельности человека.

На современном этапе развития человеческого общества, в разгар глобального экологического кризиса, когда многократно усилилось его воздействие на биосферу, практическое значение экологии необычайно возросло. Экология должна служить научной базой любых мероприятий по использованию и охране природных ресурсов, по сохранению среды в благоприятном для обитания человека. Познание основных принципов трансформации вещества и энергии в природных экосистемах создаёт теоретическую основу для разработки практических мероприятий по увеличению количества и качества пищевых продуктов, производимых в биосфере. Знание основных факторов динамики популяции необходимо для ведения борьбы с вредителями сельского и лесного хозяйства, с переносчиками и хранителями заболеваний.

Экология служит теоретической основой для разработки мер по переходу от промысла диких видов растений и животных к их культивированию и к другим формам более рационального их использования. На данных экологии основывается рациональное ведение рыболовства, рыбоводства и охотничьего хозяйства.

Разработка мер по охране и рациональному использованию дикой природы, создание сети заповедников, заказников и национальных парков, планирование ландшафта также производятся по рекомендациям, разрабатываемым экологами.

Информация, полученная при экологических исследованиях, должна быть использована при землеустройстве, решении важнейших вопросов кадастра и мониторинга земель, при оценке плодородия почв.

Особенно важно использовать результаты исследований загрязненных и других деградированных земель на массивах сельскохозяйственных угодий, прежде всего на пашне, где возделывают культуры, продукция которых идет в пищу. При землеустройстве, ориентированном на экологически сбалансированное использование земель, следует учитывать также физическую деградацию почв, антропогенные изменения осушаемых и орошаемых почв и их возможные негативные экологические последствия, воздействие кислотных дождей на почвы, загрязнение водных источников биогенными веществами и различными физическими соединениями.

Прежде всего, экологический подход необходим для научно обоснованного ведения сельского хозяйства. Продукты питания составляют основу жизнедеятельности человека, и производство пищи – важная задача, учитывая все увеличивающееся число жителей на планете Земля. Например, чтобы эффективно бороться с вредителями сельскохозяйственных культур и правильно выбрать момент для применения инсектицидов, фунгицидов или каких-либо других химических препаратов, нужно хорошо знать жизненные циклы соответствующих видов организмов. Экологичными могут быть определенные сельскохозяйственные приемы и методы. К ним можно отнести передвижение сроков посева и уборки урожая, способствующие созданию неблагоприятных условий для вредителей, или ограничение численности последних путем интродукции специфических паразитов и хищников.

Принципы экологии приложимы к исследованию климата и почв, необходимых для различных сельскохозяйственных культур, к организации разведения животных в тех или иных климатических условиях, а также к разработке рациональных севооборотов и поддержанию определенного уровня разнообразия агроценозов.

Изучение с экологической точки зрения заболеваний человека, животных или растений составляет основной предмет эпидемиологии. Этой наукой разработаны системы мер, ограничивающих распространение таких болезней, как малярия, тиф, чума, желтая лихорадка и сонная болезнь. Подобные меры обычно включают борьбу с насекомыми–переносчиками заболеваний. Как и в случае с сельскохозяйственными вредителями, эта борьба должна основываться на хорошем знании экологии соответствующих организмов.

Резюмируя, можно сказать, что практическое значение экологии состоит, прежде всего, в решении вопросов природопользования. Именно экология должна создать научную основу эксплуатации природных ресурсов. Законы, лежащие в основе естественных природных процессов, будут в центре нашего внимания.

Стратегической задачей экологии считается развитие теории взаимодействия природы и общества на основе современной концепции устойчивого развития, основная цель которой - сохранение и устойчивое использование биологического разнообразия на планете, а также получение выгод, связанных с применением генетических ресурсов на равной и справедливой основе.

***Задачи экологии*** весьма многообразны. В ***общетеоретическом плане*** к ним можно отнести:

- разработку общей теории устойчивости экологических систем;
- изучение экологических механизмов адаптации к среде как отдельных организмов, так и их сообществ;
- изучение биологического разнообразия и механизмов его поддержания;
- исследование продукционных процессов;
- исследование процессов, протекающих в биосфере, с целью поддержания ее устойчивости;
- моделирование состояния экосистем и глобальных биосферных процессов.

Основные ***прикладные задачи***, которые экология должна решать в настоящее время, можно свести к следующим положениям:

- прогнозирование и оценка возможных отрицательных последствий в окружающей природной среде влияния деятельности человека (антропогенные факторы);
- улучшение качества окружающей природной среды;
- сохранение, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов;
- оптимизация инженерных, экономических, организационно-правовых, социальных и иных решений для обеспечения экологически безопасного устойчивого развития в первую очередь в экологически наиболее неблагополучных районах.

Таким образом, круг задач современной экологии очень широкий и охватывает практически все вопросы, которые затрагивают взаимоотношения человеческого общества и естественной среды, а также проблемы гармонизации этих отношений. Из сугубо биологической науки, которой была экология всего каких-то 30-40 лет тому, сегодня она стала многогранной комплексной наукой, главной целью которой есть разработка научных основ спасения человечества и среды его существование — биосферы планеты, рационального природопользования и охраны природы. Ныне экологическим воспитанием охватываются все слои населения на планете. Познание законов гармонизации, красоты и рациональности природы поможет человечеству найти верные пути выхода из

экологического кризиса. Изменяя и в дальнейшем естественные условия (общество не может жить иначе), люди будут вынуждены делать это обдуманно, взвешенно, предусматривая далекую перспективу и опираясь на знание основных экологических законов.

## ГЛАВА 2. АУТЭКОЛОГИЯ. ОРГАНИЗМ И СРЕДА ОБИТАНИЯ. ОСНОВНЫЕ СРЕДЫ ЖИЗНИ

*Одной из самых замечательных особенностей организмов, поражающей нашу пытливость, является их тонкая приспособленность к окружающей среде.*
**В.И.Талиев – российский ботанико-географ**

Термин «аутэкология» (др.-греч. «αὐτός» — «сам») был введён швейцарским ботаником К. Шрётером в 1896 г. для обозначения экологии особей. Аутэкология изучает взаимоотношения живого организма с окружающей средой; границы его распространения, морфофизиологические реакции на воздействие среды, устойчивость по отношению к различным ее факторам, адаптированность физиологии и морфологии организмов к среде.

Внимание аутэкологии концентрируется каком-либо одном виде. Это направление в экологии имело и по сей день имеет большое прикладное значение, в особенности в области биологических методов борьбы с вредителями растений, исследований переносчиков болезней и профилактики переносимых паразитами инфекций.

В отличие от демэкологии и синэкологии, сосредоточенных на изучении взаимоотношений со средой популяций и сообществ, аутэкология исследует индивидуальные организмы на стыке с физиологией.

Впервые аутэкология выделена в самостоятельный раздел экологии на III Международном ботаническом конгрессе (1910).

Основные постулаты аутэкологии:

- закон оптимума: по любому экологическому фактору любой организм имеет определенные пределы распространения (пределы толерантности). Как правило, в центре ряда значений фактора, ограниченного пределами толерантности, лежит область наиболее благоприятных условий жизни организма, при которых формируется самая большая биомасса и высокая плотность популяции. Напротив, у границ толерантности расположены зоны угнетения организмов, когда падает плотность их популяций и виды становятся наиболее уязвимыми к действию неблагоприятных экологических факторов, включая и влияние человека.

- закон индивидуальности экологии видов: каждый вид по каждому экологическому фактору распределен по-своему, кривые распределений разных видов перекрываются, но их оптимумы различаются. По этой причине при изменении условий среды в пространстве или во времени состав экосистем изменяется постепенно.

- закон лимитирующих (ограничивающих) факторов: наиболее важным для распределения вида является тот фактор, значения которого находятся в минимуме.

Исследования в области аутэкологии широко используются в сельскохозяйственной практике, например, при выборе сортов растений и пород животных, которые наиболее целесообразно выращивать или разводить в конкретном районе.

## 2.1. ПРИРОДНАЯ СРЕДА ОБИТАНИЯ. АБИОТИЧЕСКАЯ И БИОТИЧЕСКАЯ СРЕДЫ

*Ах, эта среда обитания!*
*Все связаны между собой*
*Обменом, цепями питания,*
*Составом, структурой, судьбой.*
**Е.Николаевская – российский поэт**

Живые организмы всегда находятся во взаимодействии с окружающими их природными образованиями, природными явлениями. Об историческом единстве живых организмов и их окружения еще в прошлом столетии писал выдающийся физиолог И. Сеченов: «Организм без внешней среды, поддерживающей его существование, невозможен; поэтому в научное определение организма должна входить и среда, влияющая на него».

Совокупность природных условий и явлений, окружающих живые организмы, с которыми эти организмы находятся в постоянном взаимодействии, носит название **среды обитания**. Это та часть природы, которая окружает живой организм и оказывает на него прямое или косвенное влияние.

Роль среды двояка. Прежде всего, живые организмы получают пищу из среды, в которой обитают. Кроме этого, разнокачественные среды ограничивают распространение организмов по Земному шару. Жаркий и сухой климат пустыни препятствует жизни в ней большинства организмов, точно так же как из-за жесткого холода в полярных областях обитать в них могут лишь очень немногие, наиболее выносливые виды. Именно среда изменяет организмы прежде всего тем, что способствует их совершенствованию путем естественного отбора. Организмы не просто приспосабливаются к среде, но эволюционируют.

В свою очередь, жизнедеятельность организмов оказывает более или менее существенное влияние на среду. Средообразующая роль живых организмов велика. Растения выделяют кислород, и тем самым поддерживают баланс последнего в атмосфере планеты. Высокие растения (деревья и кустарники) затеняют почву, способствуют перераспределению влаги, вместе с травами создают особый микроклимат. Растения и животные оказывают влияние на структуру и свойства почвы. Если происхождение природных явлений не связано с жизнедеятельностью ныне живущих организмов (в том числе и человека), то мы имеем дело со средой **абиотической**, т.е. неживой.

В противном случае, когда силы и явления природы обязаны своим происхождением жизнедеятельности организмов, среда обитания носит название **биотической** - это живая среда обитания.

Несмотря на то что живую природу почти всегда легко отличить и отделить от неживой, они не существуют раздельно, независимо. Совершенно очевидно, что жизнь без физической среды невозможна. Влияние, оказываемое живыми существами на физическую

среду, не столь явно, однако оно имеет не менее важное значение для сохранения жизни на Земле. Свойства почвы, атмосферы, озер и океанов, а также разнообразных осадков, превратившихся в породу под действием геологических факторов, частично обусловлены жизнедеятельностью человека и животных.

Благоприятные или неблагоприятные природные факторы (климат, пища, враги, конкуренты) образуют среду, к которой должна приспособиться не только единичная особь в ее борьбе за жизнь, но и вид в целом. Приспособленность вида к какой-либо постоянной среде является предпосылкой его длительного стабильного существования.

Приспособление организма к среде обитания носит название **адаптации**. С позиции экологии можно считать, что многообразие организмов, их изменчивость и сохранение в природе, их становление и существование являются результатом воздействия окружающей среды и адаптации. В природе адаптации организмов всегда развиваются под воздействием трех основных факторов: изменчивости, наследственности и естественного отбора. Совокупность адаптаций придает строению и жизнедеятельности организмов черты целесообразности.

Адаптации могут основываться на структурных особенностях организма (анатомо-морфологические адаптации), на специфических формах функционального ответа на внешние воздействия (физиологические адаптации). Широко известны примеры физиологической адаптации - зимняя спячка животных, сезонные перелеты птиц. У высших животных важную роль в адаптации играет высшая нервная деятельность, на базе которой формируются приспособительные формы поведения – этологические адаптации.

С позиции экологии можно считать, что многообразие организмов, их изменчивость и сохранение в природе, их становление и существование являются результатом воздействия окружающей среды и адаптации. Приспособленность вида к какой-либо постоянной среде является предпосылкой его длительного стабильного существования.

Способность к адаптациям – одно из основных свойств жизни на нашей планете. Адаптации обеспечивают возможность существования организмов, возможность их выживания и размножения.

Адаптации могут проявляться на разных уровнях существования живой материи – от клеточного (биохимическая адаптация) и организменного до уровня организации сообществ и экосистем.

Жизнь полностью зависит от физической среды: во-первых, организмы получают пищу из этой среды, во-вторых, распространение растений и животных ограничивается их выносливостью к физическим условиям. Жаркий и сухой климат пустыни препятствует жизни в ней большинства организмов, точно так же как из-за жесткого холода в полярных областях обитать в них могут лишь очень немногие, наиболее выносливые виды.

Жизнедеятельность организмов в свою очередь оказывает влияние на физическую среду, и нередко это влияние очень существенно. Кислород, который мы, не задумываясь, потребляем при каждом вдохе, выделяется главным образом зелеными растениями в процессе фотосинтеза. До того, как в первичном океане появились зеленые растения, атмосфера Земли состояла в основном из метана, аммиака, водяных паров и водорода. Первые водные растения, используя солнечный свет в качестве источника энергии, начали выделять кислород, часть которого освобождалась из океана и накапливалась в атмосфере.

Не менее важное значение оказывают растения на свойства почвы. Их корни проникают в трещинки, даже самые маленькие, и способствуют измельчению породы. Бактерии и грибы ускоряют выветривание горной породы. Гниющие растительные остатки выделяют кислоты, которые также вызывают химическое выветривание. Животные участвуют в процессе почвообразования, прорывая в земле норы и ходы, вытаптывая ее, а также внося в нее свои экскременты.

Взаимозависимость физического и биологического миров лежит в основе концепции экосистемы. В экосистему входит не только комплекс организмов, но и вся общность физических факторов, образующих то, что мы называем средой обитания - факторы местообитания в самом широком смысле слова. Хотя главным интересующим нас объектом обычно являются организмы, однако, пытаясь проникнуть в самую сущность вещей, мы не можем отделить организмы от их особой среды, в сочетании с которой они образуют некую физическую систему.

В условиях нашей планеты существует четыре среды обитания для живых организмов:

- водная среда - совокупность океанов, морей, вод континентов, ледниковых покровов (гидросфера);
- наземно-воздушная – приурочена к поверхности земли нижним слоям атмосферы;
- почвенная - рыхлый поверхностный слой земной коры, преобразованный в процессе выветривания и населенный живыми организмами;
- непосредственно сами живые организмы, заселенные паразитами, полупаразитами и симбионтами (организмы, существующие совместно и извлекающие пользу от сожительства, например, лишайники).

## 2.2. ВОДНАЯ СРЕДА ОБИТАНИЯ

*Воде была дана волшебная власть стать соком жизни на Земле. Жизнь — это одухотворенная вода.*
**Леонардо да Винчи – итальянский художник и учёный**

### *Общая характеристика гидросферы*

*Благословен Господь за нашу сестру – воду, что так полезна, и драгоценна, и смиренна, и целомудренна.*
**Св. Франциск Ассизский - католический святой**

Водная оболочка нашей планеты, совокупность океанов, морей, вод континентов, ледниковых покровов носит название ***гидросфера***. В более широком смысле в состав гидросферы включают также подземные воды, лёд и снег Арктики и Антарктики, а также атмосферную воду и воду, содержащуюся в живых организмах.

Основная масса воды гидросферы сосредоточена в морях и океанах, второе место по объёму водных масс занимают подземные воды, третье — лёд и снег арктических и антарктических областей (табл. 2.1). Эта жидкая оболочка, покрывающая планету, наиболее отличает Землю от соседних от них планет. Общий объем природных вод составляет

примерно 1,39 млрд км$^3$ (1/780 объема планеты). Воды покрывают 71 % поверхности планеты (361 млн км$^2$).

Таблица 2.1. Структура запасов воды на планете

| Источники запасов | Запасы воды, % от ее общего количества |
|---|---|
| Океаны | 97,2 |
| Поверхностные воды: | |
| пресные озера | 0,009 |
| соленые озера и | 0,008 |
| внутренние моря | 0,0001 |
| русла рек | 0,62 |
| Подземные воды | 2,15 |
| Ледники и ледниковые шапки | 0,001 |
| Атмосфера | 100 |

Вода - составная часть всех элементов биосферы - не только водоемов, но и воздуха, почвы, живых существ. Она является самым распространенным на нашей планете природным соединением: есть и в воздухе, и на Земле, образует моря и океаны. Вода - это источник жизни и первая среда на нашей планете. Без нее невозможно существование ни животных, ни растений, ни человека. Для выживания живого организма ежедневно требуется определенное количество воды, поэтому свободный доступ к воде – жизненная необходимость.

Вода обладает многими интересными, порой, парадоксальными свойствами. Так, большинство жидкостей при охлаждении сжимается примерно на 10%. Вода тоже, но только до определенной температуры. Подойдя вплотную к точке замерзания, она начинает – против всех правил, совершенно невероятным образом – расширяться. После затвердевания она становится почти на десятую часть объемнее, чем была прежде. Из-за этого расширения лед плавает на поверхности воды. Не обладай он этим свойством, лед тонул бы и озера с океанами начинали бы замерзать со дна. Не плавай лед на поверхности, тепло уходило бы из воды, делая ее еще холоднее и порождая еще больше льда. Впоследствии и океаны бы замерзли, и, очевидно, очень надолго.

Жидкая оболочка, покрывающая планету, наиболее отличает Землю от соседних с ней планет. Земля уникальна не только тем, что имеет так много воды в жидкой фазе, но и решающей ролью воды в формировании особенных черт планеты. Гидросфера важна для развития жизни не только в химическом смысле, велика также ее роль в поддержании относительно неизменного климата, что позволило жизни воспроизводиться в течение более трех миллиардов лет. Поскольку для жизни необходимо, чтобы преобладающие температуры были в диапазоне от 0 до 100$^o$C, т.е. в пределах, которые позволяют гидросфере оставаться в основном в жидкой фазе, то можно сделать вывод, что температура на Земле на протяжении большей части ее истории отличалась большим постоянством.

Гидросфера служит планетарным аккумулятором неорганического и органического вещества, которое приносится в океан и другие водоемы реками, атмосферными потоками,

а также образуется самими водоемами. Вода – великий распределитель тепла на Земле. Нагретая Солнцем у экватора, она переносит тепло гигантскими потоками морских течений в Мировом океане.

Открытый океан беден биогенными элементами. Эти районы можно считать «пустынями» по сравнению с прибрежными водами. Арктические и антарктические зоны более продуктивны, так как плотность планктона растет при переходе от теплых морей к холодным, и фауна рыб и китообразных здесь значительно богаче. Продуцентом является фитопланктон, им питается зоопланктон, а тем в свою очередь нектон.

Видовое разнообразие фауны снижается с глубиной. На глубине в стабильных местообитаниях сохранились виды из далеких геологических эпох.

Вода способствует формированию климата на Земле, ее могучая сила преобразует нашу планету, уничтожая подчас творение рук человеческих. Поэтому нашу планету иногда называют водной планетой. Без воды жизнь невозможна. Тем, кто привык, что для получения воды достаточно только повернуть водопроводный кран, иногда трудно себе представить, как ценна вода для тех, кто не имеет возможности пользоваться ею в достаточных количествах.

Например, женщинам во многих африканских селениях приходится каждый день в течение нескольких часов бродить по окрестностям в поисках какой-нибудь речушки или застойного водоема, а затем возвращаться домой, неся на голове 15-20 литров драгоценной влаги в глиняных кувшинах (рис. 2.1). В подавляющем большинстве случаев они берут с собой в помощники дочерей. В связи с этим мальчики, остающиеся дома, имеют больше возможности получить образование, девочки же в основном остаются неграмотными. Дети из свыше миллиона семей вынуждены таскать воду, а не учиться в школе или заниматься какими-то другими вещами.

Свыше 17 миллионов женщин и девочек в Африке вынуждены таскать воду для своих домашних хозяйств и семей, преодолевая десятки километров и тратя на эту повинность по несколько часов в день. В среднем женщины и дети проходят 10-15 км в день, собирая и таская каждый раз до 20 кг или 15 л воды. Так, в Египте ежедневно почти 30% женщин ходят пешком более 1 часа, чтобы удовлетворить нужды в воде. В некоторых частях Африки женщины и дети тратят 8 часов в день на сбор воды. Ежегодно африканские женщины и девочки тратят более 10 млн. человек-лет на доставку воды из отдаленных источников.

По подсчетам, в одной Южной Африке ежедневно женщины, собирая воду для своих семей, проходят эквивалентное расстояние до Луны и обратно 16 раз.

Экономическая стоимость такого безвозмездного вклада огромна: согласно оценкам, ежегодно в Индии женщины тратят 150 млн. рабочих дней на доставку воды, что эквивалентно потере национального дохода в 10 млрд. рупий.

Проблема нехватки воды возникла из-за нескольких причин. Прежде всего, это увеличение расхода ее для насущных нужд человека. Основное количество воды человечеством тратится в сельском хозяйстве. В основном – это полив сельскохозяйственных культур. Сегодня человечество использует 54% пресной воды, имеющейся на планете, почти две трети - для сельского хозяйства.

Рис. 2.1. Женщины, собирающиеся на поиски воды в Южной Африке

Для получения высоких урожаев требуется много воды: так, например, на выращивание 1 кг вишни расходуется 3000 л воды, риса — 2400 л, кукурузы в початках и пшеницы — 1000 л, зеленых бобов — 800 л, винограда — 590 л, шпината — 510 л, картофеля — 200 л и лука — 130 л.

В сельском хозяйстве природная вода идет не только на полив посевов, но также на пополнение запасов подземных вод (чтобы предупредить слишком быстрое опускание уровня грунтовых вод); на вымывание (или выщелачивание) солей, накопившихся в почве, на глубину ниже корнеобитаемой зоны возделываемых культур; для опрыскивания против вредителей и болезней; защиты от заморозков; внесения удобрений; снижения температуры воздуха и почвы летом; для ухода за домашним скотом; эвакуации обработанных сточных вод, используемых для орошения (преимущественно зерновых культур); и переработки собранного урожая.

Много воды потребляется в пищевой промышленности. Для переработки разных пищевых культур требуется неодинаковое количество самой лучшей воды в зависимости от продукта, технологии изготовления и доступности воды соответствующего качества в достаточном объеме. В США на производство 1 т хлеба расходуется от 2000 до 4000 л воды, а в Европе — лишь 1000 л и всего 600 л в некоторых других странах. Для консервирования фруктов и овощей требуется от 10 000 до 50 000 л воды на 1 т в Канаде, а в Израиле, где вода представляет собой большой дефицит, — только 4000–1500. На переработку 1 т молока требуется от 2000 до 5000 л воды, а на производство 1000 л пива в Великобритании — 6000 л, а в Канаде — 20 000 л.

Чтобы европеец мог выпить один стакан апельсинового сока, в Бразилии, например, приходится потратить на орошение 25 стаканов воды.

Наиболее водоемкая отрасль промышленности - целлюлозно-бумажная промышленность. На производство каждой тонны целлюлозы и бумаги в среднем затрачивается 150 000 л воды во Франции и 236 000 л в США. В процессе производства газетной бумаги на Тайване и в Канаде расходуется около 190 000 л воды на 1 т продукции, производство же тонны высококачественной бумаги в Швеции требует 1 млн. л воды.

Высоко водопотребление и в металлургической промышленности. В ЮАР при добыче 1 т золотой руды расходуется 1000 л воды, в США при добыче 1 т железной руды 4000 л и 1

т бокситов — 12 000 л. Для производства железа и стали в США требуется примерно 86 000 л воды на каждую тонну продукции. Электроэнергетика.

Общие запасы воды на Земле в свободном состоянии достаточно хорошо известны и составляют 1.3 миллиарда кубических километров. Сама по себе эта цифра ничего не говорит, но если бы этой водой равномерно покрыть Земной шар, то ее слой составил бы 3700 м.

Царство воды почти целиком океаническое. 97% всей имеющейся на Зеbмле воды находится в океанах и морях, по большей части в Тихом океане, который один больше всей суши вместе взятой. Тихий океан в целом содержит чуть больше половины морской воды (51,6%); Атлантический – 23,6% и Индийский – 21,2%, оставляя всем остальным 3,6%. Средняя глубина океанов составляет 3.86 километров.

Чтобы более наглядно представить себе тот объем воды, которым располагает человечество, приведем следующий пример. Если сравнить нашу планету с таким фруктом, как апельсин, то вся вода в мире как находящаяся во взвешенном состоянии в воздухе, так и подземные воды, все моря, океаны, реки, озера - представляла бы на такой планете каплю, осторожно нанесенную на его поверхность с помощью пипетки (рис. 2.2).

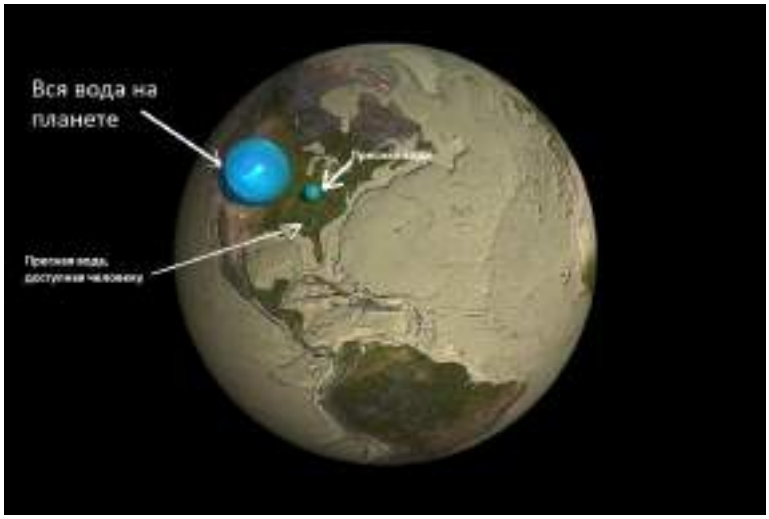



Рис. 2.2. Схематическое соотношение объема воды на Земле

И вот что самое интересное: почти вся эта капля (97-98%) состояла бы из соленой воды морей и океанов. Остальные 2-3% представляли бы собой пресную воду, необходимую для жизни - количество столь ничтожное, что на нашем воображаемом апельсине эта вода занимала бы место размером с булавочную головку. Однако гораздо серьезнее другое. Лишь 1% пресной воды на Земле находится в жидком виде и доступен человеку. Остальная вода недоступна для повседневного использования. 68,7 % ее - это твердая вода льдов Арктики, Антарктики и ледники горных регионов. 29,9% представлены подземными пресными водами. В Антарктиде находится 24 миллиона км$^3$ льда. Если его весь растопить, этого хватит, чтобы поднять уровень океана на 75 м.

По заключению экспертов ООН, самое высокое качество питьевой воды сегодня в Финляндии, Канаде и Новой Зеландии, самое низкое - в Бельгии, Марокко и Индии. По ее

запасам на душу населения лидируют Дания (за счет Гренландии), Французская Гвиана и Исландия. Хуже всего обеспечены пресной водой Кувейт, Сектор Газа (Палестина) и ОАЭ.

### *Круговорот воды*

*Прощалась капля с морем –*
*вся в слезах!*
*Смеялось вольно море –*
*всё в лучах!*
*«Взлетай на небо, упадай на землю –*
*Конец один: опять – в моих волнах».*
**Омар Хайям - персидский философ, математик, астроном и поэт**

Вода явилась той основой, благодаря которой существует жизнь. На планете происходит непрерывный процесс циркуляции воды, обмен водой между всеми составляющими гидросферы (глобальный круговорот воды на Земле). В нем участвуют поверхность Земного шара, недра, толща воды и атмосферы. Главный энергетический двигатель круговорота воды – Солнце.

Под влиянием энергии Солнца и жизнедеятельности биоценозов в биосфере и поддерживается определенный баланс воды. Мировой баланс воды - величина довольно стабильная и представляет собой замкнутую систему. Количество воды на планете не увеличивается и не уменьшается. Океаны достигли сегодняшних объемов примерно 3, 8 миллиарда лет назад. Для существования жизни и развития человеческой цивилизации наиболее важной частью в этом балансе являются пресные воды, которые составляют речной сток, содержатся в озерах и подземных горизонтах.

Интересно, что объем первоначальных запасов воды на Земле практически не изменился. Сколько бы раз вода не употреблялась человеком для своих нужд, общее количество ее на Земле не уменьшается. Благодаря водяному колесу природы – круговороту воды водные молекулы постоянно циркулируют между океаном, атмосферой и земной поверхностью. В результате круговорота воды гидросфера стала планетарной транспортной системой, а также планетарным аккумулятором органического, неорганического вещества и различных химических элементов.

Шведский литератор Рольф Эдберг писал: «В великом природном круговороте к нам постоянно возвращается та же самая вода. Глоток воды из горной речушки содержит капли из колодцев Авраама, купальни Клеопатры и системы охлаждения ядерного реактора».

До появления биосферы круговорот воды в природе осуществлялся только за счет испарения поверхностных вод водоемов и суши. В этом процессе существуют два круговорота: ***малый***, в котором испарившаяся вода проливается прямо над океаном, и ***большой***, когда облака уносятся ветром в сторону суши и пролившиеся дожди возвращаются в океан в виде поверхностного и речного стоков. За счет притока солнечной энергии вода испаряется с поверхности морей и океанов, а также суши. Часть воды, испарившейся с поверхности океанов, выпадает в виде осадков в океан, совершив, так называемый, малый круговорот. Другая часть воды в виде водяного пара, переносимого

воздушными течениями, достигает суши. Атмосферные осадки, выпавшие на суше, частью просачиваются в почву и образуют подземный сток, частью стекают по земной поверхности, образуя ручьи и реки, а в остальной части снова испаряются, в том числе и через процесс биологического испарения, связанного с жизнедеятельностью растений (транспирация) и животных. В конце концов, она снова достигает океана, завершая ***большой круговорот воды*** на земном шаре.

В среднем в год с поверхности всех водоемов испаряется порядка 519 тыс. км$^3$ воды в год. Более 90% ее возвращается в океан с атмосферными осадками и лишь 10% выпадает в виде осадков на поверхности материков. В некоторых конкретных случаях количество испаренной воды и скорость испарения столь велики, что не восполняются поверхностными стоками. Например, сток воды в Средиземное море не восполняет количества испаренной с его поверхности воды, поэтому в Гибралтаре течение направлено всегда из Атлантики.

Современный круговорот воды происходит с участием биосферы и человека. Цикл его таков: вода, испаренная с поверхности водоемов, почвой, растениями, животными, конденсируется, образуя облака, и выпадает в виде осадков (рис. 2.3). Часть ее попадает в водоемы непосредственно, часть питает подземные воды, часть потребляется животными и растениями и снова возвращается в мировой океан уже как продукт жизнедеятельности, часть воды используются машинами, механизмами и промышленностью и возвращается в биосферу в виде пара и отработанной технической воды.

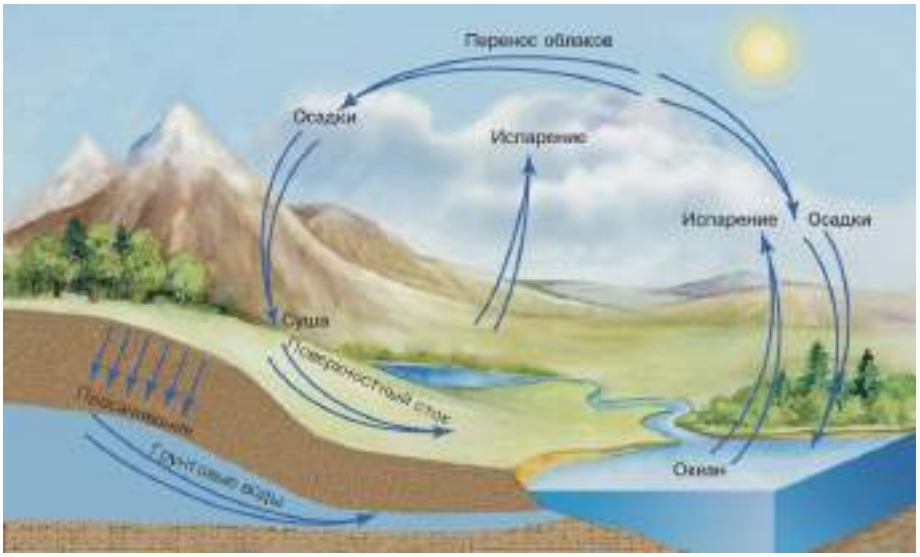



Рис. 2.3. Круговорот воды в природе

Сравнение схем двух круговоротов воды показывает, насколько усложнилась структура круговорота включением в него биоценозов и человека. Транспирация, т.е. дыхание растений, вносит очень заметный вклад в водный цикл. Так, с единицы поверхности леса испаряется значительно больше воды, чем с такой же поверхности моря. Подсчитано, что с гектара березового леса ежедневно испаряется 47 000 л воды, а с гектара елового леса - около 43 000 л. Исследования ученых показали, что сток небольших лесных районов на 50-95% больше, чем сток открытых безлесных районов. Именно поэтому

запрещается вырубать леса в так называемой водоохранной зоне - вдоль малых и крупных рек.

Вода, будучи сильнейшим растворителем, играет огромную роль в геохимических процессах. Промывая толщи горных пород, она вовлекает в круговорот большую часть химических элементов периодической системы Менделеева. На Земле нет дистиллированной воды. Любая вода содержит растворенные соли, газы, органические и коллоидные вещества. Совместно с циркуляцией воды в биосфере, растворенные в ней элементы также участвуют в круговороте. Количество растворенных веществ варьирует в очень широких пределах. Минерализация может составлять от первых миллиграммов на $дм^3$ до почти 600 $г/дм^3$. Пресными называют воды с минерализацией до 1 $г/дм^3$.

### *Особенности водной среды и структура гидросферы*

В соответствии с современными гипотезами происхождения жизни принято считать, что эволюционно первичной средой на нашей планете была именно водная среда. Подтверждению этому служит тот факт, что содержание солей в крови человека по ряду химических элементов, таких как Cl, Na, O, Ca, K (поддерживаемое на относительно постоянном уровне), близко к таковому в океанической воде. Вероятно, с этим связано оздоровительное влияние морской воды на человеческий организм. Кроме этого, жизнедеятельность подавляющего большинства организмов невозможна без поступления воды в организм или, по крайней мере, без сохранения определенного содержания жидкости внутри организма. Внутренняя среда организма, в которой происходят основные физиологические процессы, очевидно, по-прежнему сохраняет черты той среды, в которой происходила эволюция первых организмов. Свойства водной океанической среды во многом определили химико-физическую эволюцию всех форм жизни.

Вода входит в состав минералов, содержится в клетках растений и животных, влияет на формирование климата, участвует в круговороте веществ в природе, способствует отложению осадочных пород и образованию почвы, является источником получения дешёвой электроэнергии: её используют в промышленности, сельском хозяйстве и для бытовых нужд.

Высокая плотность воды является также причиной того, что механические колебания (вибрации) хорошо распространяются в водной среде. Это имело важное значение в эволюции органов чувств, ориентации в пространстве и коммуникации между водными обитателями. Вчетверо большая, чем в воздухе, скорость звука в водной среде определяет более высокую частоту эхолокационных сигналов.

В связи с высокой плотностью водной среды ее обитатели лишены обязательной связи с субстратом, которая характерна для наземных форм и связана с силами гравитации. Поэтому есть целая группа водных организмов (как растений, так и животных), которые существую без обязательной связи с дном или другим субстратом. Всю свою жизнь они проводят в плавучем состоянии.

Плотность воды позволяет растениям со слабым развитием механической ткани и бесскелетным формам животных находится во взвешенном состоянии и парить в воде, опираясь на ее толщу.

Лимитирующим фактором, ограничивающим распространение растений в одной среде, является свет. При недостатке света зеленые водоросли с глубиной сменяются бурыми. В зависимости от степени освещенности и спектрального состава света у водорослей меняется состав, количество пигментов и соответственно окраска.

У животных, низших растений, бактерий встречается такое явление, как биолюминесценция – способность организмов светиться за счет собственных белков или с помощью симбиотических бактерий.

Вода обладает исключительно высокой теплоемкостью. Теплоемкость воды принята за единицу. Теплоемкость песка, например, составляет 0,2, а железа - лишь 0,107 теплоемкости воды. Способность воды накапливать большие запасы тепловой энергии позволяет сглаживать резкие температурные колебания на прибрежных участках Земли в различные времена года и в различную пору суток: вода выступает как бы регулятором температуры на всей нашей планете.

Температурный режим гидросферы коренным образом отличается от такового в других средах. Колебания температур в Мировом океане сравнительно невелики: самая низкая около -2 $^{o}$C, а самая высокая приблизительно +36 $^{o}$C. Амплитуда колебаний здесь, таким образом, укладывается, в 38 $^{o}$C. С глубиной температура воды резко падает. Даже в экваториальных областях на глубине 1 000 метров она не превышает 4-5 $^{o}$C. На больших глубинах во всех океанах температура примерно одинаковая и укладывается в пределы от -2 до +2 $^{o}$C.

В пресных водоемах умеренных широт температура поверхностных вод колеблется в пределах от 0 до +25$^{o}$C, на глубине она, как правило, составляет 4-5$^{o}$C. исключением являются термальные источники, где температура может достигать 93$^{o}$C.

Поскольку температурный режим водоемов характеризуется большой стабильностью, организмы, обитающие в ней отличаются относительным постоянством температуры тела и обладают узким диапазоном приспособленности

Вода - самая удивительная на свете жидкость. Академик Игорь Васильевич Петрянов-Соколов по поводу этих загадочных свойств воды писал следующее:

«Почти все физико-химические свойства воды – исключение в природе. Она действительно самое удивительное вещество на свете. Ученые уже немало узнали о воде, разгадали многие ее тайны. Но чем больше они изучают воду, тем больше убеждаются в неисчерпаемости ее свойств, некоторые из которых настолько любопытны, что порой все еще не поддаются объяснению».

Особенности водной среды проистекают из физико-химических свойств воды. Так, большое экологическое значение имеют высокая плотность и вязкость воды. Удельная масса воды соизмерима с таковой тела живых организмов. Плотность воды примерно в 800-1000 раз выше плотности воздуха. Поэтому водные организмы (особенно, активно движущиеся) сталкиваются с большой силой гидродинамического сопротивления. Эволюция многих групп водных животных по этой причине шла в направлении формирования формы тела и типов движения, снижающих лобовое сопротивления, что приводит к снижению энергозатрат на плавание. Так, обтекаемая форма тела встречается у представителей различных групп организмов, обитающих в воде, - дельфинов (млекопитающих), костистых и хрящевых рыб.

В связи с высокой плотностью водной среды ее обитатели лишены обязательной связи с субстратом, характерной для наземных форм и вызванной силами гравитации. В толще Мирового океана сложились комплексы живых организмов, свободно «парящих» в воде и самостоятельно поддерживающих круговорот веществ. Благодаря этому жизнь распространена в гидросфере по всей ее толщине, встречаясь даже в самых глубоководных океанических впадинах – на глубине до 11 км, где давление достигает 100 атм.

Основная масса гидросферы приходится на соленые воды Мирового океана, который покрывает 70,8 % поверхности Земли. Средняя высота материков составляет всего 840 метров, в то время как средняя глубина Мирового океана – 3800 метров. Здесь формируется климат планеты. Океаны занимают гигантские бассейны, глубина которых в некоторых местах удалена от поверхности моря примерно на столько же, на сколько гора Эверест поднимается над уровнем моря.

В океане и морях различают две экологические зоны: толщу воды – **пелагиаль** и дно – **бенталь**. Кромка берега, заливаемая во время приливов называется **литораль**. Выше этого уровня располагается часть берега, увлажняемая брызгами прибоя – **супралитораль**. Плавно понижающаяся материковая отмель, или шельф с глубинами до 200 м, как правило, узка и занимает только 7,6 % площади Мирового океана. Эта зона называется **сублиторальной**. Далее идет довольно крутой материковый склон с глубинами до 3000 м – **батиаль** (15,2 % площади океана). Вся остальная площадь приходится на ложе океана (**абиссаль**) с глубинами более 3 км. Глубоководные желобы, (**ультраабиссаль**) с глубинами более 6 км занимают менее 1 % площади океана. Наиболее глубокие впадины - Марианский желоб в Тихом океане - 11034 м и Пуэрто-Рико в Атлантическом океане - 8385 м.

В зависимости от плотности и давления морских и океанических вод организмы-гидробионты в них делятся на три экологические группы, различающиеся образом жизни.

**1. Бентос** - от греч. «bénthos» — совокупность организмов, обитающих на грунте и в грунте морских и материковых водоёмов. Бентос делят на животный (*зообентос)* и растительный (*фитобентос*).

Представители зообентоса могут быть сидячими (водоросли, губки, мшанки, асцидии), роющими (кольчатые черви, двустворчатые моллюски), ползающими (иглокожие, ракообразные), свободно плавающими у самого дна (ракообразные, рыбы, головоногие, моллюски и другие).

Из растительных организмов основную массу бентоса в морях составляют бактерии и водоросли (диатомовые, зелёные, бурые и красные).

Значительную часть морского бентоса употребляют в пищу или используют как техническое сырьё. Среди животных — моллюски (устрица, мидия и пр.) и ракообразные (крабы, креветки, лангусты и др.). Из 12 млн. ц добываемых ежегодно морских беспозвоночных 62% составляют моллюски и 30% — ракообразные. Многие моллюски имеют кормовое значение для рыб и, кроме того, дают перламутр и жемчуг. Среди других животных бентоса важное промысловое значение имеют туалетные губки и благородный коралл.

Биомасса бентоса с глубиной быстро падает, и начиная с 4000 м составляет менее 0,1 г/м$^2$.

**2. Планктон.** Слово «планктон» в переводе с греческого означает блуждающий, парящий. Данная группа гидробионтов представлена совокупностью растений – ***фитопланктон*** (протококковые и диатомовые водоросли, цианобактерии и др.), мелких животных организмов ***зоопланктон*** (моллюски, ракообразные, личинки донных животных) и бактериальной частью планктона – ***бактериопланктон*** (микроскопические организмы (0,4-1 мкм), способные к фотосинтезу при более низком уровне освещенности, чем другие крупные представители фитопланктона).

Данные организмы обитают на разной глубине, но не обладают способностью к противостоянию течениям и активным передвижениям. Типичными представителями фитопланктона являются диатомовые, зеленые и сине-зеленые водоросли, растительные жгутиконосцы и т.д., представителями зоопланктона - медузы, мелкие ракообразные, некоторые виды моллюсков и т.д. Являясь пищей для большинства гидробионтов, планктон играет важную роль в трофических цепях водной среды обитания. Первым звеном в пищевой цепи морских экосистем является фитопланктон. На языке экологии этот процесс называется первичной продукцией. Зоопланктон поедает фитопланктон, растет и размножается, это уже вторичная продукция. А затем наступает черед редукции - разложения: все, рождается и живет — умирает, и останки всех планктонных организмов, и вообще всего живого в море — достаются бактериям, населяющим водную толщу. Бактериопланктон разлагает эти останки, возвращая вещество в неорганическое состояние. Это — круговорот веществ в море.

**3. Нектон** – от греческого «nektos» - плавающий. Под нектоном следует понимать животных способных к активному перемещению в воде за счёт развитой мускулатуры и скелета, наличия плавников и эффективных органов ориентации в пространстве. Типичными представителями нектона являются рыбы, головоногие моллюски, китообразные, ластоногие и другие, обладающие способностью к перемещению на большие расстояния. В пресных водоёмах данную группу гидробионтов также представляют земноводные и некоторые виды насекомых.

В гидросфере сосредоточена почти вся масса водорода и кислорода, а также натрия, калия, магния, бора, серы, хлора и брома, соединения которых хорошо растворимы в природных водах. В ней растворено 88% всей массы углерода биосферы.

## 2.3. НАЗЕМНО-ВОЗДУШНАЯ СРЕДА

Наиболее сложной по экологическим условиям является наземно-воздушная среда. Здесь, на границе двух земных оболочек обитает подавляющее большинство растений и животных. Специфику их местообитаний определяет рельеф местности, характер грунта и атмосферные явления.

Наземно-воздушная среда включает часть приземную атмосферы и поверхность земли, которая служит местом прикрепления, размножения и развития растений и животных.

В ходе эволюции наземно-воздушная среда была заселена значительно позже, чем водная. Особенностью наземно-воздушной среды является то, что организмы, обитающие в ней, окружены газообразной средой (воздухом), характеризующейся низкими влажностью, плотностью и давлением, высоким содержанием кислорода.

В наземно-воздушной среде действующие экологические факторы имеют ряд характерных особенностей: большую амплитуду изменения экологических факторов, неоднородность среды, действие сил земного тяготения, низкую плотность воздуха, более высокую интенсивность света в сравнении с другими средами. Комплекс физико-географических и климатических факторов, свойственных определенной природной зоне, приводит к эволюционному становлению морфофизиологических адаптаций организмов к жизни в этих условиях, многообразию форм жизни.

Наземно-воздушная среда неоднородна по горизонтали и вертикали и в отличие от океана – прерывна. Постоянными физическими барьерами на пути развития и продвижения организмов служат горы, реки, пустыни. Количество тепла, как и количество выпадающих осадков, зависит от широты местности, сезона года и даже времени суток.

В зависимости от условий увлажнения и плодородия почвы растительные сообщества занимают оптимальные местообитания, характерные для преобладающего древостоя. Характер грунта влияет на специфику передвижения животных. Каменистый грунт предъявляет особые требования к конструкции тела животных. Копытные, страусы, дрофы, живущие на открытых пространствах, приспособили свои конечности к твердому грунту для усиления отталкивания при быстром беге. У животных, обитающих на рыхлых сыпучих песках, пальцы окаймлены бахромкой из роговых чешуй, как у некоторых ящериц. У живущего в пустыне Намиб песчаного геккона лапки напоминают плавательные перепонки водоплавающих птиц. Они выполняют функцию своеобразных лыж, с помощью которых он передвигается. В жаркое время дня с их помощью геккон роет себе норы для укрытия. Другие ящерицы, например, аптечный сцинк в Сахаре и пустынная игуана в калифорнийских пустынях прямо-таки «плавают», усиленно загребая лапками и погружаясь в песок.

Условия жизни в наземно-воздушной среде во многом определяется погодными условиями. Многолетний режим погоды характеризует климат местности. Он определяется географическими условиями района.

Для большинства наземных организмов важен не столько климат района, сколько условия их непосредственного обитания. Часто на жизнедеятельность организмов большую роль оказывают местные элементы среды (рельеф, экспозиция, растительность), которые принципиально изменяют в конкретном участке режим температуры, влажности, света, движения воздуха и т.п. Такая локальная модификация климата, складывающаяся в приземном слое воздуха, называется микроклимат. В каждой климатической зоне микроклиматы очень разнообразны, что отражается в неравномерности развития природных явлений. Так, весьма различается микроклимат северной и южной экспозиции холмов и гористых участков. Микроклимат оголенных почв отличается от такового в местах, занятых растительностью (лесной или луговой). Особый микроклимат возникает в норах, гнездах, дуплах, пещерах и других сходных местообитаниях.

Жизнь на суше во многом зависит также и от состояния воздуха. Естественная смесь газов, сложившаяся в ходе эволюции Земли, - это и есть воздух, которым мы дышим. Причем, следует отметить, что воздух представляет собой смесь газов, а не их соединение. Нужно сказать, что атмосфера Земли совершенно уникальна. Современный состав ее мало

похож на тот, который был у газо-пылевого облака, из которого миллиарды лет назад образовалась наша планета.

Воздух как среда жизни обладает особенностями, направляющими эволюционное развитие обитателей этой среды. Так, высокое содержание кислорода определяет возможность формирования высокого уровня энергетического метаболизма (обмена веществ между организмом и средой). Атмосферный воздух отличается низкой и изменчивой влажностью, что ограничило возможности освоения воздушной среды, а у ее обитателей направило эволюцию системы водно-солевого обмена и структуру органов дыхания. Также следует отметить низкую плотность воздуха в атмосфере как среде жизни, благодаря чему жизнь сосредоточена вблизи поверхности земли, проникая в толщу атмосферы на высоту не более 50 – 70 м (кроны деревьев тропических лесов).

Основными компонентами атмосферного воздуха являются азот - $N_2$ (78,08%), кислород - $O_2$ (20,9%), аргон - Ar (около 1%) и углекислый газ (0,03%) (табл.2.2. Причем, если процентное содержание первых трех газов в атмосфере довольно постоянно, то количество углекислого газа может меняться (в сторону увеличения) в результате сжигания ископаемого топлива, обменом с океаном и атмосферой.

Таблица 2.2 Газовый состав земной атмосферы

| Элементы и газы | Содержание в нижних слоях атмосферы, % | |
|---|---|---|
| | по объему | по массе |
| Азот | 78,084 | 75,5 |
| Кислород | 20,946 | 23,14 |
| Аргон | 0,934 | 1,28 |
| Неон | 0,0018 | 0,0012 |
| Гелий | 0,000524 | 0,00007 |
| Криптон | 0,000114 | 0,0003 |
| Водород | 0,00005 | 0,000005 |
| Углекислый газ (в среднем) | 0,034 | 0,0466 |
| Водяной пар: | | |
| в полярных широтах | 0,2 | - |
| у экватора | 2,6 | - |
| Озон: | | |
| в тропосфере | 0,000001 | - |
| в стратосфере | 0,001-0,0001 | - |
| Метан | 0,00016 | 0,00009 |
| Оксид азота | 0,000001 | 0,0000003 |
| Окись углерода | Тысячные доли, в воздухе городов - до 0,000008 | 0,0000078 |

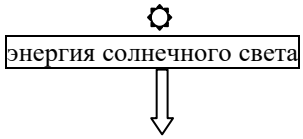
Содержание кислорода в воздухе определяет границу распространения жизни для растений и животных. По вертикали это примерно 4000 м.

Из таблицы 2.3 видно, что процентное содержание кислорода, как и других газов, с высотой изменяется.

Таблица 2.3. Состав воздуха на разной высоте от земной поверхности

| Высота (км) | Кислород | Азот | Аргон | Гелий | Водород | Давление (мм рт. ст.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 20,94 | 78,09 | 0,93 | - | 0,01 | 760 |
| 5 | 20,94 | 77,89 | 0,94 | - | 0,01 | 405 |
| 10 | 20,99 | 78,02 | 0,94 | - | 0,01 | 168 |
| 20 | 18,10 | 81,24 | 0,59 | - | 0,04 | 41 |
| 100 | 0,11 | 2,97 | - | 0,56 | 96,31 | 0, 0067 |

Как известно, кислород образуется в результате фотосинтеза органических продуктов в растениях и поступает затем в атмосферу. Очень упрощенно этот процесс можно представить как химическую реакцию, протекающую за счет энергии солнечных лучей при участии хлорофилла – зеленого пигмента растений:




$$6CO_2 + 6H_2O + \text{минеральные соли} = C_6H_{12}O_6\ (\text{сахар}) + 6O_2 \uparrow$$

Таким образом, за счет двуокиси углерода и воды синтезируется органическое вещество и выделяется кислород. Прямыми продуктами фотосинтеза являются различные органические соединения. Весь процесс фотосинтеза носит довольно сложный характер.

При дыхании происходит реакция, обратная фотосинтезу. В настоящее время пока наблюдается примерное сохранение равновесия между производством кислорода и его потреблением. Однако интенсивное потребление кислорода промышленностью и транспортом в последнее время вызывает опасение нарушить баланс кислорода в окружающей среде.

Атмосфера Земли способствует сохранению тепла на планете, которое в противном случае рассеивалось бы в холоде космического пространства. Сама же атмосфера благодаря силам притяжения Земли не улетучивается.

Атмосфера не только поддерживает жизнь, она служит также защитным экраном. На высоте 20-25 километров от поверхности Земли под воздействием ультрафиолетовой радиации Солнца часть молекул кислорода расщепляется на свободные атомы кислорода. Последние могут вновь вступать в союз с молекулами кислорода и образовывать трехатомную его форму:

$$O + O_2 \rightarrow O_3$$

Такая трехатомная форма кислорода называется озоном. Озон играет исключительную роль в жизни нашей планеты. Если кислороду мы обязаны тем, что без него невозможно существование жизни, то озон, образуя в высших слоях атмосферы тонкий слой - так называемый озоновый экран, обеспечивает этой хрупкой земной жизни дальнейшее ее существование. Тонкий слой озона отфильтровывает вредный компонент солнечного излучения - ультрафиолетовые лучи, прямое влияние которых губительно для всего живого. Не будь этого озонового слоя, такое излучение могло бы уничтожить жизнь на Земле. К сожалению, в 80-90-е годы нашего века наблюдается негативная тенденция истощения и разрушения озонового экрана.

## 2.4. ПОЧВЕННАЯ СРЕДА ЖИЗНИ

*Почва - наш самый драгоценный капитал. Жизнь и благополучие всего комплекса наземных биоценозов, естественных и искусственных, зависят в конечном итоге от тонкого слоя, образующего самый верхний покров Земли.*
**Ж. Дорст — французский орнитолог, член Французской академии наук**

Почва образно можно назвать кожей нашей земли. Это тончайший, но крайне важный слой на поверхности планеты, где происходит взаимодействие всех стихий, всех планетарных оболочек: литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы. Основные элементы извлекаются из косной материи, из горных пород именно в почве, и уже оттуда поступают в организмы или в подземные и поверхностные воды. Почва - это своеобразный геохимический насос, который перекачивает элементы из большого геологического круговорота в малый биологический круговорот.

В то же время существует и обратный процесс: многие элементы попадают с отмершими организмами в почву и там переходят в малоподвижную форму.

Существуют различные подходы к определению почвы. Одно из них такое: ***почва - это рыхлый поверхностный слой земной коры, который образовался в процессе выветривания, деятельности живых организмов, разложения органических остатков и перемешивания полученных веществ.***

Первое научное определение почвы принадлежит В.В. Докучаеву: «*Почва - это те дневные или близкие к ним горизонты горных пород (все равно каких), которые были более или менее естественно изменены взаимным влиянием воды, воздуха и различного рода организмов - живых и мертвых, что и сказывается известным образом на составе, структуре и цвете таких образований*».

Н.А. Качинский в своей книге «Почва, ее свойства и жизнь» дает следующее определение почвы: *«Под почвой надо понимать все поверхностные слои горных пород, переработанные и измененные совместным воздействием климата (свет, тепло, воздух, вода), растительных и животных организмов, а на окультуренных территориях и деятельности человека, способные давать урожай. Та минеральная порода, на которой почва образовалась и которая как бы родила почву, называется материнской породой».*

Русский почвовед В.В. Докучаев дал такую оценку почве *«... почва есть такое же самостоятельное, естественно-историческое тело, как любое растение, любое животное».* В.И. Вернадский также считал почву «живым» организмом и назвал ее биокосным телом.

Почва представляет собой уникальное и легкоуязвимое природное образование. Достаточно сказать, что жизненно необходимый обмен минеральными веществами между биосферой и неорганическим миром происходит именно в почве. Почва - словно живое существо, недаром про нее как про женщину, говорят: она рожает. Уродит почва - быть урожаю, быть хлебу.

В состав почвы входят четыре важных структурных компонента: минеральная основа (обычно 50-60% общего состава почвы), органическое вещество (до 10%), воздух (15-25%) и вода (25-35%). Структура почвы определяется относите6льным содержанием в ней песка и глины.

Твердая часть - это минеральные и органические частицы. Они состоят из песка, глины, илистых частиц, оставшихся от материнской породы в результате почвообразовательного процесса. Соотношение этих частиц характеризует механический состав почвы.

Жидкая часть участвует в снабжении растений водой и растворенными элементами питания.

Газообразная часть, почвенный воздух, заполняет поры, незанятые водой. Почвенный воздух содержит больше углекислого газа и меньше кислорода, чем атмосферный воздух, а также метан, летучие органические соединения и др.

Живая часть почвы состоит из почвенных микроорганизмов, представителей беспозвоночных (простейших, червей, моллюсков, насекомых и их личинок), роющих позвоночных. Они обитают в основном в верхних слоях почвы, около корней растений, где добывают себе пищу. Некоторые почвенные организмы могут жить только на корнях. В поверхностных слоях почвы обитает множество организмов-разрушителей - бактерий и грибов, мельчайших членистоногих и червей, термитов и многоножек. На гектар плодородного слоя почвы (толщиной 15 см) приходится около 5 тонн грибов и бактерий.

Если вы в лесу возьмете горсть почвы, то у вас в руке окажутся около десяти миллиардов бактерий, миллион дрожжинок, около двухсот тысяч пушистых грибков, известных как плесень, десяток тысяч простейших животных (из них наиболее известны амебы) и большой выбор коловраток, плоских червей, аскарид и других микроскопических живых существ.

Различают следующие экологические группы почвенных организмов:

- *геобионты* – постоянные обитатели почвы, весь цикл развития которых проходит в почвенной среде. Дождевые черви, энхитреиды (семейство малощетинковых червей, внешне напоминающие маленьких дождевых червей, которые живут в насыщенной органическими веществами почве), ногохвостки и т.д.;

- *геофилы* - животные, часть цикла развития, которых чаще одна из фаз, проходит в почве. Саранчовые (кубышки), ряд жуков (пластинчатоусые и жужелицы), подгрызающие совки;

- *геоксены* - животные, иногда посещающие почву для временного укрытия или убежища. Из насекомых многие таракановые и клопы. Норные млекопитающие.

Микробиота - почвенные микроорганизмы, составляющие основное звено детритной пищевой цепи. Это прежде всего зеленые и синезеленые водоросли, бактерии, грибы и простейшие. Мезобиота - совокупность сравнительно мелких свободно передвигающихся почвенных животных. Сюда относятся почвенные нематоды, мелкие личинки насекомых, клещи, ногохвостки и др. Их численность составляет от десятков и сотен тысяч до миллионов особей на 1 м почвы.

Питаются они в основном детритом и бактериями. Макробиота – крупные насекомые, дождевые черви, могоножки, моллюски и другие животные вплоть до роющих позвоночных. Наибольшее значение имеют дождевые черви и энхитреиды.

В составе почвенной микрофлоры содержатся и патогенные формы, вызывающие тяжелые заболевания, например, возбудители столбняка, сибирской язвы, злокачественного отека и др. Некоторые болезни человека и животных связаны с животными, живущими только в определенных почвенных условиях. Например, грызуны и насекомые, живущие в песчаных и супесчаных почвах полупустынь и сухих степей, переносят такие болезни, как туляремия, чума.

Общая масса беспозвоночных почвы может составлять до 50 ц/га. Под травостоем, смягчающим погодные условия, их в 2,5 раза больше, чем в пашне. Дождевые черви ежегодно пропускают через себя 8,5 т/га органики (служащей исходным продуктом для гумуса), и их биомасса обратно пропорциональна степени «нашего насилия» над почвой. Так что распашка дерновины не всегда повышает продуктивность пахоты по сравнению с пастбищами и сенокосами.

Многие исследователи отмечают промежуточность положения почвенной среды жизни между водной и наземно-воздушной средами. В почве возможно обитание организмов, обладающих как водным, так и воздушным типом дыхания. Вертикальный градиент проникновения света в почве еще более выражен, чем в воде. Микроорганизмы встречаются по всей толще почвы, а растения (в первую очередь, корневые системы) связаны с наружными горизонтами.

Растения получают воду и питательные вещества из почвы. Листья и ветки, отмирая, возвращаются в почву, где они разлагаются, высвобождая содержащиеся в них минеральные вещества. В поверхностных слоях почвы, куда поступает самое свежее мертвое органическое вещество, обитает множество организмов-разрушителей - бактерий и грибов, мельчайших членистоногих и червей, термитов и многоножек. Их активность обеспечивает развитие почвы сверху, тогда как физическое и химическое разрушение коренной породы способствует образованию почвы снизу.

Структура почвы определяется относительным содержанием в ней песка и глины. Для определения названия почвы используют так называемый треугольник Ферре (рис.2.4).

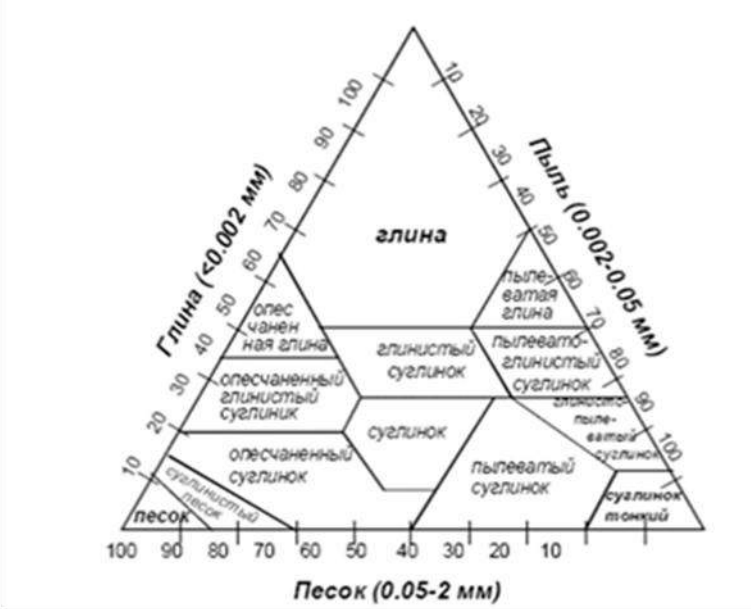



Рис. 2.4. Треугольник Ферре для классификации почв по гранулометрическому составу

Для живых организмов большое значение имеет температурный режим почвы. Основным источником тепла является солнечная радиация (прямая и рассеянная). Некоторое количество тепла почва получает от воздуха в результате разложения органических остатков и из недр Земли. Резкие температурные колебания затрагивают только самые верхние ее слои и на глубине 1 м заметно сглаживаются. Почва обладает способностью поглощать тепло, но ее теплоемкость значительно ниже теплоемкости воды.

В процессе формирования почв возникает характерная слоистость. Эти последовательные слои, четко прослеживаемые в почвенном разрезе, называют «горизонтами». Горизонты составляют профиль почвы. Копая землю, можно заметить, что цвет почвы и ее структура меняются с глубиной от темного гумусного слоя к светлому песчаному или глинистому. Самым важным является гумусный слой, содержащий остатки растительности и определяющий плодородие почвы. В наиболее богатых гумусом черноземах толщина этого слоя достигает 1-1,5 м, иногда до 3-4 м, в бедных - около 10 см. В древесных насаждениях, кроме того, образуется так называемая лесная подстилка, представляющая собой слежавшийся на поверхности почвы слой отмерших и опавших частей растений – листьев, плодов, цветков, коры и небольших веточек. Подстилка играет важную роль в функционировании почв. В лесах с разными преобладающими древесными породами качество, толщина и структура подстилки различны. По массе первое место занимает еловый лес (6 т подстилки на 1 га). В сосновом лесу опадает 4,1 т, в дубовом – 3,9 и в лиственничном – 2,7 т на 1 га. Наиболее кислой реакцией среды (pH) характеризуется еловая подстилка, щелочностью - дубовая.

Как среда жизни, почва занимает промежуточное положение между атмосферой и гидросферой: она обладает структурированностью, здесь возможно обитание организмов, дышащих как по водному, так и по воздушному типу, имеет место вертикальный градиент проникновения света, более резкий, чем в гидросфере.

Все это определяет распространение жизни в почве: микроорганизмы встречаются по всей ее толщине, растения связаны лишь с наружными горизонтами (корневая система некоторых деревьев проникает на глубину 8 – 10 м), беспозвоночные животные обитают главным образом в верхних горизонтах почвы. Норы и ходы грызунов, насекомых и червей проникают в почву на глубину обычно не более 5-7 м. Бактерии находят в подземных водах, сопровождающих залежи нефти на глубине 3-5 км. Этим практически ограничивается распространение жизни в каменной оболочке Земли – литосфере.

По механическому составу (по размеру почвенных частиц) различают почвы: *песчаные, супесчаные (супеси), суглинистые (суглинки), глинистые*. По генезису почвы делятся на *дерново-подзолистые, серые лесные, черноземные, каштановые, бурые и др.*

Основными свойствами почвы как экологической среды являются ее физическая структура, механический и химический состав, кислотность, окислительно-восстановительные условия, содержание органических веществ, аэрация, влагоемкость и увлажненность. Различные сочетания этих свойств образуют множество разновидностей почв. Разновидностей почв несколько тысяч, и это требует исключительной грамотности при их использовании. На Земле по распространенности ведущее положение занимают пять типологических групп почв:

■ почвы влажных тропиков и субтропиков, преимущественно красноземы и желтоземы, характеризующиеся богатством минерального состава и большой подвижностью органики;

■ плодородные почвы саванн и степей - черноземы, каштановые и коричневые почвы с мощным гумусовым слоем;

■ скудные и крайне неустойчивые почвы пустынь и полупустынь, относящиеся к различным климатическим зонам;

■ относительно бедные почвы лесов умеренного пояса - подзолистые, бурые и серые лесные почвы;

■ мерзлотные почвы, обычно маломощные, подзолистые, глеевые, обедненные минеральными солями со слабо развитым гумусовым слоем.

На территории Республики Беларусь наиболее распространены дерновые, дерново-карбонатные и дерново-подзолистые почвы. Из них чаще встречаются дерново-подзолистые почвы, которые занимают почти 35% площади сельскохозяйственных земель страны.

Подзол - почва, сформировавшаяся под хвойным лесом. Особенности климата обусловливают преобладание осадков над испаряемостью и обеспечивают промывание почвенной толщи фильтрующейся влагой. Причем влага эта, пройдя предварительно через слой лесной подстилки и растворив накопившиеся в полуразложившемся хвойном опаде органические кислоты, приобретает кислотные свойства и обеспечивает протекание гидролиза минералов, составляющих почвенную массу (оподзоливание).

В почве содержатся не только химические элементы, но и различные живые организмы. Особенно много в ней микроорганизмов (бактерии, водоросли, грибы, простейшие).

Благодаря большому количеству различных живых существ, перерабатывающих в почве остатки растительности и животных, формирующих ее структуру и продуктивность, почва является образованием, в котором непрерывно протекает множество физических

процессов, реакций химического разложения и синтеза. Верхний слой почвы улучшается благодаря тому, что черви и насекомые, прорывая в нем ходы, постоянно выносят на поверхность частицы подпочвы.

Условия почвенной среды обитания определяют такие свойства почвы как ее аэрация (то есть насыщенность воздухом), влажность (присутствие влаги), теплоемкость и термический режим (суточный, сезонный, разногодичный ход температур). Термический режим, по сравнению с наземно-воздушной средой, более консервативный, особенно на большой глубине. В целом, почва отличается довольно устойчивыми условиями жизни.

Многие авторы отмечают промежуточность положения почвенной среды жизни между водной и наземно-воздушной средами. В почве возможно обитание организмов, обладающих как водным, так и воздушным типом дыхания. Вертикальный градиент проникновения света в почве еще более выражен, чем в воде. Микроорганизмы встречаются по всей толще почвы, а растения (в первую очередь, корневые системы) связаны с наружными горизонтами.

Для почвенных организмов характерны специфические органы и типы движения (роющие конечности у млекопитающих; способность к изменению толщины тела; наличие специализированных головных капсул у некоторых видов); формы тела (округлая, червеобразная); прочные и гибкие покровы; редукция глаз и исчезновение пигментов. Среди почвенных обитателей широко развита сапрофагия - поедание трупов других животных, гниющих остатков и т.д.

Почва - главный фундамент жизни. Все живое на земле зависит от этого тонкого, драгоценного жизнеродящего слоя земной поверхности. Земля накапливала его многие тысячелетия с очень медленной скоростью: один сантиметр чернозема за 100, а иногда и за 300 лет. Человек же разрушает почву на глубину один сантиметр за три года, к тому же теряя еще большие площади из-за засоления, перевыпасов, роста городов, отравляя землю химикатами. За время только одного дождя с распаханного поля может быть смыт слой плодородной почвы толщиной от 5 до 10 см. А ведь ни в одной лаборатории и никаким путем, кроме природного, естественного, почву создать нельзя.

Основные причины потерь и деградации почв их можно свести к нескольким пунктам:

- ветровая и водная эрозия при механической обработке;
- отведение земель под строительство городов, предприятий, дорог и т.п.;
- затопление при строительстве ГЭС;
- опустынивание;
- загрязнение отходами производства и быта;
- закисление кислотными дождями;
- засоление при неграмотной мелиорации;
- потери при авариях на АЭС.

В настоящее время всего около 15 % всей площади суши в мире занято сельскохозяйственными землями, с которых Человек может собирать так необходимый ему для жизни урожай. На города приходится 1 % суши, 47 % - засушливые и умеренно влажные (субгумидные) земли. Эти территории покрыты лугами, саваннами, лесами и частично используются в сельском хозяйстве. Еще 26 % суши приходится на не слишком

благоприятные для человека пустыни и полупустыни, тем не менее на них проживает 14% населения Земли.

На почвенный покров планеты в настоящее время оказывается значительное воздействие со стороны человека (антропогенное влияние). В первую очередь это проявляется в накоплении в почвах разного рода продуктов деятельности человека.

К отрицательному техногенному фактору можно отнести и чрезмерную увлеченность минеральными удобрениями и ядохимикатами. Широкое использование минеральных удобрений в сельскохозяйственном производстве порождает ряд проблем. Ядохимикаты подавляют биологическую активность почвы, уничтожают микроорганизмы, червей, уменьшают естественное плодородие почвы.

Охрана почв от человека является одной из важнейших экологических проблем, так как любые вредные соединения, находящиеся в почве, рано или поздно попадают в водную среду. Во-первых, происходит постоянное вымывание загрязнений в открытые водоемы и грунтовые воды, которые могут использоваться человеком для питья и других нужд.

Во-вторых, эти загрязнения из почвенной влаги, грунтовых вод и открытых водоемов попадают в организмы животных и растений, употребляющих эту воду, а затем по пищевым цепочкам опять-таки попадают в организм человека.

В-третьих, многие вредные для человеческого организма соединения имеют способность аккумулироваться в тканях, и, прежде всего, в костях.

## 2.5. ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ КАК СРЕДА ОБИТАНИЯ

*Натуралистами открыты*
*У паразитов паразиты,*
*И произвел переполох*
*Тот факт, что блохи есть у блох.*
*Живет, блоху кусающая блошка;*
*На блошке той блошинка-крошка,*
*В блошинку же вонзает зуб сердито*
*Блошиночка, и так - ad infinitum*
*(до бесконечности, лат.)*
**Джонатан Свифт- англо-ирландский писатель-сатирик**

Еще одной из сред обитания служат сами живые организмы, внутри тел которых или на их поверхности обитают другие организмы. Они относятся к группам паразитов и симбионтов (симбиоз – совместное, взаимовыгодное сожительство организмов). Паразитизм повсеместно распространен в природе. Каждое животное или растение, как правило, населено несколькими видами паразитов. Нет практически ни одного многоклеточного организма, не имеющего внутренних обитателей. Чем выше организация организма, тем разнообразнее его внутренняя среда, ткани и органы и тем более разнообразные условия может он предоставить для проживания своим сожителям.

Например, человеческий организм является средой обитания для огромного числа различных симбионтов (прежде всего, нормальной микрофлоры кишечника), а нередко - и паразитов (разнообразных плоских и круглых червей, простейших).

Паразитизм – явление древнее. Один из самых распространенных в мире паразитов, кишечная лямблия, одноклеточный простейший жгутиковый микроскопический организм (рис.2.5). Это один из самых древних паразитов на Земле, которые с давних времен живут в организме млекопитающих, и ещё в древности одолевали наших предков и других млекопитающих.

Рис. 2.5. Лямблия

Лямблии паразитируют в организме человека, кошек, собак, мышевидных грызунов. Лямблии способны выдерживать замораживание и нагревание до 50$^{o}$C, однако погибают при кипячении. Это один из самых распространенных паразитов разных видов животных (кошек, собак, грызунов) и птиц. Обитает лямблия и в организме человека - в кишечнике (преимущественно у детей) - главным образом в двенадцатиперстной кишке, реже в жёлчном протоке и жёлчном пузыре, вызывая лямблиоз, либо бессимптомное паразитоносительство. Источник инфекции — человек (больной или носитель). Заражение происходит через рот при попадании в
организм загрязнённых лямблиями пищевых продуктов или воды, а также при занесении лямблий в рот грязными руками. Высок риск заболеть при купании в открытых водоемах и в бассейнах, зараженных цистами лямблий.

Само слово «паразит» восходит к греческому «*παράσιτος*,» где «*παρά»* означает «при, со», а «*σιτος»* — «пища». Дословно означает «тот, кто питается за счет других». Буквально слово переводится как «сотрапезник».

Существование внутриклеточных паразитов отмечено у большого числа одноклеточных форм – водорослей, амеб, инфузорий и др. Практически нет ни одного вида многоклеточных организмов, не имеющих внутренних обитателей. Усложнение организации организма-хозяина ведет к разнообразию предоставляемых им условий для существования паразитов. В природе в качестве паразитов чаще всего встречаются микроорганизмы и примитивные многоклеточные, поскольку способность одних организмов использовать другие как среду обитания уменьшается с усложнением организации первых.

Паразитизм - это форма взаимоотношений между организмами разных видов, которые носят антагонистический характер. ***Паразитом называется организм, использующий***

***другой организм (хозяин) в качестве источника пищи и среды обитания.*** Паразит живет за счет особей другого вида и тесно связан с ним в своем жизненном цикле. Паразиты питаются соками тела, тканями или переваренной пищей своих хозяев. При этом паразит старается не умервщлять своего хозяина, поскольку в противном случае он лишился бы источника существования. Тем не менее, он может довести организм хозяина до истощения.

Взаимное влияние хозяина и паразита друг на друга сводится к трем возможностям. Между хозяином и паразитом устанавливается динамическое равновесие. В этом случае возможно паразитоносительство. Иногда вредное влияние паразита на хозяина так велико, что приводит к гибели последнего. И последний вариант - организм хозяина борется с паразитом и в конечном счете уничтожает его.

Различают паразитов ***облигатных*** (обязательных) и ***факультативных*** (необязательных). Облигатные паразиты абсолютно неспособны жить и размножаться без питания тканями или соками данного хозяина вне его организма. Примером могут служить многочисленные кишечные паразиты – аскариды, острицы, солитеры и др. Факультативные паразиты способны жить и размножаться самостоятельно, не обязательно питаясь тканями и соками хозяина. Например, миноги ведут как хищнический, так и паразитарный образ жизни.

Паразиты, питающиеся телом хозяина и обитающие на его поверхности, носят название ***эктопаразитов***. Это блохи, вши, клещи, различные виды тлей. Паразиты, живущие во внутренних тканях, полостях и клетках хозяина, носят название ***эндопаразитов***. Это различные вирусы, бактерии, гельминты и др.

Кстати, могут ли одни паразиты проживать (существовать) на других, как это указано в эпиграфе к этому разделу? Оказывается, да. И называется это явление сверхпаразитизмом (гиперпаразитизмом), или паразитизмом второго порядка. Оно часто встречается у гельминтов: плоские и круглые паразитические черви поражаются более мелкими червями, простейшими, бактериями, грибами. Например, многоядерные опалины, живущие в амфибиях, сами бывают иногда на 100% заражены амебами, размножающимися внутри их клеток. В свою очередь, амебы, паразитирующие на опалинах, могут быть поражены грибком из рода Sphaerita. Много сверхпаразитов в классе насекомых. Например, для паразита капустной белянки наездника Apanteles glomeratus известно более 20 видов вторичных паразитов из перепончатокрылых.

А такие специализированные паразиты, как вирусы, присущи почти всем группам живых существ, включая и паразитов. Уже в нашем веке обнаружен вирус, паразитирующий на другом, чрезвычайно крупном вирусе.

Паразиты пользуются особыми экологическими преимуществами в жизненных условиях по сравнению с другими животными. Прежде всего, главное их преимущество – обильное снабжение пищей за счет содержимого клеток, соков и тканей хозяина. Быстрый рост паразитов обеспечивается обильной и легкодоступной пищей.

Еще одно преимущество – защищенность паразитов от воздействия факторов среды и других организмов. Колебания условий внешней среды не сказывается на жизнедеятельности паразитов. Паразиты защищены от врагов. Все это приводит к потере паразитами целых систем органов. У многих паразитов отсутствует пищеварительная система, редуцирована нервная.

Наконец, паразитам присуща громадная плодовитость по сравнению со свободно живущими формами. Такая особенность этих организмов получила название «закон большого числа яиц». Например, человеческая аскарида продуцирует в среднем 250 тыс. яиц за сутки, а за всю жизнь – свыше 50 млн. Масса яиц, отложенных одной самкой аскариды за год, в 1700 раз превышает ее собственную массу.

При выходе из хозяина во внешнюю среду у паразитов развиваются защитные приспособления, позволяющие им пережить этот критический период. Яйца их покрываются многослойными оболочками, многие образуют цисты, ряд личинок нематод впадает в анабиоз.

*Первичным* хозяином *или окончательным* хозяином паразита называется хозяин, в котором паразит или симбионт вырастает до зрелости; *вторичным или промежуточным* хозяином называется хозяин, который предоставляет среду обитания паразиту или симбионту только в течение короткого периода. Для трипаносом, возбудителей трипаносомозов, человек — окончательный хозяин, а муха цеце — промежуточный.

Одни паразиты выработали довольно простой цикл воспроизведения. К примеру, многим бактериям, которые являются причиной таких болезней, как скарлатина, пневмония, дифтерия, достаточно попасть на поверхность тела хозяина или на некоторые его железы внешней секреции. Другие паразиты выработали довольно сложные циклы развития. К примеру, в кишечнике лисицы обитает ленточный червь, откладывающий там крошечные яйца. Вместе с экскрементами животного яйца попадают на землю или траву. Чтобы снова попасть в кишечник лисицы, на помощь паразиту приходят промежуточные хозяева. Заяц, поедая траву, захватывает яйца червя. В его организме они превращаются в личинке и затаиваются там до поры до времени в виде цисты - покоящейся стадии. Теперь все зависит от сноровки и прыткости лисицы, которая охотится за зайцем. Если ей удастся поймать его, цисты в ее кишечнике превратятся во взрослого червя и жизненный цикл паразита начнется сначала.

Промежуточными считаются любые хозяева паразита, за исключением того, в чьем теле паразиты проходят половой процесс. Смена носителя происходит обычно при поедании предыдущего хозяина новым. Человек и его предки, видимо, были в прошлом промежуточными хозяевами токсоплазмы, эхинококка, альвеококка и других паразитов. Они и сейчас способны заражать людей, но не могут завершить свой жизненный цикл, так как современный человек редко бывает кем-то съеден. Какие же паразиты предпочитают человека в качестве хозяина? Из паразитов-насекомых это, конечно, клещи. Клещи (Acarina) — временные эктопаразиты человека, основную беду человеку они приносят, являясь переносчиками возбудителей трансмиссивных (то есть передающихся посредством различных животных) болезней. Люди остаются полноценными промежуточными хозяевами только для тех паразитов, которые размножаются в теле кровососущих, например для малярийного плазмодия, проходящего половую стадию в комарах Anopheles.

*Возбудитель тропической малярии Plasmodium falciparum вызывает тяжелую форму заболевания, при которой нередко развиваются церебральные нарушения. Переносчиком ее является самка комара из рода Anopheles. При множественных укусах этих комаров малярийный паразит проходит тканевый и эритроцитарный циклы развития. С первым связаны сильные боли в области печени, когда плазмодий внедряется в ее клетки. Здесь он недоступен для антималярийных препаратов. После разрушения клеток печени паразит попадает в эритроциты.*

*Эритроцитарный цикл обусловливает возникновение приступов малярии (температура до 42,6$^{o}$C, озноб). Малярия является довольно распространенной болезнью, особенно в Африке, где от нее ежегодно погибает свыше 1 млн. детей в возрасте до 14 лет.*

Большинство болезней человека сегодня - это болезни цивилизации. Они проникали и проникают в самые отдаленные уголки земного шара вместе с развитием цивилизации. Особенно опасны новые болезни для сравнительно небольших замкнутых экосистем островов. Туземцы многих плотно заселенных островов Тихого океана до появления европейцев были необыкновенно здоровыми, так как у них выработался стойкий иммунитет к местным заболеваниям. Однако они оказались совершенно беззащитными против болезней, принесенных на их острова белыми. То же касается и различных групп туземцев, обитающих в тропических лесах Африки и Южной Америки. Полукочевые племена охотников и собирателей обычно мало подвержены таким местным болезням как малярия. А вот обыкновенные грипп, корь, свинка, краснуха являются причиной повышенной смертности, поскольку у аборигенов нет против них врожденной сопротивляемости. Туземцы уединенного острова Пасхи страдают от вспышек гриппа, возникающего регулярно через 1-2 месяца после посещения острова чилийским инспекционным судном.

Паразитизм как явление присущ также растениям и грибам. В растительных сообществах широко распространены грибные паразиты, которые поражают травы, кустарники и деревья.

Самыми распространенными грибами, паразитирующими на деревьях, являются трутовики. Это многолетние древесные паразиты, которые насчитывают более 100 разновидностей, они выглядят абсолютно по-разному, могут быть различной величины и окраски.

Много внутриклеточных паразитов среди низших грибов - это различные виды ржавчинных, головневых, мучнисторосяных грибов.

Среди растений также известно достаточно паразитических видов. Одни растения-паразиты содержат хлорофилл и могут вырабатывать органические вещества, т.е. являются, собственно говоря, полупаразитами. Это паразитирующая на березах, осинах, ивах, дубах, соснах омела белая (Viscum album), которую часто можно встретить в белорусских лесах. Фотосинтез она осуществляет сама, а воду и минеральные соли добывает из ветвей растений, на которых живет, пуская вглубь древесных тканей особые присоски (рис. 2.6). К полупаразитам относится также луговое растение погремок (Rhinanthus alectrolophus). Под землей его корни паразитируют на корнях других растений. Иногда он настолько спешит, что присасывается к корням своих собратьев - таких же погремков. Но обычно погремок паразитирует на корнях других растений. Чаще всего это злаки, но могут быть и другие зеленые растения.

Из типичных растительных паразитов наших лесов можно указать растения, обитающие в наших лесах: петров крест (Lathraea squamaria) (рис.2.7), подъельник обыкновенный (Hypopitys monotropa), гнездовка настоящая (Neottia nidus-avis), повилика (Cuscuta) и другие виды растений.

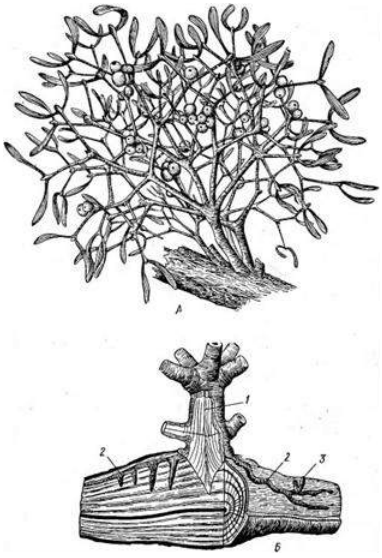


Рис. 2.6. Полупаразитное растение омела

Рис. 2.7. Петров крест

Очень интересный паразит среди растений был найден в джунглях Юго-Восточной Азии (Суматра, Ява, Калимантан) в 1818 году (рис. 2.8). Это раффлезия Арнольда – самый крупный в мире цветок, достигающий диаметра 1 метра. Он паразитирует на корнях лиан из рода Тетрастигма, которые произрастают во влажных тропических лесах. У раффлезии нет ни корней, ни листьев, ни ярко выраженного стебля. Все необходимые питательные вещества она получает из лианы при помощи своей нити-грибницы, заменяющей ей корни. В период цветения раффлезия начинает источать удивительный аромат, напоминающий запах гниющего мяса, который является весьма притягательным для лесных мух. Они садятся на цветочный диск, сплошь усеянный небольшими шипами. Чем больше они двигаются, тем глубже проваливаются к кольцевой бороздке, где их ждут тычинки с липкой пыльцой. Так лесные мухи способствуют опылению раффлезии.

Рис. 2.8. Раффлезия Арнольди

При исследовании явления паразитизма экологи пришли к выводу, что участвующие в таком сожительстве организмы как бы «равнодушны» к себе, и используют друг друга только из эгоистических (если такой термин применим к миру растений и животных)

побуждений. Действительно, оса Chrysis ignata, паразитирующая на пчелах, нимало не заботится о благополучной жизни последней, так же, как и наездник Pleolophus basizonus, который нападает на коконы европейского соснового пилильщика Neodiprion sertifer.

Строго говоря, организмы, убивающие своего хозяина, являются не паразитами, а паразитоидами. ***Паразитоиды*** – организмы, которые ведут паразитический образ жизни на личиночной (неполовозрелой) стадии, например, некоторые насекомые, откладывающие яйца либо в тело других насекомых (на ранних стадиях развития последних), либо на его поверхность. Личинки паразитоидов, вылупившиеся из яиц, развиваются внутри или на теле хозяина, который обычно не достиг взрослого состояния. *Паразитоид вызывает неизбежную гибель хозяина,* так как по мере своего развития личинка паразитоида целиком съедает его. Считается, что к паразитоидам относится около 25% всех обитающих на земле видов.

Примером может служить наездник мелкобрюх (Apanteles glomeratus L., рис. 2.9), крохотное насекомое из отряда перепончатокрылых. Самка мелкобрюха откладывает яйца в совсем молоденьких, одно-трёх-дневных гусениц. Бегая по капустным листьям, перелетая с грядки на грядку, она ищет гусениц. Найдёт — подогнёт брюшко, выставляя перед собой его конец с острым яйцекладом. Всего на несколько секунд вкалывает она яйцеклад в тело гусеницы, и за это время успевает отложить десяток, полтора яиц. бывает, что в гусенице развивается две-три сотни личинок мелкобрюха. Гусеница линяет, растёт, а внутри неё растут личинки мелко-брюха, питающиеся её кровью и жиром. Ко времени окукливания гусеницы личинки наездника становятся взрослыми и выползают наружу.

Жизненный цикл этих перепончатокрылых демонстрирует высокоразвитую химическую мимикрию (подражательное сходство). Наездник откладывает яйца на часто посещаемое муравьем растение. Вылупляющиеся личинки, называемые планидами, прикрепляются к проходящим мимо рабочим муравьям и переносятся ими в гнездо – к муравьиным личинкам. Кормятся планиды в основном куколками хозяев. Муравьи не способны отличить

паразитоидов от собственного расплода, поскольку пахнут они точно так же. Очевидно, личинки наездников «заимствуют» запах у муравьев, а не синтезируют его компоненты сами, поскольку у взрослых наездников, вылетевших из гнезда хозяина, их уже не обнаружено.

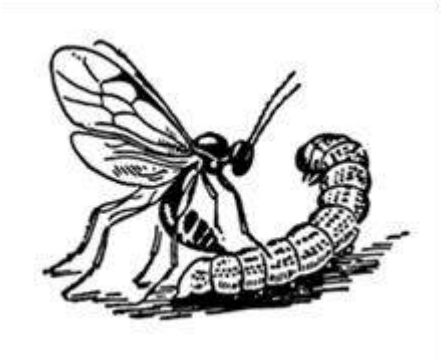


Рис. 2.9. Наездник мелкобрюх, откладывающий яички в тело молодой гусеницы

В своей книге «Собирание бабочек» русский писатель С.Т.Аксаков так описывает наездника: «Существует четырехкрылое насекомое, называемое наездник; оно кладет свои яйца в гусеницы бабочек; вышедшие из этих яиц червячки живут в гусенице и питаются ее внутренностями, что не мешает ей превратиться в куколку. В ней совершается превращение червячков наездника, которые потом и выходят из нее, так что вместо ожиданной бабочки является отвратительная оса, или наездник».

У паразита имеется какое-то «совестливое сочувствие» по отношению к хозяину. В любом случае он вынужден идти на компромисс, чтобы сохранить жизнь своему хозяину, а значит, и себе, и в перспективе - потомству. Поэтому непрерывно вредить своему хозяину для паразита невыгодно. Паразитоиды же начисто лишены даже зачаточного чувства «совести».

Американский биолог и естествоиспытатель Арнольд Ньюмен описывает поведение паразитоида в своей книге «Легкие нашей планеты»: «Один из ярких примеров - паразитирующие в гусеницах бабочки осы-ихневмоны из семейства настоящих наездников (Ichneumonidae); они, словно ведьмы, рыщут по лесу в поисках гусениц, а найдя, набрасываются на них и откладывают им в тело одно или несколько яиц. Последняя операция происходит незаметно для жертвы - ничего не подозревающая гусеница продолжает заниматься своими делами. Вскоре из каждого яйца выводится около тридцати личинок, которые начинают питаться внутренними органами гусеницы. С искусностью хирурга они выедают внутренности жертвы, оставляя жизненно важные органы «на десерт». Достигнув определенной стадии развития, личинки проедают себе путь сквозь кожу гусеницы и образуют коконы на спине и по бокам жертвы. Через несколько дней они вылезают из коконов и покидают гусеницу, оставляя ее в плачевном состоянии. Беднягу, как нетрудно догадаться, ждет смерть».

Таким образом, отличие паразита от паразитоида состоит в том, что паразиты стараются большей частью не убивать своего хозяина, иначе они неминуемо погибнут сами. Паразитоиды же постепенно целенаправленно убивают хозяина, питаясь его тканями в процессе своего созревания (взросления).

В ходе эволюции между паразитами и их хозяевами выработались специфические взаимоотношения. Прежде всего, агрессивная изощренность паразитов постоянно наталкивалась на оборонительную изобретательность хозяев. Это заставляло последних постоянно прибегать к поиску новых разнообразных стратегий самообороны, в противном случае, им грозило вымирание. По мнению биологов, соревнование за выживание между паразитами и их хозяевами имеет глубокий биологический смысл, поскольку в противостоянии паразитам у животных и растений возникали все новые генные вариации, что в конечном счете со временем приводило к возникновению новых видов.

Живые организмы зачастую энергично реагируют и успешно противостоят воздействию со стороны паразитов. Такое сопротивление паразитам получило название активного иммунитета. Например, в крови хозяина вырабатываются специфические белковые вещества, антитела, подавляющие действие паразитов. Зачастую организм хозяина реагирует на проникновение паразита разрастанием окружающих его тканей. Образуются своеобразные капсулы, изолирующие паразита. Такие образования у животных получили название зооцецидии, а у растений – галлы.

В свою очередь, паразиты часто демонстрируют удивительную изобретательность, чтобы преодолеть биохимические барьеры организма-хозяина и создать благоприятные условия для проживания своего потомства в теле жертвы. Например, личинки ланцетовидной печеночной двуустки – плоского червя из класса трематод - активно размножаются в печени овцы или другого травоядного животного. Для продолжения рода они всего лишь должны каким-то образом попасть в организм хозяина. Используют они для этого таких переносчиков, как трудолюбивые муравьи. Проникая в тело муравья, они внедряются в его нервную систему и, манипулируя ею, заставляют насекомое вскарабкиваться на стебли травы и намертво вгрызаться в них. Казалось бы, для муравьев это совершенно бессмысленное занятие. Но не для двуусток. У них появляется шанс попасть в организм овцы вместе с поедаемыми ею растениями.

Весьма оригинальную стратегию выживания разработала калифорнийская трематода (сосальщик) эвгаплорхис. Цикл ее развития недавно тщательно был изучен учеными. Во время морского прилива прибрежные луга заливаются соленой водой. Здесь обитают улитки, в организме которых часть жизни проводит эвгаплорхис. Для нее это всего лишь перевалочный пункт. Конечная цель – попадание в организм цапли. Для этого он использует принесенных приливом карповых рыб, которых с удовольствием поедают птицы. Однако, карпы, чтобы не попасться на обед цапле, предпочитают держаться ближе ко дну, где шанс быть съеденными минимален. До чего же «додумалась» эвгаплорхис? Паразит инстинктивно прибегает к приему, который выработался у него в ходе эволюции. Проникая в организм рыбы, эвгаплорхис, продвигаясь по клеткам мозга, «программирует» так поведение карпа, чтобы тот всплывал на поверхность. Здесь и поджидает его цапля, в организме которой эвгаплорхис размножается. Затем потомство с пометом выводится наружу и снова попадает на заливные прибрежные луга к улиткам. Таким образом червь совершает свой жизненный цикл.

Зачастую средой обитания растений служат другие растения. Такое явление, при котором одни растения используют другие (в основном стволы и ветви) в качестве среды обитания, но не паразитируют на них, называется *эпифитизм*, а поселяющиеся организмы – эпифиты (от греч. «эпи» - на, над, сверх и «фитон» - растение). Эпифиты используют фотосинтез для получения энергии и питательных веществ и получают влагу из воздуха и осадков (дождь, туман и др.) У эпифитов выработались приспособления для улавливания воды и минеральных солей из воздуха. Обычно это воздушные корни. К эпифитам относятся среди прочих растения из семейства орхидных и бромелиевых, а также папоротники, обитающие во влажных тропических лесах, мхи и лишайники, поселяющиеся на стволах наших древесных пород.

# ГЛАВА 3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ

*Присутствие непостижимой силы*
*Таинственно скрывается во всем;*
*Есть мысль и жизнь в безмолвии ночном*
*И в блеске дня, и в тишине могилы,*
*В движении бесчисленных миров,*
*В торжественном покое океана,*
*И в сумраке задумчивых лесов,*
*И в ужасе степного урагана,*
*В дыхании прохладном ветерка,*
*И в шелесте листов перед зарею,*
*И в красоте пустынного цветка,*
*И в ручейке, текущем под горою.*

**Иван Никитин – русский поэт**

## 3.1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

*Каждый вид приспособлен к своей специфической среде, к определенной пище, хищникам, температуре, солености воды и другим элементам внешнего мира, без которых он не может существовать.*

**Г.В.Никольский - советский учёный-ихтиолог**

Отдельные элементы среды обитания, оказывающие то или иное влияние на живые организмы, на которые они реагируют приспособительными реакциями (адаптациями), называются факторами среды, или экологическими факторами. Иначе говоря, комплекс окружающих условий, влияющих на жизнедеятельность организмов, носит название **экологических факторов среды**.

Экологические факторы — все составные элементы естественной среды, которые влияют на существование и развитие организмов и на какие живые существа реагируют реакциями приспособления – адаптациями (за пределами способности приспособления настает смерть).

Экологические факторы могут быть прямыми (влага, свет, тепло, характер почвенной и водной среды) и косвенными (рельеф, характер горных пород, изменение человеком природных местообитаний). Следует отметить, что в действии каждого экологического фактора можно различать прямое или косвенное влияние, только иногда преобладает первое, а в ином случае – второе.

Экологические факторы влияют на организм не по отдельности, а в совокупности. Такая совокупность необходимых для жизнедеятельности факторов носит название – условия существования.

Благоприятное в одном случае значение для организма одного из факторов может в известной степени уменьшать неблагоприятное действие другого. Так, в тропическом лесу, при более высоких температурах и их благоприятном годовом ходе, растения могут выносить более сильное затенение, чем в лесах умеренного пояса с менее благоприятным температурным режимом.

Один и тот же фактор среды имеет различное значение в жизни совместно обитающих организмов разных видов. Например, сильный ветер зимой неблагоприятен для крупных, обитающих открыто животных, но не действует на более мелких, которые укрываются в норах или под снегом. Солевой состав почвы важен для питания растений, но безразличен для большинства наземных животных и т. п.

Не все экологические факторы имеют равноценное значение в жизнедеятельности организмов. Так, для большинства растений-автотрофов интенсивность освещения по значимости стоит на первом месте, тогда как для грибов-гетеротрофов свет практически не влияет на скорость протекания обменных процессов. При этом каждый вид растений может существовать только при совокупности экологических факторов с определенной интенсивностью действия в соответствующем диапазоне величин. Так, для прорастания семян кукурузы необходима температура +20-25 $^{o}$C, а укропа либо гороха - +8-12 $^{o}$C.

Экологические факторы имеют разную природу и специфику действия. Они действуют на организм различно: каждый фактор неодинаково влияет на разные функции организма.

Все многообразие экологических факторов делится на две большие группы. Одна группа включает компоненты и явления неживой природы, прямо или косвенно воздействующие на живые организмы. Такие проявления свойств неживой природы называются ***абиотическими факторами***. Среди множества абиотических факторов главную роль играют климатические, эдафические (почвенные), орографические (рельеф), гидрографические (водная среда), химические, пирогенные (Табл. 3.1).

Однако не только окружающая среда влияет на рост и развитие организмов. Сами живые организмы находятся в постоянных взаимоотношениях между собой. Совокупность таких взаимоотношений, взаимовлияний одних организмов на жизнедеятельность других, а также на среду их обитания, носит название ***биотических факторов***. Биотические факторы подразделяются соответственно на факторы фитогенные (от греч. «фитон» - растение) – воздействие растений друг на друга и окружающую среду и зоогенные (от греч. «зоон» - животное) – воздействие животных друг на друга и на среду обитания. Действие биотических факторов может быть не только непосредственным, но и косвенным, выражаясь в корректировке абиотических факторов, например, изменение состава почвы, микроклимата под пологом леса и т.п.

Интенсивное влияние человека (непосредственно) или человеческой деятельности (опосредованно) на окружающую среду и живые организмы. носят название ***антропогенные факторы*** (от греч. «антропос» - человек). К таким факторам относятся все формы деятельности человека и человеческого общества, которые приводят к изменению природы как среды обитания и других видов и непосредственно сказываются на их жизни. Каждый живой организм испытывает влияние неживой природы, организмов других видов, в том числе и человека, и, в свою очередь, оказывает воздействие на каждую из этих составляющих.

Таблица 3. 1. Классификация экологических факторов среды

| Абиотические факторы | Биотические факторы |
|---|---|
| **Климатические:**<br>солнечная радиация, свет и световой режим, температура, влажность, атмосферные осадки, ветер, атмосферное давление и др.<br>**Эдафические:**<br>механическая структура и химический состав почвы, влагоемкость, водный, воздушный и тепловой режим почвы, кислотность, влажность, газовый состав, уровень грунтовых вод и др.<br>**Орографические:**<br>рельеф, экспозиция склона, крутизна склона, перепад высот, высота над уровнем моря.<br>**Гидрографические:**<br>факторы водной среды - прозрачность воды, текучесть, проточность, температура, кислотность, газовый состав, содержание минеральных и органических веществ и т.п.<br>**Химические:**<br>газовый состав атмосферы, солевой состав воды.<br>**Пирогенные:** воздействие огня | **Фитогенные:**<br>влияние растений друг на друга и на окружающую среду.<br><br>**Зоогенные:**<br>влияние животных друг на друга и на окружающую среду. |

Влияние антропогенных факторов в природе может быть как сознательным, так и случайным, или неосознанным. Человек, распахивая целинные и залежные земли, создает сельскохозяйственные угодья, выводит высокопродуктивные и устойчивые к заболеваниям формы, расселяет одни виды и уничтожает другие. Эти воздействия часто носят отрицательный характер, например, необдуманное расселение многих животных, растений, микроорганизмов, хищническое уничтожение целого ряда видов, загрязнение среды и др.

К случайным относятся воздействия, происходящие в природе под влиянием человеческой деятельности, но не были заранее предусмотрены и запланированы им, и таких примеров немало: распространение различных вредителей, паразитов, случайный завоз различных организмов с грузом, непредвиденные последствия, вызванные сознательными действиями в природе, например, нежелательные явления, вызванные осушением болот, постройкой плотин, распашкой целины и др.

Таким образом, все экологические факторы делятся на следующие группы:

■ абиотические – влияние элементов неживой природы;

■ биотические – влияние живых организмов;
■ антропогенные – влияние человека.

Биотические факторы среды проявляются через взаимоотношения организмов, входящих в одно сообщество. В природе многие виды тесно взаимосвязаны, и их отношения друг к другу как к компонентам окружающей среды могут носить чрезвычайно сложный характер. Что касается связей между сообществом и окружающей неорганической средой, то они всегда являются двусторонними, обоюдными. Так, характер леса зависит от соответствующего типа почв, но сама почва того или иного типа формируется в значительной мере под влиянием леса. Подобно этому, температура, влажность и освещенность в лесу определяются растительностью, но сформировавшиеся в результате климатические условия в свою очередь влияют на сообщество обитающих здесь организмов.

## 3.2. АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

Экологические факторы имеют разную природу и специфику действия. Они действуют на организм различно: каждый фактор неодинаково влияет на разные функции организма.

Действие экологических факторов может приводить к:

а) устранению некоторых видов с территории (климатические и физико – химические особенности которых им не подходят), что влечет за собой изменение их географическое распространения;

в) изменению плодовитости и смертности разных видов путем воздействия на развитие каждого из них и вызывая миграции, т.е. влияя на плотность популяций;

г) появлению адаптивных модификаций: количественных изменений обмена веществ и таких качественных изменений, как диапауза, зимняя и летняя спячки, фотопериодические реакции и т.д.

Охарактеризуем основные абиотические факторы, воздействующие на живой организм.

### Климатические факторы

Климат конкретной местности определяется как характерный многолетний режим погоды, обусловленный солнечной радиацией, ее преобразованиями в деятельном слое земной поверхности и связанной с ними циркуляцией атмосферы и океанов. Основными климатическими характеристиками, имеющими значение в экологии являются: число дней солнечного сияния, суммарная солнечная радиация, радиационный баланс; среднегодовые величины и сезонные или месячные колебания температуры воздуха, ее суточный ход, ее абсолютные и минимумы и максимумы; сроки перехода температуры через 0 °С и 10 °С; количество осадков, испаряемость влаги; сила и направление ветров; влажность воздуха.

#### *Свет*

В экологии под термином «свет» подразумевается весь диапазон солнечного излучения, достигающего земной поверхности. Солнечное излучение — это важнейший абиотический фактор. Оно представляет собой электромагнитные волны различной длины.

На долю инфракрасного излучения приходится около половины энергии, а видимого спектра — 40 %, ультрафиолетового и рентгеновского диапазонов — 10 %. Излучение Солнца избирательно поглощается атмосферой, включающей озоновый слой; до Земли доходит электромагнитное излучение с длиной волны от 0,3 до 3 мкм. Солнечное излучение в остальной части спектра, т.е. в длинно- и коротковолновых областях спектра, поглощается атмосферой. Поглощение и рассеяние солнечной энергии зависят от рельефа и многих свойств земной поверхности.

Без света невозможна фотосинтетическая деятельность растений, а без последней немыслима жизнь вообще, поскольку зеленые растения имеют способность продуцировать необходимый для жизни живых существ кислород. Кроме того, свет является единственным источником тепла на планете Земля.

Свет оказывает непосредственное воздействие на химические и физические процессы, происходящие в организмах. Он влияет на весь ход обмена веществ в них. Многие морфологические и поведенческие характеристики связаны с воздействием света на организмы. Деятельность некоторых внутренних органов животных тесно связана с освещением. Поведение животных, например, сезонные перелеты, кладка яиц, ухаживание за самками, весенний гон связаны с продолжительностью светового дня.

Для живого вещества важны качественные признаки света - длина волны, интенсивность и продолжительность воздействия. Различают ближнее ультрафиолетовое излучение (400-200 м) и дальнее, или вакуумное (200-10 нм). Источники ультрафиолетового излучения — высокотемпературная плазма, ускоренные электроны, некоторые лазеры, Солнце, звезды и др. Биологическое действие ультрафиолетового излучения обусловлено химическими изменениями поглощающих их молекул живых клеток, главным образом, молекул нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) и белков, и выражается в нарушениях деления, возникновении мутаций и в гибели клеток.

Излучение, воспринимаемое нашим глазом, - это лишь часть спектра электромагнитных колебаний. Эта область охватывает диапазон волн длиной 0,39-0,76 мкм. Электромагнитные волны большей длины лежат в инфракрасной области спектра (0,76-4,0 мкм). Они воспринимаются человеком как тепло. Более короткие - ультрафиолетовые волны (<0,4 мкм) наши органы чувств непосредственно не воспринимают. Другие живые существа, в частности насекомые, наоборот, воспринимают инфракрасные и ультрафиолетовые излучения, недоступные человеку (рис. 3.1).

Известно, что животные и растения реагируют на изменение длины волны света. Цветовое зрение развито в разных группах животных по-разному: оно хорошо развито у некоторых видов членистоногих, рыб, птиц и млекопитающих, но у других видов тех же групп оно может отсутствовать. На рис. 3.2 показано восприятие цветочного луга человеком и пчелой.

Часть солнечных лучей, преодолев огромное расстояние, достигает поверхности Земли, освещает и обогревает ее. Подсчитано, что на нашу планеты поступает около одной двухмиллиардной части солнечной энергии, а из этого количества лишь 0,1-0,2% используется зелеными растениями на создание органического вещества. Достигающая Земли одна двухмиллиардная часть солнечного излучения, соответствует тому, что

каждому квадратному метру планеты достается от светила в среднем по 1,3 кВт энергии. Ее хватило бы для работы электрического чайника или утюга.

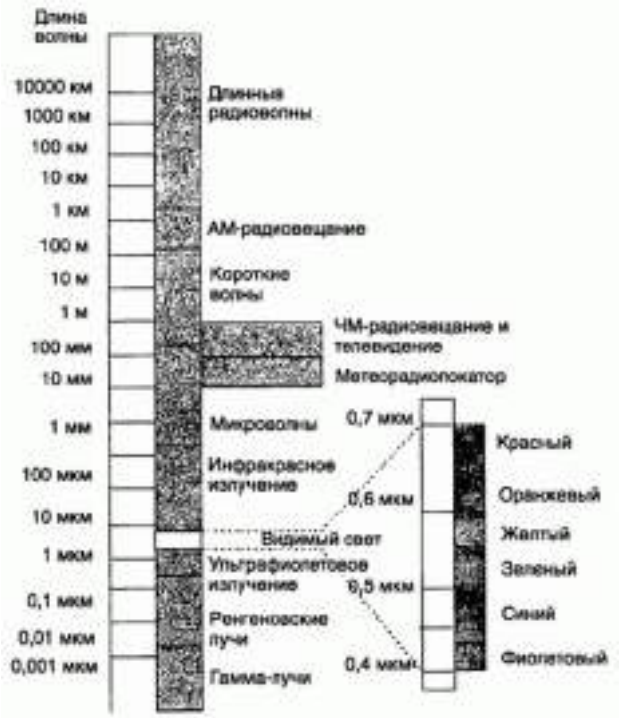



Рис. 3.1. Спектр электромагнитного излучения Солнца

Солнечная энергия, которую зеленые растения поглощают и используют, называется фотосинтетически активной радиацией (ФАР). В этом спектральном диапазоне (0,38-0,71 мкм) в живых организмах совершаются важнейшие фотобиологические процессы. Показатели ФАР очень изменчивы. Интенсивность фотосинтеза варьируется с изменением длины волны света. Например, при прохождении света через воду красная и синяя части спектра отфильтровываются и получающийся зеленоватый свет слабо поглощается хлорофиллом. Однако красные водоросли имеют дополнительные пигменты (фикоэритрины), позволяющие им использовать эту энергию и жить на большей глубине, чем зеленые водоросли.

Оказывается, для растений наиболее продуктивными являются не прямые солнечные лучи, которые падают перпендикулярно на зеленую поверхность листьев, а рассеянные. Прямая радиация Солнца в зависимости от высоты светила над горизонтом содержит 28-43% ФАР. Рассеянная радиация при солнечном свете – 50-60, рассеянная радиация при ясном небе – до 90% ФАР.

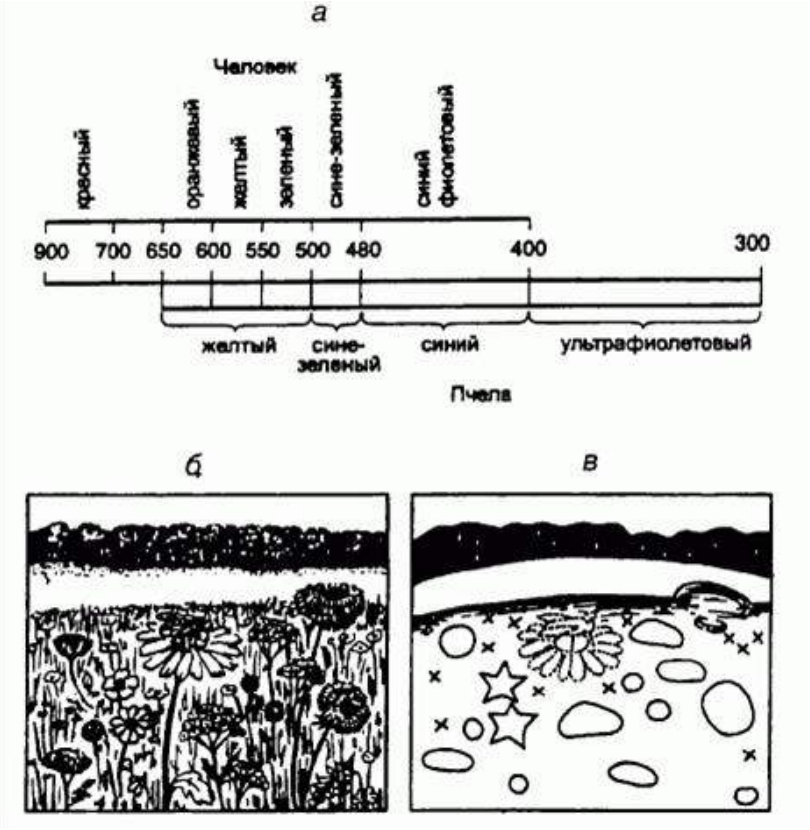



Рис. 3.2. Восприятие света человеком и пчелой (а); цветочный луг, каким его видим мы (б) и пчела (в).

## *Температура*

К одному из самых важнейших абиотических факторов, обеспечивающих жизнедеятельность и нормальное существование растений и животных, следует отнести температуру окружающей среды. Все химические процессы, протекающие в организме, зависят от температуры. Температура – основа кинетики химических реакций. Влияние температуры на большинство организмов проявляется в регулировании биохимических и физиологических процессов жизнедеятельности. Это постоянно действующий абиотический фактор.

Особенно заметно влияние температуры на фотосинтез, обмен веществ, двигательную активность, размножение. Так, для картофеля наивысшая продуктивность фотосинтеза проявляется при температуре среды +20 °С, но при +48 °С этот процесс полностью тормозится.

Любой организм способен жить в пределах определенного диапазона температур. Область распространения живого в основном ограничена областью чуть ниже 0 $^{o}$С и до 50 $^{o}$С. Если говорить в общем, то диапазон температур от +50 до – 50 $^{o}$С представляет собой фундаментальную характеристику температурных условий в биосфере. И хотя некоторые авторы указывают диапазон температур, при которых возможно существование живых организмов от -200 °С до +100 °С, большая часть обитающих на Земле видов приспособлена

к жизни в довольно узкой температурной амплитуде, причем, как правило, верхние температурные границы оказываются более критическими, нежели нижние.

Конечно, известны и исключения, когда живые организмы переносили как высокие (некоторые цианобактерии могут существовать при 80-88 °С), так и низкие температуры. Например, одна из жужелиц Аляски (Pterostichus brevicorni) в условиях эксперимента перенесла охлаждение -87 °С в течение пяти часов. В исландских термальных (теплых) источниках температура воды обычно держится близ отметки +55 °С. Здесь часто можно встретить личинки мушки Scatella. Обычно к высоким температурам приспосабливаются беспозвоночные животные, такие, как мелкая амеба (Amoeba limax), которая выдерживает температуру +54 °С (горячие источники Италии). Позвоночные в подавляющем большинстве не в состоянии выдерживать такие экстремально высокие температуры, хотя и здесь есть исключения. Например, рыба карпозубик (Cyprinodon nevadensis) в горячих источниках пустыни штата Невада (США) выносит температуру воды около +42 °С (рис. 3.3).

Рис. 3.3. Карпозубик (Cyprinodon nevadensis).

Критические температуры для растений и животных могут варьировать чрезвычайно широко. Если живущие в пустыне рептилии могут без труда переносить 45-градусную жару, то большинство морских беспозвоночных гибнет при температуре более 30-32 градусов. Наши обычные бабочки – крапивницы и капустницы во взрослом состоянии могут выживать при температурном интервале от 8 до 20 °С ниже нуля. И только после падения температуры тела ниже этих величин у них наступает переохлаждение, вызывающее необратимые изменения в организме. А такие организмы как коловратки при высыхании могут выдерживать падение температуры до -60 °С. После повышения температуры они часто оживают.

Виды, адаптированные к низким температурным режимам относятся к экологической группе ***криофилов***. Свыше 80 % земной биосферы относится к постоянно холодным областям с температурой ниже +5 °С – это глубины Мирового океана, арктические и антарктические пустыни, тундры, высокогорья. Обитающие здесь виды обладают повышенной холодостойкостью. Основные механизмы этих адаптаций биохимические.

К криофилам относятся многие обитатели полярных вод (иглокожие, рыбы, моллюски), холодных (гл. обр. горных) рек и ручьёв (форель, некоторые планарии и др.), а также многие наземные животные полярных широт и высокогорий. У холодноводных рыб (таймень, сиги) при повышении температуры снижаются общая активность и интенсивность питания. У некоторых арктических рыб в крови содержатся вещества, понижающие точку замерзания жидких тканей («биологические антифризы»). Такими веществами у рыб являются гликопротеиды, у насекомых — глицерин, высокие концентрации глюкозы.

Интересный пример криофилов – сибирский углозуб. Этот представитель хвостатых земноводных, всего 12-13 см длиной - единственный на свете тритон, который живёт и здравствует в вечной мерзлоте тундры и таёжных лесах Камчатки, Сахалина, Чукотки, Сибири (рис. 3.4). Он способен выносить переохлаждение своего тела до – 6 °С. А вот при жаре погибает при температуре 27°С. На время сильных морозов благодаря тому, что его печень синтезирует глицерин, и в этом состоянии его организм практически не функционирует, сибирские углозубы практически замерзают до состояния ледышки. Когда становится теплее, животное «оттаивает» и снова возвращается к жизни.

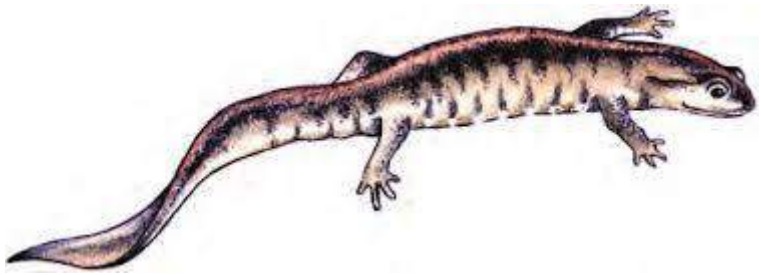


Рис. 3.4. Сибирский углозуб.

К криофилам относятся также организмы (одноклеточные водоросли, криопланктон, некоторые черви и насекомые), живущие в талых лужах, на поверхности льда или снега, а также в воде, пропитывающей морской лёд. Массовое развитие водорослей-криофилов вызывает окрашивание льда или снега (напр., Chlamydomonas nivalis – в красный цвет).

Растения-криофилы носят название ***криофиты***. Это растения, которые приспособились к росту в холодных (среднедекадные температуры вегетационного периода 0—10 °С) и сухих местах. К ним относятся высокогорные подушковидные растения (напр., азорелла, проломник), ряд характерных для Арктики видов, напр. куропаточья трава, или дриада (род Dryas), камнеломка супротивнолистная (Saxifraga oppositifolia).

Основным источником тепла, как и света, является солнечное излучение. Организм может выживать только в условиях, к которым приспособлен его метаболизм (обмен веществ). Если температура живой клетки падает ниже точки замерзания, клетка обычно физически повреждается и гибнет в результате образование кристаллов льда. Если же температура слишком высока, происходит так называемая денатурация белков. Именно это происходит при варке куриного яйца.

Экологическая группа видов, оптимум жизнедеятельности которых приурочен к области высоких температур, носит название ***термофилы***. Этим свойством отличаются многие представители микроорганизмов, растений и животных, встречающихся в горячих источниках, на поверхности прогреваемых почв, в разлагающихся органических остатках при их саморазогревании и т. п. Термофильные микроорганизмы широко распространены в природе (горячие источники, саморазогревающиеся субстраты — кучи влажного сена и зерна, навоз и др., верх, слои сильно разогреваемой солнцем почвы); растут и размножаются при температурах св. 45 °С.

Наиболее устойчивы к верхним температурным пределам активной жизни бактерии. У одного из видов архебактерий, распространенных на глубинах вокруг термальных

источников, экспериментально обнаружена способность к росту и делению клеток при температурах, превышающих +110 °С. Некоторые бактерии, окисляющие серу, как, например, Sulfolobus acidocaldarius, размножаются при +85–90 °С. Обнаружена даже способность ряда видов расти в практически кипящей воде. Естественно, не все бактерии активны при столь высоких температурах, но разнообразие таких видов достаточно велико.Максимальные температуры роста бактерий 70—90 °С и выше, микроскопических грибов и водорослей 55—60 °С, простейших 45—50 °С.

*В 1977 году ученые на дне Тихого океана в районе Галапагосских островов нашли... «дымящие фабрики». Они выглядели как небольшие башни высотой до 25 метров, выбрасывавшие в океанскую воду под высоким давлением черный «дым». Их назвали – черные курильщики. Из дна вверх били струи черного цвета, а вокруг жило множество разных диковинных живых организмов. Оказалось, что они образованы благодаря контакту океанской воды с магмой. Морская вода проникает по ним вглубь Земли, где затем нагревается теплом магмы и вступает в химическую реакцию с горными породами. Потом, разогретая и обогащенная различными веществами, она вырывается к поверхности дна. Температура «дыма» черных курильщиков достигает 350-400 °С! Морская вода, проникая сквозь трещины в поверхности, опускается до уровня поднявшейся магмы, нагревается ею до температуры в сотни градусов и вымывает из коры минеральные вещества, чаще сульфиды железа, меди и цинка. В этой «атмосфере» черных курильщиков проживают археи – прабактерии, родственники бактерий, одноклеточные микроорганизмы, не имеющие ядра, а также каких-либо мембранных органелл. Ранее археи объединяли с бактериями в общую группу, называемую прокариоты. Они составляют основу пищевой цепочки биоценоза «черных курильщиков». Они поглощают сероводород и углекислый газ, превращая их в сахара. Биомасса архебактерий служит основой питания глубоководных двустворчатых моллюсков и погонофор — удивительных существ, которые являются животными, но очень похожи на растения. У ученых до сих пор нет единства во мнении, как классифицировать погонофор. Их иногда относят к отдельному типу животного мира, а иногда относят к типу кольчатых червей.*

Воздействие различных температур на живые организмы приводит либо к увеличению, либо к уменьшению скорости обменных процессов и биохимических реакций. От температуры зависит скорость в организме биохимических реакций, составляющих обмен веществ. Повышение температуры увеличивает количество молекул, обладающих энергией активации и ведет к пропорциональному возрастанию скорости реакции. Величину температурного ускорения химических реакций удобно отражать коэффициентом температурного ускорения $Q_{10}$.

$$Q_{10} = K_t + 10 / K_t$$

Где $K_t$ – скорость реакции при температуре t.

Данный коэффициент показывает во сколько раз изменяется скорость реакций при изменении температуры на 10 $^{o}$С. Это положение называется *правилом Вант-Гоффа* и гласит, что подъем температуры на 10 $^{o}$С приводит к 2-3 кратному ускорению химических процессов, т.е. величина коэффициента равна 2-3. Следует отметить, что в реакциях живых организмов коэффициент Q10 может колебаться в довольно широких пределах. Объясняется это тем, что в живых организмах химические процессы протекают с участием

сложных ферментативных систем. Их активность зависит от температуры. Однако скорость ферментативных реакций не является линейной функцией температуры. Поэтому для разных организмах, находящихся в специфических условиях среды, коэффициент температурного ускорения различный. Например, зависимость метаболизма рыб и многих водных животных от температуры выражается в изменении величины Q10 от 10,9 до 2,2 в диапазоне температур от 0 до +30 $^{o}$C.

В процессе эволюции у живых организмов выработались разнообразные приспособления, позволяющие регулировать обмен веществ при изменениях температуры окружающей среды. Это достигается двумя путями:

1) различными биохимическими и физиологическими перестройками (изменение набора, концентрации и активности ферментов, обезвоживание, понижение точки замерзания растворов тела и т. д.);

2) поддержанием температуры тела на более стабильном уровне, чем температура окружающей среды, что позволяет не слишком нарушать сложившийся ход биохимических реакций.

При сильном понижении температуры осуществление жизненных функций организма становится невозможным из-за резкого замедления обмена веществ. При повышении температуры обменные процессы организма резко возрастают, что в большинстве случаев приводит к его гибели. Большинство организмов способно в той или иной мере контролировать температуру своего тела с помощью различных ответных реакций. У подавляющего числа живых существ температура тела может изменяться в зависимости от температуры окружающей среды. Такие организмы не способны регулировать свою собственную температуру и называются ***пойкилотермными*** *(в обиходе их называют теплокровные)*. Их активность в основном зависит от тепла, поступающего извне. Температура тела пойкилотермных организмов связана со значениями температуры окружающей среды. Пойкилотермия (холоднокровность) свойственна таким группам организмов как растения, микроорганизмы, беспозвоночные, рыбы, рептилии и др.

Значительно меньшее количество живых существ способно к активному регулированию температуры тела. Это представители двух высших классов позвоночных - птицы и млекопитающие. Вырабатываемое ими тепло является продуктом биохимических реакций и служит существенным источником повышения температуры тела. Такая температура поддерживается на постоянном уровне независимо от температуры окружающей среды. Организмы, способные поддерживать постоянную оптимальную температуру тела независимо от температуры среды, называются ***гомойотермные*** *(теплокровные)*. Они способны поддерживать постоянную оптимальную температуру тела за счет более высокого по сравнению с пойкилотермными уровнем обмена веществ. Другим механизмом поддержания температурного гомеостаза у них является наличие термоизоляционного слоя (оперение, жир, шерстяной покров).

К гомойотермным организмам относятся две группы животных: птицы и млекопитающие.

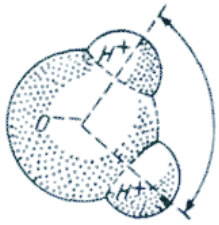
За счет этого свойства многие виды животных способны жить и размножаться при температуре ниже нуля (северный олень, белый медведь, ластоногие, пингвины). Поддержание постоянной температуры своего тела обеспечивается пойкилотермными

животными (теплокровными) такими приспособлениями к условиям существования, как хорошая тепловая изоляция, создаваемая шерстяным покровом, плотное оперение, подкожные воздушные полости, толстый слой жировой ткани и т.п.

Частный случай гомойотермии - ***гетеротермия***. В эту группу входят виды, впадающие в спячку или временное оцепенение. Эти виды в активном состоянии поддерживают постоянную температуру тела на высоком уровне, а в неактивном – пониженную, что сопровождается замедлением обмена веществ. Для них присуща физиолого-экологическая адаптация, обеспечивающая низкий уровень потерь энергии во время зимней спячки и высокий обмен веществ в период активности. Таким образом, разный уровень температуры тела у гетеротермных организмов зависит от их функциональной активности. В период активности они обладают постоянной температурой тела, а в период отдыха или зимней спячки она значительно понижается. Гетеротермность характерна для сусликов, сурков, барсуков, летучих мышей, ежей, медведей, колибри и др.

## *Влажность*

*Человек, запомни навсегда:*
*Символ жизни на Земле – вода!*
*Экономь ее и береги –*
*Мы ведь на планете не одни!*
**Е. Евтушенко – российский поэт**




Для громадного числа живых организмов одним из главных экологических факторов является вода. Исключительная значимость воды состоит в том, что она является основным условием существования всего живого на Земле. Все жизненные процессы в клетках живых организмов протекают в водной среде.

Вода и продукты ее диссоциации (ионы водорода, протоны и ионы гидроксила) являются исключительно важными факторами, определяющими структуру и биологические свойства таких органических веществ, как белки, нуклеиновые кислоты, липиды, а также структуру и функциональные свойства биологических мембран и субклеточных органелл клетки.

Вода является основной средой, а во многих случаях - обязательным участником многочисленных химических реакций и физико-химических процессов (ассимиляция, диссимиляция, осмос, диффузия, транспорт и др.), лежащих в основе самой жизни.

Вода имеет высокую температуру кипения и испарения, высокую удельную теплоемкость, большое поверхностное натяжение. Высокая теплота испарения воды обеспечивает наиболее эффективную адаптацию живых организмов и человека к температуре окружающей среды, поддерживая температуру тела на физиологически стабильном уровне. С помощью воды из организма выводятся продукты обмена веществ (шлаки, отмершие клетки, токсины), поддерживается состояние гомеостаза (кислотно-основное, осмотическое, гемодинамическое и пр.).

Вследствие электрополярной природы вода растворяет многие кристаллические соли и полярные соединения (сахара, простые спирты, альдегиды и кетоны) гораздо лучше других жидкостей.

Вода также является транспортной системой организма - переносит питательные вещества, энзимы, продукты метаболизма, газы, антитела и т. д.

Вода – уникальный универсальный растворитель. Именно поэтому найти чистую воду в природе невозможно. Вода вбирает в себя множество встреченных на пути веществ и соединений. В результате человек потребляет не чистую воду, а сложный раствор с множеством самых разных компонентов. Газы достаточно хорошо растворяются в ней, если способны вступать в химическое взаимодействие (аммиак, сероводород, сернистый газ, двуокись углерода). Прочие газы в ней мало растворимы. При понижении давления и повышении температуры растворимость газов. уменьшается. Постоянно соприкасаясь со всевозможными веществами, она фактически всегда представляет собой раствор различного, зачастую очень сложного свойства. В пресной воде содержание растворенных веществ обычно превышает 1 г./л. От нескольких единиц до десятков граммов на литр колеблются содержание солей в морской воде: например, в Балтийском море их всего 5 г./л., в Чёрном - 18, а в Красном море - даже 41 г./л.

Вода химически не изменяется под действием большинства технических соединений, которые растворяет. Это очень важно для всех живых организмов на нашей планете, поскольку необходимые их тканям питательные вещества поступают в водных растворах в сравнительно мало измененном виде. В природных условиях вода всегда содержит то или иное количество примесей, взаимодействия не только с твердыми и жидкими веществами, но растворяя также и газы.

Вода способна к значительному переохлаждению, т. е. может оставаться в жидком состоянии ниже температуры плавления (даже при -30 °С). Ее удельная теплоёмкость, удельная теплота плавления и кипения аномально высоки по сравнению с другими веществами, причём удельная теплоёмкость воды минимальна при 40 °С. Теплоемкость воды принята за единицу. Теплоемкость песка, например, составляет 0,2, а железа - лишь 0,107 теплоемкости воды. Способность воды накапливать большие запасы тепловой энергии позволяет сглаживать резкие температурные колебания на прибрежных участках Земли в различные времена года и в различную пору суток: вода выступает как бы регулятором температуры на всей нашей планете.

Большое экологическое значение имеют высокая плотность и вязкость воды. Плотность воды примерно в 1300 раз, а вязкость примерно в 55 раз выше, чем у воздуха. Вязкость с ростом давления уменьшается, а не повышается, как следовало бы ожидать по аналогии с другими жидкостями. Сжимаемость воды крайне невелика, причём с ростом температуры уменьшается. Удельная масса воды соизмерима с таковой тела живых организмов.

Из-за высокой плотности воды водные организмы (особенно, активно движущиеся) сталкиваются с большой силой гидродинамического сопротивления. Эволюция многих групп водных животных по этой причине шла в направлении формирования формы тела и типов движения, снижающих лобовое сопротивления, что приводит к снижению энергозатрат на плавание. Так, обтекаемая форма тела встречается у представителей

различных групп организмов, обитающих в воде, - дельфинов (млекопитающих), костистых и хрящевых рыб.

Высокая плотность воды является также причиной того, что механические колебания (вибрации) хорошо распространяются в водной среде. Это имело важное значение в эволюции органов чувств, ориентации в пространстве и коммуникации между водными обитателями. Вчетверо большая, чем в воздухе, скорость звука в водной среде определяет более высокую частоту эхолокационных сигналов.

По сравнению с почвой и воздухом вода отличается гораздо большей термостабильностью, что благоприятно для существования жизни. Когда вода начинает нагреваться, возрастает испарение, вследствие чего повышение температуры замедляется. При охлаждении воды ниже 0 $^{o}$C и образовании льда, выделяющееся тепло тормозит дальнейшее понижение температуры.

По сравнению с воздухом вода гораздо менее прозрачна, и падающий в нее свет довольно быстро поглощается и рассеивается.

Уникальные свойства воды предопределяют особую ее миссию в формировании лика планеты Земля, ее физической и химической среды, а также в появлении и поддержании удивительного явления - жизни. Тела животных, как правило, не менее чем на 50 % состоит из воды. Самым «сухим» организмом является амбарный долгоносик (Sithophilus granarus) (рис. 3.5). Его тело содержит всего 46% воды. Основная его пища – зерно – сухой корм. В целом содержание воды в теле животных, обитающих на суше меньше, чем у водных, не считая живущих на почве. Например, тело крупного рогатого скота содержит 59-60% влаги, у слона – 70 %,; столько же ее содержится в теле утки-кряквы; в организме собак вода составляет 65 %, лошадей – 55 %,

У водных организмов содержание воды в организме больше: у рыб оно достигает 75 % и более, у актинии почти 90, а у медуз и водорослей – 98-99 %.

Рис. 3.5. Амбарный долгоносик

Сочные плоды растений тоже содержат довольно большое количество воды (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Содержание воды в некоторых овощах, фруктах и ягодах (на 100 г):

| Название растения | Содержание воды (г) на 100 г продукта |
|---|---|
| Огурец | 95,23 |

| | |
|---|---|
| Помидор | 94,52 |
| Морковь | 88.29 |
| Кабачок цукини | 94.79 |
| Свёкла | 87.58 |
| Баклажан | 92,41 |
| Капуста белокочанная | 92.18 |
| Перец сладкий болгарский | 93.89 |
| Лук репчатый | 89,11 |
| Арбуз | 91.45 |
| Дыня | 90.15 |
| Лимон | 88.98 |
| Персик | 88.87 |
| Банан | 74,91 |
| Груша | 83,71 |
| Яблоко | 85,56 |
| Мандарины | 85.17 |
| Киви | 83,07 |
| Гранат | 77,93 |
| Виноград кишмиш | 80,54 |

А сколько воды находится в теле человека? Люди, незнакомые с этим вопросом не всегда дадут правильный ответ. Даже в стихах известного поэта Андрея Вознесенского можно прочитать:

«В человеческом организме
Девяносто процентов воды,
Как, наверное, в Паганини
Девяносто процентов любви!»

Поэт ошибся. На самом деле в теле человека в среднем 65-70% воды. В литрах это будет 40-50 л в человеке среднего возраста и среднего веса.

Следует заметить, что количество воды в теле человека с возрастом меняется. Так, эмбрион человека состоит на 97 % из воды, а у новорожденных ее количество составляет 77-80 % массы. У 4-х месячного младенца эта цифра равна 93 %, человека в «полном расцвете сил» — 70-75 %, а у пожилого человека только 60% -65 %. Основная часть воды – 70 % - сосредоточена внутри клеток, а 30 % - это межклеточная вода. Мышцы человека

состоят из воды на 75 %, печень - на 70 %, мозг - на 79 %, почки - на 83 %. Без преувеличения можно повторить слова Леонардо да Винчи: «Живой организм - это одушевленная вода».

Для поддержания водного баланса медики рекомендуют выпивать в сутки два литра воды. При этом считается все: соки, кисели, супы, компоты и т.п. Еда на самом деле состоит в основном из воды. Даже в засушенной корочке черного хлеба ее около пяти процентов, в молоке - 87, в помидорах - 85, в мясе - 50-70 %.

Суточная же потребность в воде составляет для взрослого человека 9-10 литров, то есть около 15 процентов веса тела. Это не означает, что здоровый человек должен пить каждый день по ведру воды. Дело в том, что 7-8 литров наши ткани создают сами. Эта так называемая эндогенная жидкость рождается в организме при сжигании питательных веществ кислородом, строительстве новых молекул, их переделке. И эту воду непрерывно «выпивают» ткани. Перераспределение ее идет через желудочно-кишечный тракт. Например, человек 1,5 литра воды глотает со слюной, столько же дает желудок в виде желудочного сока, 3 литра соков выделяет кишечник, 0,7 литра - поджелудочная железа и 0.5 литра образуется желчи.

Но «приток» эндогенной влаги меньше, чем ее потери через почки, кожу, легкие, и поэтому 2 литра воды человек должен получить извне - либо в «чистом виде», либо с различной пищей. За несколькими исключениями это правило распространяется и на животных.

Больше всего воды в сутки из наземных животных нужно слону - около 90 литров, причем для нормальной жизнедеятельности он должен пить ежедневно. Может, потому и стали слоны одним из лучших «гидрогеологов» среди зверей и птиц? Водоемы они чувствуют на расстоянии до 5 километров! Только бизоны чуют еще дальше - на 7-8 километров. В засушливое время слоны роют бивнями в руслах опустевших рек ямы, куда собирается вода. Буйволы, носороги и другие африканские животные охотно пользуются слоновьими колодцами. Задними лапами роют колодцы и кенгуру. Глубина таких углублений доходит до метра.

Но что делать, если воды в округе почти нет? Чтобы удовлетворить жажду, гиены иногда едят дыни, арбузы, другие овощи. Горный кенгуру (валлару) обдирает кору деревьев и слизывает проступающий сок. Сурок, жираф, коала, некоторые антилопы и многие другие обитатели саванн и пустынь живут без водопоя многие недели, но при условии, что они получают влагу с сочной зеленью.

Организмы теряют воду прежде всего в процессе метаболизма; теряется она и при испарении с поверхности тела. Для поддержания жизнедеятельности животным приходится восполнять недостаток воды. Вода и растворенные в ней соли проникают в тела животных различными путями. Животные, обитающие в водной среде, получают ее через наружные покровы. Насекомые, моллюски, черви, амфибии адсорбируют влагу из воздуха. Поэтому лягушке пить совсем не обязательно. Для многих животных основной источник воды – пища. Бабочки питаются главным образом жидким кормом, комары довольствуются капельками росы.

Количество воды, которое может потерять живой организм без ущерба для себя, колеблется в широких пределах. Для млекопитающих эти величины составляют 10-15% от

их веса. Исключением среди млекопитающих являются верблюд, который способен возместить потерю воды в количестве до 25-30% веса без признаков обезвоживания, в то время как остальные млекопитающие уже при потере 15% могут погибнуть.

*О том, что верблюды могут долгое время обходиться без воды и еды, за счет жира, накопленного в горбах, знают даже дети. Но вот о других уникальных особенностях «кораблей пустыни» стало известно не так давно.*

*Верблюды имеют уникальную структуру крови. Это единственное млекопитающее, имеющее овальные эритроциты, а не круглые. Такая особенность обеспечивает их продвижение по кровеносным сосудам в том случае, когда кровь все же становится более густой и вязкой вследствие сильного обезвоживания организма. При общем обезвоживании организма кровь верблюдов способна удерживать влагу в большем количестве по сравнению с другими животными, поэтому в их организме не наблюдается замедления в кровообращении.*

*Верблюды имеют своеобразную форму ноздрей. Водяной пар, который содержится в выдыхаемом воздухе, конденсируется в носу и стекает в рот животного. В результате он выдыхает практически сухой воздух, тем самым экономя драгоценную жидкость.*

*Верблюд способен повышать и понижать температуру своего организма для уменьшения потери влаги. Ночью температура его тела падает до 34–35°С, а днем она медленно повышается до 41°С. За счет этого повышения температуры в организме верблюдов экономится вода, поскольку уменьшается потоотделение. Благодаря такой системе терморегуляции, организм верблюда теряет влагу в 3 раза медленнее, чем, например, осла, оказавшегося в пустыне.*

*Самой невероятной способностью верблюда является то, что он может не пить свыше двух недель без каких-либо негативных последствий для здоровья. Вообще не пить. При этом верблюд может потерять почти треть своей массы, что смертельно почти для любого существа, а затем быстро ее восполнить. Однако, добравшись до воды он может выпивать сразу 10-15 ведер воды и в четверть часа восстанавливать свой прежний вид. Верблюду обходиться безо всякой воды помогает жир в горбах. При окислении 100 граммов жира в организме образуется 107 граммов воды.*

Современное распространение жизни на Земле напрямую связано с осадками. Влажность в разных точках земного шара неодинакова. Больше всего осадков выпадает в экваториальной зоне и особенно много в верхнем течении реки Амазонки и на островах Малайского архипелага. Количество их в отдельных районах достигает 12 000 мм в год. Так, на Кауаи, одном из Гавайских островов, в районе горы Вай-але-але от 335 до 350 дней в году выпадают дожди, отчего это место является самым влажным местом на Земле. Среднегодовое количество осадков здесь достигает 11455 мм. Для сравнения в тундре и пустынях выпадает менее 250 мм осадков в год. Как видим, разница значительная.

Животные по-разному относятся к влаге. Вода как физико-химическое тело оказывает непрерывное воздействие на жизнь гидробионтов (водных организмов). Она не только удовлетворяет физиологические потребности организмов, но и служит им опорой, доставляет кислород и пищу и уносит метаболиты, переносит половые продукты и самих гидробионтов. Благодаря подвижности воды в гидросфере возможно существование

прикрепленных животных, которых, как известно, нет на суше. Поэтому свойства воды - важнейший фактор абиотической среды водного населения.

## Эдафические факторы (факторы почвенной среды)

Жизнь многих организмов теснейшим образом связана с почвой. Почва – это удивительный мир, в котором существуют бок о бок многочисленные мельчайшие, мелкие и более крупные организмы. Она обильно пронизана корнями многочисленных растений, которые используют ее как питательную среду. Условия их жизни в первую очередь зависят от особенностей и свойств почвы.

Вся совокупность физических и химических свойств почвы, оказывающих экологическое воздействие на живые организмы относится к эдафическим факторам (от греч. эдафос - основание, земля, почва). К основным эдафическим факторам относятся механический состав (размер ее частиц), относительная рыхлость, структура, водопроницаемость, аэрируемость, химический состав самой почвы и циркулирующих в ней веществ (газов, воды).

Механический состав почвы определяется содержанием в ней механических элементов (гранулометрический состав) (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Характеристика механических элементов почвы

| Механические элементы | Диаметр частиц, мм |
|---|---|
| Камни | > 3 |
| Гравий | 3-1 |
| Песок крупный | 1-0,5 |
| Песок средний | 0,5-0,25 |
| Песок мелкий | 0,25-0,05 |
| Пыль крупная | 0,05-0,01 |
| Пыль средняя | 0,01-0,005 |
| Пыль мелкая | 0,005-0,001 |
| Ил грубый | 0,001-0,005 |
| Ил тонкий | 0,0005-0,0001 |
| Коллоиды | <0,0001 |

Характер гранулометрического состава почвы может иметь экологическое значение для животных, которые по крайней мере в какой-то период своей жизни обитают в почве или ведут роющий образ жизни. Личинки насекомых, как правило, не могут жить в слишком каменистой почве; роющие перепончатокрылые, откладывающие свои яйца в подземных ходах, многие саранчевые, зарывающие яйцевые коконы в землю, нуждаются в том, чтобы она была достаточно рыхлой.

Важной характеристикой почвы является ее кислотность. Из школьного курса химии хорошо известно, что кислотность среды, определяемая водородным показателем (pH), является величиной, характеризующей концентрацию ионов водорода в растворе, и

численно равна отрицательному десятичному логарифму этой концентрации: pH=-lg[H+]. Водные растворы могут иметь pH от 0 до 14. Нейтральные растворы имеют pH 7, кислая среда характеризуется значениями pH меньше 7, а щелочная - больше 7. Кислотность может служить индикатором скорости общего метаболизма сообщества. Если pH почвенного раствора слишком низка, то в ней содержится мало биогенных элементов, поэтому продуктивность такой почвы крайне мала.

По отношению к степени кислотности почвы можно выделить следующие экологические группы растений:

■ ацидофильные виды могут расти на кислых почвах с pH почвенного раствора менее 6,7 (это растения сфагновых болот, вереск (Calluna vulgaris), багульник (Ledum palustre), виды родов хвощ (Equisetum), черника (Vaccinium myrtillus), многие мхи);

■ нейтрофильные виды растут на почвах со значением pH близко к нейтральному (большинство культурных растений, виды родов клевер (Trifolium), люцерна (Medicago), тимофеевка (Phleum), орех (Juglands) и др.);

■ базифильные виды малочувствительны к щелочной реакции и растут при pH более 7 (в основном это растения меловых отложений, степей, пустынь и полупустынь);

■ индифферентные виды могут произрастать на почвах с разным значением pH (ландыш (Convallaria majalis), овсяница овечья (Festuca ovina) и др.).

По отношению к плодородию почвы (валовому составу химических элементов) различают следующие экологические группы растений:

■ олиготрофы (от греч. «олигос» – небольшой и «» – питание) – растения бедных, малоплодородных почв (сосна обыкновенная (Pinus sylvestris);

■ мезотрофы (от греч. «мезос» – средний) – растения с умеренной потребностью к питательным веществам – большинство наших лесных растений;

■ эвтрофы (от греч. «эу» – хорошо) – растения, требовательные к содержанию большого количества питательных веществ в почве (дуб (Quercus robur), лещина (Corylus avellana), сныть (Aegopodium podagraria).

## Орографические факторы

На распространение организмов по земной поверхности определенную роль оказывают такие орографические факторы, как особенности элементов рельефа, высота над уровнем моря, экспозиция и крутизна склонов.

Макрорельеф (горы, долины, низменности) влияет на распределение растительности в крупных географических масштабах. Одним из главных орографических факторов является высота над уровнем моря. С высотой снижаются средние температуры, увеличивается суточный перепад температур, возрастают количество осадков, скорость ветра и интенсивность радиации, понижаются атмосферное давление и концентрации газов.

Так, повышение уровня местности на каждые 100 м сопровождается уменьшением температуры воздуха примерно на 0,6 °С. В зависимости от величины форм топографию или рельеф подразделяют на несколько порядков: макрорельеф (горы, межгорные впадины, низменности), мезорельеф (холмы, овраги, гряды, карстовые воронки, степные «блюдца» и др.) и микрорельеф (мелкие западинки, неровности, приствольные повышения и др.),

Все эти факторы влияют на растения и животных, обуславливая вертикальную зональность Рис. 3.6.

Характерный пример – вертикальная зональность в горах. Подъем в гору часто напоминает путешествие от экватора к полюсу. Здесь с поднятием на каждые 100 м температура воздуха понижается в среднем на 0,55 оС. Одновременно с этим изменяется влажность, сокращается длительность вегетационного периода. С увеличением высоты местообитания существенно изменяется развитие растений и животных. У подножия гор могут находиться тропические моря, а на вершине – дуть арктические ветры. С одной стороны гор может быть солнечно и тепло, с другой – влажно и холодно.

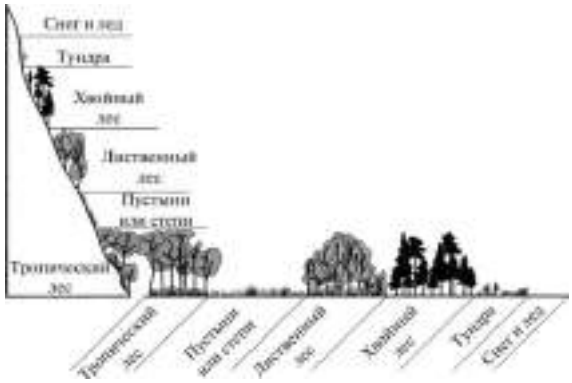



Рис.3.6. Вертикальная и широтная зональности растительности

При поднятии в горы меняется и сезонное развитие растений. Так, весной, поднимаясь в горы, можно видеть развитие одного и того же вида в следующей последовательности: в низкогорном поясе — цветение, в среднем — бутонизацию, еще выше — начало вегетации и, наконец, только появление после таяния снега. Осенью же при подъеме в горы наблюдаем ускоренное наступление осенних фенофаз: расцвечивание листвы, листопад, отмирание надземных частей. Четко прослеживается сокращение у растений вегетационного периода.

Еще один орографический фактор - экспозиция склона. На северных склонах растения образуют теневые формы, на южных – световые. Растительность представлена здесь главным образом засухоустойчивыми кустарниками. Склоны, обращенные на юг, получают больше солнечного света, поэтому интенсивность света и температура здесь выше, чем на дне долин и на склонах северной экспозиции. С этим связаны существенные различия в прогревании воздуха и почвы, скорости таяния снега, иссушения почвы.

Важным фактором рельефа является также крутизна склона. Влияние этого показателя на условия жизни организмов сказываются главным образом через особенности почвенной среды, водного и температурного режимов. Для крутых склонов характерны быстрый дренаж и смывание почв, поэтому здесь почвы маломощные и более сухие. Если уклон превышает $35^{o}$, почва и растительность обычно не образуются, а создаются осыпи из рыхлого материала.

## Пирогенный фактор (фактор огня, пожар)

Во многих наземных экосистемах пожар — важный экологический фактор, который был таковым задолго до того, как человек стал пытаться им управлять.

Пожары являются весьма значимым экологическим фактором. В настоящее время экологи пришли к однозначному мнению, что пожар надо рассматривать как один из естественных абиотических факторов наряду с климатическими, эдафическими и другими факторами. При правильном использовании огонь может стать очень ценным экологическим инструментом. Следует отметить, что в отличие от других экологических факторов, человек может регулировать пожары, в связи с чем они могут быть определенным ограничивающим фактором при распространении растений и животных.

Лесные пожары сильно изменяют условия обитания растений и животных. Во время пожара в хвойных лесах температура доходит до 800— 900 °С, в почве на глубине 3,5 см — до 95 °С, на глубине 7см — до 70 °С. В сухих лесах практически полностью сгорает подстилка и почвенный гумус. Минеральные частицы верхнего слоя почвы спекаются. Образуются комки или стекловидная корка, трудно проницаемые для воздуха, воды и корней. Почва сильно уплотняется. От сгорания органических кислот и освобождения оснований кислотность почвы резко уменьшается, в верхних горизонтах значение pH нередко доходит до сильнощелочного. От высокой температуры верхние слои почвы стерилизуются — гибнет почвенная микрофлора, а в более глубоких — изменяется ее состав, происходит обеднение наиболее важными для жизнедеятельности растений группами. Так, в почвах хвойных лесов после пожаров преобладает деятельность микроорганизмов, вызывающих маслянокислое брожение и денитрификацию.

После лесных пожаров происходит резкое изменение условий в растительных сообществах (осветление, изменение температурного и других факторов микроклимата), особенно когда произошло уничтожение древостоя, и ведет к тому, что в дальнейшем гари заселяются видами живых организмов с различными адаптивными особенностями, помогающими перенести пожар и выжить на гарях. Так, у растений это глубокие подземные почки возобновления, способность семян долго сохраняться в почве и выдерживать высокую температуру, выносливость к заморозкам, сильной освещенности и т. д.

Наряду с тем, что пожар считается катастрофическим фактором, его надо считать одновременно фактором лимитирующим и регулирующим.

Наибольшее значение он имеет в теплых и засушливых областях и в областях с теплым и сухим сезоном, в южной трети Соединенных Штатов или в Центральной Африке. В этих районах небольшие сезонные, или периодические, пожары создают селективное давление, которое благоприятствует выживанию и росту некоторых видов за счет других.

Возникновению пожаров могут способствовать как естественные факторы (удар молнии), так и случайные и неслучайные действия человека. Различают два типа пожаров. Наиболее трудно поддаются сдерживанию и регулированию пожары верховые. Чаще всего они весьма интенсивны и разрушают всю растительность и органику почвы. Такие пожары оказывают ограничивающее катастрофическое воздействие на многие организмы. Верховой

пожар - самый страшный враг для леса. Он распространяется по всей высоте леса и не щадит никого.

Низовые пожары, наоборот, обладают избирательным действием: для одних организмов они оказываются более губительными, для других – менее, и таким образом способствуют развитию организмов с высокой устойчивостью к пожарам. Кроме того, небольшие низовые пожары дополняют действие бактерий, разлагая умершие растения и ускоряя превращение минеральных элементов питания в форму, пригодную для использования новыми поколениями растений. Пожар приносит много бед обитателям леса. Если птицы и крупные животные могут спастись бегством, то растения гибнут в беспощадном пекле. И высокие деревья не исключение. Если пожар низовой и распространяется лишь по поверхности земли, то выгорает только травяной покров и нижний ярус кустарников, а у деревьев есть шанс спастись.

Если низовые пожары случаются регулярно раз в несколько лет, на земле остается мало валежника, это снижает вероятность возгорания крон. В лесах, не горевших более 60 лет, накапливается столько горючей подстилки и отмершей древесины, что при ее воспламенении верховой пожар почти неизбежен.

*Оказывается, есть деревья, которым вовсе не страшен лесной пожар, а даже в некотором роде и полезен. Одним из таких удивительных растений является эвкалипт, который растет в Австралии. Здесь засушливый и жаркий климат, а лесные пожары — рядовое явление природы. Поэтому эвкалиптовые деревья, которых здесь насчитывается более 200 видов, в ходе эволюции приобрели интересные свойства, помогающие им быть сильнее огня.*

Рис.3.7. Плоды эвкалипта.

*Кора эвкалиптовых деревьев очень толстая и имеет специальную волокнистую структуру. Это позволяет защитить внутреннюю часть ствола от полной гибели. Конечно, эвкалиптовый лес горит. Горит он очень быстро и жарко. Его листья, содержащие много эфирных масел, легко воспламеняются. Ствол эвкалипта тоже сильно страдает от огня, он, как и другие растения, обугливается и приобретает безжизненный черный цвет. Но сам эвкалипт жив. Это похоже на чудо, когда спустя две недели после страшного пожара сквозь обугленные стволы пробивается свежая зелень молодых листочков.*

*Но самое интересное то, что пожар служит обязательным условием для размножения эвкалипта. Дело в том, что коробочки, в которых находятся его семена, настолько плотные, что сами не раскрываются. А треснуть им помогает пожар. При высоких температурах коробочки нагреваются и лопаются, а семена рассеиваются по округе (рис.3.7). Получается, что лесной пожар — это адское пекло, дарующее жизнь эвкалиптам.*

Иногда пожары даже являются обязательными факторами в циклах развития некоторых деревьев, например, сосны. В южных штатах США по Атлантическому побережью сосновые леса сохраняются благодаря периодическим пожарам. Некоторые виды сосен выбрасывают семена только после воздействия тепла от пожара, который проходит на уровне подлеска. После пожара проростки сосны лучше растут, так как не встречают конкуренции с другими видами, обычно присутствующими в подлеске.

В местообитаниях, подверженных частым пожарам, как, например, на юге Калифорнии, многие растения откладывают запасы питательных веществ в устойчивых к огню розетках корней, которые после окончания пожара дают новую поросль. Отрастающие от корней побеги закрепляют почву быстрее и лучше, чем если бы это происходило при развитии новых растений только из семян.

Кроме всего прочего, в местообитаниях с малоплодородной почвой пожары способствуют обогащению ее зольными элементами и питательными веществами.

При достаточной влажности (прерии Северной Америки) пожары стимулируют рост трав за счет деревьев. Особенно важную регулирующую роль пожары играют в степях и саваннах. Здесь периодические пожары уменьшают вероятность вторжения пустынных кустарников.

Растения выработали специальные адаптации (приспособления) к пожару, так же, как они сделали по отношению к другим абиотическим факторам. В частности, почки злаков и сосен скрыты от огня в глубине пучков листьев или хвоинок. В периодически выгорающих местообитаниях эти виды растений получают преимущества, так как огонь способствует их сохранению, избирательно содействуя их процветанию. Широколиственные же породы лишены защитных приспособлений от огня, он для них губителен. Семена многих однолетних растений устойчивы к огню, что дает им возможность появиться на выжженных участках прежде, чем их вытеснят кустарники. Кроме того, точки роста злаков находятся под землей, так что травы быстро и пышно отрастают после выгорания сухих надземных частей.

Стремительно надвигающийся степной пожар губителен для мелких животных, не способных спастись бегством. Однако, они успевают спрятаться ото огня в норах глубоко в почве, либо под камнями, или среди корней злаков. Крупные животные успевают спастись от очагов возгорания.

Пожары поддерживают устойчивость лишь некоторых экосистем. Листопадным и влажным тропическим лесам, равновесие которых складывалось без влияния огня, даже низовой пожар может причинить большой ущерб, разрушив богатый гумусом верхний горизонт почвы, приведя к эрозии и вымыванию из нее биогенных веществ.

Следует отметить, что по своей неосторожности человек нередко бывает причиной увеличения частоты диких пожаров, поэтому необходимо активно бороться за пожарную безопасность в лесах и зонах отдыха. Частное лицо ни в коем случае не имеет права намеренно или случайно вызывать пожар в природе. Вместе с тем необходимо знать, что использование огня специально обученными людьми является частью правильного землепользования.

Огонь повлиял на процесс видообразования и выработку у растений различных приспособлений для выживания при пожарах и быстрой реабилитации после действия огня. Такие растения составляют особую экологическую группу - пирофитов и встречаются в природных экосистемах всех термических поясов Земли - от тундр до тропиков. Можно выделить следующие свойства, характерные для этих видов:

• способность распространять семена только после воздействия огня (яркий пример - Pinus contorta во Флориде, США);

• наличие толстого слоя коры у древесных растений, препятствующего обжигу при низовых пожарах (характерно для многих видов Pinus, Quercus и др.; у большинства деревьев сухих саванн также отмечается толстый слой коры - у баобабов, акаций и др.);

• высокое расположение кроны, не позволяющее низовому огню достать мелкие ветви и листву (типично для акаций Acacia, эвкалиптов Eucaliptus, сосен Pinus и др.);

• твердая оболочка семени; свойство семян прорастать лишь при воздействие огня (например, у австралийских видов протейных);

• лучшее приживание всходов на гарях в отсутствии конкуренции взрослых растений (многие травянистые растения, захватывающие гари в первые годы после пожара, в первую очередь растения с легко переносимыми ветром семенами).

Помимо лесов, чисто пирогенными (эволюционирующими под контролем огня) является и большинство травяных экосистем, прежде всего саванны и степей. Эволюция большей части грасландов, травяно-кустарниковых сообществ средиземноморского типа и экосистем открытых лесов субтропических и тропических областей (лесной саванны) происходила под контролем огня. При этом адаптация растений к постоянному воздействию природных пожаров, в отличие от лесов, шла здесь сопряженно с их адаптацией к воздействию диких животных-фитофагов - насекомых, грызунов и копытных. Роль последних заключалась не только в поддержании биологического круговорота и потоков энергии в экосистеме, но и в сокращении надземной массы растительного опада - потенциального горючего материала. Это снижает риск возникновения пожара, его интенсивность и последствия для биоты. В подтверждение можно отметить, что до аграрного освоения в степях Евразии выпасались крупные стада копытных, в т. ч. дикой лошади. В саванная Африки и в настоящее время пасутся более 70 видов антилоп и других копытных млекопитающих. Их нагрузка на растительный покров достигает 100 - 300 кг на гектар, что соответствует выпасу 1-2 голов крупного рогатого скота на 1 га пастбища.

Пирогенные травяные экосистемы представлены: в Северной Америке - прериями, в Южной Америке - пампой (pampas, lianos, cerrado и campos), в Евразии (от Венгрии через Украину и Россию до Монголии и Китая) - степями, в Новой Зеландии - даунлендами (dawnland), в субтропической и тропической Африке - разными типами саванны (savanna). Кроме того, структурно и динамически близкими к ним можно считать вторичные злаковники на месте сухих тропических лесов Азии и Африки, сухие травяно-кустарниковые заросли побережья Калифорнии (chapparal) и грасланды Средиземноморского типа (garide, garrigue, maquis), возникшие в результате постоянного действия огня на месте широколиственных лесов. Особую группу составляют горные степи и сухие субальпийские луга: физиономически и по составу растений-доминантов они сходны со своими аналогами на равнинах. Сравнительно крупные площади горных

травянистых сообществ представлены в Андах, Кордильерах, на Апеннинах, Кавказе, Алтае, Тянь-Шане, Тибете, Гималаях. Самые северные местонахождения отмечены на Северо-Востоке Сибири - в Якутии и на Чукотке, где холодные степи формируются на южных сухих склонах гор и граничат с тундрами.

На ранних этапах становления пирогенных экосистем огонь способствовал росту биоразнообразия отдельных регионов, стимулировал видообразование, повышал емкость местообитаний для животных. В настоящее время, широкомасштабное воздействие огня, стихийные «дикие» палы, нерегламентированное использование палов для мелиорации пастбищ приводит к унификации биоразнообразия травяных экосистем на значительных по площади территориях, на которых выживают адаптированные к частому «обороту» огня растения, насекомые, птицы, млекопитающие и рептилии. В итоге обеднение разнообразия биоты может происходить необратимо, т.к. на обширных пространствах формируются устойчивые, воспроизводимые после других форм антропогенных нарушений экосистемы с обедненным составом.

## 3.3. БИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

На каждый живой организм действуют не только факторы неживой природы (абиотические), но и сами живые существа. Формами воздействия живых существ друг на друга являются биотические факторы. Однако следует учитывать, что организмы не только испытывают на себе прямое или косвенное влияние других организмов, но и сами изменяют окружающую абиотическую среду.

Выделяют две группы биотических факторов: фитогенные и зоогенные.

К **фитогенным** относят факторы воздействия (влияния) растений друг на друга и окружающую среду. Формы взаимоотношений между растений многообразны. Среди них можно выделить следующие группы:

- прямые (контактные) механические – охлестывание ветвями, эпифитизм, давление и сцепление стволов и корней;
- физиологические – симбиоз, паразитизм и полупаразитизм, срастание корней;
- косвенные трансбиотические – через животных и микроорганизмы;
- косвенные трансабиотические – средообразующие влияния, конкуренции, аллелопатия (химические взаимовлияния между растениями.

Примером **прямых** взаимодействий является повреждение ели и сосны в смешанных лесах от охлестывающего действия березы. Раскачиваясь от ветра, тонкие и хлесткие ветви березы ранят кору и хвою ели, сбивают мягкие молодые иглы.

В жизни деревьев тропического леса губительным зачастую является разрастание лиан, приводящее к обламыванию ветвей. К тому же, в результате сдавливающего действия их вьющихся стеблей или корней на стволы деревьев, происходит усыхание последних.

*Эдвин Менниджер - ученый-дендролог, длительное время изучавший жизнь деревьев, так описывает процесс «удушения» одного дерева другим: «В тропиках многие деревья начинают жизнь высоко над землей в ветвях другого дерева... Из семени развивается эпифит – воздушное растение, которое удерживается на приютившей его ветке, обвивая ее крепкими корнями. Оттуда его корни сползают по стволу дерева-опоры на землю и начинают бурно разрастаться.*

*Заметьте, что этот корень ползет по стволу... Боковые корни опоясывают ствол дерева-хозяина, срастаясь там, где они соприкасаются друг с другом. Ботаники называют этот процесс анастомозом. Затем растение-агрессор начинает выпускать воздушные корни по всему первому звену, соединившему его с землей – они растут вниз и окружают дерево сплошным переплетением.*

*Эти корни утолщаются главным образом с наименее освещенной стороны – они растут не к свету, а от света. А так как они плотно прижаты к стволу дерева-хозяина, то, утолщаясь, продавливают его кору и в конце концов убивают его. Тем временем растение, питаемое основным корнем, вырастает и само становится деревом».*

К форме механических контактов относится и так называемый эпифитизм (см. выше) – использование одним растением другого растения в качестве среды обитания. Растения, живущие на других растениях (на ветвях, стволах деревьев), без связи с почвой называются эпифиты (рис.3.8), а поселяющиеся на листьях – ***эпифиллы***. Ученые полагают, что около 10% всех видов растений ведет эпифитный образ жизни. Особенно богаты ими тропические леса.

Рис. 3.8. Эпифиты на стволе пальмы

К **физиологическим контактам** относятся такие взаимоотношения между растениями как паразитизм, симбиоз, срастание корней и др.

Наиболее характерный пример прямых физиологических воздействий одного растения на другое – паразитизм. Например, повилика, питающаяся соками клевера или крапивы, угнетает и заметно задерживает их рост. К тому же, опутывая растения, повилика не дает им распрямиться.

Луговое растение-полупаразит погремок присасывается своими корнями к корням других растений и пополняет за их счет свое питание.

К физиологическим контактам можно отнести и симбиоз между растениями – их взаимовыгодное сожительство. Примером может служить взаимодействия между клубеньковыми бактериями-азотфиксаторами и большинство растений семейства бобовых. Бактерии из рода Rhizobium, живущие в клубеньках на корнях бобовых (клевер, фасоль, соя, люпин) (рис.3.9). Обеспечиваются пищей (сахара) и местообитанием, а растения получают от них взамен доступную форму азота.

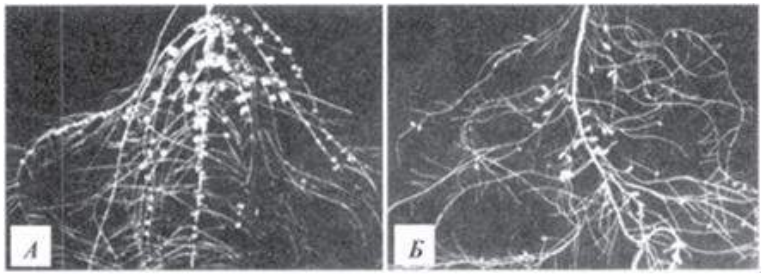



Рис.3.9. Клубеньки на корнях соевых бобов (А) и клевера лугового (Б)

Нередко биотические отношения между растениями приводят к срастанию корней близко растущих древесных пород одного или разных видов. Это явление не столь редкое в природе. К примеру, в густых насаждениях ели Picea abies срастаются корнями около 30% всех деревьев. Между сросшимися корнями осуществляется обмен в виде переноса питательных веществ и воды.

Физиологическими контактами следует считать и такой процесс в мире растений, как опыление с помощью ветра – анемофилия. В данном случае контактирующие между собой растения могут находиться на значительном расстоянии друг от друга.

Нередки в природе **косвенные трансбиотические взаимоотношения** между растениями. Посредником здесь являются животные и микроорганизмы. Всем хорошо известное опыление растений насекомыми получило название энтомофилии. Насекомые, участвующие в опылении, переносят пыльцу от одного растения к другому, осуществляя контакты между ними. В процессе опыления могут участвовать также и птицы. Такой процесс называется орнитофилия, который особенно распространен в тропических и субтропических областях южного полушария. Известно около 2000 птиц, которые опыляют цветки в поисках нектара или при ловле насекомых, ищущих убежище в их венчиках.

В косвенных трансбиотических взаимоотношениях часто участвуют микроорганизмы. Например, корневая система многих деревьев (дуба, березы, ели) сильно изменяет окружающую почвенную среду (состав, рыхлость, кислотность). Все это создает благоприятные условия для поселения там различных бактерий, которые питаются выделениями корней дуба и органическими остатками. Поселяясь рядом с корнями дуба, бактерии образуют своеобразную «оборонительную линию», препятствуя проникновению в корни болезнетворных грибов. Такой барьер создается при помощи антибиотиков, выделяемых бактериями. Такое участие микроорганизмов сказывается положительно на состоянии растений, особенно молодых.

**Косвенные трансабиотические взаимоотношения** между растениями выражаются в изменении растениями окружающей среды. Примером может служить взаимовлияние растений через изменение факторов микроклимата (ослабление солнечной радиации при затенении почвы, перехват осадков кронами деревьев и др.). Так, ель, затеняя почву, вытесняет из-под своего полога светолюбивые виды, формируя среду для поселения теневых и тенеустойчивых видов.

Посредником при косвенных трансабиотических взаимоотношениях часто выступает лесная подстилка, которая порой может достигать нескольких сантиметров. Подстилка препятствует проникновению и прорастанию семян, которые большей частью гибнут от высыхания раньше, чем корни проростков достигнут почвы. Если же семена достигнут

почвы и прорастут, то подстилка может являться серьезным механическим препятствием на пути ростков к свету.

Еще один путь взаимовлияния растений – взаимодействие между ними посредством различных химических выделений. Растения в результате жизнедеятельности выделяют в окружающую среду различные химические вещества, воздействие которых по разному сказываются на другие растения. Такие химические взаимовлияния получили название ***аллелопатии*** (от греч. «аллелон» – взаимный и «патос» – страдание). К основным аллелопатическим веществам относятся выделения высших растений (колины и фитонциды) и вещества, выделяемые микроорганизмами (антибиотики). Например, выделения фасоли отрицательно сказываются на рост яровой пшеницы. Корневые выделения пырея воздействуют на растущие близи с ними другие травянистые растения и даже деревья. Благодаря выделению корнями токсических веществ ястребинка волосистая (*Hieracium pilosella*) из семейства сложноцветных вытесняет многие однолетние растения и нередко образует обширные чистые заросли. Фитонциды, выделяемые листьями черемухи, убивают различные виды бактерий, отпугивают мух. Большое количество летучих веществ, токсичных для многих микроорганизмов, выделяют можжевельник, сосна, тополь, эвкалипт.

Многие грибы и бактерии синтезируют антибиотики, которые тормозят рост других бактерий.

Разные виды растений по различному воздействуют на среду. Влияние некоторых из них настолько велико, что они активно и глубоко преобразуют ее. Примером может служить ель, образующая древостой со своим господством. Она сильно затеняет почву, обедняет ее питательными веществами, опадающие иголки создают более кислую среду. Все это определяет специфичность обитания организмов в ельнике. Виды, которые своей жизнедеятельностью в наибольшей степени создают среду, определяют специфичность метообитания, называют ***эдификаторами*** (от лат. «aedificator» – строитель).

Сильной эдификаторной способностью обладает береза, поселяясь на вырубках хвойных лесов. Поглощая минеральные вещества из почвы, она многие из них возвращает в виде опада (листья, кусочки коры, ветки и т.п.). Особенно интенсивно она вовлекает в круговорот азот и зольные элементы. В почве усиливаются процессы нитрификации. Почва обогащается гумусом, улучшает структуру, изменяет окраску, становится более рыхлой, повышается ее биологическая активность, оживляется деятельность почвенной фауны и флоры.

Такой же сильной эдификаторной деятельностью обладает такие древесные породы, как ель, ольха, осина, дуб. Среди трав можно назвать бобовые, мать-и-мачеху (*Tussilago farfara*), виды рода полынь (*Artemisia*), распространенного сорняка огородов мокрицу (*Stellaria media*) и др.

**Зоогенные факторы** – это воздействие животных друг на друга и на окружающую среду. К зоогенным факторам также относится потребление животными растительной пищи. Такие животные носят название фитофаги (от греч. «фитон» – растение и «фагос» – пожирающий). Фитофагами могут быть крупные животные (лоси, олени, косули, кабаны), мелкие зверьки (зайцы, белки, мышевидные грызуны), разнообразные птицы (рябчик, тетерев, глухарь), многочисленные представители насекомых-вредителей и др.

Контактируя с растениями или употребляя их в пищу, животные способствуют распространению их семян. В одних случаях семена и плоды распространяются путем случайного прикрепления к животным (к шерсти, перьям, лапам, клювам и т.п.). Нередко распространение семян связано с поеданием животными плодов (рис.3.10). При этом значительная часть семян гибнет, проходя через пищеварительный тракт, но некоторые не повреждаются и, попав в землю, прорастают. Например, после прохождения растительной массы через пищеварительный тракт крупного рогатого скота, сохраняют способность прорастать более половины семян подорожника ланцетолистного (*Plantago lanceolata*) и более четверти семян ромашки непахучей (*Matricaria inodora*).

Рис. 3.10. Сойка с желудем

Животные, воздействуя на растения, наносят им серьезные повреждения. Лоси и олени, помимо обдирания коры на деревьях, уничтожают молодую древесную поросль, объедая верхушки кустарников и древесного подроста. Бобры, питаясь древесиной осины, довольно быстро изреживают ее насаждения. Глухари, ощипывая хвою и почки сосны и ели, тем самым замедляют их рост.

К зоогенным факторам относится воздействие насекомых на листовую поверхность древесных пород и травянистых растений. Насекомые (тли, клопы) не только отсасывают у растений питательные вещества, но и переносят возбудителей их заболеваний.

Много вреда растениям наносят землерои (кроты, суслики). Они поедают не только надземные части растений, но и клубни, луковицы, корневища. Среднеазиатский суслик в течение вегетационного периода уничтожает до 60% побегов осоки вздутой (*Carex inflata*), которая является там основным компонентом растительного покрова.

Воздействие животных на растения довольно многообразны и сказываются на регулировании численности видов в природных сообществах.

Действие зоогенных факторов непосредственно в среде животных (воздействие животных друг на друга) проявляется главным образом в виде паразитизма (см. выше), хищничества и конкуренции (об этих взаимодействиях речь пойдет в следующей главе).

## 3.4. АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ

*Земля имеет оболочку;*

*и у этой оболочки есть болезни.*
*Одна из таких болезней называется человек.*
**Фридрих Ницше – немецкий мыслитель, философ**

Из всех ныне действующих экологических факторов наиболее значимыми по своему воздействию на живую и неживую природу являются антропогенные факторы. ***Под антропогенными факторами понимают любое воздействие (прямое или опосредованное) человека на окружающую среду - организмы, биогеоценозы, ландшафты, биосферу.*** Название их происходит от греческого «anthropos», что и означает – человек.

Как мы уже отмечали выше, человек начал изменять условия своего обитания (природную среду, в которой он обитал) с того момента, когда он попытался с брошенного в землю зерна получить свой первый урожай. С этого момента человек с ускорением темпов начал изменять природу и перестраивать ее в соответствии со своими потребностями, при этом ни сколько не заботясь о губительных последствиях этого процесса. Так человек постепенно начал выходить за пределы естественного природного цикла и из неотъемлемой части природного окружения превратился в ее поработителя.

Вспомним историю. Появившись в мезозое, динозавры, эти огромные неуклюжие создания, оставались повелителями планеты в течение 170 миллионов лет! Динозавры обитали на Земле с триасового периода (приблизительно 225 миллионов лет назад) до конца мелового периода (около 65 миллионов лет назад). Человека тогда не было и в помине.

Если принять за условный срок время появления на Земле человека первобытного в 100 тысяч лет, а человека разумного в 15-20 тысяч лет, то это означает, что в масштабах существования динозавров на планете, человек может еще теоретически оставаться господствующим видом в течение 169 миллионов 900 тысяч лет. Возможно ли такое? Хотелось бы знать, сохранимся ли мы на Земле через 169 с лишним миллионов лет? Ответ: теоретически – да; практически – вряд ли.

Таким образом, наиболее значимая и действенная в настоящее время группа факторов, интенсивно изменяющая окружающую среду, связана непосредственно с разносторонней деятельностью человека.

Переделывая природу и приспосабливая её к своим потребностям, человек изменяет среду обитания животных и растений, влияя тем самым на их жизнь. Воздействие может быть косвенным и прямым. Косвенное воздействие осуществляется путём изменения ландшафтов, климата, физического состояния и химизма атмосферы и водоёмов, строения поверхности земли, почв, растительности и животного населения. Человек сознательно и бессознательно истребляет или вытесняет одни виды растений и животных, распространяет другие или создаёт для них благоприятные условия. Для культурных растений и домашних животных человек создал в значительной степени новую среду, многократно увеличив продуктивность освоенных земель. Но это исключило возможность существования многих диких видов.

Прямое воздействие направлено непосредственно на живые организмы. Например, нерациональные рыболовство и охота резко сократили численность ряда видов.

Нарастающая сила и ускоренные темпы изменения природы человеком вызывают необходимость её охраны.

Влияние антропогенного фактора постепенно усиливалось, начиная от эпохи собирательства (где оно мало чем отличалось от влияния животных) до наших дней, эпохи научно-технического прогресса и демографического взрыва. В процессе своей деятельности человек создал большое количество самых разнообразных сортов растений и пород животных, существенным образом преобразовывал естественные природные комплексы. Изменения, производимые человеком в природной среде, создают для одних видов благоприятные условия для размножения и развития, для других — неблагоприятные.

К случайным относятся воздействия, происходящие в природе под влиянием человеческой деятельности, но не были заранее предусмотрены и запланированы им, и таких примеров немало: распространение различных вредителей, паразитов, случайный завоз различных организмов с грузом, непредвиденные последствия, вызванные сознательными действиями в природе, например, нежелательные явления, вызванные осушением болот, постройкой плотин, распашкой целины и др.

Справедливости ради, следует сказать, что многие виды животных и растений исчезали с лица Земли и без вмешательства человека. Каждый вид, как и отдельный организм, имеет свою юность, расцвет и старость, и вымирание – процесс естественный. Но в природе оно идет медленно, и обычно уходящие виды успевают смениться новыми, более приспособленными к условиям обитания. Человек же умудрился ускорить процесс вымирания до таких темпов, что эволюция уступила место революционным необратимым преобразованиям экосистем.

## Истребление человеком диких видов

Для иллюстрации того, как человек сознательно истреблял дикие виды, приведем только два примера, но весьма поучительных.

Первый такой пример - это планомерное уничтожение морской или стеллеровой коровы - Rhytina borealis Stelleri, некогда обитавших в северных морях.

Когда 20 июля 1741 года у небольшого лесистого острова возле берегов Аляски бросил якорь российский пакетбот «Святой Петр». Российской экспедицией командовал капитан-командор Витус Беринг. В ее составе числился Георг Стеллер - немец, принятый в 1737 году на службу в Петербургскую академию наук. Он был определен адъюнктом натуральной истории «обыскание американских берегов».

На обратном пути от американских берегов Стеллер наблюдал в океане странное животное. Тело его было длинное, округлое, к хвосту утолщающееся. Голова со стоячими острыми ушами походила на собачью. На верхней и нижней губе животного красовалась пышная борода с усами. Глаза его были большие, а кожа казалась покрытой густыми волосами, на спине серого, на брюхе рыжевато-белого цвета. Стеллер назвал это животное морской обезьяной (рис. 3.11).

Рис. 3.11. Стеллерова корова

Рис. 3.12. Странствующий голубь

Когда кончился провиант, моряки решили изловить необычное животное, и попробовать его мясо. Сделать это было проще простого. Морские коровы питались исключительно водорослями и поэтому постоянно держались у берега. В краю непуганных зверей гигантские животные (вес их достигал 3,5 т), доверчиво подплывали к людям, за что многие из них и поплатились жизнью. Мясом одной взрослой морской коровы можно было две недели кормить почти пятьдесят человек.

Описание морской коровы, впервые опубликованное в 1751 году на латинском языке уже после смерти Стеллера было пересказано Степаном Крашенинниковым в его «Описании Земли Камчатки».

После открытия острова Беринга и соседствующего с ним острова Медный на Командорские острова ежегодно устремлялись огромные толпы «промышленных людей», которых прежде всего манило туда, конечно же, не мясо морских коров, а дорогие меха морских выдр — каланов. Их было там тогда, пожалуй, не меньше, чем голубых песцов. Заглядывали на острова и те, чей путь лежал дальше, к берегам Русской Аляски. И те и другие здесь зимовали и запасались мясом морских коров.

Ни научная экспедиция, побывавшая на Командорах в 1773 году, ни зимовавшие там десятилетием позже, уже не встретили в прибрежных водах этих островов ни одной «капустницы» — так иногда именовали тогда морских коров камчатские «промышленные люди». Всего только 27 лет потребовалось людям, чтобы было убито последнее животное.

Второй пример – это, казалось бы, невероятная трагическая история целенаправленного истребления одного из видов птиц, обитавших в Северной Америке - от Мексики до Канады. Это, пожалуй, наиболее яркий пример того, как человек, к которому, в данном случае, никак не подходит эпитет «разумный», может быстро и легко уничтожить то, что природа создавала на протяжении миллионов лет. Речь идет о странствующем голубе (рис. 3.12). Его научное название – Ectopistes migratorius. По систематическому положению он близок к нашим лесным голубям и горлицам. Это была птица размером с вяхиря, с изящным обтекаемым телом, длинным, сужающимся к концу хвостом и длинными узкими крыльями, приспособленными к быстрому полету.

Название свое они получили из-за любви к частой смене местообитания. Когда запасы корма истощались, голуби покидали гнездовья. Большие массы птиц появлялись в тех местах, где их раньше никто не видел.

Там они гнездились несколько лет подряд, затем исчезали, чтобы снова появиться через много лет.

Колонии птиц достигали неимоверных размеров. На протяжении многих километров каждое крупное дерево было усеяно гнездами. Сотни квадратных километров

покрывал плотный слой помета. На одном дереве могло находиться до сотни гнезд, так что иногда даже крупные ветви обламывались под их тяжестью. Следы пребывания колоний сохранялись много лет. Находили колонии протяженностью до 65 км, а то и больше. Обычный же их размер был несколько десятков квадратных километров. Один из исследователей жизни голубей оценивал численность огромной колонии в Висконсине в 1871 г. в 136 миллионов птиц. Занимала она площадь около 2200 км$^2$. В другой громадной колонии гнездилось 68 миллионов пар на площади 600 км$^2$.

После захода солнца голуби слетались на ночевку, часто на расстояние сотен километров от мест кормежки. На ночлег собиралось такое количество птиц, что в местах постоянных ночевок помет под деревьями лежал густо как снег, слоем в несколько сантиметров. Голуби садились на ветки плотными массами, нередко обламывая их своей тяжестью.

Ни один вид птиц на человеческой памяти никогда не имел такой колоссальной численности. Зоологи-очевидцы пытались оценивать количество пролетающих птиц. Так, в 1810 г. в штате Кентукки наблюдали перелет стаи, ширина которой достигала 1,5 км, а длина – 380 км. Исходя из скорости и времени полета, подсчитали, что в этой стае было около 2 230 272 000 птиц. Словами: более двух миллиардов! По другим данным, в стае, пролетающей в 1813 г. над р. Огайо, было 1 115 136 000 голубей. Она занимала площадь примерно 290 км$^2$. В 1866 г. пролетавшие голуби закрывали солнце на протяжении 14 часов. Стая имела длину около 480 км и ширину 1,5 км. По мнению зоологов, странствующий голубь в свои лучшие времена составлял от 25 до 40 % общего населения птиц Соединенных Штатов.

Там, где голуби гнездились или ночевали, устраивались настоящие бойни. В местах ночевки перед закатом солнца уже собирались толпы людей со всевозможными приспособлениями для добычи птиц. Начавших слетаться голубей тысячами сшибали кольями. Их стреляли, накрывали сетями, так что под деревьями валялись груды птиц. Охотники разводили под деревьями костры и бросали туда серу, чтобы одурманить свои жертвы.

Всем казалось, что численность странствующих голубей никогда не уменьшится. Кто может собрать все песчинки на морском берегу? А между тем, конец изобилию был уже близок. К середине XIX в. появились признаки истощения колодца, казавшегося бездонным. После 1870 г. крупные колонии остались лишь в окрестностях Великих Озер. До 1880 г. отмечались перелеты небольших стай в других местах.

И вот эпилог! Последнее гнездо видели в 1896 г. Последние живущие на свободе птицы были убиты в 1899 г. под Бабкоком (штат Висконсин) и в 1900 г. на одной из ферм в штате Огайо. Видимо, совсем окончательно вид исчез в природе в 1907–1909 гг.

Оставшиеся небольшие группы и отдельные пары уже просто не размножались. В зоопарках, где голуби протянули несколько дольше, так и не удалось получить потомство от содержавшихся там птиц. Последний самец умер в зоопарке г. Цинциннати 10 июля 1910 г. 1 сентября 1914 года в неволе, в зоопарке, американского города Цинциннати умерла старая голубка Марта - последняя представительница когда-то столь многочисленного вида. Эта дата стала днем смерти вида. Нам остались лишь безмолвные чучела в музеях,

В США в штате Висконсин в одном из парков это печальное событие было увековечено бронзовой доской с надписью: «В память о последнем странствующем голубе, убитом в Бабкоке в сентябре 1899 года. Этот вид вымер из-за алчности и легкомыслия человека».

В 1933 году погиб последний представитель восточного подвида американского степного тетерева, несмотря на то, что с 1910 года зоологи прилагали немалые усилия, чтобы сохранить для человечества жалкие остатки популяции этих птиц.

Эти примеры - капля в море. За последние триста лет на Земле полностью истреблено около 300 видов птиц и млекопитающих. Исчезли с лица Земли такие широко распространенные ранее виды как маврикийский дронт, тасманийский сумчатый волк, каролинский попугай, тур (рис. 3.13).

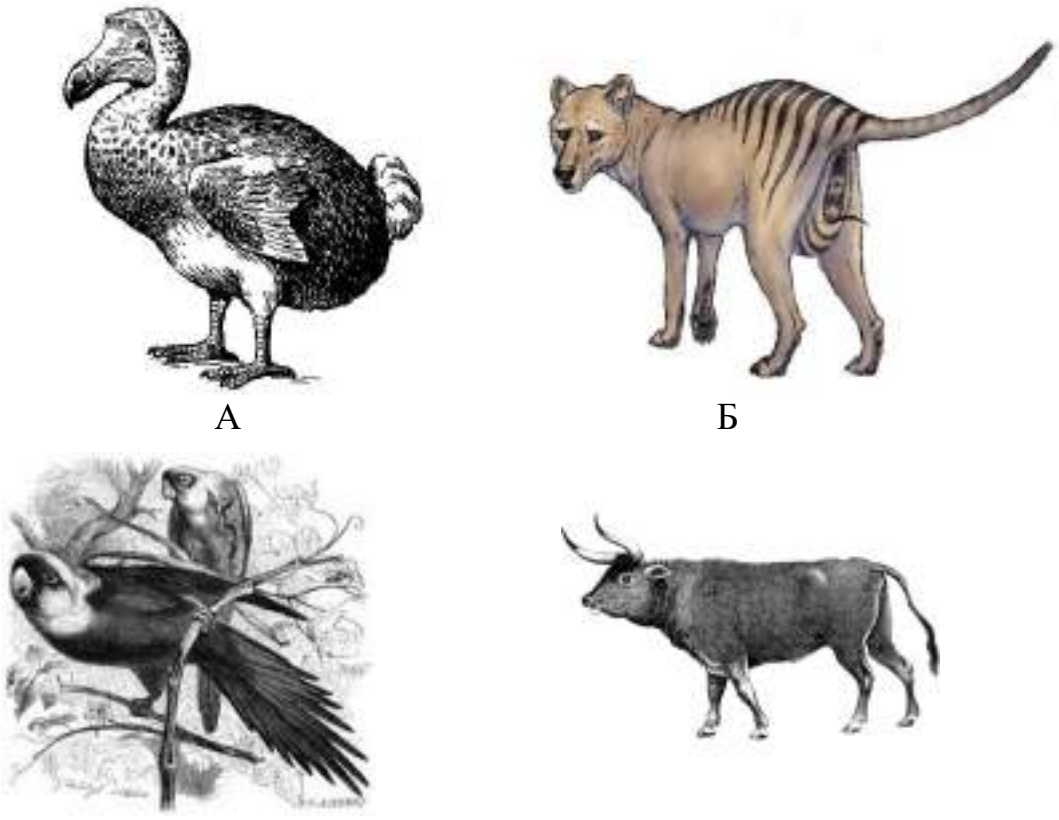



Рис.3.13. Животные, полностью истребленные человеком (А – дронт; Б – сумчатый волк; В – каролинский попугай; Г – тур).

К сожалению, несмотря на принимаемые меры по охране и спасению диких животных, и в наши дни можно наблюдать полное исчезновение некоторых видов. Так, 19 марта 2018 г. В Кении скончался Последний самец вида северный белый носорог (Ceratotherium simum cottoni) (рис. 3.14). Популяция этого вида животных, когда-то широко распространённая на Африканском континенте, ближе к середине XX насчитывала чуть более 2000 животных. В 2006 году браконьеры убили последних белых северных носорогов, живущих в дикой природе. К 2015 году в кенийском заповеднике в живых остались лишь три особи: один самец и две самки. Ввиду того, что самец страдал от тяжёлого возрастного заболевания, сотрудники заповедника приняли решение усыпить его.

Рис. 3.14. Белый носорог

Эти примеры - капля в море. За последние триста лет на Земле полностью истреблено около 300 видов птиц и млекопитающих.

## 3.5. КОНЦЕПЦИЯ ЛИМИТИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

*Совсем было цыган приучил корову голодать – да сдохла.*
**Русская пословица**

*Всякий излишек противен природе.*
**Гиппократ - древнегреческий целитель, врач и философ**

В середине XIX в. немецкий ученый-агрохимик Юстус Либих, изучал процессы питания растений и влияние разнообразных факторов и элементов питания на их рост. Он установил, что урожай культур зачастую ограничивается (лимитируется) не теми элементами питания, которые требуются в больших количествах, такими, как, к примеру, углекислый газ и вода, (обычно эти вещества присутствуют в среде в изобилии), а теми, которые необходимы в минимальных количествах, но которых и в почве очень мало (например, цинк). Либих писал: «Каждое поле содержит одно или несколько питательных веществ в минимуме и одно или несколько других в максимуме. Урожаи находятся в соответствии с этим минимумом питательных веществ». Либих понимал под этим относительный минимум питательного вещества по сравнению с содержанием других веществ.

В простейшем виде, применительно к конкретным опытам ученого, закон минимума Либиха гласит: ***рост растения зависит от того элемента питания, который***

***присутствует в минимальном количестве (минимуме).*** В современной формулировке закон минимума звучит так: выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей.

Закон минимума Либиха можно пояснить на таких примерах. Пусть в почве содержатся все элементы минерального питания, необходимые для данного вида растений, кроме одного из них, например, бора или цинка. Рост растений на такой почве будет угнетен или вообще невозможен. Если же мы добавим в почву нужное количество бора (цинка), это приведет к увеличению урожая. Но если мы будем вносить любые другие химические соединения (например, азот, фосфор, калий) и даже добьемся того, что все они будут содержаться в оптимальных количествах, а бор (цинк) будет отсутствовать – это не даст никакого эффекта. Таким образом, продуктивность культурных растений, в первую очередь, зависит от того питательного вещества (минерального элемента), который представлен в почве наиболее слабо. Например, если фосфора в почве лишь 20 % от необходимой нормы, а кальция — 50 % от нормы, то ограничивающим фактором будет недостаток фосфора; необходимо в первую очередь внести в почву именно фосфорсодержащие удобрения.

Графически образную модель этого закона можно представить в виде так называемой «бочки Либиха» (рис. 3.15). Суть модели состоит в том, что вода при наполнении бочки начинает переливаться через наименьшую доску в бочке, и длина остальных досок уже не имеет значения.

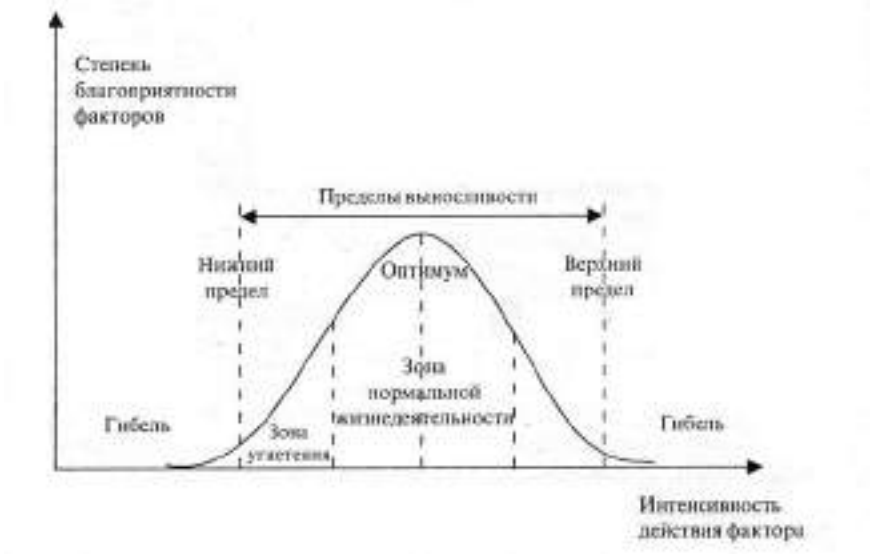
Рис. 3.15. Бочка Либиха

При формулировании своих обобщений Либих пользовался определением «лимитирующий» по отношению к факторам среды. ***В экологии под лимитирующим (ограничивающим) фактором понимается любой фактор, который ограничивает процесс развития или существования организма, вида или сообщества.*** Им может быть любой из действующих в природе экологических факторов: вода, тепло, свет, ветер, рельеф, содержание в почве необходимых для жизнедеятельности растений солей и химических элементов, а в водной среде - химизм и качество воды, количество доступного кислорода и углекислого газа. Такими факторами могут быть конкуренция со стороны другого вида, присутствие хищника или паразита.

Изучая различное лимитирующее действие экологических факторов на насекомых, американский зоолог Виктор Эрнест Шелфорд пришел к выводу, что лимитирующим может быть не только недостаток, но и избыток таких факторов, как свет, тепло, вода. В экологии такое положение носит название ***закона толерантности Шелфорда***, сформулированного им в 1913 г. Он гласит: ***лимитирующим фактором процветания организма может быть как минимум, так и максимум экологического влияния, диапазон между которыми определяет степень выносливости (толерантности) организма к данному фактору.*** Каждый организм можно характеризовать экологическим минимумом и экологическим максимумом.

Диапазон толерантности (выносливости) по каждому фактору ограничен его минимальными и максимальными значениями, в пределах которых только и может существовать данный организм (рис 3.16). Предел выносливости между критическими точками называют *экологической валентностью* живых существ по отношению к конкретному фактору среды. По отношению к конкретному организму ее можно определить как способность организма существовать в определённом диапазоне значений экологического фактора. Экологическая валентность определяет степень приспособляемости вида к изменениям условий среды; его способность переносить количественные колебания действия экологического фактора в той или иной степени. У разных видов она может быть очень разной: северный олень, например, выдерживает колебание температуры воздуха от -55°С до +25-30°С, а тропические кораллы гибнут уже при изменении температуры воды на 5-6 °С.

Благоприятный диапазон действия экологического фактора называется зоной оптимума (нормальной жизнедеятельности). Чем значительнее отклонение действия фактора от оптимума, тем больше данный фактор угнетает жизнедеятельность популяции. Этот диапазон называется зоной угнетения (зона пессимума). Максимально и минимально переносимые значения фактора - это критические точки, за пределами которых существование организма или популяции уже невозможно.



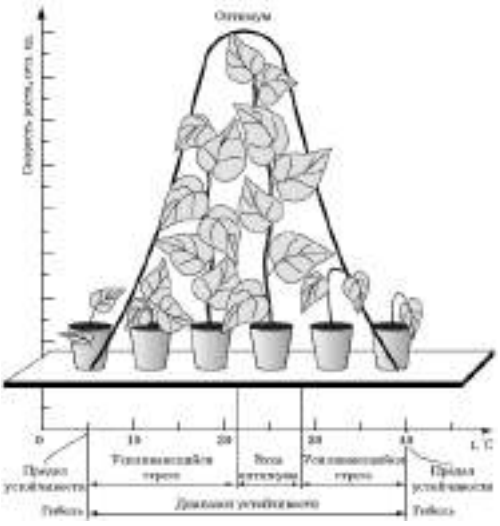


Рис. 3.16. Зависимость результата действия экологического фактора от его интенсивности

Для выражения степени толерантности в экологии применяются термины, использующие приставки ***стено-*** (узкий) и ***эври-*** (широкий). Маловыносливые организмы, узкоограниченные каким-либо экологическим фактором и способные обитать только в условиях устойчивого постоянства этого факторы называют ***стенобионтами***. К ним обычно принадлежат многие паразиты, виды, обитающие на океанических глубинах, в пещерах, тропических лесах. Так, австралийский сумчатый медведь коала может жить только на тех видах эвкалиптов, листьями которых он питается (рис. 3.17).

Напротив, организмы с высокой экологической валентностью, способные существовать при широких амплитудах изменчивости факторов окружающей среды, называют ***эврибионтами***. Они способны выносить широкую амплитуду интенсивности различных экологических факторов. К ним относятся многие наземные животные. Например, ареал обитания лисицы распространяется от лесотундры до степей.

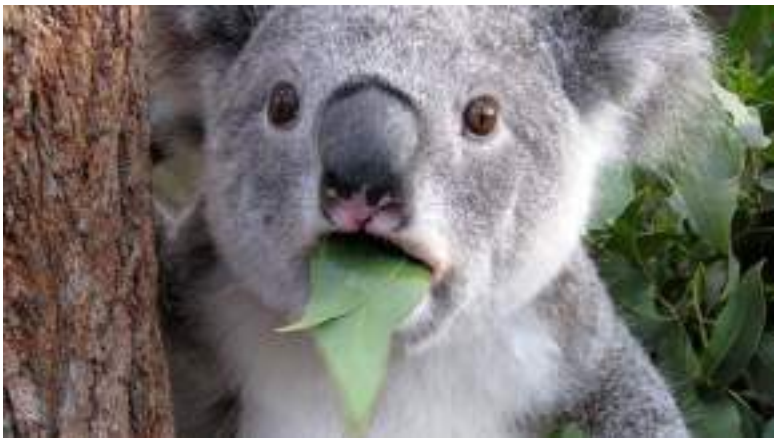


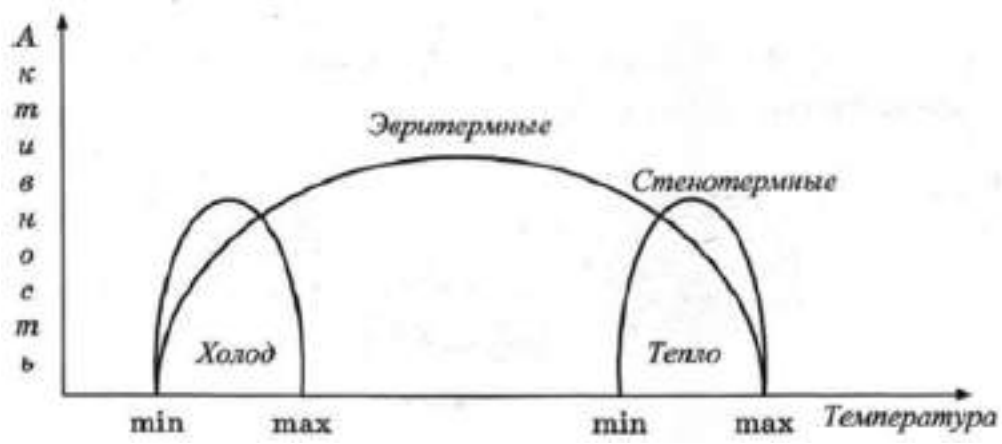
Рис. 3.17. Коала

Если хотят подчеркнуть отношение организма к конкретному фактору, то используют термины, первая часть которых образована приставками стено- или эври-, а вторая содержит указание на конкретный фактор, например: эвритермные организмы - имеющие широкий температурный интервал (многие насекомые), стенотермные организмы – приспособившиеся к узкой амплитуде температур. Так, карась и камбала могут обитать в узком диапазоне солёности (являются стенобионтами). При этом, карась предпочитает пресные или очень слабо солёные воды, а камбала, наоборот, их избегает и встречается исключительно в солёной воде. В отличие от них колюшка обитает в очень широком диапазоне (эврибионт) солёности, который перекрывает диапазоны карася и камбалы. (рис. 3.18).

В арктических морях существует немало форм, вся жизнь и размножение которых протекают при температуре ниже нуля, а иногда 1,5-1,8 °С ниже нуля, например, моллюск Portlandia arctica, звезды - Asterias panopla и Pontaster tenuispinus, креветка Sclerocrangon ferox, морской таракан Mesidothea sabini и др. С другой стороны, коралловые рифы не могут развиваться при температуре ниже 21,5 °С. И те и другие животные относятся к стенобионтам (стенотермным организмам).

Как отмечают многие экологи, смысл закона толерантности вполне понятен. Плохо как недокормить, так и перекормить растение либо животное. Из этого закона вытекает следующее следствие: любой избыток вещества или энергии является загрязняющим среду компонентом. Например, в засушливых областях избыток воды вреден, и вода может рассматриваться как обычный загрязнитель.

Итак, для каждого вида существуют пределы значений жизненно необходимых факторов абиотической среды, которые ограничивают зону его толерантности (устойчивости). Живой организм может существовать в некотором определенном интервале значений факторов. Чем шире этот интервал, тем больше устойчивость или толерантность данного организма. Закон толерантности является одним из основополагающих принципов современной экологии.



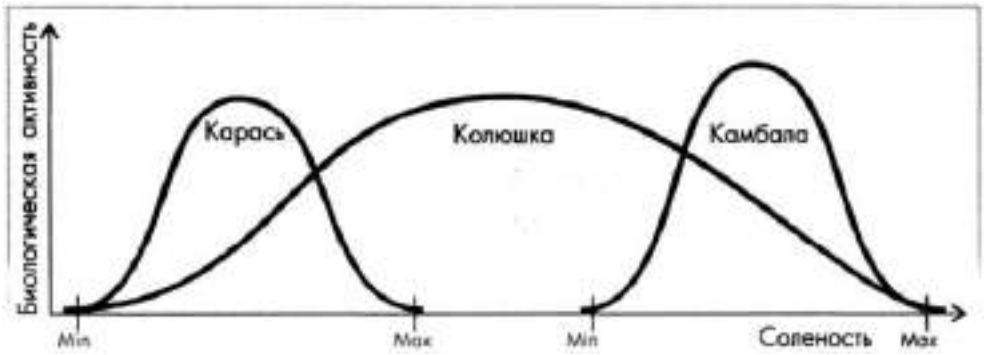



Рис. 3.18. Пределы толерантности стенотермных и эвритермных организмов

По отношению к определенным экологическим факторам организмы могут подразделяться на:

- стенотермные - эвритермные (по отношению к температуре),
- стеногидрические - эвригидрические (по отношению к воде),
- стеногалинные - эвригалинные (по отношению к солености),
- стенофагные - эврифагные (по отношению к пище),
- стеноойкные - эвриойкные (по отношению к местообитанию),
- стенобатные – эврибатные (по отношению к давлению воды).

Как отмечают многие экологи, смысл закона толерантности вполне понятен. Плохо как недокормить, так и перекормить растение либо животное. Из этого закона вытекает следующее следствие: любой избыток вещества или энергии является загрязняющим среду компонентом. Например, в засушливых областях избыток воды вреден, и вода может рассматриваться как обычный загрязнитель.

Концепция лимитирующих факторов оказалась весьма важной и полезной для экологов, вынужденных принимать решения в экстремальных ситуациях. Как известно, взимоотношения между средой и организмом в природе весьма сложны, многообразны и отличаются поливариантностью. Экологу подчас весьма трудно принять правильное решение, касающееся какой-либо ситуации или вида организма. Однако в каждой конкретной ситуации всегда возможно выделить наиболее слабые связи между организмами, составляющими сообщество, либо между организмами и средой. Следующий шаг - концентрация внимания на тех факторах внешней среды, которые с наибольшей вероятностью могут оказаться либо лимитирующими, либо критическими.

## 3.6. АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМОВ К ФАКТОРАМ СРЕДЫ

Приспособление организма к среде обитания носит название адаптации. С позиции экологии можно считать, что многообразие организмов, их изменчивость и сохранение в природе, их становление и существование являются результатом воздействия окружающей среды и адаптации. В природе адаптации организмов всегда развиваются под воздействием трех основных факторов: изменчивости, наследственности и естественного отбора. Совокупность адаптаций придает строению и жизнедеятельности организмов черты

целесообразности. Приспособленность вида к какой-либо постоянной среде является предпосылкой его длительного стабильного существования.

В чем же основная суть процесса адаптации? Биологический смысл их сводится к тому, чтобы данная особь (это можно отнести к организмам любого вида) выжила при неблагоприятных условиях и оставила потомство. Средства же могут быть самые разные. Например, к наступлению зимних холодов у одних животных вырастает густой и теплый меховой покров, который к тому же приспособительно изменяет свою окраску, у других образуется толстый подкожный слой жира, третьи, тоже откормившись за лето, залегают в спячку. Деревья сбрасывают листья, их почки покрываются толстым восковым слоем и т. п.

Это различные биологические реакции в ответ на изменения условий окружающей среды, которые представляют собой иногда сложные и длительные изменения строения и функций организмов, иногда относительно простые и легко обратимые реакции, Имеется множество удивительных примеров приспособления живых организмов к экстремальным факторам среды. Например, у берегов Антарктиды рыба Trematotus приобрела способность образовывать протеиновые соединения в своей крови. Действуя как антифриз, они не дают образовываться ледяным кристаллам. Все это позволяет рыбе выживать при температуре ниже -2 $^{o}$C. Некоторые виды насекомых также имеют в теле некое подобие антифриза. Так, личинка аляскинской галлицы может замерзнуть и оттаивать несколько раз без какого-либо вреда.

Способность к адаптациям – одно из основных свойств жизни на нашей планете. Адаптации обеспечивают возможность существования организмов, возможность их выживания и размножения.

## Адаптации растений и животных к световому режиму

Световой фактор играет для растений весьма важную роль: от интенсивности солнечного освещения зависит продуктивность, производительность растений. Однако световой режим на Земле довольно разнообразен. В лесу он иной, чем на лугу. Освещение в лиственном и темнохвойном еловом лесу заметно различается. Таких примеров можно привести множество. Конечно, растения стремятся как можно полнее использовать ту солнечную радиацию, которая достигает земли. Присмотритесь к комнатным растениям на ваших подоконниках. Они так и тянутся к солнечному свету, а если его недостаточно, то вытягиваются, истончаются, листья их мельчают.

Условия освещения играют исключительную роль в жизни растений: от интенсивности солнечного освещения зависит продуктивность, производительность растений. Однако световой режим на Земле довольно разнообразен. В лесу он иной, чем на лугу. Освещение в лиственном и темнохвойном еловом лесу заметно различается. Таких примеров можно привести множество. Свет управляет ростом растений: они растут в направлении большей освещенности. Их чувствительность к свету столь велика, что побеги некоторых растений, в течение дня содержащиеся в темноте, реагируют на вспышку света, длящуюся всего две тысячных доли секунды.

Каким же образом растения приспосабливаются к условиям различной освещенности в природе? Помог им в этом естественный отбор, благодаря которому возникли различные приспособления, позволяющие им жить в разнообразных условиях освещенности. По

отношению к освещенности в естественных местообитаниях растения можно разбить на несколько групп. В связи с этим хочется остановиться на кочующем из книги в книгу, где речь идет об экологии растений, заблуждении. Во многих учебниках, справочниках по экологии дается такая градация растений по отношению к свету: светолюбивые, тенелюбивые и теневыносливые. То есть одни растения любят светлые места произрастания, другие же, наоборот, обожают тень.

Следует заметить, что места, куда свет проникает в очень малых количествах, - это неблагоприятные условия существования для любых организмов. Не составляют исключений и растения. Тень - это неблагоприятный фактор для их развития. И поэтому в принципе каждое растение старается «ухватить» как можно больше солнечного света для успешного обеспечения фотосинтетического процесса. Однако не всегда желания совпадают с возможностями, и по отношению к фактору освещенности в мире растений происходит жесткая конкуренция. Виды, уже приспособившиеся жить в комфортных условиях, не допускают других, которые в конкурентном отношении менее сильны.

Такие виды и оттесняются в места с неблагоприятным световым режимом, в тень. Происходит раздел сфер влияния. Но и здесь, где, казалось бы, не каждое растение хочет расти, тоже свои раздоры. Ведь существуют места, скажем, в лесу, с различной освещенностью. В итоге одни растения остаются в слабой тени, другие же вынуждены отступить в еще большую тень. Эволюционным путем такие группы растений приспосабливаются жить в сильной тени, скажем, под пологом густого елового леса, где конкурентов у них уже нет. Это не значит, что они не любят свет (якобы тенелюбивые). Они просто вынуждены терпеть эволюционно сложившиеся фитоценотические отношения и адаптироваться к ним. Согласитесь - любить и терпеть - это разные вещи. Другое дело, что в процессе длительной эволюции фотосинтетический аппарат у них приспособился к проявлению предельной интенсивности фотосинтеза в условиях малой освещенности. Но это как раз и есть то приспособление, благодаря которому им удалось уцелеть в условиях жесткой конкуренции. Развитие главенствующей древесной растительности эволюционно закрепило их статус. Так они и стали изгоями растительного мира.

У растений возникают различные морфологические и физиологические адаптации к световому режиму местообитаний.

По требованию к условиям освещения принято делить растения на следующие экологические группы:

■ растения теневые - сциофиты (от греч. «сциа» - тень, и «фитон» - растение) – адаптированные к исключительно затемнённым условиям, предпочитающие рассеянный свет;

■ растения теневыносливые – гелиосциофиты - могут переносить большее или меньшее затенение, но хорошо растут и на свету ;

■ растения светолюбивые - гелиофиты (от греч. «гелиос» - солнце) – приурочены к открытым, постоянно хорошо освещаемым местообитаниям.

Гелиофиты характеризуются следующими адаптивными признаками:

мелкие размеры листьев. Это особенно заметно у видов одного рода: колокольчик широколистный, колокольчик крапиволистный – лесные виды с крупными листьями, колокольчик раскидистый – луговой вид с узкими листьями. У лесного вида овсяницы гигантской листья 12 мм шириной. Луговые виды – овсяница красная и овсяница луговая – с листьями до 6 мм шириной. У

гелиофитов встречается сезонный диморфизм: весной листья мелкие, летом – крупнее (медуница: весенние побеги при большом освещении с мелкими листьями, летние в тени – с крупными);

- листья располагаются под большим углом, иногда почти вертикально, чтобы уменьшить освещенность в дневные часы;
- листовая пластинка блестящая или густо опушенная, что способствует отражению лучей;
- пластиды многочисленные, мелкие, светлые;
- образуют разряженные насаждения.

Гелиофиты либо совсем не переносят, либо плохо переносят даже незначительное затенение. К этой группе относятся степные и луговые злаки, растения тундр, ранневесенние растения, большинство культурных растений открытого грунта, многие сорняки. Из видов этой группы можно отметить подорожник обыкновенный (Plantago major), иван-чай (Chamaerion angustifolium), вейник тростниковидный (Calamagrostis arundinacea) и др.

Теневыносливые гелиосциофиты способны развиваться как при очень большом, так и при малом количестве света. В качестве примера таких растений можно указать некоторые деревья: ель обыкновенную (Picea abies), клен остролистный (Acer platanoides), граб обыкновенный (Carpinus betulus); кустарники - лещину (Corylus avellana), боярышник (Crataegus monogyna); травы - землянику (Fragaria vesca), герань полевую (Geranium pratense); многие комнатные растения.

Для сциофитов зоной оптимума служат затененные места, при сильной освещенности они чувствуют себя плохо. Растения этой группы адаптировались к условиям сильного затенения темнохвойных таежных, широколиственных и тропических влажных лесов.

Для них характерны следующие адаптации:

- листья крупные, тонкие, кутикула не выражена:
- расположены перпендикулярно свету; выражена листовая мозаика;
- при попадании сильного света – изменение положения листьев (закрывание листьев у кислицы обыкновенной):
- пластиды немногочисленные, крупные, темные (высокое содержание хлорофилла).

Обычно адаптация к условиям недостаточной освещенности сочетается у них с высокой потребностью в водоснабжении. В условиях сильной освещенности сциофиты не могут эффективно регулировать транспирацию и обычно высыхают. Типичные представители темных местообитаний - это зеленые мхи, плауны, кислица обыкновенная (Oxalis acetosella), копытень европейский (Asarum europaeum), седмичник европейский (Trientalis europaeus), барвинок малый (Vinca minor), майник двулистный (Majanthemum bifolium) и др.

Для животных солнечный свет не является таким необходимым фактором, как для зеленых растений, поскольку все они в конечном счете существуют за счет энергии, накопленной растениями. Однако и в жизни животных световая часть спектра солнечного излучения играет важную роль. Разные виды животных нуждаются в свете определенного спектрального состава, интенсивности и длительности освещения. Отклонения от нормы подавляют их жизнедеятельность и приводят к гибели.

Свет для животных, в первую очередь, необходимое условие зрительной ориентации в пространстве. Рассеянные, отраженные от предметов лучи, воспринимаемые органами

зрения животных, дают им значительную часть информации о внешнем мире. Человек получает более 90% информации о внешнем мире через зрительный анализатор.

В процессе эволюции происходило постепенное усложнение зрительных анализаторов. Наиболее совершенные органы зрения - глаза позвоночных, головоногих моллюсков и насекомых. Они позволяют воспринимать форму и размеры предметов, их цвет, определять расстояние.

Отдельные виды животных могут сильно различаться по способности воспринимать разные лучи солнечного спектра. Для человека область видимых лучей - от фиолетовых до темно-красных. Некоторые животные, например, гремучие змеи, видят инфракрасную часть спектра и ловят добычу в темноте.

Различают виды светолюбивые (фотофилы) и тенелюбивые (фотофобы). Фотофилы – это в основном дневные животные. Фотофобы – сумеречные и ночные животные, а также жители пещер, подземелий и дна. Так, морские ежи избегают сильного света и, укрываясь от него, набрасывают на себя водоросли, остатки раковин, песок.

## Адаптации растений и животных к различным температурным условиям

*А. Биохимические адаптации*

При высокой температуре в цитоплазме клеток теплолюбивых растений увеличивается содержание защитных веществ (органических кислот, солей, слизи). Они препятствуют свертыванию цитоплазмы и нейтрализуют токсичные вещества.

У холодостойких растений при низких температурах происходит накопление углеводов (в основном глюкозы) в клеточном соке, что снижает точку замерзания воды.

*Б. Физиологические адаптации*

Эффективной защитой растений от перегрева служит усиленная транспирация благодаря большому количеству устьиц.

У растений пустынь и степей короткий цикл развития позволяет избегать действия высоких температур. Вся вегетация у них происходит ранней весной. А летнюю жару они переживают в состоянии покоя.

*В. Морфологические адаптации*

Действие высоких температур на растения субтропического и тропического поясов снижается за счет усиления отражения солнечных лучей и уменьшения светопоглощающей поверхности.

Повышению отражения и уменьшению поглощения избыточного солнечного света способствует светлая окраска листьев, их блестящая или опушенная поверхность, видоизменение листовых пластинок (колючки, рассеченные и свернутые листья).

Противодействует перегреву растений вертикальное по отношению к солнечным лучам расположение листьев.

Адаптации у растений холодного климата проявляются в виде формирования карликовых жизненных форм (березы, ивы). Встречаются также стелющиеся (кедровый стланик, можжевельник туркестанский) и подушковидные (высокогорные и арктические растения-подушки) жизненные формы. Такие растения меньше подвержены воздействию ветра, лучше укрыты снегом зимой, полнее используют тепло почвы летом.

Разнообразие адаптаций животных к неблагоприятным температурным условиям объясняется разными способами терморегуляции у пойкилотермных и гомойотермных организмов.

*А. Биохимические адаптации*

У пойкилотермных животных при переохлаждении происходит накопление «биологических антифризов» (веществ, понижающих точку замерзания воды) в жидкостях тела. Такими веществами у рыб являются гликопротеиды, у насекомых — глицерин, высокие концентрации глюкозы.

У арктических и антарктических рыб отмечается повышенное содержание ненасыщенных жирных кислот в составе жиров, что снижает температуру их затвердевания.

*Б. Физиологические адаптации*

Большое значение для терморегуляции у пойкилотермных животных имеет наличие артериовенозных «теплообменников». Сосуды, выходящие из мышц, тесно соприкасаются с сосудами, идущими от кожи. Кровь кожи согревает кровь мышц, и в глубь тела она поступает теплой. Отдав свое тепло, охлажденная мышечная кровь вновь направляется к поверхности тела. При увеличении температуры окружающей среды у ящериц, например, увеличивается скорость тока крови по сосудам.

При высоких температурах как у пойкилотермных, так и у гомойотермных организмов теплоотдача усиливается за счет испарения влаги с поверхности тела (потоотделение). Влага может испаряться через слизистые оболочки ротовой полости и верхние дыхательные пути (тепловая одышка и др.).

В случае воздействия низких температур некоторые животные могут

*В. Морфологические адаптации*

Уменьшению потерь тепла у организмов способствуют теплоизолирующие покровы. Пресмыкающиеся имеют роговой покров, птицы — перьевой, млекопитающие — волосяной. Сохранению тепла способствует подкожный жир, особенно выраженный у обитателей холодного климата (ластоногие и китообразные).

*Г. Поведенческие адаптации*

У пойкилотермных животных существует два типа поведенческих адаптаций. Это активный выбор мест с наиболее благоприятным температурным режимом и смена поз.

В первом случае насекомые, пресмыкающиеся и земноводные активно отыскивают освещенные солнцем места. Получив необходимое количество тепла, животные перемещаются в тень или прячутся в норах и поддерживают температуру за счет мышечных сокращений. У водных животных перемещение происходит между мелководными, хорошо прогреваемыми зонами и более глубоководными прохладными участками.

Смена поз позволяет изменять поверхность тела, прогреваемую солнечными лучами. Например, морские игуаны на Галапагосских островах рано утром или в пасмурную погоду принимают «распростертые» позы, всем телом прижимаясь к субстрату. Это обеспечивает максимальную поверхность обогрева солнцем.

Для гомойотермных животных также характерно адаптивное поведение. Оно проявляется в виде выбора мест для защиты от холода или жары, сезонных миграций. Животные могут зарываться в снег, образовывать тесные скопления особей для снижения энергозатрат на терморегуляцию и т. д.

Морфологические адаптации, наблюдающиеся в мире животных, позволили сформулировать несколько климатических правил.

Например, климатическое ***правило Бергмана***, сформулированное еще в 1847 году гласит: в пределах вида или достаточно однородной группы близких видов животные с более крупными размерами тела распространены в более холодных областях своего ареала или в горах. Это правило отражает адаптацию животных к поддержанию постоянной температуры тела в разных климатических условиях и помогает теплокровным животным выжить в более суровых условиях севера. На юге, в теплом климате водятся мелкие разновидности тех же видов. На севере живут самые большие медведи, волки, лоси. Так, белый медведь Арктики имеет вес до 1000 кг, бурый медведь из Аляски весит до 700 кг, а малайский медведь не дотягивает и до 70 кг (рис.3.19).

Рис. 3.19. Самый крупный вид семейства Медвежьи — белый медведь, массой до 1000 кг (2) живет в высоких широтах Арктики, самый мелкий — малайский массой до 65 кг (5) — в Индо-Малайской области в районе экватора

Крупный королевский пингвин Антарктиды имеет рост до 120 см, а экваториальный галапагосский пингвин -до 40 см. Отметим, что согласно современным знаниям, оно не столь всеобъемлюще, как предполагали раньше. Быть может, исключения даже преобладают.

Однако, несмотря на это, правило Бергмана и посейчас сохраняет свое значение, поскольку обращает наше внимание на широко распространенное явление. Увеличение размеров в холодных областях свойственно в известной степени даже беспозвоночным животным. Нередко такая же зависимость обнаруживается и при сравнении близкородственных видов.

Согласно другому правилу – ***Аллена*** (1877), чем холоднее условия в ареале, тем короче конечности у теплокровных животных и более короткое и компактное тело. Многие выступающие части тела (конечности, хвост, уши) становятся тем

Рис. 3.20. Различия в размерах ушей у трех видов лисиц, обитающих в различных географических областях. Вверху — песец, обитает в тундре. Ниже — рыжая лисица, обитает в средней полосе. Внизу — фенек, обитает в Сахаре

меньше и короче, а тело тем массивнее, чем холоднее климат. Такую закономерность можно проследить при сравнении видов зайцев в зонах их обитания в направлении от Центральной Америки к Северной. Так, сравнение зайцев Аллена, чернохвостого (калифорнийского) зайца, американского зайца-беляка и полярного зайца показывает постепенное уменьшение длины ушей и конечностей. Кроме того, крылья птиц становятся уже и острее, а шерсть млекопитающих длиннее, подшерсток гуще. Наконец, у северных птиц сильнее выражен перелетный инстинкт, возрастает величина кладки и соответственно число птенцов в выводке.

В качестве примера проявления правила Аллена можно привести отношение длины хвоста к длине тела у пашенной полевки (Microtus agrestis) из различных районов Европы: Португалия — 39 %, Центральная Европа — 33 %, Швеция — 29 %.

В гамбургских холодильниках жили наиболее короткохвостые мыши; укорачивались хвосты и у особей, которым в условиях эксперимента регулярно давали препараты, снижающие температуру тела. Выросшие же в тепле мыши были длиннохвостыми и длинноухими. Правило Аллена подтверждается и при межвидовых сравнениях. Так, у мексиканского зайца длина ушей достигает 189 % длины головы, тогда как у беляка в Гренландии — только 96 %. Еще нагляднее сравнение песца, обыкновенной лисицы, фенека и африканской большеухой лисицы(рис. 3.22).

На островах у птиц клювы более длинные, чем на континентах. Животные жарких мест (африканский слон, американский заяц пустынь) имеют огромные уши, которые служат им для теплоотдачи.

Справедливости ради, следует заметить, что правило Аллена также имеет много исключений.

***Правило Глогера*** (1833) объясняет тот факт, что виды животных, обитающих в более влажном и прохладном климате имеют более темную пигментацию тела. Согласно этому правилу среди близкородственных видов млекопитающих ярче окрашены те, которые

живут во влажном тропическом климате, по сравнению с теми, что обитают в сухом континентальном климате. Примером, подтверждающим справедливость этого, может служить сравнение бенгальского и уссурийского тигров. Еще один пример: черный ворон, обитающий во льдах Гренландии, имеет более черную окраску, нежели его собрат, живущий в пустынях Сахары, где он приобретает коричневый оттенок. Южные птицы как правило ярче и пестрее окрашены.

Еще одно климатическое правило: в направлении от полюсов к экватору пресноводная фауна в целом обнаруживает все больше сходства с морской. В чем тут причина? Известно, что в тропиках морские рыбы легче проникают в реки, чем в средних широтах. Вероятно, это определяется тем, что в условиях более благоприятного климата скорее может быть достигнут тот уровень обмена веществ, который необходим для перехода организма в пресную воду. Океанские острова, кстати, вообще не имеют настоящих пресноводных форм.

## Адаптация растений и животных к водному режиму

У растений имеются особые потребности к воде. Известно, что одни растения предпочитают влажную среду - окраины озер, болота, другие прекрасно чувствуют себя при значительном недостатке влаги и способны произрастать чуть ли не на голом песке. Такое отношение растительных организмов к воде выработалось у них за время длительного эволюционного процесса.

По отношению к влажности все растения делятся на различные экологические группы. Растения для которых вода не просто экологический фактор, а среда обитания, составляют группу водных растений.

■ Гидадофиты (от греч. «гидатос» - вода и «фитон» – растение) - полностью или большей своей частью погруженные в воду растения. К ним относятся такие обычные водные растения, как кувшинка белая (Nymphaea alba), кубышка желтая (Nuphar lutea), стрелолист (Sagittaria sagittifolia).

■ Гидрофиты (от греч. «гидро» - вода) - растения погруженные в воду меньшей своей частью. Среди них можно назвать тростник обыкновенный (Phragmites australis), частуху подорожниковую (Alisma plantago-aquatica), рогоз узколистный (Typha angustifolia) и др.

Растения с надземными частями, не погруженными в воду, разделяются еще на три группы.

■ Гигрофиты (греч. «гигрос» - влажный) - растения, приуроченные к избыточно увлажненным местообитаниям, где воздух насыщен водяными парами. Это калужница болотная (Caltha palustris), чистяк весенний (Ficaria verna), вахта трехлистная (Menyanthes trifoliata).

■ Мезофиты (от греч. «мезос» - средний) - растения умеренно влажных местообитаний. В наших условиях это наиболее обширная экологическая группа растений. Здесь и обычные луговые травы (клевера луговой, ползучий, средний - Trifolium pratense, T. repens, T. medium) и большинство лесных трав (ландыш майский Convallaria majalis, майник двулистный - Majanthemum bifolium, папоротник орляк - Pteridium aquilinum), и почти все лиственные деревья - осина, береза, клен, ольха, многие полевые культуры и сорняки.

■ Ксерофиты (от греч. «ксерос» - сухой) - растения, приспособившиеся к местам с засушливым климатом и способные переносить большой недостаток влаги. К ним относятся такие обитатели сухих песчаных почв как молодило (Sempervivum tectorum) и очиток едкий (Sedum acre).

Среди ксерофитов выделяют две группы растений. Одни имеют сочные, мясистые стебли или листья. Эта группа носит название суккулентов (от лат. «суккулентус» - сочный, жирный). Все эти растения в процессе эволюции выработали свойство накапливать воду в листьях или стеблях. В зависимости от того, в каких частях суккулентов развивается водозапасающая ткань, их делят на стеблевые и листовые. У стеблевых суккулентов листья чаще всего превращены в колючки или чешуйки. К ним относятся такие популярные у цветоводов растения, как кактусы. Некоторые кактусы способны концентрировать в своих стеблях до 3000 л воды и экономно расходовать ее в условиях засушливого климата. К листовым суккулентам принадлежат разводимые многими в лечебных целях виды из рода алоэ и бриофиллюм.

Встречаются суккуленты в разных семействах растительного царства и обитают на всех материках земного шара, но больше всего их произрастает в засушливых пустынях и полупустынях Африки и Америки.

Вторая группа растений-ксерофитов имеет жесткие кожистые листья и стебли, которые эффективно задерживают испарение воды. Они способны без вреда для себя потерять до 20-25% содержащейся в них влаги. Эта группа растений носит название склерофиты (от греч. «склерос» - твердый, жесткий). По внешнему виду склерофиты являются полной противоположностью суккулентам. Листья и стебли их не содержат запасов воды и кажутся суховатыми. К склерофитам относятся ковыли, многие полыни, саксаул, верблюжья колючка, оливковое дерево, пробковый дуб.

У разных экологических групп растений выработались определенные адаптации к водному режиму.

Анатомо-морфологические адаптации у растений можно свести к нескольким группам.

1. Общее сокращение транспирирующей поверхности. У ксерофитов развиты мелкие, узкие, опушенные, сильно редуцированные листовые пластинки. В особо засушливых пустынных местообитаниях листья некоторых древесных и кустарниковых пород редуцированы до едва заметных чешуек. У таких видов фотосинтез осуществляют зеленые ветви.

2. Уменьшение листовой поверхности в наиболее жаркие и сухие периоды вегетационного сезона. Для многих кустарников среднеазиатских, североафриканских и других пустынь, а так же для некоторых видов сухих субтропиков средиземноморья характерен сезонный деформизм листьев: ранней весной при еще благоприятном водном режиме образуются относительно крупные листья, которые летом, при наступлении жары и сухости, сменяются мелкими листьями более ксероморфного строения с меньшей интенсивностью транспирации.

3. Защита листьев от больших потерь влаги на транспирацию. Она достигается благодаря развитию мощных покровных тканей — толстостенного, иногда многослойного эпидермиса, часто несущего различные выросты и волоски. У других видов поверхность покрыта водонепроницаемым слоем толстой кутикулы или воскового налета.

Наряду с морфологическими особенностями у растений, приуроченных к местам с разными условиями увлажненности, выработались и физиологические.

У гигрофитов устьица большей частью широко открыты, так что транспирация мало отличается от физического испарения. Благодаря беспрепятственному потоку воды и отсутствию защитных приспособлений интенсивность транспирации очень высока.

В некоторых случаях у растений сильно увлажненных местообитаний возникает необходимость удаления избытка влаги, которая удаляется путем гуттации – выделение воды через специальные выделительные клетки, расположенные по краю или на острие листа.

У ксерофитов обычно повышено осмотическое давление клеточного сока, позволяющее всасывать воду даже при больших водоотнимающих силах почвы, то есть использовать не только легкодоступную, но и труднодоступную почвенную влагу.

Большое значение для выживания ксерофитов при резком недостатке влаги имеет их способность переносить глубокое обезвоживание тканей без потери жизнеспособности и способности восстановления нормального содержания воды в растении при возобновлении благоприятных условий. Ксерофиты способны потерять до 75 % всего водного запаса и, тем не менее, остаться живыми.

У ксерофитов выработались сезонные ритмы, дающие возможность растениям использовать для вегетации наиболее благоприятные периоды года и резко сократить жизнедеятельность во время засухи

У суккулентов основной способ преодоления засушливых условий – накопление больших запасов воды в тканях и крайне экономное ее расходование. В дополнение к этому у многих суккулентов поверхность защищена восковым налетом и опушением. Устьица очень немногочисленны, часто погружены в ткань листа или стебля. Днем устьица обычно закрыты, и потеря воды идет в основном через покровные ткани.

Транспирация у суккулентов чрезвычайно мала. Водоудерживающая способность тканей суккулентов значительно выше, чем у других растений экологических групп, благодаря содержанию в клетках гидрофильных веществ. Поэтому и без доступа влаги суккуленты расходуют водный запас очень медленно и долго сохраняют жизнеспособность.

Мезофиты по всем параметрам занимают промежуточную позицию. Это подтверждается также физиологическими показателями водного режима. Они отличаются умеренными величинами осмотического давления, содержанием воды в листьях, предельным водным дефицитом. Величина транспирации, больше всего зависит от условий освещенности и других элементов микроклимата. Мезофитные виды имеют высокую приспособляемость к условиям окружающей среды. Попадая в условия с разной степенью влажности почвы и атмосферы, растения данной экологической группы в сухих условиях приобретает более ксероморфные, а во влажных – более гигроморфные черты.

Регуляции водного баланса у животных разнообразнее, чем у растений. Их можно разделить на виды: *поведенческие, морфологические и физиологические*. К числу *поведенческих* приспособлений относятся поиски водоемов, выбор мест обитания, рытье нор и т. д. В норах влажность воздуха приближается к 100 %, что снижает испарение через покровы, экономит влагу в организме. К *морфологическим* способам поддержания нормального водного баланса относятся образования, способствующие задержанию воды в

теле; это раковины наземных моллюсков, отсутствие кожных желез и ороговение покровов пресмыкающихся, хитинизированная кутикула насекомых и др.

*Физиологические* адаптации можно разделить на три группы: 1) способность ряда видов к образованию метаболической воды и довольствованию влагой, поступающей с пищей (многие насекомые, мелкие пустынные грызуны); 2) способность к экономии влаги в пищеварительном тракте за счет всасывания воды стенками кишечника, а также образования высококонцентрированной мочи (овцы, тушканчики); 3) развитие выносливости к обезвоживанию организма благодаря особенностям кровеносной системы, эффективной терморегуляции потоотделением и отдачей воды со слизистых оболочек ротовой полости (верблюды, овцы, собаки).

## 3.7. БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ И ФОТОПЕРИОДИЗМ

*В жизни человека нет ничего более властного, чем ритм.*
**И.П. Павлов - русский учёный, физиолог.**

Живые организмы не только приспосабливаются к физическим (абиотическим) факторам среды в том смысле, что переносят их различные неблагоприятные воздействия. Для распределения своих функций во времени и «программирования» жизненных циклов они используют естественную периодичность этих факторов, чтобы как можно более оптимально использовать благоприятные условия. Если учесть, что существует взаимный естественный отбор (сопряженная эволюция) и взаимодействия между организмами, то все сообщество становится запрограммированным для реакции на сезонные и другие ритмы.

Многие формы поведения организмов повторяются с регулярными интервалами. Хорошо известны такие примеры, как периоды ухаживания и гнездования у птиц весной и перелеты определенных видов осенью. Рекорд дальности здесь принадлежит полярным крачкам. Они гнездятся в Арктике, а в конце лета летят на юг, чтобы провести антарктическое лето на паковом льду вблизи Южного полюса. За год они покрывают расстояние в 35 тыс. км. Белые аисты проводят лето в Европе, а на зиму улетают за 13 тыс. км в Южную Африку. Краснозобая колибри мигрирует через Мексиканский залив, покрывая расстояние в 1000 км. Можно только поразиться, узнав, что такой перелет осуществляет птичка, весом всего в 3 г! В течение 25 ч она своими крылышками каждую секунду совершает до 75 взмахов - свыше 6 млн взмахов без остановки. Многощетинковый червь пескожил, роющий норки в илисто-песчаном грунте, каждые 6-7 мин вылезает наружу, чтобы добыть пищу. Такой цикл питания не связан с какими-то внешними или внутренними физиологически мотивационными стимулами. Примеров можно привести множество.

Главный признак ритмических процессов - их повторяемость. Под ритмами понимают периодически повторяющиеся явления природы. Ритмы, регистрируемые в живом мире, именуются биологическими. ***Биологические ритмы - это регулярные количественные и связанные с ними качественные изменения биологических процессов, происходящие на разных уровнях организации живого: молекулярно-генетическом, клеточном,***

***тканевом, органном, организменном, популяционно-биосферном.*** По степени зависимости от внешних условий биоритмы разделяют на экзогенные и эндогенные.

Ритмы экзогенные регулируются внешними факторами (зависят от ритмики геофизических и космических факторов: фотопериодизма, температуры окружающей среды, атмосферного давления, ритма космического излучения, гравитации и т.д.).

Ритмы, задаваемые внутренними часами, или водителями ритма, называются эндогенными. Поведение многих насекомых, ведущих полностью наземный образ жизни, контролируется, по-видимому, эндогенными ритмами, связанными с чередованиями света и темноты. Например, плодовая мушка (Drosophila) выводится из куколки на рассвете, а тараканы становятся наиболее активными с наступлением темноты и перед рассветом. Следует отметить, что большинство биологических ритмов смешанные, т.е. частично эндогенные и частично экзогенные.

Эндогенные активные ритмы совершаются при постоянных внешних условиях, лежащих в нормальных пределах для жизнедеятельности. К ним относятся многие микроритмы и все экологические ритмы.

Одно из удивительных свойств живого организма - ***биологические часы*** - механизм, ответственный за способность организма чувствовать время - будь то сон, бодрствование, питание или размножение. Мы знаем, когда день, а когда - ночь, даже не глядя за окно. Мы плохо себя чувствуем при смене часовых поясов, т. к. это сбивает наши биологические часы.

С тех пор, как на Земле зародилась жизнь, время приобрело свое настоящее значение. Ибо оказалось, что все живые существа реагируют на смену времен года, и смена закатов и восходов в той или иной степени отражается на жизни любой букашки.

Биологические часы управляют работой организмов различных животных и растений. На рис. 3.21 показано поведение листьев бобовых днем и ночью, график суточной активности крыс и комнатных мух. Листья бобовых на ночь сникают, а днем снова расправляются. Днем крыса спит, ночью бодрствует. Комнатные мухи большей частью вылупляются из куколок утром.

В условиях относительного постоянства геофизических факторов установлены ритмы жизнедеятельности с периодом не строго в 24 ч, а несколько большими или меньшими. Такие околосуточные ритмы, легко синхронизирующиеся с суточными геофизическими факторами называются циркадными (или циркадианными - от лат. «circa» - около, «dies» - день), или околосуточными ритмами. Циркадные ритмы имеют особую значимость для живых организмов на Земле. Они имеют такое же фундаментальное значение, как и генетический код. Сутки в 24 ч не выдуманы человеком, природа сама тесно связала жизнь на нашей планете с движением Земли и Солнца. Этот постоянный 24-часовой ритм геофизических параметров не мог не оказать могучее влияние на становление жизни и ее эволюцию (роль естественного отбора).

Циркадные (циркадианные) ритмы связаны с солнечным циклом. Самый простой пример циркадного ритма — чередование состояния бодрствования со сном.

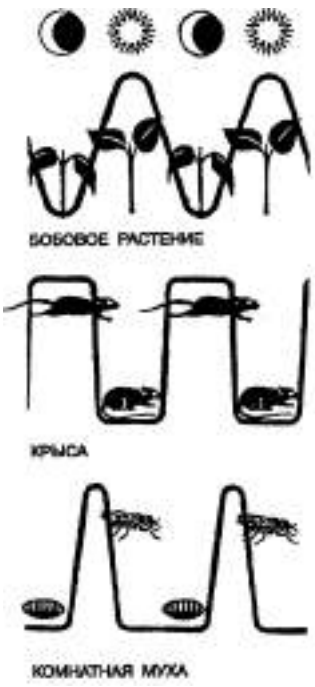



Рис. 3.21 Примеры биологических часов

Как только появилась гипотеза, что многие процессы «привязаны» к солнечному ритму, возник вопрос: что является для живого организма «часами»? Любопытный опыт провел в 1729 году ученый секретарь Парижской Королевской Академии наук де Мэран - астроном и математик. Заметив, что ночью фасоль опускает листья, а перед рассветом поднимает, он решил «обмануть» растение. Но в темной комнате днем и в освещенной комнате ночью листья фасоли делали то, что им положено делать в это конкретное время суток.

Последователи де Мэрана повторили его опыты, поместив растения в глубокую темную пещеру, где температура была неизменна и днем, и ночью. Движения листьев продолжались! Только через много дней эти движения прекратились, но от очень короткой вспышки света вновь возобновились. Так появилась гипотеза, что «биологические часы» находятся внутри клеток растения. Главный вопрос — где именно и как они работают? Поразительно, но сегодня наука не способна дать точного и однозначного ответа на этот вопрос.

Все больше данных свидетельствуют о том, что «часы» не сбиваются вне зависимости от того, находится ли организм в состоянии покоя или же активной жизнедеятельности. Пчелы на зиму цепенеют в своих темных ульях, а «часы» у них идут всю зиму, и весной пчелы правильно определяют время суток. Охлаждаются и цепенеют при температуре, близкой к 0 градусов, повисшие вниз головой в темных пещерах летучие мыши. Проходит много месяцев до теплых летних ночей, и когда приходит время, мыши вылетают на ловлю ночных насекомых. Не сбиваются с нужной фазы и околосуточные периодические процессы у растений, помещенных на много недель в темноту при постоянной температуре. При этом нет никаких внешних проявлений хода «часов», движения «стрелок» не видно.

Солнечный свет включает самые различные механизмы на молекулярных уровнях в живых организмах.

Продолжительность светового дня важна для человека, и электрическое освещение здесь мало что меняет. Некоторые особо светочувствительные люди утверждают, что им становится грустно уже в конце июля — всего лишь потому, что солнце в зените больше не стоит так высоко, как в день летнего солнцестояния, а их чуткие глаза это фиксируют.

Некоторые ученые видят причины осенней хандры в гормональном дисбалансе. Совокупность факторов — укороченный световой день, перепады температуры воздуха — заставляют организм производить новый осенний «коктейль» гормонов, в котором, по сравнению с летней версией, ниже доля серотонина (гормона радости) и выше — мелатонина (основной гормон , передающий информацию о световом режиме окружающей среды во внутреннюю среду организма). Изменения концентрации мелатонина имеют заметный суточный ритм — как правило, высокий уровень гормона в течение ночи и низкий уровень в течение дня.

Так как продукция мелатонина зависит от длины светового дня, многие животные используют её как «сезонные часы». У людей, как и у животных, продукция мелатонина летом меньше, чем зимой. Таким образом, мелатонин может регулировать функции, зависящие от фотопериода — размножение, миграционное поведение, сезонную линьку. У видов птиц и млекопитающих, которые размножаются при длинном дне, мелатонин снижает уровень половой активности. У животных, размножающихся при коротком световом дне, мелатонин стимулирует половую активность.

Биоритм - это наиболее выразительная часть процессов адаптации. В настоящее время хронобиология (наука о ритмах жизни) заняла особое место в экологии человека. Сущность здоровья и его количество рассматривается в хронобиологическом освещении.

Предполагают, что циркадные ритмы имеют многообразное адаптивное значение, специфическое для каждого вида и, в частности, связанное с ориентацией. Такие животные, как рыбы, черепахи, птицы и некоторые насекомые, мигрирующие на большие расстояния, используют в качестве компаса солнце и звезды. Другие животные (пчелы, муравьи и рачки-бокоплавы) ориентируются по солнцу в поисках пищи и при возвращении домой. Ориентация по солнцу и луне надежна только в том случае, если животное способно каким-то образом определять время, чтобы учитывать суточные перемещения этих светил.

Можно привести пример с человеком, который попал в другое полушарие. У него изменяется представление о времени сна и бодрствования, но постепенно внешние факторы регулируют его биологические часы и он начинает подчиняться новому биологическом ритму.

Поскольку природа биологических ритмов недостаточно изучена, остается открытым вопрос о принципах временной организации живого, о том механизме отсчета времени, который определяет ритмичность биологических процессов и именуется как биологические или физиологические часы. Биологические часы - это способность организмов реагировать на интервалы времени и явления, связанные с этими интервалами.

Результаты многочисленных исследований, проведенных на животных, подтверждают представление о том, что суточные ритмы контролируются какими-то эндогенными механизмами, которые связаны с биологическими часами. Некоторые исследователи

причину ритмичности биологических процессов видят в плохо изученных и нераспознанных ритмических геофизических факторах, прежде всего в электромагнитных колебаниях, и считают, что биоритмы - это результат ритмичности недостаточно изученных космических факторов, однако подавляющее большинство исследователей пришли к выводу, что биологические часы локализуются внутриклеточно.

Истоком биоритмологии является ботаника. Чарлз Дарвин в 1880 г. в книге «О способности растений к движениям» указал на внутреннюю природу периодичности. Еще раньше, в 1751 г., выдающийся шведский естествоиспытатель Карл Линней создал часы из цветов (рис. 3.22). Он детально изучил ритм раскрытия бутонов у различных видов цветковых растений и даже написал труд «Somnus plantarum» («Сон растений»). Используя свои знания, он построил настоящие цветочные часы, которые были «запущены» в 20-х гг. XVIII в. в шведском городе Упсала. Циферблат часов был разбит на ряд секторов, в каждом из которых высаживался строго определенный вид растений. Они подбирались по времени своего распускания. «Ход» часов начинался с 3-5 часов утра, когда раскрывались соцветия козлобородника. В течение дня ботанические часы безошибочно показывали время: каждый час раскрывало свои цветки какое-нибудь одно растение. Другие же оставались в это время закрытыми.

Рис.3.22. Цветочные часы Карла Линнея

Надежный сигнал, по которому организмы умеренной зоны упорядочивают во времени свою активность, - это длина дня, или *фотопериод*. Почему живые существа сверяют действие своего организма именно по длине дня? Ответ прост. В отличие от других сезонных факторов длина дня в данное время года и в данном месте всегда одинакова. Однако с географической широтой амплитуда ее сезонных изменений возрастает. Живые организмы приспособились к этому и учитывают не только время года, но и широту местности.

Наиболее постоянна продолжительность дня на экваторе. Она составляет там примерно 12 ч. Чем дальше от экватора, тем больше сезонные колебания длины дня. Поэтому именно в умеренных широтах продолжительность дня (она изменяется в течение

года в пределах примерно от 9 до 15 ч) является очень важным внешним фактором для большинства живых организмов.

***Фотопериодизм - реакция организмов на суточный ритм освещения, соотношение длительности дня и ночи, выражающаяся в изменении процессов роста и развития.***

Явление фотопериодизма было открыто в 1920 г. американскими учеными К. Гертнером и Г. Аллардом на растениях табака. Они показали что данные растения зацветают только лишь после выдерживания их на коротком фотопериоде в течение нескольких дней. В естественных условиях это происходит осенью, но короткий день (продолжительностью 7 ч) можно создать и искусственно, например, в теплицах.

Различают два типа фотопериодической реакции: короткодневный и длиннодневный. Известно, что длина светового дня, кроме времени года, зависит от географического положения местности. Короткодневные виды живут и произрастают в основном в низких широтах, а длиннодневные – в умеренных и высоких. У видов с обширными ареалами северные особи могут отличаться по типу фотопериодизма от южных. Таким образом, тип фотопериодизма – это экологическая, а не систематическая особенность вида.

У растений такие явления, как цветение, образование плодов или семян, листопад и прорастание семян тесным образом связаны с сезонными изменениями длины дня и температуры. Некоторым растениям нужен длинный день (растения длинного дня. зацветание и плодоношение которых наступает при 8-12 часовом освещении), другими – короткий (для цветения нужна продолжительность дня 12 ч и более), а некоторые - зацветают независимо от длины дня (растения нейтральные в отношении фотопериода) (рис. 3.23).

Позже в изучении фотопериодизма выявились и трудности. Например, некоторые растения при одной температуре вели себя как нейтральные по отношению к длине дня, а при другой - зависели от нее. Для каких-то растений было необходимо, чтобы одна длина дня сменялась другой, а у иных определенная длина дня ускоряла наступление цветения, но не являлась обязательным условием.

Подобные недоразумения выяснились, когда было установлено, что на самом деле значение имеет продолжительность не светлого, а темного периода суток. Поэтому фактически растения короткого дня оказались растениями длинной ночи. Если их выращивать в условиях короткого дня и длинной ночи, но ночь прерывать коротким периодом освещения, они не зацветут.

В качестве примеров растений короткого дня можно привести хризантему, сою, табак, землянику, гречиху, астры, подсолнечник. Растения длинного дня - белена, львиный зев, капуста, рожь, пшеница, многие луговые злаки, клевер, тысячелистник, цикорий, незабудка. Растения, нейтральные в отношении фотопериода, - огурцы, томаты, садовый горошек, кукуруза, хлопчатник.

Фотопериод рассматривается как некое «реле времени» или пусковой организм, включающий последовательность физиологических процессов, приводящих к линьке и накоплению жира, миграции и размножению у птиц и млекопитающих и наступления диапаузы (стадии покоя) у насекомых.

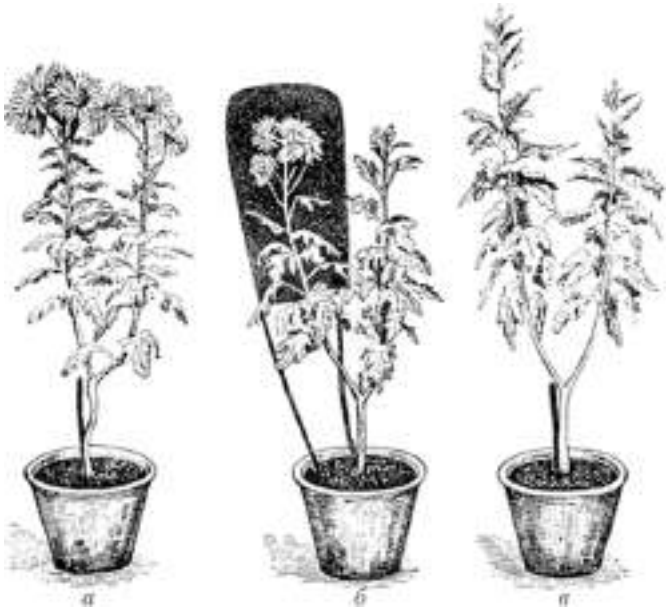


Рис. 3.23. Влияние длины дня на зацветание хризантемы (а — растение, выращенное на коротком, 10-часовом дне; б — растение, левый побег которого получал укороченный, а правый — длинный день; в — растение, выращенное на длинном дне)

Фотопериодизм связан с широко известным явлением биологических часов и служит универсальным механизмом регулирования функций во времени.

Перелетные птицы в течение нескольких месяцев после осеннего перелета нечувствительны к фотопериоду. Видимо, короткие осенние дни необходимы для того, чтобы «перевести» биологические часы и подготовить эндокринную систему к реакции на длинные дни. Если после конца декабря искусственно увеличивать длину дня, то у птиц это вызовет череду явлений, обычно происходящих весной, - линьку, накопление жира, миграционное беспокойство.

Длина дня воспринимается чувствительными рецепторами, такими, как глаза у животных или специальный пигмент в листьях растений, а эти рецепторы в свою очередь активируют один или несколько цепных механизмов, включающих гормоны и ферменты, которые вызывают соответствующий физиологический или поведенческий ответ. Точно не известно, какой компонент этой последовательности измеряет время. Хотя высшие растения и животные резко различаются морфологически, связь с фотопериодичностью среды у них сходна.

## 3.8. ЖИЗНЕННЫЕ ФОРМЫ ОРГАНИЗМОВ

***Жизненная форма организма – внешний облик, отражающий его приспособленность к определенным условиям среды.*** Общий вид организма, определяющий ту или иную жизненную форму, является результатом адаптации в процессе эволюции к определенным аспектам окружающей среды.

В процессе исторического развития животные и растения приобрели специфические черты, затрагивающие особенности строения, обмена веществ, динамику жизненных процессов и т.п. Все эти особенности определяют внешний облик организмов. В природе можно часто видеть, как разные виды приспосабливаются к сходным условиям среды. Такие типы приспособления выражаются в определенном морфологическом строении организмов и называются жизненными формами.

Разнообразные типы строения отражают отношение различных видов к среде обитания. Все виды сообщества (как систематически близкие, так и далекие) могут быть объединены в группы по жизненным формам – сходству типов приспособления (адаптации) к сходным условиям среды. Многообразие классификаций жизненных форм отражает ту или иную особенность и среды обитания организмов, и их приспособленности к ней.

Жизненные формы выделяются как среди растений, так и среди животных. Причем, система жизненных форм растений была разработана раньше, нежели у животных. Термин «жизненная форма» позаимствован у ботаников и стал применяться в зоологии лишь в 20-х гг. XX столетия.

Сам термин «жизненная форма» и его определение были введены в экологию именно при исследовании растительности. Это сделал датский ботаник Йоханнес Варминг в 1884 году. Он определял жизненную форму как форму, в которой вегетативное тело растения находится в гармонии с внешней средой в течение всей жизни.

Начало изучению жизненных форм положил немецкий естествоиспытатель Александр Гумбольдт. Он установил 19 растительных форм, которые характеризуют физиономичность ландшафта: деревья, кустарники, травы, лианы и т.д. Так, в качестве особых, он выделял формы кактусов, составляющих облик пейзажа в Мексике, хвойных, определяющих вид тайги, бананов, пальм, злаков. Затем жизненные формы начали классифицировать по экологическим признакам.

У животных жизненные формы поразительно разнообразны, поскольку, во-первых, животные в отличие от растений более динамически лабильны (растениям присущ главным образом оседлый способ существования) и, во-вторых, форма их существования непосредственно зависит от поиска, качества и способа добывания ими пищи. Животные обычно все время подвижны и активны в добывании пищи (исключение составляют отдельные животные водной среды, ведущие сидячий образ жизни).

Жизненная форма животных обычно определяется как группа особей со сходными морфоэкологическими приспособлениями для обитания в одинаковой среде. К одной жизненной форме могут относиться разные, иногда систематические далекие виды, например такие «землерои» как крот и цокор (род грызунов семейства слепышовых) (рис. 3.24).

Один из крупнейших современных экологов Д.Н.Кашкаров так определяет жизненную форму животных: «Тип животного, находящийся в полной гармонии с окружающими условиями, мы называем жизненной формой. В жизненной форме, как в зеркале, отражаются главнейшие, доминирующие черты места обитания».

А Б

Рис. 3.24. Крот (А) и цокор (Б)

В основу классификации животных по жизненным формам могут быть положены разные критерии – способы добывания пищи и ее характер, степень активности, приуроченность к определенному ландшафту и т.д. Например, среди морских животных по способу добывания пищи и ее характеру можно выделить группы: растительноядные, хищные, трупоеды, детритоядные (фильтраторы и грунтоеды). По степени активности – плавающие, ползающие, сидячие, летающие.

Итак, на формирование жизненных форм животных основное влияние оказывает их образ жизни. В связи с этим предложено довольно большое количество систем жизненных форм животных. Их выделяют по способам передвижения (например, жизненная форма прыгунов представлена тушканчиками и кенгуру); по способам и месту размножения (живородящие, яйцекладущие, размножающиеся под землей, на поверхности земли и т.п.); иные жизненные формы систематизируются по способам питания (растительноядные, хищники, всеядные и т.д.).

Разнообразие классификаций жизненных форм животных объясняется множеством критериев и принципов, которые положены в основу классификации. У зоологов (а теперь и у экологов) наибольшее распространение получила система жизненных форм Д.Н.Кашкарова. Всех животных он разделил на следующие группы:

I. Плавающие формы:
1. Чисто водные
2. Полуводные
II. Роющие формы:
1. Абсолютные землерои
2. Относительные землерои
III. Наземные формы:
1. Не делающие нор
2. Делающие норы
3. Животные скал
IV. Древесные лазающие формы
V. Воздушные формы.

Значительно более унифицирована система жизненных форм растений.

Наиболее широко распространена система жизненных форм, разработанная датским экологом и геоботаником Кристеном Раункиером (Raunkiaer) в 1905 г. Она основана на

положении почек возобновления (или верхушек побегов) по отношению к поверхности почвы в неблагоприятных условиях (зимой или в засушливый период). Раункиер справедливо полагал, что реакцию растений на климат лучше всего характеризует высота, на которой оно располагает органы возобновления (почки, корневища, луковицы). Выбор высоты помогает растению пережить неблагоприятные погодные условия.

Все растения были подразделены Раункиером на 5 главных типов (рис. 3.25).

1. **Фанерофиты** (от греч. «phaneros» - видимый, открытый, явный) - почки возобновления находятся высоко над поверхностью почвы. Это деревья, кустарники, деревянистые лианы.

2. **Хамефиты** (от греч. «chamai» - на земле) - почки возобновления находятся невысоко (20-25 см) над поверхностью почвы и, как правило, зимой защищены снежным покровом. Сюда относятся карликовые кустарники, кустарнички, полукустарнички, некоторые многолетние травы (например, черника, седмичник), мхи.

3. **Гемикриптофиты** (от греч. «hemi» - полу- и «cryptos» - скрытый) - почки возобновления в неблагоприятный для вегетации растений период года находятся на уровне почвы. Они защищены чешуями, опавшими листьями и снежным покровом. Стебли многих растений умеренной зоны могут отмирать на зиму, а летом снова отрастают. Часто почки возобновления таких растений окружает розетка зимующих листьев (подорожник). К этой группе относятся в основном многолетние травянистые растения средних широт: лютики, одуванчик, крапива двудомная.

4. **Криптофиты** (от греч. «kryptos» - скрытый) - почки возобновления закладываются в виде луковиц, клубней, корневищ, с помощью которых растения переживают неблагоприятный период. Эти органы могут находиться на некоторой глубине в почве (геофиты) либо под водой (гидрофиты).

5. **Терофиты** (от греч. «theros» - лето) - главным образом однолетники, переживающие неблагоприятный период года в виде семян. Такие однолетники, а также однолетние растения с очень укороченным сроком развития (эфемеры)

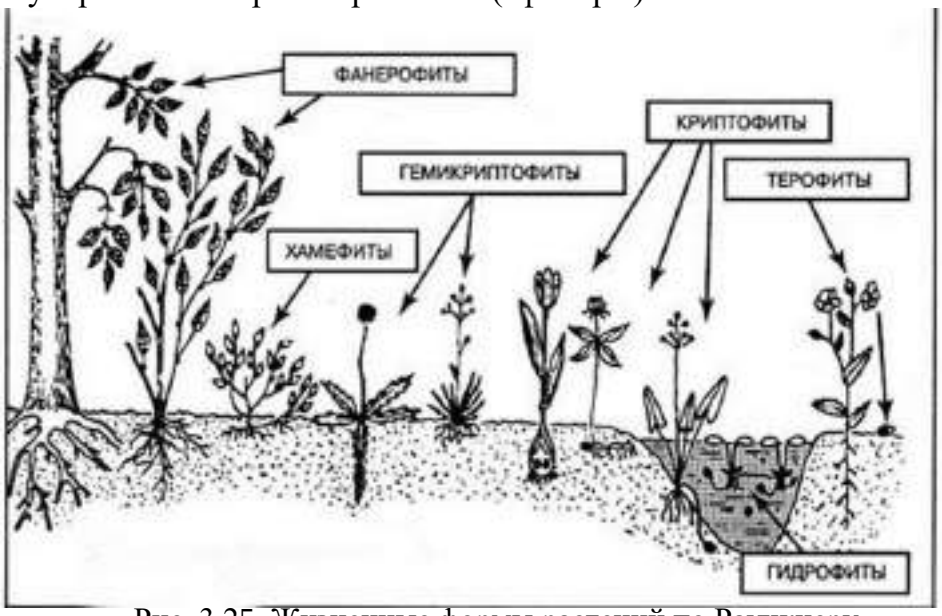



Рис. 3.25. Жизненные формы растений по Раункиеру

составляют важную часть флоры пустынь и полупустынь. В других климатических зонах эти растения составляют группу сорных трав.

Особую группу среди жизненных форм составляют растения, которые присутствуют одновременно во многих ярусах биоценоза, и отнести их к какой-то конкретной жизненной форме довольно затруднительно. Это растения-эпифиты – избравшие для себя другие растения в качестве среды обитания (они не являются паразитами!), а также различные лианы. К таким растениям относятся лишайники и мхи на стволах деревьев, многообразие лиан в тропических лесах, а также наши доморощенные лианы, такие как хмель, паслен сладко-горький, плющ и другие. Эти растения образуют группу внеярусной растительности.

Следует отметить, что один и тот же вид растений в различных условиях может иметь разные жизненные формы. Например, дуб и ель в лесной зоне или лесном поясе гор представляют собой обычные высокоствольные деревья, в то время как на Крайнем Севере они образуют кустарниковые и стланиковые формы. Спектры жизненных форм для отдельных регионов Земного шара отражают воздействия факторов среды на характер адаптации растений в сообществах. Например, во влажных тропических лесах более 90% растений – фанерофиты: высокие деревья, кустарники, деревянистые лианы. В арктической тундре около 60% растений – это хамефиты: карликовые кустарники и многолетние травы. Таким образом, для зоны тропического дождевого леса характерны фанерофиты, в умеренной зоне господствуют гемикриптофиты, а в пустыне - терофиты.

Понятие жизненной формы следует отличать от понятия экологической группы организмов. Жизненная форма отражает весь спектр экологических факторов, к которым приспосабливается тот или иной организм, и характеризует специфику определенного местообитания. Экологическая же группа обычно узко специализирована в отношении отдельного фактора среды: света, влаги, тепла и т.д. (уже упоминавшиеся нами гигрофиты, мезофиты, ксерофиты - группы растений по отношению к влажности; олиготрофы, мезотрофы, эвтрофы - группы организмов по отношению к трофности, плодородию почв и т.п.).

# ГЛАВА 4. ДЕМЭКОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ

*Дем – элементарная структура популяции, внутри которой реально в течении одного поколения происходит обмен генами.*
**Н.В.Тимофеев-Ресовский - русский советский биолог, генетик**

Еще в середине XIX в. Российский биолог Карл Рулье констатировал, что все виды живых организмов в природе представлены не отдельными особями, а в форме совокупностей – популяций, структурированных по гено- и фенотипическим, половым, возрастным и иным признакам. По его словам - эта сводная единица есть соединение особей данного околотка или урочища – община, которая более одной особи, но менее научной единицы – вида.

Экспериментальный материал, накопленный в экологии к первой четверти двадцатого века привел к формированию нового подхода при его анализе. Постепенно экологи, наряду с изучением морфологии, физиологии и поведения отдельных организмов и видов (аутэкология), перешли к исследованию свойств группировок совместно обитающих особей того или иного вида, положив начало развитию нового направления в экологии.

Популяционной экологией (демэкологией - от греч. «demos» – народ) занимается отдельная ветвь экологической науки. Это - раздел экологии, изучающий условия формирования, структуру и динамику развития популяций отдельных видов и внутривидовых группировок. Термин предложил в 1963 г. Немецкий ботаник, лесовод и зоолог Фриц Швердтфегер.

Это только внешне кажется, что разные живые существа, совместно обитающие на одной и той же территории, хаотически перемешаны. На самом деле особи каждого биологического вида, характеризующиеся общностью морфологических, физиологических и генетических признаков, объединены незримыми связями в отдельные группировки, так называемые популяции.

Хотя термин «популяция» получил широкое распространение в первой половине XX в., корни этого понятия обнаруживаются еще в древних литературных источниках. Уже в трудах Аристотеля можно найти указания на связи между организмами, сожительства животных и формы группировок. Он выделял группы животных кочевых и оседлых, ведущих одиночный и групповой образ жизни. «Отец ботаники» Теофраст описывал естественные сообщества растений как совокупность видов, приуроченных к определенным ландшафтам. Не останавливаясь на истории развития понятия популяции, отметим, что этот термин укоренялся в экологии довольно медленно, и до 1930 г. (выход в свет книги К.Фридерикса, переведенной на русский язык в 1932 г. под названием «Экологические основы прикладной зоологии и энтомологии») в научной литературе почти не применялся. До этого времени представление о популяции как особом явлении органического мира отсутствовало. Уточнение понятия «популяция» связано с бурным развитием в XX в. таких биологических наук, как генетика и экология.

# 4.1. ПОНЯТИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПУЛЯЦИИ

*Понятие «популяция» должно ассоциироваться в нашем сознании не с застывшей музейной коллекцией, а с оживленным аэропортом, куда постоянно одни люди прибывают, а другие убывают.*
**А.М.Гиляров - русский, советский зоолог, эколог, гидробиолог**

Термин «популяция» был предложен датским ученым Вильгельмом Иогансеном в 1903 году и заимствован из демографии, где он обозначал народ, население (от лат. «populus»). Под популяцией Иогансен понимал «естественную смесь особей одного и того же вида, неоднородные в генетическом отношении». Позже термин «популяция» в экологии стал применяться для обозначения населения вида, занимающего определенную территорию. ***Под популяцией понимается любая совокупность особей одного вида, длительно существующая на определенной территории (части ареала), проживающая длительное время на определенной территории, свободно скрещивающаяся друг с другом и дающая плодовитое потомство.***

Относительно свободное скрещивание - важнейший признак популяции. Если возникают какие-либо изоляционные барьеры, препятствующие свободному скрещиванию, то возникают новые популяции.

Следует отметить, что некоторых случаях можно получить потомство от разных видов, и тогда может показаться, что определение популяции несколько неточно, т.е. мы имеем совокупность особей двух видов. Однако все становится на свои места, если учесть тот факт, что потомство от такого скрещивания в большинстве случаев бесплодно. Примером могут служить гибриды кобылицы и осла – мул и ослицы и жеребца – лошак (рис. 4.1). Эти выносливые животные не могут дать потомство, а поэтому лошади и ослы относятся к разным популяциям.

Рис. 4.1. Мул и лошак

Множество биологов посвятило себя изучению тех или иных популяций животных, растений, микроорганизмов. Каждый из них хорошо знал, что он понимает под словом «популяция», но само определение популяции у многих исследователей различно. Связано это прежде всего и главным образом с теми задачами, которые каждый исследователь ставил перед собой. Можно изучать популяцию колорадского жука, населяющего отдельный лист картофеля, исследовать совокупность всех колорадских жуков на кусте картофеля в целом, или же изучать этих насекомых на всем картофельном поле.

Существует множество определений популяции, что говорит о неоднозначности понятия этого термина разными биологами и экологами. Приведем несколько из них. Прежде всего, одно из классических определений С.С.Шварца – эколога животных. В его определении популяция – это элементарная группировка особей одного вида, занимающая определенную территорию и обладающая всеми необходимыми условиями для поддержания стабильности длительное время в меняющихся условиях среды. Нетрудно заметить, что он определял популяцию с эволюционно-экологических понятий.

С позиции современной генетики популяция – это совокупность особей одного вида, имеющих общий генофонд и населяющих определенное пространство, с относительно однородными условиями обитания (Н.Ф.Реймерс).

Экологический аспект популяционной биологии в отличие от генетико-эволюционного направлен на изучение «повседневной» жизни популяции как формы существования вида в конкретных экосистемах. С этих позиций характерно определение популяции, данное российским экологом И.С.Шиловым: популяция – это группировка особей одного вида, населяющих определенную территорию и характеризующихся общностью морфобиологического типа, специфичностью генофонда и системой устойчивых функциональных взаимосвязей.

А.М.Гиляров в своем классическом учебнике «Популяционная экология» (1990) дает такое определение популяции: «популяция — любая способная к самовоспроизведению совокупность особей одного вида, более или менее изолированная в пространстве и времени от других аналогичных совокупностей того же вида».

Ю. Одум (1975) определяет популяцию как группу особей одного вида, обменивающихся генетической информацией и занимающих определенное пространство.

А.В. Яблоков и А.Г. Юсуфов (2004) дают такое определение: «Популяция — это минимальная самовоспроизводящаяся группа особей одного вида, на протяжении эволюционно длительного времени населяющая определенное пространство, образующая самостоятельную генетическую систему и формирующая собственную экологическую нишу».

Таким образом, представление о популяции микробиолога, изучающего бактерии, может отличаться от того, что вкладывает в это понятие ботаник, исследующий луговую или лесную растительность, или зоолог, изучающий естественные группировки львов, миграцию птиц или колонии прикрепленных животных океана. Нередко экологи вообще не задумываются над определением популяции, а пользуются этим термином для обозначения любой совокупности особей одного вида, населяющих какую-то более или менее однородную территорию или содержащихся в лабораторных условиях. Например, для генетиков обитающая в пробирке общность мушек дрозофил будет являться такой же

популяцией, что и штаммы различных бактерий в чашках Петри у микробиологов. И тем не менее, несмотря на разночтения, определению понятия «популяция» и ее основных свойств должно быть уделено пристальное внимание.

Популяция – это элементарная форма существования вида. Благодаря разобщенности популяций на определенной территории, вид приспособлен к существованию в разнообразных условиях среды.

В наиболее общем виде популяцию можно определить как группу организмов одного определенного вида, обитающих совместно на отдельной территории и обладающих общими свойствами. Исходя из такого подхода популяцией можно назвать всех дроздов, живущих в каком-то лесном массиве, всех дафний, населяющих отдельный пруд или лужу, всех мучных жуков, живущих в одной банке. К общим свойствам, объединяющим все эти организмы в особую систему, прежде всего следует отнести свойство общего родства (конкретнее, генетическое родство организмов, составляющих популяцию) и обитание видов в сходных условиях (рис. 4.2).

Для генетиков такого определения популяции как любой группы организмов одного вида на определенной территории уже недостаточно. Ведь в этом случае популяция - это и колония мышей в клетке, и видовое население целых ландшафтных зон, например, белки в Евразии. Поэтому вместе с развитием понятия популяция экологи все в большей мере учитывают определенную внутреннюю структуру популяции, ее гетерогенность, несхожесть особей одного вида.

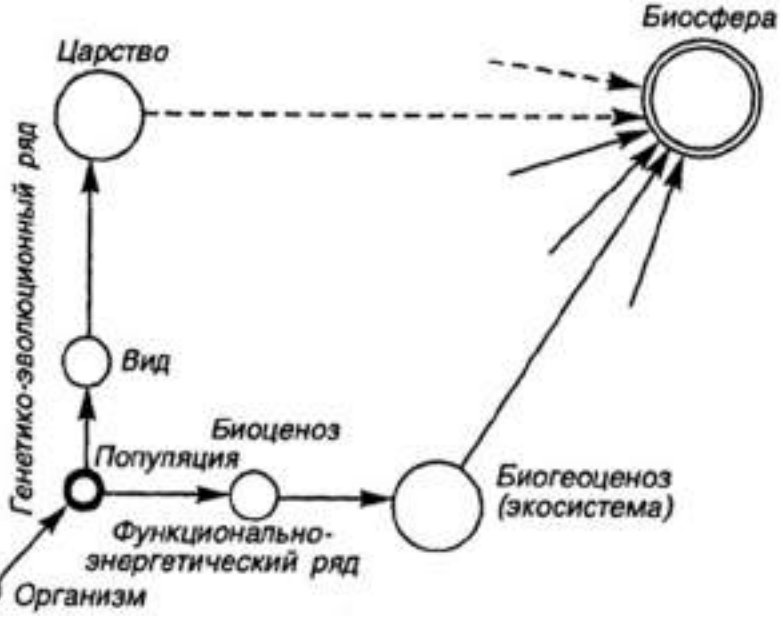



Рис 4.2. иосферы

Популяция предстала как сложное эволюционное образование со своей внутренней структурой и определенными законами организации и функционирования.

Эколога, изучающего отдельные популяции, не устраивает то упрощенное определение, которое удовлетворяло бы эколога, специализирующегося на изучении экосистем. Во-первых, нередки случаи, когда в течение своей жизни особи какого-либо вида переходят из одной экосистемы в другую (например, у стрекоз личинки развиваются в

воде). Во-вторых, возможны ситуации, когда на большой территории, занятой одной экосистемой, обитают несколько генетически изолированных популяций, каждая из которых может иметь свои экологические особенности. Поэтому при изучении отдельных популяций необходимо пристально следить за всеми жизненными стадиями изучаемого вида, независимо от того, в состав каких экосистем они входят.

В некоторых случаях эколог трактует изучаемую совокупность особей как популяцию, тогда как генетик выделяет в ее пределах группы особей, не родственных друг другу и не обменивающихся между собой генами. Так, среди дафний одного вида, населяющих небольшой пруд, генетики обнаружили несколько различных партеногенетически размножающихся семей. Эколог же при решении определенных задач этими генетическими различиями может пренебречь.

Следует отметить, что выявление отдельных популяций независимо от того, проводится ли оно по генетическим признакам или по экологическим (например, по включенности в те или иные экосистемы), всегда сопряжено с определенными трудностями, которые в свою очередь определяются тем, что любая популяция, как и любая экосистема, обладает достаточно сложной иерархической структурой. Выделение популяций всегда до некоторой степени условно.

Важнейшим признаком популяции является занимаемая ею общая территория. Но в пределах популяции могут быть более или менее изолированные по разным причинам группировки. Поэтому дать исчерпывающее определение популяции затруднительно из-за размытости границ между отдельными группами особей.

Среди множества видов живых организмов есть такие, которые в течение длительного времени держатся на одной территории, сохраняя более или менее постоянную численность. Другим видам свойственны сильные колебания численности, нередко сопровождаемые значительными изменениями площади занимаемой территории. Классическим примером могут служить некоторые саранчовые, образующие мигрирующую «стадную» фазу и дающие настоящие вспышки численности. Так, например, у обитающей в Африке красной саранчи в период образования «стадной» фазы область распространения увеличивается в тысячи раз по сравнению с той областью, где она живет постоянно.

В 125 году до нашей эры саранча уничтожила все посевы пшеницы и ячменя в римских провинциях Киренаике и Нумидии (в Северной Африке), и население этих стран - 800 тысяч человек! - умерло от голода.

В начале 2020 г. крупнейшее нашествие саранчи в Восточной Африке спровоцировало хаос в таких странах, как Эфиопия, Кения и Сомали, где ввиду бедствия было введено чрезвычайное положение (рис. 4.3). В ООН отмечают, что нашествие саранчи является самым масштабным за 25 лет для Эфиопии и Сомали и худшим из тех, что наблюдалось в Кении за 70 лет.

Явления, когда стаи саранчи покрывают воздушное пространство на площади в 5-12 квадратных километров, совсем не редки. В такой стае насчитывается от 700 млн до 2 млрд насекомых, а общий их вес составляет около 3 тыс. т (2,5 т на гектар). Мало того, известны случаи, когда стаи саранчи сплошь затмевали небо на 250 км$^2$. Приблизительные подсчеты показывают, что примерно 35 млрд насекомых, составляющих эту стаю, весят 50 тыс. т. Предполагается, что все насекомые в подобных чудовищных стаях весят, по-видимому,

лишь вчетверо меньше, чем все люди на планете! В это с трудом верится...

Рис. 4.3. Нашествие саранчи на Восточную Африку (2020 г.)

Оценить влияние саранчи на состояние природы можно, опираясь на цитату В.И.Вернадского, в которой он пишет: «Я несколько лет тому назад попробовал более понятно выразить вес одной тучи саранчи, наблюдавшейся доктором Краутером над Красным морем в 1889 г. до организации международной борьбы с саранчей. Вес этой тучи отвечал $4{,}4 \times 10^7$ т. Он был почти равен весу меди, цинка и свинца вместе взятых, выработанных человечеством в течение (XIX в. - *прим. авт*.) столетия. Туча саранчи - как бы горная порода в движении». Добавим к этому, масса, обладающая колоссальным потенциалом биологического обмена!

Такую вот стаю саранчи, улетевшую по ветру на тысячи километров от места своего постоянного обитания, эколог скорее посчитает популяцией, но генетики и эволюционисты остерегаются применять этот термин к подобным группировкам.

Таким образом, резюмируя, можно сказать, что популяция – это часть вида (состоит из особей одного вида), занимающая относительно однородное пространство и способная к обмену генетической информацией, саморегулированию и поддержанию определенной численности. Каждый вид в пределах занимаемой территории, таким образом, распадается на популяции, т.е. состоит из одной или нескольких популяций, и популяция, таким образом, - это форма существования вида, его генетическая и наименьшая эволюционирующая единица. Как группа совместно обитающих особей одного вида, популяция выступает ***первой надорганизменной*** биологической макросистемой.

Жизнь и функционирование популяций достаточно сложный процесс. Дело в том, что популяция - не просто сумма отдельных особей. Взаимодействия организмов в популяции приводят к тому, что у нее появляются собственные свойства, отличные от свойств отдельных особей. Природная популяция всегда представляет собой некое единство. Следует подчеркнуть, что между отдельным организмом и популяцией организмов существует принципиальная разница. Как отдельная капля воды не отражает свойства реки, озера, океана, так и организм, взятый в отдельности, не может характеризовать всю популяцию в целом.

Как выразился американский поэт и философ Ральф Эмерсон: капля воды обладает всеми свойствами воды, но бури в ней не увидишь.

Для популяции характерно *свойство эмерджентности* (от англ. «emergent» — возникающий, неожиданно появляющийся) - наличие у системы особых свойств, не присущих отдельным её элементам (как в отдельности, так и в их сумме). Его можно выразить так: одно дерево — не лес, скопление отдельных клеток — не организм. Например, свойства биологического вида или биологической популяции не представляют собой свойства отдельных особей; понятия рождаемость, смертность неприменимы к отдельной особи, но применимы к популяции или виду в целом.

Отдельный организм в популяции рождается, живет, умирает, но экологов это интересует только как возможность посредством исследования поведения отдельного индивидуума познать свойства группы в целом. Особые свойства, присущие популяции, отражают состояние ее как группы организмов в целом, а не отдельных особей, т.е. свойство популяции как группы организмов не есть механическая сумма свойств каждой слагающей ее особи.

Все вышесказанное можно резюмировать следующим образом: ***единственным носителем признаков популяции является группа особей, но не отдельные особи в этой группе.***

Любая популяция характеризуется показателями, присущими только им, имеет определенную организацию и структуру. Такие признаки могут выражаться статистическими функциями, т.е. популяцию и ее свойства можно описать с использованием математического аппарата. Таковы, например, структура, плотность, численность, рождаемость, смертность. Некоторые характеристики популяций взаимосвязаны: смертность определяет структуру, рождаемость - плотность и т.д.

Состояние популяции на данный момент времени характеризуют пространственные (*статические)* и временные *(динамические)* показатели. К первым относятся: численность популяции, плотность, пространственное распределение (дисперсия), а также различные характеристики популяционной структуры - возрастной (соотношение количества особей различного возраста), половой (соотношение полов). Они характеризуют состояние популяции в какой-то определенный момент времени *t*.

Динамика популяции – раздел популяционной экологии, изучающий численность особей популяции и механизмы ее регуляции. Жизнь популяции проявляется в ее динамике. Из временных (динамических) характеристик отметим рождаемость, смертность, прирост популяции, темп роста. Данные показатели характеризуют процессы, протекающие в популяции за некоторый промежуток времени $D_t$. Кроме этого, для популяции характерно наличие сложных взаимоотношений с окружающей ее средой.

## 4.2. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ

Популяция как биологическая система обладает структурой и функциями. Структура популяции характеризуется составляющими ее особями (численность) и их распределением в пространстве. Функции популяции аналогичны функциям других биологических систем. Им свойственны рост, развитие, способность поддерживать существование в постоянно меняющихся условиях.

Под ***пространственной структурой*** популяции понимаются особенности и характер размещения особей популяции в пространстве.

Пространственная структура имеет важное экологическое значение. Прежде всего, определенный тип использования территории позволяет популяции эффективно использовать ресурсы среды и снизить внутривидовую конкуренцию. Эффективность использования среды и снижение конкуренции между представителями популяции позволяют ей укрепить свои позиции по отношению к другим видам, населяющим данную экосистему.

Другое важное значение пространственной структуры популяции состоит в том, что она обеспечивает взаимодействие особей внутри популяции. Без определенного уровня внутрипопуляционных контактов популяция не сможет выполнять как свои видовые функции (размножение, расселение), так и функции, связанные с участием в экосистеме (участие в круговоротах веществ, создание биологической продукции и так далее).

Одним из важных параметров, определяющих пространственную структуру, является *численность особей в популяции*. Наблюдая за свойствами различных популяций, будь то популяции животных или растений, можно видеть, что численность их бывает очень различной. Это может быть и сотня деревьев, встречающихся на гектаре соснового леса, и миллионы одноклеточных водорослей в экосистеме пруда или озера, и несколько грифов, живущих на недоступных скалах, и тучи скворцов над только что засеянным ржаным полем.

Численность особей в популяции - одна из важных характеристик при экологических исследованиях, особенно когда речь идет об исчезающих видах растений и животных.

*Под* ***численностью популяции понимается общее количество особей в популяции.***

Численность популяции не может быть постоянной и зависит от соотношения интенсивности размножения и смертности.

Точных данных о критических значениях численности популяций в литературе нет. Приводимые значения разноречивы. Остается, однако, несомненным факт, что чем мельче особи, тем выше критические значения их численности. Для микроорганизмов это миллионы особей, для насекомых – десятки и сотни тысяч, а для крупных млекопитающих – несколько десятков. Численность не должна уменьшаться ниже пределов, за которыми резко снижается вероятность встречи половых партнеров. Критическая численность также зависит от других факторов. Например, для некоторых организмов специфичен групповой образ жизни (колонии, стаи, стада). Группы внутри популяции относительно обособлены. Могут иметь место такие случаи, когда численность популяции в целом еще достаточно велика, а численность отдельных групп уменьшена ниже критических пределов. Например, колония (группа) перуанского баклана должна иметь численность не менее 10 тыс. особей, а стадо северных оленей – 300 – 400 голов.

Определение численности популяции кажется простым только на первый взгляд. Хорошо, если мы имеем дело с особями, постоянно проживающими на данной территории: растения, оседлые, малоподвижные или крупные животные. В этом случае используется наиболее простой способ определения численности - простой подсчет всех особей.

В этом случае все особи можно учесть визуально без особой погрешности. Так, дикие северные олени Кольского полуострова в конце зимы - начале весны скапливаются на

небольших горных возвышенностях, где благодаря более тонкому снежному покрову могут докопаться до лишайников, служащих им в это время основным кормом. Зоологи могут облететь на самолете места скоплений животных и подсчитать поголовье оленей в стаде. В этом случае можно провести довольно точный подсчет особей, слагающих популяцию.

Еще легче подсчитать все деревья на определенной лесной площади или травянистые растения на луговой делянке. А как быть, к примеру, с мигрирующими или кочующими животными, рыбным населением водоемов, планктонными организмами и т.п.?

Здесь практикуются другие оценки численности популяции. Для этого используются различные способы. Один из них - мечение или кольцевание. При отлове животных часть из них помечают (случайная выборка) и затем выпускают обратно, чтобы они смешались с остальными членами популяции. Через некоторое время производят повторный отлов, получают еще одну случайную выборку и устанавливают ту долю, которую составляют меченые особи от общего числа пойманных. В данном случае численность популяции определяют по формуле:

$$N = \frac{N_1 \times N_2}{N_3},$$

где N — численность популяции;
$N_1$ — число животных в 1-м отлове;
$N_2$— число животных во 2-м отлове;
$N_3$ — число животных с меткой во 2-м отлове.

Однако для определения численности мелких организмов эти методы не пригодны. В этом случае чаще всего используют метод выборки. Определяют количество особей на единице пространства, занимаемого популяцией, т.е. ее плотность. Например, найдены 120 растений одуванчика на 1 $м^2$, или 50 особей лягушек на 1 га, или 105 дафний в 1 $м^3$ воды. Если определена плотность организмов в разных участках местообитания популяции, то, умножив среднюю величину плотности на площадь или объем, занимаемый популяцией, можно оценить ее общую численность.

Гидробиологи, изучающие мелких и мельчайших придонных животных, употребляют дночерпатель, который позволяет оценить количество особей на определенной поверхности слоя грунта. Изучающие планктон, пользуются особым прибором – батометром, захватывающим определенный объем воды с находящимися там мелкими организмами.

В тех же случаях, когда оценить непосредственно общую численность популяций, растений или микроорганизмов невозможно, прибегают к закладке так называемых пробных учетных площадок (круглых или квадратных) или к отбору отдельных проб и дальнейшему подсчету числа особей в полученных выборках.

Численность естественных популяций ограничена истощением пищевых ресурсов и условий размножения, недоступностью этих ресурсов и слишком коротким периодом ускорения роста популяции (теория лимитов популяционной численности.)

Для популяций различных видов существуют допустимые пределы снижения численности особей, за которыми существование популяции становится невозможным.

Согласно принципа минимального размера популяций С. С. Четверикова, популяции не могут иметь размер ниже некоторого критического. В связи с тем, что любая популяция обладает строго определенной генетической, фенотипической, половозрастной и другой структурой, то она не может состоять из меньшего числа индивидов, чем необходимо для обеспечения стабильной реализации этой структуры и устойчивости популяции к факторам внешней среды. Этот показатель приобретает в настоящее время важное значение, особенно для видов, занесенных в Красную книгу.

Для крупных млекопитающих нижний предел составляет примерно 1000 особей. Эта численность позволяет обеспечить 99% генетического разнообразия после 20 генераций. Наблюдаются случаи спасения вымирающих видов при минимальной численности особей. Так, в 20-е гг. XX в. имелось всего 11 особей лошади Пржевальского. Ее численность увеличилась уже до 400 голов. Самая старая и крупная беловежская популяция зубра включала в 1992 г. 315 особей.

Численность естественных популяций ограничена истощением пищевых ресурсов и условий размножения, недоступностью этих ресурсов и слишком коротким периодом ускорения роста популяции (теория лимитов популяционной численности)

Точных данных о критических значениях численности популяций в литературе нет. Приводимые значения разноречивы. Остается, однако, несомненным факт, что чем мельче особи, тем выше критические значения их численности. Для микроорганизмов это миллионы особей, для насекомых – десятки и сотни тысяч, а для крупных млекопитающих – несколько десятков. Численность не должна уменьшаться ниже пределов, за которыми резко снижается вероятность встречи половых партнеров. Критическая численность также зависит от других факторов. Например, для некоторых организмов специфичен групповой образ жизни (колонии, стаи, стада). Группы внутри популяции относительно обособлены. Могут иметь место такие случаи, когда численность популяции в целом еще достаточно велика, а численность отдельных групп уменьшена ниже критических пределов. Например, колония (группа) перуанского баклана должна иметь численность не менее 10 тыс. особей, а стадо северных оленей – 300 – 400 голов.

Популяции опасен не только минимальный, но и очень большой размер (правило популяционного максимума Ю. Одума). Популяции эволюционируют так, что регуляция их плотности осуществляется на значительно более низкой по сравнению с верхней границей емкости местообитания, достигаемой лишь в том случае, если полностью используются ресурсы энергии и пространства. Если происходит массовое размножение популяций какого-то вида, то оно постепенно или относительно мгновенно гасится биоценотическими механизмами (болезнями, паразитами, хищниками и т. п.).Диапазон средней численности популяций у разных групп организмов выражается следующими данными; насекомые — десятки тысяч — миллионы; амфибии — несколько тысяч — десятки тысяч; рептилии — несколько тысяч; птицы - несколько сотен — несколько миллионов; мелкие млекопитающие - несколько сотен — несколько тысяч; высшие растения — несколько сотен - десятки (сотни?) тысяч особей; численность популяций микроорганизмов составляет астрономические цифры. Популяции северного лесного муравья (Formica aguilonia) занимают площадь до 3000 км$^2$ (от 50 до 100 км в диаметре), включая от 30 тыс. до 3 млн муравейников. В среднем в одном из них обитает 100 плодовитых самок. Общая

численность их в популяции составляет 3—300 млн. Численность популяции белого медведя в российской Арктике составляет 21 000-28 000 особей.

***Плотность популяции*** определяется как число особей или их биомасса на единицу площади или объема. Например, 200 деревьев на 1 га, 50 человек на 1 км$^2$, 20 головастиков на 1 м$^3$ воды, 0,5 г циклопов в 1 м$^3$ воды. Плотность популяций наземных (а также бентосных) растений и животных выражают обычно на единицу площади, а плотность популяций планктонных организмов — на единицу объема водной толщи или же на единицу площади поверхности. В некоторых случаях плотность оценивается через число встреч на маршруте движения животного (весенние учеты по пению самцов птиц, оценка популяций перелетных птиц, зимние учеты млекопитающих по следам на снегу и т.п.). Максимальная плотность для различных видов организмов и условий существования сильно варьирует. На одном гектаре земли может обитать значительно больше особей подорожников, чем, скажем, оленей или кабанов. Некоторые виды птиц (пингвины, чайки) образуют так называемые «птичьи базары» (рис.4.4). Нередки огромные скопления розовых фламинго на некоторых озерах экваториальной Африки. В то же время многие виды среднеевропейских лесных певчих птиц никогда не достигают и 1/10 такой плотности.

Рис. 4.4. Птичий базар на Камчатке

Различают среднюю плотность, т.е. количество особей на единице всего пространства, и экологическую плотность, т.е. количество особей на единице обитаемого пространства.

*В чем различие между этими показателями можно понять из примера, приведенного Ю. Одумом для лесного аиста, обитающего в заповеднике во Флориде. «В этой местности плотность мелких рыб с падением уровня воды в течение сухого зимнего сезона в целом снижается, но экологическая плотность возрастает, так как по мере сокращения зеркала воды увеличивается число рыб, приходящихся на единицу водной поверхности. Аисты откладывают яйца в такое время, что вылупление птенцов приходится на период пика экологической плотности рыб. Это облегчает родителям ловлю рыбы, которая составляет основную пищу птенцов».*

Само определение понятия «популяция» предполагает, что каждая из них населяет определенное пространство, т. е. обладает принципом территориальности: все особи и функциональные их объединения в популяции обладают индивидуальным и групповым пространством, а значит и имеют различные типы размещения (распределения). Конкретное выражение пространственной структуры у разных видов отличается. Оно зависит от

особенностей питания, биологии размножения и форм заботы о потомстве, отношения к абиотическим факторам, способов использования территории и социальных отношений. Однако есть определенные закономерности размещения особей в популяции, к которым можно отнести три их вида (типа).

Особи живых организмов (растения, животные, микроорганизмы) обычно распределены в пространстве неравномерно. Причины здесь могут быть самые различные: влияние изменяющихся факторов среды, внутри- и межвидовые взаимоотношения организмов, влияние человека и т.п. Именно поэтому при исследовании отдельных популяций эколог должен всегда иметь в виду, что репрезентативность выборки (соответствие показательности наблюдения действительным характеристикам объекта в целом) зависит не только от размера и метода отбора проб, но и от того, как эти пробы размещаются в пространстве. Для этого необходимо знать закономерности пространственного распределения особей, составляющих популяции.

В общем виде можно выделить три типа распределения особей: равномерное, случайное, и групповое (пятнистое, скученное, агрегированное) (рис. 4.5).

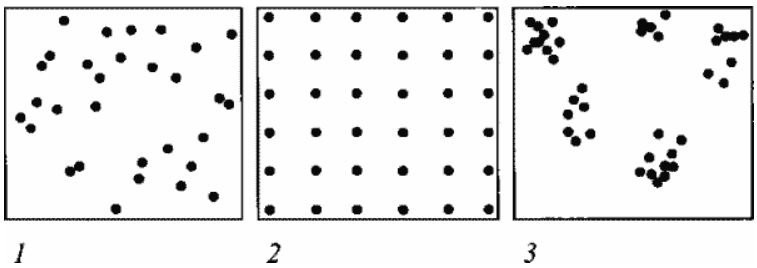



Рис. 4.5. Основные типы распределения особей в популяции: 1 - случайное распределение; 2 - равномерное распределение; 3 - групповое распределение

***Случайное распределение*** имеет место тогда, когда организмы распределяются в однородной, выровненной по экологическим факторам среде. В этом случае сила и направление воздействия абиотических и биотических факторов случайно изменяются во времени и пространстве. Случайное распределение встречается в природе не очень часто, хотя само действие случайных природных факторов само по себе не редкость. Такое случайное распределение характерно, для первичного распределения тли на поле. По мере ее размножения распределение приобретает групповой или пятнистый характер.

***Групповое (пятнистое) распределение*** свойственно многим организмам, обитающим не только в наземных, но и в водных экосистемах. Это наиболее распространенный тип распределения особей в природных популяциях. Размещение особей группами обусловлено прежде всего микрокомплексностью среды и мозаичностью экологических условий («пятнистость среды»).

В результате скопления особей происходит образование групп разных размеров. Образование этих групп происходит по разным причинам: вследствие локальных различий в местообитаниях, под влиянием суточных и сезонных изменений погодных условий; в связи с процессами размножения, и т.д.

Примеров такого группового распределения можно привести множество. Огромными косяками передвигаются с место на место многие рыбы. В большие стаи собираются

водоплавающие птицы, готовящиеся к дальним перелетам. Колонии бакланов, гнездящихся на островах возле побережья Перу, достигают численности 10 000 особей при средней плотности три гнезда на 1 м$^2$. Североамериканские северные олени карибу в условиях тундры образуют огромные стада. В южноамериканских тропиках группы муравьев, вооруженные могучими челюстями и жалами, выстраиваются фронтом 20-метровой ширины и идут в атаку, истребляя по пути всех, кто замешкался и не в силах спастись бегством.

Такие же примеры можно привести и для растений: пятнистое размещение растений клевера на лугу, пятна мхов и лишайников в тундре, скопление кустарничков брусники в сосновом лесу, обширные пятна кислицы в еловом лесу, земляничные поляны на светлых лесных опушках и т.п.

В лесах в виде скоплений растут короткокорневищные, столонообразующие, корнеотпрысковые растения.

Групповое размещение организмов является своеобразным приспособительным фактором в жизни и функционировании популяций отдельных видов. К примеру, у насекомых, образующих большие группы, повышается активность, у особей происходят гормональные изменения, ускоряющие их половое созревание и повышающие плодовитость. Особям, образующим группировки, свойственна высокая выживаемость. Такая оптимизация физиологических процессов, ведущая к повышению жизнеспособности организмов, ведущая к повышению их жизнеспособности, получила названия *«эффект группы».*

Эффект группы выражается в оптимизации физиологических процессов, ведущей к повышению жизнеспособности при совместном существовании. Наиболее характерен он для животных и проявляется в ускорении темпов их роста, повышении плодовитости, более быстром образовании условных рефлексов, повышении средней продолжительности жизни т т.п. Например, у овец вне стада учащаются пульс и дыхание, а при виде приближающегося стада эти процессы нормализуются. У зимующих рыб, лягушек, моллюсков, насекомых наблюдается экономия энергетических затрат при скоплениях, что позволяет им наиболее комфортно перенести неблагоприятные условия. Таким образом, даже с учетом частных неблагоприятных отклонений эффект группы способствует процветанию, выживаемости и устойчивости группы организмов в целом.

***Регулярное (равномерное) распределение*** может наблюдаться при сильном антагонизме особей (конкуренции), когда вероятность нахождения одной особи рядом с другой крайне мала. В природе такой тип распределения встретить трудно, хотя нередко можно наблюдать размещение организмов, отклоняющееся от случайного в сторону большей регулярности. Чаще всего при иллюстрации такого типа распределения ссылаются на размещение деревьев в лесу, где конкуренция за свет настолько высока, что они отстоят друг от друга на более или менее равномерное расстояние. Как хрестоматийный пример равномерного распределения, обычно приводят распределение жука Tribolium в муке. Однако, такие примеры «равномерного» распределения достаточно условно.

Регулярное распределение чаще всего можно наблюдать в искусственно созданных человеком сельскохозяйственных системах – садах, огородах. Так, при посадке, равномерно

можно распределить яблоневые деревья в саду, используя мерную ленту. В огороде таким образом можно высадить кусты ягодных культур, некоторые овощные растения.

## 4.3. ПОЛОВАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ

Половая структура популяции определяет численное соотношение в ней особей разного пола – самцов и самок. У большинства видов пол будущей особи определяется в момент оплодотворения в результате перекомбинации половых хромосом. Таким образом обеспечивается равное соотношение зигот по признаку пола, но это не означает, что такое же соотношение характерно для популяции в целом. Обычно соотношение полов в момент зачатия называют первичным соотношением, в момент рождения - вторичным и по достижении зрелости - третичным.

Генетический механизм определения пола обеспечивает расщепление потомства по полу в отношении, близком 1 : 1. Это так называемое ***первичное соотношение полов***. Оно определяется генетическими механизмами - равномерностью расхождения половых хромосом. Например, у человека XY-хромосомы определяют развитие мужского пола, а XX - женского. В этом случае первичное соотношение полов 1:1, то есть равновероятно.

Однако, в популяции соотношение полов, как правило, не равно 1:1. т.е. количество самцов и самок различно. Это связано с тем, что сцепленные с полом признаки часто определяют значительные различия в физиологии, экологии и поведении самцов и самок. В связи с этим в популяциях часто наблюдается более высокая вероятность гибели представителей какого-либо пола, а значит соотношение полов в популяции изменяется.

Различия в смертности проявляются еще в эмбриональный период. Например, у ондатр во многих районах среди новорожденных в полтора раза больше самок, чем самцов. В популяциях пингвинов Megadyptes antipodes при выходе птенцов из яиц подобной разницы не отмечается, но к десятилетнему возрасту на каждых двух самцов остается лишь одна самка

Такое соотношение полов при рождении и на ранних стадиях развития организмов, когда на генетическую обусловленность накладываются различные экологические факторы, называется ***вторичным соотношением***. Оно может существенно отличаться от первичного по целому ряду причин: избирательность яйцеклеток к сперматозоидам, несущим X- или Y-хромосому, неодинаковой способностью таких сперматозоидов к оплодотворению, различными внешними факторами. Например, зоологами описано влияние температуры на вторичное соотношение полов у рептилий. Аналогичная закономерность характерна и для некоторых насекомых. Так, у муравьев оплодотворение обеспечивается при температуре выше 20 $^{o}$C, а при более низких температурах откладываются неоплодотворенные яйца. Из последних вылупляются самцы, а из оплодотворенных - преимущественно, самки.

У некоторых видов пол изначально определяется не генетическими, а экологическими факторами. Например, корнеплод из семейства ароидных аризема японская дает растения с женскими цветами только из самых крупных и хорошо развитых клубней Рис. 4.6). Из мелких и слабых клубней образуются растения с мужскими цветами.

Рис. 4.6. Аризема японская

У некоторых животных (например, амфибий) такие факторы среды, как температура, содержание и концентрация гормонов, могут влиять на развитие таким образом, что половые различия будут отличаться от первичного хромосомного набора. Так, в среднеевропейских популяциях травяной лягушки облик молодых животных отражает внешность самок. Лишь к концу второго года жизни половина из них превращается в самцов.

У муравьев, пчел и других общественных насекомых число цариц (самок, способных к половому размножению) в популяции регулируется рабочими особями посредством специфического питания.

Соотношение полов среди половозрелых, размножающихся особей, называется ***третичным соотношением***. Половой состав на данной стадии развития организмов весьма динамичен и изменчив. Для человека и других млекопитающих отмечена общая закономерность, заключающаяся в уменьшении доли самцов в старших возрастных группах.

Статистические данные убеждают в том, что для человеческой популяции характерно численное преобладание мужских особей при рождении, причем закономерность эта, можно полагать, сформировалась тогда, когда возник человеческий вид, и является постоянной, неизменной и устойчивой.

По данным различных источников, во все времена преобладание среди родившихся мальчиков над девочками обнаруживало большое постоянство и колебалось в пределах 105:100 с отклонениями от 104 до 107. Это явление встречается у всех народов и рас в различных частях света. По достижении 18-летнего возраста это соотношение выравнивается из-за повышенной мужской смертности. К 50 годам третичное соотношение составляет уже 85 мужчин на 100 женщин, а к 80 годам – 50 мужчин на 100 женщин.

Следует отметить, что половая структура, то есть соотношение полов, имеет прямое отношение к воспроизводству популяции и ее устойчивости.

## 4.4. ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ

Важной характеристикой при исследовании популяции является ее возрастная структура, влияющая как на рождаемость, так и на смертность. Соотношение разных возрастных групп в популяции определяет ее способность к размножению и показывает перспективу популяции. В быстрорастущих популяциях молодые особи составляют

большую долю. Поэтому состояние популяции по прошествии определенного промежутка времени будет зависеть от ее нынешнего полового и возрастного состава.

Возрастной состав популяции наглядно отражают так называемые возрастные пирамиды, представляющие собой гистограммы распределения особей по возрасту и полу (рис. 4.7).

Если в популяции размножение происходит постоянно, то по возрастной структуре устанавливают – сокращается или увеличивается численность.

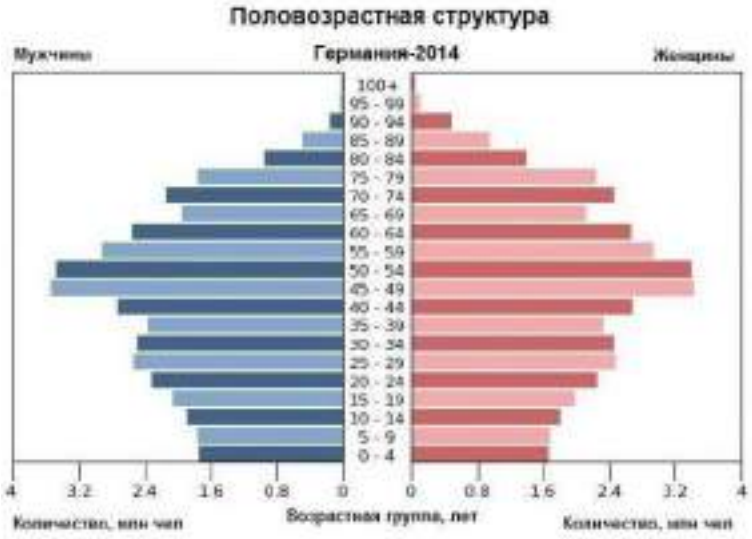



Рис. 4.7 Стандартный вид половозрастной пирамиды.

Каждый выделенный возраст - горизонтальная полоса в диаграмме. Показывает количество или долю среди всего населения людей данного возраста. Самые младшие группы находятся внизу пирамиды, самые великовозрастные - наверху. В левой части диаграммы - количество или доля мужчин конкретного возраста, в правой части - женщин.

Длительность этих возрастов по отношению к общей продолжительности жизни сильно варьирует у разных организмов.

В 1894 году демограф и статистик А.-Ф. Сундберг (Швеция) предложил три типажа возрастных структур населения (рис. 4.8).

- А. Прогрессивный. Для него характерная высокая доля молодого населения на фоне пожилого. Достигается такой эффект за счет расширенного типа воспроизводства. Половозрастная пирамида для такого типа будет иметь вид треугольника. Чем шире его основание, тем выше показатели рождаемости:

- Б. Стационарный. Наблюдается простой тип воспроизведения. Диаграмма при этом своей формой напоминает колокол - количество молодого и пожилого населения приблизительно равное;

- В. Регрессивный. В этом случае на лицо суженное воспроизводство. Диаграмма своей формой повторяет урну - небольшое количество детей и молодых людей, но высокий процент взрослых граждан.

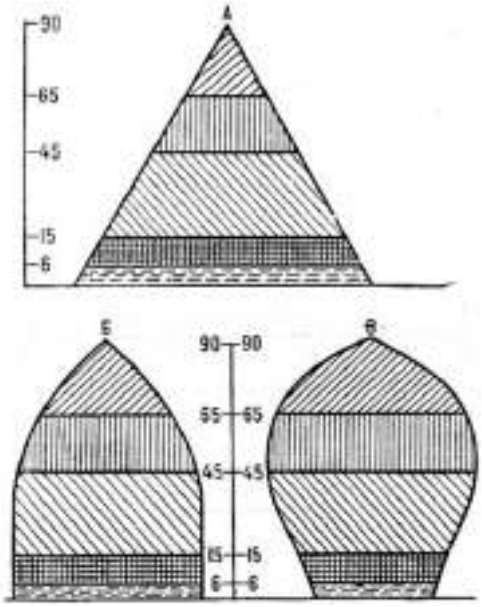



Рис. 4.8. Типы возрастных пирамид: А - молодое (растущее) население; Б - постаревшее (стационарное) население; В - очень старое (убывающее) население

Возрастные пирамиды помогают зримо представить историю популяции. Рассмотрим такую пирамиду для населения России (рис. 4.9). Можно увидеть, например, как на ней отражается снижение рождаемости во время Великой Отечественной войны. «Эхо» этих событий проявилось даже через поколение и, в меньшей степени, через два. Количество людей, которые по своему возрасту являются детьми и внуками тех, кто появлялся на свет во время войны, оказывается меньше численности близких к ним возрастных групп.

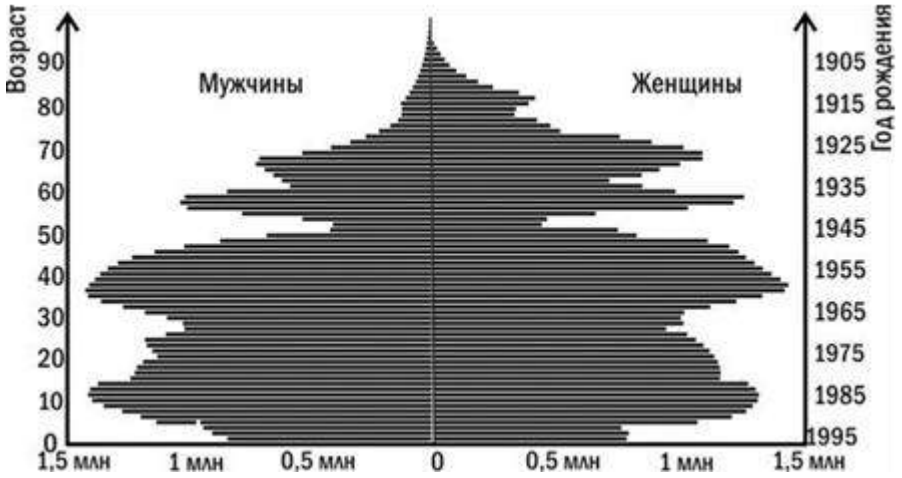



Рис. 4.9. Возрастная пирамида населения России

В большинстве популяций репродуктивная способность их членов изменяется с возрастом. В современной экологии при исследовании возрастного состава популяции выделяют три экологические возрастные группы:

- пре(пред)репродуктивную;
- репродуктивную;
- пострепродуктивную.

Как правило, наибольшей жизнеспособностью отличаются популяции, в которых все возраста представлены относительно равномерно. Такие популяции называют ***нормальными***. Популяция нормальная включает все (или почти все) возрастные группы организмов. Отличается устойчивостью, способностью к самоподдержанию семенным или вегетативным путем, полноправным участием в структуре биоценоза, независимостью от внешнего поступления зачатков. Возрастные состояния отражают динамическое состояние популяции. Она в своем развитии обычно проходит инвазионную, нормальную и регрессивную стадии. В каждом случае возрастная структура популяции определяется биологическими особенностями вида и зависит от условий внешней среды. Ею следует руководствоваться при эксплуатации природных популяций животных и растений.

Если в популяции преобладают старые особи, это однозначно свидетельствует о наличии отрицательных факторов в ее существовании, нарушающих воспроизводительные функции. Такие популяции рассматривают как ***регрессивные, или вымирающие***. Популяция регрессивная характеризуется преобладанием пострепродуктивных возрастных групп особей. Молодые особи отсутствуют. В таком состоянии популяции теряют возможность самоподдержания, постепенно деградируют и отмирают. К регрессивным популяциям березы повислой в лесах относятся многие наиболее старые березняки, в которых под пологом березы не происходит возобновление вида, а обильное развитие получает подрост ели, составляющий ее инвазионную популяцию. В деградирующем состоянии, в основном по причине мелиорации болотного массива, оказалась единственная в Беларуси ценопопуляция пихты белой (Беловежская пуща).

Популяции, представленные в основном молодыми особями, рассматриваются как ***внедряющиеся, или инвазионные***. Жизненность их обычно не вызывает опасений, но велика вероятность вспышек чрезмерно высокой численности особей, поскольку в таких популяциях не сформировались трофические и другие связи. Особенно опасно, если такие популяции представлены видами, которые здесь ранее отсутствовали. В таком случае эти популяции обычно находят и занимают свободную экологическую нишу и реализуют свой потенциал размножения, интенсивно увеличивая численность. Такие популяции характерны обычно вырубкам, гарям, нарушенным местообитаниям. Особенно успешно они развиваются на местах после сплошной вспашки. Процесс внедрения весьма сложен, связан с большим отпадом.

При благоприятных условиях в популяции имеются все возрастные группы и поддерживается сравнительно стабильный уровень численности. На возрастной состав популяции, помимо общей продолжительности жизни, влияют длительность периода размножения, число генераций в сезон, плодовитость и смертность разных возрастных групп. К примеру, у полевок взрослые особи могут давать потомство три раза в год или более, а молодые особи способны размножаться через 2-3 месяца.

В популяциях растений может наблюдаться еще более сложная картина. Дубы, например, дают семенную продукцию в течение нескольких столетий. Как результат, популяции у них формируются из огромного количества возрастных групп.

Если популяция находится в нормальном или близком к нормальному состоянии, человек из нее может изымать то количество особей или биомассу (последний показатель обычно используется применительно к растительным сообществам), которая прирастает за промежуток времени между изъятиями. Ясно, что изыматься должны прежде всего особи послепродуктивного возраста (окончившие размножение). Если преследуется цель получения определенного продукта, то возраст, пол или другие характеристики популяций корректируются с учетом поставленной задачи.

Обычно в начальный период роста (пререпродуктивная стадия) организмы размножаться не способны. Длительность этого периода у различных видов сильно варьирует - от нескольких минут у микроорганизмов до нескольких лет у человека, многих млекопитающих, деревьев. Пререпродуктивный период может продолжаться большую часть жизни, как, например, у поденок (личиночное развитие в воде занимает от года до нескольких лет из-за длительного развития личинок).

Необычен цикл размножения семнадцатилетней цикады, живущей на юге США (рис. 4.10). Эти создания ведут себя поразительно: их выход на поверхность происходит с периодичностью - раз в 13 или 17 лет. Практически всю свою жизнь эти цикады проводят под землей, получая питательные вещества из корней деревьев. За время своей подземной жизни цикады проходят через пять стадий развития, прежде чем появиться на поверхности земли. Из яичек, отложенных самкой на растениях, выходят личинки, которые закапываются в почву и живут там, питаясь корнями растений, в течение 17 лет. И только потом цикады, получившиеся из личинок, массами выходят наружу и начинают размножаться. Характерно, что репродуктивный период у этих видов очень короток (у поденок несколько дней, у цикады четыре-шесть недель), а пострепродуктивный период и вовсе практически отсутствует, как у многих других видов.

Рис. 4.10. 17-летняя цикада

Иное положение наблюдается в популяциях человека, а также животных, которые содержатся в искусственно созданных условиях (комнатные, домашние животные, обитатели зоопарков). Особи в таких популяциях доживают до пострепродуктивного периода. У современного человека три эти «возраста» примерно одинаковы, на каждый из

них приходится около трети жизни. У первобытных людей пострепродуктивный период был намного короче.

В настоящее время соотношение возрастных экологических групп в популяции людей меняется. Увеличивается число детей, подростков и пенсионеров, т.е. непроизводительных слоев населения. Доля детей до 15 лет в большинстве развивающихся стран увеличилась до 50%, пожилых людей старше 65 лет - до 15%. Такое изменение соотношения возрастных групп приводит к увеличению нагрузки на трудоспособную часть населения.

У растений возрастная структура популяции также определяется соотношением возрастных групп. Выражением онтогенетических состояний служат главным образом морфологические изменения, наиболее легко визуально улавливаемые и коррелятивно связанные с другими возрастными группами. В учении о растительных сообществах – фитоценологии принято говорить о ценопопуляции – полной совокупности особей вида растений в пределах конкретного фитоценоза. Образно говоря, ценопопуляция – это вырезка из территориально распространенной популяции того или иного вида растений.

В жизненном цикле растений выделяют периоды и возрастные состояния. Общая схема возрастных состояний растений в ценопопуляции представлена в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Возрастная структура ценопопуляций растений

| Период развития (стадия) | Состояние |
|---|---|
| Латентный | Семя |
| Прегенеративный | Проросток, ювенильное растение |
| Генеративный | Молодое, зрелое, старое |
| Постгенеративный | Субсенильное, сенильное, фаза отмирания |

Каждая особь проходит в своем развитии определенную последовательность онтогенетических состояний и характеризуется определенными чертами. У взрослых вегетативных и генеративных особей увеличивается размер, количество побегов как надземных, так и подземных органов, изменяется диметр кроны (для деревьев), увеличивается эффективность использования и изменения окружающей среды.

*Латентный* период представлен сформировавшимися и отделившимися семенами или нераскрывающимися односемянными плодами.

Для *прегенеративного* периода характерно прорастание семян или органов вегетативного размножения (клубни и др.) и накопление вегетативной массы. Растение в этот период не способно к половому размножению

*Генеративный* период взрослого организма путём размножения обеспечивает появление потомства. На этой стадии развития происходит заложение репродуктивных органов (цветков), их рост и развитие, формирование семян и плодов. Таким образом реализуется непрерывность существования популяций и вида. У многих организмов этот период длится долго — много лет, даже у тех, кто лишь один раз в жизни даёт потомство (многие виды бамбука, зонтичных и агавы). Однако существует много видов, у которых

взрослые организмы на протяжении ряда лет неоднократно производят потомство. Переход растений в генеративный период определяется не только появлением цветков и плодов, но и глубокой внутренней биохимической и физиологической перестройкой организма.

На *постгенеративной* стадии старения наблюдаются различные изменения организма, ведущие к снижению его адаптивных возможностей, к увеличению вероятности смерти. Этот период охватывает время от полного прекращения плодоношения до естественной смерти растения.

Распределение особей ценопопуляции по возрастным состояниям называется ее возрастным, или онтогенетическим спектром. Он отражает количественные отношения разных возрастных уровней.

## 4.5. ЭТОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ

*Вот вам джунглей закон – и Он незыблем как небосвод.*
*Волк живет, покуда его блюдет; Волк, нарушив закон, умрет.*
*Как лиана сплетен, вьется закон, в обе стороны вырастая,*
*Сила стаи в том, что живет Волком, сила Волка – родная стая*
**Редьярд Киплинг – английский писатель**

Закономерности поведения животных составляют предмет особой науки – этологии. Термин ***«этология»*** (от греч. «ethos» — обычай, характер, нрав) был предложен в 1859 г. французским зоологом Жоффруа Сент-Илером.

Систему поведенческих взаимоотношений между членами одной популяции называют этологической или поведенческой структурой популяции. Иерархия у животных представляет собой систему поведенческих связей между особями группы, регулирующие их взаимоотношения и доступ к пище, территории, убежищам и т.д.

Этологическая (поведенческая) структура популяции отражает разнообразные формы совместного существования особей. Иерархия группы носит адаптивный, приспособительный характер, составляет сущность жизни вида и формируется на основе генетических программ в процессе естественного отбора.

Животные, контактируя между собой, непрерывно занимаются поиском информации о месте и локализации особей себе подобных – врагов, либо друзей. Эту информацию они получают путем воспринимаемых на слух и по запаху разных сигналов, таких как следы, тропы, норы, гнезда, фекалии и др. Например, обонятельный анализатор является ведущим в жизнедеятельности большинства видов грызунов. Запах хищника может вызывать у грызунов сокращение числа детенышей в помете, сдвиг полового соотношения детенышей, нарушение материнского поведение и ряд других эффектов.

Поведение животных по отношению к другим членам популяции зависит прежде всего от того, одиночный или групповой образ жизни свойствен виду. Формы совместного существования особей в популяции чрезвычайно различны.

***Одиночный образ жизни***, при котором особи популяции независимы и обособлены друг от друга, характерен для многих видов, но лишь для определенных периодов онтогенеза. Например, в период неспаривания (для всех видов медведей, ящерицы, сурки).

Молодые самцы у львов также ведут одиночный образ жизни до образования своего прайда. Даже если большая часть жизни проходит в такой форме, то в период размножения особь переходит к контакту с другими особями. Так, среди птиц тетерева, глухари не образуют устойчивых семейных пар.

Полностью одиночное существование организмов в природе не встречается, так как при этом было бы невозможным осуществление их основной жизненной функции – размножения. Однако для некоторых видов характерны очень слабые контакты между совместно живущими особями. Таковы, в частности, отдельные водные обитатели с наружным способом оплодотворения, при котором нет необходимости в непосредственной встрече партнеров, например, одиночные актинии, жук-чернотелка (рис. 4.11).

Рис. 4.11. Жук-чернотелка в пустыне

Нередко виды с одиночным образом жизни образуют временные скопления особей в период, предшествующий размножению, в местах зимовок и т. д. Так, божьи коровки осенью собираются группами в сухой подстилке возле комлей деревьев, щуки и сомы – в зимовальных ямах на дне водоёма. Бабочки-крапивницы поздней осенью в большом количестве собираются в чердачных помещениях, божьи коровки и жужелицы — возле пней и комлей деревьев в сухой подстилке, щуки и сомы — в зимовальных ямах на дне водоема. Следует отметить, что подобные скопления не сопровождаются установлением тесных связей между животными. Каждое из них относительно независимо от остальных.

Медведи принадлежат к числу животных, ведущих одиночный либо семейный образ жизни. В теплое время года они живут рассредоточенно, чтобы всем хватило корма. В конце осени «жилищные ограничения» сильно смягчаются, и в одни и те же угодья часто собираются звери с обширных пространств. Это и понятно, так как зимой косолапому, достаточно накопленных за лето жировых отложений. Проснутся звери весной, вылезут из берлог и вновь быстренько расходятся в разные стороны, по собственным владениям.

При дальнейшем усложнении отношений внутри популяции могут создаваться родительские пары как на короткий, так и на длительный срок, а у некоторых видов – на всю жизнь взрослых особей. Например, среди птиц полигамные тетерева, глухари спариваются со многими самками, не образуя устойчивых семейных пар. У ряда уток – кряквы, шилохвости и др. – пары подбираются еще на местах зимовок или во время пролета, но, после того как самка садится на гнездо, самец ее покидает. У большинства воробьиных самец и самка держатся вместе в течение всего периода гнездования. Семейные пары лебедей, журавлей, голубей сохраняются на долгие годы.

Усложнение поведения животных, приводимое к созданию групп (стаи, стада, колонии), которые можно наблюдать у животных самых различных классов, следует рассматривать как адаптацию данной популяции, проявляющуюся на надорганизменном уровне.

***Семейный образ жизни.*** При семейном образе жизни группы состоят из родителей (или одного из них) и потомства одной или даже нескольких генераций. При таком образе жизни усиливаются связи между родителями и потомством, начинает заметнее проявляться территориальное поведение животных. Связи между родителями и их потомством становятся все более сильными, например, забота одного из родителей об отложенных яйцах - охрана кладки, инкубации, дополнительное аэрирование и т. д.

При семейном образе жизни территориальное поведение животных выражено наиболее ярко: различные сигналы, маркировка, прямая агрессия обеспечивают владение участком, достаточным для выкармливания потомства. Происходит ограничивание участка путем пахучих меток, угроз, различных звуковых сигналов, ритуального поведения и т.д.

Одна из интереснейших сторон поведения диких животных в природе - охрана своих участков обитания. Удивительно, что у себя дома даже более мелкий и слабый хозяин почти всегда справляется с пришельцем. В таких условиях не только стены помогают. Чужак чувствует себя неуверенно и редко дерется с хозяином всерьез.

Известный канадский писатель-анималист Э. Сетон-Томпсона в книге «Жизнь серого медведя» описывает, как ее главный герой, огромный медведь гризли Уэбб метил свои владения: «Всюду он ставил свои надписи: «Нарушители границ, берегитесь!» Эти надписи помещались на деревьях так высоко, что только один он мог достать их. Всякий, кто подходил к этим отметкам на деревьях, по запаху и по шерсти, оставляемой Уэббом, догадывался, что в этой местности появился громадный серый медведь».

Семья – простейшая группировка особей, состоит из родителей и потомков нескольких поколений (прайды у львов).

Различают семьи отцовского, материнского или смешанного типов, в зависимости от того, кто из родителей берет на себя заботу о потомстве. В семьях с устойчивым образованием пар в выкармливании принимают участие и самец и самка.

***Колониальный образ жизни.*** Колония является групповым поселением оседлых животных. Колонии животных и протекающие в них процессы интересны с эволюционной точки зрения, так как в небольшой группе особей с большей вероятностью происходят быстрые эволюционные изменения.

Колониальное поселение представляет собой соединение особенностей одиночного и группового образа жизни. Колония может существовать длительно (грызуны) или возникать лишь на период размножения (врановые). В биологическом отношении возникновение колониальности, несомненно, явление прогрессивное. Колония как морфологически целое лучше, чем разобщенные формы обеспечивает питание, а следовательно, жизнеспособность и продолжительность существования вида. В таких поселениях животных некоторые функции их жизни выполняются сообща, что увеличивает вероятность выживания отдельных особей. Чаще всего такими общими функциями становятся защита от врагов и предупредительная сигнализация. Чайки, кайры, некоторые гуси, ласточки и другие птицы обычно с шумом набрасываются на хищника, угрожающего птенцам или кладкам. Тревога,

поднятая любой заметившей опасность птицей, мобилизует остальных. Сообща птицам удается изгонять даже крупных хищников, с которыми они не справились бы поодиночке, – песцов, ястребов, сов и др.

Сам термин «колония» используется в очень широком смысле, в применении к репродуктивным группировкам самого различного характера. В качестве колоний можно рассматривать и колонию морских желудей, у которых взаимоотношения особей сводятся к химическим выделениям, и колонии других беспозвоночных, размножающихся бесполым путем (губки, полипы, мшанки, кораллы и др.). Такие колонии во многих случаях, по сути, представляют потомство одной особи (клон).

Значительно более сложная форма колонии - поселения животных, в которых отдельные их жизненные функции выполняются сообща. К подобным функциям можно отнести защиту от врагов и предупредительную сигнализацию. Например, в плотной колонии гаги Somateria mollissima, расположенной открыто, чайками было разорено в 4 раза больше гнезд, чем в менее плотной колонии.

Наиболее сложные колонии у общественных насекомых – термитов, муравьев, пчел. Они возникают на основе сильно разрастающейся семьи. В таких колониях-семьях насекомые выполняют сообща большинство основных функций: размножения, защиты, обеспечения кормом себя и потомства, строительства и т. п. При этом существует обязательное разделение труда и специализация отдельных особей или возрастных групп на выполнении определенных операций. Члены колонии действуют на основе постоянного обмена информацией друг с другом.

Во многих колониях возможна коллективная забота о потомстве. Хрестоматийным примером подобного рода является образование «яслей» у пингвинов. Они представляют собой временные или более постоянные объединения птенцов из нескольких выводков. У пингвинов рода Aptenodytes птенцы образуют скопления по собственной инициативе. Полагают, что основным стимулом для этого служит ухудшение погодных условий, поскольку в группе уменьшаются теплопотери.

Количество особей в колониях животных может достигать больших величин. Например, на островах Дейнджер (Danger Islands) в Антарктиде обнаружены крупные поселения одного из самых распространенных видов пингвинов - Адели. Установлено, что там обитают 751 527 пар пингвинов Адели, больше, чем в остальной части ареала, что является третьей и четвертой по величине колониями пингвинов Адели в мире и 55% всех особей на континенте.

***Стаи*** – временные объединения мобильных животных, проявляющие биологически полезную организованность действий. С точки зрения науки – это структурированная группа животных (млекопитающих, рыб, птиц), обычно одного вида, активно поддерживающих взаимный контакт и координирующих свои действия. Стая состоит из особей, которые выполняют ряд важных жизненных функций, будучи членами той или иной стаи на протяжении большой части своей жизни. Существует мнение, что именно стая (а не стадо) первобытных протолюдей послужила основой создания человеческого социума. Стаи служат для облегчения защиты от врагов, добычи пищи и миграции. Стайный образ жизни наиболее широко распространен среди рыб и птиц, у млекопитающих (многих собачьих).

По способу внутригрупповой координации различают два варианта стай:

• стаи с лидерами (многие птицы и млекопитающие);

• стаи, в которых особи эквипотенциальны, т.е. без выраженного доминирования одного из членов (акулы при стайной добыче пищи, косяки рыб во время нерестовых миграций, перелетная саранча, мелкие птицы).

При защите от врагов многие стайные животные убегают, уплывают и улетают от них большими группами. Как пишет Б. Майнтефель: «Казалось бы, увеличенное количество особей в стае увеличивает возможность поимки их хищником, но данные научных исследований показывают обратное: в ряде случаев птицы, рыбы и млекопитающие, так же, как и некоторые другие животные, держась в стаях, оказываются менее доступными или совсем недоступными для хищников». Дезориентация хищников достигается в результате особых защитных «маневров» стаи.

В мире рыб гораздо больше стайных видов, чем одиночек. Это легко объясняется тем, что стая помогает рыбам выживать (рис. 4.12). Ихтиологи считают, что более 25% всех рыб перемещаются в виде стаи на протяжении всей своей жизни. Для стайных видов нехарактерна забота о потомстве, выживаемость потомства они обеспечивают большим количеством выметываемой икры.

Рис. 4.12. Стая рыб в океане.

Некоторые хищники используют стайный образ жизни для добывания пищи. Наиболее характерно в наших широтах поведение волков при групповой охоте. Иерархию волчьей стаи можно видеть на рис. 4.13. Здесь представлена стая, состоящая из 25 волков, охотящаяся на бизонов в Арктическом круге в северной Канаде. Характер отношений в стае альтруистичен. То есть каждое животное подчиняет свои личные интересы интересам всего «коллектива». При иных взаимоотношениях стая как единый организм существовать не может. Ранг животного зависит от уровня развития психики, а не только от физических данных. Впереди всех идут трое самых слабых и больных. Если засада, то убьют впереди идущих. Еще эти слабые волки должны снег протоптать и сохранить силы для последующих. За ними пятерка матерых волков - мобильный отряд авангарда. Посередине 11 волчиц. За ними тоже пятерка матерых волков – арьергард. А позади всех идет чуть в отдалении сам вожак. Ему необходимо видеть всю стаю целиком и контролировать, регулировать, координировать и давать команды. В данном случае мы, скорее всего, наблюдаем за походной колонной, нежели боевой. В бою хищники перестраиваются по обстановке.

Рис. 4.13. Стая, состоящая из 25 волков, охотящаяся на бизонов в Арктическом круге в северной Канаде

У птиц стаи формируются при сезонных перелетах или у оседлых и кочующих форм, при зимних кормежках. При перелетах стаи образуют те виды, которым свойственно колониальное гнездование или коллективное кормление. Одиночно гнездящиеся и кормящиеся виды стай в полете не образуют. В птичьих стаях может насчитываться несколько сотен или даже тысяч особей – и в полёте все они движутся слаженно. Это явление носит название «мурмурация».

Существует постоянная сигнализация, звуковая и зрительная связь между особями в стаях оседлых птиц, которая используется для обнаружения благоприятных мест ночевок и отдыха, источников корма, восходящих потоков воздуха и т. д.

***Стадо*** – это более длительное и постоянное объединение животных. В стадах обычно осуществляются все основные функции жизни вида: добывание пищи, защита от хищников, размножение, воспитание молодняка и т.д. (куланы, павианы, и др. обезьяны и копытные). В стаде развито доминирование лидера (вожака) которому подчиняются остальные особи и строгая иерархия остальных. Иерархически организованному стаду свойственен определенный порядок перемещения, определенные позиции при защите от врагов, расположение на отдых, поглощение пищи и др.

Устоявшееся стадо животных представляет собой единое целое, которое проявляет себя в разнообразных поведенческих механизмах (зрение, слух, обоняние, осязание). Последние служат пониманию друг друга в различных ситуациях (например, сигнал о присутствии неприятеля или отыскании корма, проявление рефлекса кормления молодняка пли отыскивания матери). При установившейся иерархии число конфликтов между членами стада сокращается.

Одним из вариантов организации стад являются группы с временными или относительно постоянными лидерами. Это особи, на которых концентрируется внимание других, а они в свою очередь своим поведением определяют направление перемещения, места кормления, реакцию на хищника и т. д. Деятельность лидера не направлена

непосредственно на подчинение других особей. Лидером становится более опытный член стада. Стадо действует как единое целое, подражая лидеру.

Доминирующая особь, по сравнению с другими, обладает наивысшим уровнем мотивации (например, она наиболее голодна или сексуально озабочена), большей активностью, особым темпераментом, а также такими качествами, как стремление к лидерству и способность определять цель. Положение такой особи проявляется в виде в виде демонстраций превосходства над другими особями.

Доминирующая особь должна обладать некоторыми особыми качествами, чтобы занимать главенствующее положение в группе. Важную роль в этом играют размеры животного, его здоровье, физическая и репродуктивная сила, уровень агрессивности. Эти свойства обеспечивают доминанту больший успех при конкуренции за самку, корм, убежище и т.п.

Иерархически организованному стаду свойствен закономерный порядок перемещения, определенная организация при защите, расположении на местах отдыха и т. п. Так, при передвижении семейного стада зебр впереди всегда идет старая кобыла, за ней следуют сначала самые молодые, а затем старшие жеребята, за которыми двигаются взрослые зебры. Шествие завершает жеребец-вожак.

Многим видам животных присуща способность после миграций возвращаться на свой участок обитания, к гнезду, норе и т. п. Кстати, именно благодаря этой особенности возвращаются в родные места потерявшиеся собаки и кошки. Такое поведение животных называется ***хоминг*** (от англ. от «home» — дом), дословно – «процесс возвращения домой», чувство дома. Это явление описано у брюхоногих моллюсков (морских блюдечек), высших ракообразных, многих насекомых (муравьёв, пчёл, ос и др.), рыб, рептилий (например, морских черепах), птиц и млекопитающих. Особенно важную роль хоминг играет в жизни видов, проделывающих длительные миграции и возвращающихся в определенные районы для размножения или зимовок. Многие виды проходных рыб возвращаются из моря в родную реку для нереста (в родной водоём, видимо, обычно возвращаются в период размножения и многие виды земноводных). Некоторые виды птиц в течение многих лет возвращаются с зимовки не только в один и тот же регион, но и в одно и то же гнездо.

Выработанный путем искусственного отбора, хоминг в высокой степени развит у голубей. Известно, что, когда Александр Македонский отправился покорять Персию, в обозе у него ехали почтовые голуби и, когда он брал какую-либо столицу, он с почтовым голубем отправлял донесение о том, что он взял этот город, матери, царице, оставшейся в Греции. Кроме такого почтового сообщения еще было известно, что хоминг птиц использовали и в боевых целях. Еще в «Повести временных лет» имеется указание на то, что равноапостольная княгиня Ольга, для того чтобы отомстить древлянам, сожгла их город. Для этого использовались именно птицы: осаждавшие город войска отловили птиц, приманив их, повесили им на лапки паклю с серой, подожгли и выпустили. Птицы вернулись в город на места своего гнездования и сожгли селение полностью.

Способность возвращаться в родные места была замечена у некоторых видов рыб, например, у лосося, а также у ракообразных, брюхоногих и прочих.

## 4.6. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦИЙ

Естественные популяции - не раз и навсегда застывшая совокупность особей, а динамическое единство находящихся во взаимоотношениях организмов. Изменение в численности, структуре и распределении популяций как реакция на условия окружающей среды называется динамикой популяции.

Динамические характеристики популяций отражают временные процессы, протекающие в них с определенной скоростью. Динамика популяций в упрощенном варианте может быть описана такими показателями как рождаемость и смертность. Это наиболее важные популяционные характеристики, на основании анализа которых можно судить об устойчивости и перспективном развитии популяции.

***Рождаемость – одна из основных характеристик популяции и определяется как число особей, рожденных в популяции за некоторый промежуток времени (час, день, месяц, год).*** При этом термин «рождаемость» характеризует появление особей любых видов, независимо от способов появления их на свет: будь это прорастание семян подорожника или овса, появление детенышей из яиц у курицы или черепахи, рождение потомства у слона, кита, либо человека.

Экологи различают ***максимальную рождаемость*** в условиях отсутствия лимитирующих экологических факторов (добиться этого практически весьма сложно, если даже не невозможно). Под максимальной рождаемостью понимается теоретически возможный максимум скорости образования новых особей в идеальных условиях. Размножение организмов сдерживается только их физиологическими особенностями. Например, теоретическая скорость размножения различных видов во многих случаях может быть довольно высокой.

У Николая Заболоцкого можно прочитать такие строки:

«А ты подумал ли о том,
Что в вашем веке золотом
Любой комар,
откладывая сто яичек в сутки,
Пожрет и самого тебя,
и сад, и незабудки?»

Если мы примем за основу такой показатель, как время захвата видом всей поверхности Земли, то для бактерии холеры Vibrio cholerae он будет составлять 1,25 суток, для диатомовой водоросли Nitschia putrida - 16,8, для домашней мухи Musca domestica - 366, для курицы - около 6000, для слона - 376000 суток. Всего за пять поколений (за 1 – 1,5 летних месяцев) одна единственная тля может оставить более 300 млн. потомков, а за год её потомство способно будет покрыть поверхность земного шара слоем толщиной почти в 1 метр. Потомство пары птиц величиной с воробья при продолжительности жизни в четыре года может покрыть весь земной шар за 35 лет. Известный русский физиолог К. А. Тимирязева приводит такой пример: «Потомство одного одуванчика за 10 лет может покрыть пространство в 15 раз больше суши земного шара». Карл Линней писал: «Потомство пары мух съест мёртвую лошадь также скоро как лев». Девятое поколение

одной пары мух наполнило бы куб, сторона которого равна 140 км, или же составило бы нить, которой можно опоясать земной шар 40 млрд. раз.

Почему же в природе мы не наблюдаем подобной плодовитости? Ответ прост – на рождаемость каждой популяции оказывают влияние различные лимитирующие факторы, которые регулируют их численность.

В реальных условиях действует правило максимального «давления жизни»: организмы размножаются с интенсивностью, обеспечивающей максимально возможное их число, исходя из емкости среды жизни и многими другими внутренними и внешними факторами.

Потенциально любая популяция в состоянии «заполнить Землю». И это бы случилось, если бы каждый индивидуум выживал и к тому же производил максимальное число потомков. Но этого не случается: многие особи погибают, не успев произвести потомство, а многие размножаются со скоростью, далеко не достигающей максимальной.

Как уже сказано выше, любая популяция теоретически способна к неограниченному росту своей численности. Показатель такого неограниченного роста отражает ***биотический потенциал*** – теоретический максимум потомков от одной пары (или одной особи) за единицу времени (за год или за весь жизненный цикл) при реализации способности организмов увеличивать численность в геометрической прогрессии.

Понятие биотического потенциала введено в экологию в 1928 г. Р.Чепменом. При расчетах его чаще всего выражают коэффициентом r и вычисляют как максимально возможный прирост популяции ΔN за отрезок времени Δ*t,* отнесенный к одной особи, при начальной численности популяции $N_0$*:*

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = rN_0,$$

откуда:

$$r = \frac{\Delta N}{N_0 \Delta t}.$$

Биотический потенциал многих организмов, прежде всего наиболее мелких, огромен, и если бы ничто не сдерживало рост их популяций, то они чрезвычайно быстро заселили бы собой всю Землю. Обычно биотический потенциал тем выше, чем ниже уровень организации организмов. Так, дрожжевые клетки, размножающиеся простым делением, при наличии условий для реализации биотического потенциала могли бы освоить все пространство земного шара за несколько часов; гриб дождевик, приносящий до 7,5 млрд. спор, уже во втором поколении освоил бы весь земной шар. Крупным организмам с низким потенциалом размножения потребовалось бы для этого несколько десятилетий или столетий.

Однако реализация биотического потенциала ограничивается действием различных экологических факторов и может проявляться только в отдельных случаях и в течение коротких промежутков времени. Например, если быстроразмножающиеся организмы (насекомые, микроорганизмы) осваивают какой-либо субстрат или среду, где нет конкурентов. Такие условия создаются, в частности, при освоении экскрементов крупных животных насекомыми, при размножении организмов в средах, богатых питательными

веществами, например, в загрязненных органическими и биогенными веществами водоемах и т.п. В этом случае увеличение численности идет по J-образной кривой. Такой тип роста носит название ***экспоненциального***. Близкий к экспоненциальному тип роста характерен в настоящее время для популяции человека. Он обусловлен прежде всего резким снижением смертности в детском возрасте. Для человека характерна кривая выживаемости потомства первого типа (рис.4.14).

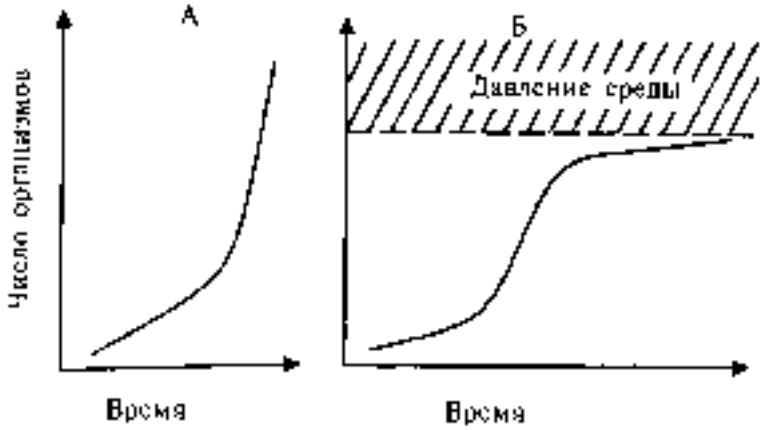



Рис. 4.14. Экспоненциальная (А) и логистическая (Б) кривые роста популяций

Для большинства же популяций и видов выживаемость характеризуется кривой второго типа, которая отражает высокую смертность молодых особей или их зачатков (яйца, икринки, споры, семена и т.п.). При таком типе выживаемости (смертности) численность популяции обычно выражается S-образной кривой. Такая кривая носит название ***логистической***.

В отличие от максимальной, ***экологическая, или реализованная рождаемость*** (или просто рождаемость) характеризует прирост или увеличение численности популяции при фактических или специфических условиях среды.

Реализованная рождаемость - величина не постоянная, она зависит от параметров популяции и специфических физических условий среды. Обычно рождаемость выражают числом особей, родившихся за некоторый промежуток времени.

Число особей, родившихся за определенное время, называется ***абсолютной или общей рождаемостью.***

***Удельная рождаемость*** определяется числом особей, родившихся за определенное время в расчете на одну особь в популяции.

Единица времени может быть различной в зависимости от темпов и скорости размножения организма. Для бактерий это может быть час, для насекомых - сутки или месяц, для большинства млекопитающих этот процесс растягивается на месяцы. Предположим, что в городе с населением 100 000 появилось 8000 новорожденных. Абсолютная рождаемость составит 8000 в год, а удельная - 0,08, или 8 %.

Различие между абсолютной и удельной рождаемостью легко проиллюстрировать на примере. Популяция из 20 простейших в некотором объеме воды увеличивается путем деления. Через час ее численность возросла до 100 особей. Абсолютная рождаемость при

этом составит 80 особей в час, а удельная рождаемость (средняя скорость изменения численности на особь в популяции) - 4 особи в час при 20 исходных.

***Смертность - величина, обратная рождаемости. Это число погибших в популяции особей за единицу времени.*** Подобно рождаемости, смертность можно выразить числом особей, погибших за данный период (число смертей в единицу времени) или же в виде удельной смертности для всей популяции или ее части. При определении смертности популяции учитываются все погибшие особи независимо от причины смерти (умерли ли они от старости или погибли в когтях хищника, отравились ли ядохимикатами или замерзли от холода и т.д.).

Для анализа роста численности популяции обычно пользуются данными, отражающими величину смертности. Для этого составляют так называемые таблицы и кривые выживаемости - определяют, как смертность распределяется по возрастам.

В основном смертность и возрастная структура видов зависят от того, какие шансы для выживания имеют особи в различных возрастных группах. Наглядную информацию дает кривая выживаемости отдельных видов, полученная путем подсчета процента живых особей в отдельной популяции. Для большинства видов такая кривая обычно может быть одним из трех наиболее типичных вариантов (рис. 4.15).

Рис. 4.15. Различные типы кривых выживаемости

1. *Кривая I типа.* У видов, для которых роль внешних факторов в смертности невелика, кривая выживания характеризуется небольшим понижением до определенного возраста, после которого происходит резкое падение вследствие естественной (физиологической) смертности. Кривая данного типа довольно выпуклая и соответствует ситуации, при которой смертность ничтожно мала в течение большей части жизни, но затем резко возрастает, и за короткий срок наблюдается гибель всех особей.

Такое положение характерно для ***бабочек-поденок, дрозофил*** и других насекомых. Они, через некоторое время после выхода из куколок спариваются, а после откладывания яиц в массе гибнут. Обычно считают, что к такой кривой приближается выживание человека в высокоразвитых индустриальных странах. Этот тип носит название ***типа дрозофилы***: именно его демонстрируют дрозофилы в лабораторных условиях (не поедаемые хищниками).

2. *Кривая II типа.* представляет собой диагональ и соответствует постоянной, т.е. независимой от возраста смертности в течение всей жизни. Данный тип кривой выживания встречается среди ***рыб, пресмыкающихся, птиц, многолетних травянистых растений.*** Этот тип принято называть ***типом гидры*** – для нее свойственна кривая выживания, приближающаяся к прямой линии.

3. *Кривая III типа.* Для очень многих видов характерна высокая смертность на ранних стадиях онтогенеза. Кривая этого типа сильновогнутая и отражает массовую гибель особей в начальный период жизни, а затем относительно низкую смертность оставшихся организмов. У таких видов кривая выживания характеризуется резким падением в области младших возрастов. Особи, переживающие «критический» возраст, демонстрируют низкую смертность и доживают до больших возрастов.

Данный тип кривой часто называют ***типом устрицы***, потому что у этого моллюска на одной из стадий развития имеется планктонная личинка, и именно на этой стадии наблюдается чрезвычайно высокая смертность особей. Такая кривая свойственна ***донным беспозвоночным, имеющим планктонных личинок а также многим организмам, характеризующимся большой плодовитостью и отсутствием заботы о потомстве***. При этом типе смертности наблюдается максимальная гибель животных в личиночной стадии или в молодом возрасте, а у растений – в стадии прорастания семян и всходов. У насекомых до взрослых особей доживает 0,3-0,5% от отложенных яиц, у многих рыб – 1-2% от количества выметанной икры.

Изучение кривой выживания представляет большой интерес для эколога. Оно позволяет судить о том, в каком возрасте тот или иной вид наиболее уязвим. Если действие причин, способных изменить рождаемость или смертность приходится на наиболее уязвимую стадию, то их влияние на последующее развитие популяции будет наибольшим. Эту закономерность необходимо учитывать при организации охоты или в борьбе с вредителями.

Следует подчеркнуть, что реально встречающиеся кривые выживания нередко представляют собой некоторую комбинацию указанных выше типов.

Известно, что в природе редкий вид доживает до максимального возраста, поэтому величина максимальной продолжительности жизни не представляет большого интереса для эколога. Ее учитывают только как точку отсчета при популяционных исследованиях.

Максимальная продолжительность жизни у разных организмов различна (табл. 4.2). На этот счет можно привести довольно большое количество фактов длительности существования особей.

Таблица 4.2. Продолжительность жизни некоторых видов растений и животных

| Вид | Срок жизни, лет | Вид | Срок жизни, лет |
|---|---|---|---|
| **РАСТЕНИЯ** | | **ПТИЦЫ** | |
| Пшеница | 1 | Ласточка | 9 |
| Виноград | 80- | Скворец | 19 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Яблоня | 100 | Полярная крачка | 27 |
| Дуб | 200 | Канарейка | 25 |
| Кипарис | 1200 | Домашний голубь | 35 |
| | 3000 | Африканский страус | 40 |
| **БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ** | | Лебедь-шипун | 70 |
| | | Беркут | 80 |
| Обыкновенная чешуйница | 7 | Гриф | 117 |
| Муравей | 7 | **МЛЕКОПИТАЮЩИЕ** | |
| Земляной червь | 10 | | |
| Омар | 50 | Землеройка | 2 |
| Пресноводная жемчужница | > 100 | Мышь | 3 |
| | | Белая крыса | > 4 |
| **РЫБЫ** | | Морская свинка | > 7 |
| | | Кролик | 12 |
| | | Белка | 15 |
| Гуппи | 5 | Овца | 15 |
| Карп | > 50 | Домашнияя коза | 20 |
| Белокорый палтус | 70 | Собака | > 24 |
| Сом | 80 | Корова | > 30 |
| Осетр | > 100 | Дикий кабан | 30 |
| | | Лев | 30-35 |
| **ЗЕМНОВОДНЫЕ И ПРЕСМЫКАЮЩИЕСЯ** | | Кошка | 38 |
| | | Зебра | > 38 |
| | | Гиппопотам | 49 |
| Малая лягушка | 20 | Индийский слон | 77 |
| Индийская кобра | 30 | Человек | 70-80 |
| Жаба | 36 | | |
| Гигантская саламандра | > 50 | | |
| Аллигатор | 60 | | |
| Нильский крокодил | 70 | | |
| Слоновая черепаха | > 150 | | |
| Галапагосская черепаха | 180 | | |

Особенно высокая продолжительность жизни отмечена у растений, в частности среди древесных пород. В 1951 г. в Калифорнии, в опустыненном районе Белых гор, где выпадает всего 250 мм осадков в год, на высоте 3000 м обнаружили рощу из конусообразных деревьев высотой около 10 м - остистых сосен. Ученые определили, что возраст 17 деревьев превышал 4000 лет, а некоторые дожили до 4600-4800 лет. Чемпионом долголетия можно считать секвойядендрон гигантский (веллигтония), или мамонтово дерево. Леса из нее произрастают на юго-западе горного хребта Сьерра-Невада в Калифорнии. Возраст этих деревьев высотой до 85 м оценивается в 3000-5000 лет. Американский писатель Джон Стейнбек так писал о них: «Эти аборигены были уже совсем взрослыми деревьями в ту пору, когда на Голгофе совершилось политическое убийство. А когда Цезарь, спасая Римскую республику, привел ее в упадок, они были еще только среднего возраста. Для секвой все мы чужаки, все мы варвары».

Среди животных наибольшее варьирование продолжительности жизни как отдельных особей, так и клонов в зависимости от экологических условий характерно для эволюционно менее продвинутых форм, в особенности одноклеточных. Так, сосущие инфузории рода Tokophrya при обильном питании живут несколько дней, при скудном — несколько месяцев; в роде Paramaecium (инфузория-туфелька) одни клоны живут не долее 2 месяцев, другие — до 10 лет. Максимальная продолжительность жизни одноклеточного — порядка 1 года.

Из многоклеточных животных губки живут до 10—15 лет, кишечнополостные в ряде случаев до 70—80 лет (актинии), представители различных групп червей от 1—3 до нескольких десятков лет, пауки 4—5, иногда до 20 лет (самки тарантулов), ракообразные от нескольких недель (дафнии) до 50 лет (омары). Продолжительность жизни пластинчатожаберных моллюсков до 100 лет, однако многие виды моллюсков живут по нескольку месяцев или даже недель. Из позвоночных максимальная продолжительность жизни ряда рыб (осётр, щука, белуга) составляет 80-100 лет; мелкие рыбы — анчоусы, бычки и т.п. живут обычно не долее 1,5—2 лет, земноводные до 60—70 лет (гигантская саламандра), черепахи свыше 150 лет.

Считается, что наиболее высокой продолжительностью жизни отличается гигантская слоновая черепаха из Индийского океана. Она может жить 200-300 лет. Большим долголетием отличаются крокодилы (до 300 лет). Из крупных хищников дольше всех живут слоны: 60—80 (в неволе), медведи (50 лет), львы (30 лет), леопарды, рыси и барсы (15-20 лет). Среди птиц пальма первенства принадлежит лебедям (150-170 лет), на втором месте попугаи (120-140 лет).

Установить общую закономерность при определении возраста организмов нелегко. Человек и человекообразные обезьяны, например, в среднем живут 60-70 лет, гиббоны и капуцины 20-25 лет, шимпанзе до 39 лет, мартышки и макаки - 10-12 лет.

## 4.7. ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ПОПУЛЯЦИЯМИ

*Свирепый волк с кормящую волчат*
*Волчицею – гроза невинных стад;*
*Орел, стремясь из-под небес стрелою,*
*Грозит голубке слабой смертью злою;*
*Голубка ж, как овца, опять должна,*
*Кормясь, губить ростки и семена;*
*Охотнице-сове, средь ночи темной,*
*Не жаль певца любви и неги томной,*
*А соловей съедает светляка,*
*Не посмотрев на прелесть огонька;*
*Светляк же, ночи светоч оживленный,*
*Всползая вверх, цветок съедает сонный.*
*Злой овод в теле лошади, быка,*
*Оленя – поселяет червяка;*
*Червь роется, грызет под теплой кожей*
*И, выросши, на свет выходит Божий…*
**Эразм Дарвин - английский врач,**

**натуралист, изобретатель и поэт**

*Мутуалистические и конкурентные отношения представляют собой основную сущность внутривидовых связей. Изучение роли этих взаимоотношений в пределах вида, многообразия и специфики их форм является предметом специального раздела – экологии популяций.*

**Н. М. Чернова, А.М. Былова – российские экологи**

Организмы, составляющие природные популяции, не существуют отдельно друг от друга, а обычно находятся во многообразных сложных взаимоотношениях. Поэтому ученые-экологи редко изучают популяционную динамику только одного вида и всегда уделяют много внимания взаимодействиям популяций разных видов.

Разные экологи выделяют неодинаковое количество основных типов взаимодействий между популяциями. Так, в классической сводке Ю.Одума (1986) их девять, М.Бигон, Дж. Харпер и К.Таунсенд рассматривают пять основных типов взаимодействий, многие акцентируют внимание главным образом на конкурентных отношениях.

На наш взгляд, есть смысл привести более развернутую схему взаимодействий между популяциями двух видов.

1. **Нейтрализм** (от лат. «нейтралис» - не принадлежащий ни тому, ни другому) – такое взаимодействие двух популяций, когда они проживают на одной территории, не вступая в видимые отношения друг с другом. В качестве примера можно привести отношения между дождевым червем и комаром, зайцем, обитающим под пологом леса и дятлом, живущим в дупле дерева, белки и лося, клестов и дроздов в лесу.

Следует отметить, что истинный нейтрализм в природе почти не встречается, так как между организмами в той или иной мере существуют опосредованные (косвенные) взаимоотношения. В нейтрализме взаимодействия являются случайными и, как считается, не оказывают влияния ни на одну из популяций.

Несмотря на кажущуюся простоту установления таких взаимоотношений в природе, примеры такого типа привести нелегко. Все дело в том, что большинство видов хотя бы косвенно влияют друг на друга. Например, такие лесные животные, как мелкие грызуны, землеройки, белки, дятлы, не связаны непосредственными отношениями, но все зависят от запаса семян хвойных пород. На этой основе они косвенно связаны друг с другом. Так, запас доступных для землероек семян зависит от количества шишек, доживших до естественного выпадения семян. Мышевидные грызуны, напротив, связаны с деятельностью дятлов и белок, сбрасывающих шишки на землю.

2. **Взаимное конкурентное подавление** - обе популяции подавляют друг друга. Примером взаимного конкурентного подавления могут служить конкурентные отношения между сорняками и культурными растениями за те или иные ресурсы (свет, воду, минеральное питание), угнетающие обоих партнеров. Часто рост одних растений подавляется веществами, выделяемые тканями другого. В этом случае говорят об аллелопатическом подавлении одними растениями других.

3. **Конкуренция за общий ресурс** - каждая популяция косвенно отрицательно воздействует на другую в борьбе за дефицитный ресурс. Это могут быть опосредованные отношения между видами в борьбе за добывание пищи (соперничество между волками, рысями и лисами в северных лесах, между гиенами и львами в саваннах) и т.п. В данном случае разные виды непосредственно не нападают друг на друга. На их состояние влияет фактор присутствия или отсутствия пищи.

4. **Аменсализм** (от греч. «а» - отрицание и лат. «менса» - стол, трапеза) - одна популяция подавляет другую, но сама не испытывает отрицательного влияния. Ель в процессе роста сильно затеняет почву и тем самым вытесняет светолюбивые виды, попавшие под ее полог. Изменяя среду, ель подавляет популяции светолюбивых травянистых растений. На рост же самой ели обратного воздействия не происходит.

При аменсализме страдает один вид, а другой развивается нормально: например, плесневый гриб Penicillium выделяет пенициллин - вещество, подавляющее рост различных бактерий, но бактерии не оказывают влияния на плесневый гриб. Сине-зеленые водоросли, вызывая цветение воды, тем самым отравляют рыб.

5. **Хищничество** - одна популяция неблагоприятно воздействует на другую, нападая непосредственно на нее, но тем не менее сама зависит от объекта нападения. Хищниками могут быть различные организмы - от простейших до сложноорганизованных. Это львы и волки, пожирающие свою жертву, кровососущие мошки и насекомоядные птицы, это различные виды рыб, поедающие планктонных рачков дафний, и сами дафнии, питающиеся одноклеточными водорослями. Если хищник поедает растения, он называется растительноядным. При этом хищник не умервщляет жертву, а довольствуется лишь поеданием какой-либо ее части. Примером может служить колорадский жук, питающийся культурным картофелем. Всеядные хищники питаются как животной, так и растительной пищей.

6. **Протокооперация** (буквально первичное сотрудничество - от греч. «протос» - первый и лат. «кооперацио» - сотрудничество) - обе популяции получают от ассоциации выгоду, но эти отношения необязательны. Африканский шпорцевый чибис преспокойно влетает в раскрытую пасть нильского крокодила, чтобы полакомиться прилипшими к полости рта паразитами (рис. 4.16). Питаясь таким образом, птица удаляет из ротовой полости крокодила надоедливых паразитов-кровопийц.

Рис. 4.16. Шпорцевый чибис и крокодил

Похожее взаимовыгодное отношение между двумя видами было описано древнегреческим историком Геродотом почти 2500 лет назад, когда он путешествовал по Египту. Геродот оказался свидетелем удивительных отношений крокодилов и птички, названной им «трохилосом». Геродот написал: «Все птицы и звери избегают его [крокодила], только с трохилосом он живёт в мире, потому что тот оказывает ему услугу: когда крокодил выйдет из воды на сушу и откроет пасть, трохилос входит к нему в пасть и выклёвывает пиявок; крокодилу приятны эти услуги, и он не делает вреда трохилосу». Вот только иной раз бывает, что встреча крокодила со своей подругой не осуществляется.

Взаимоотношения популяций при протокооперации весьма интересны для изучения. Природа предлагает все новые и новые примеры протокооперации. Такой тип взаимоотношений даже нашел свое место в фольклоре многих народов. К примеру, о дружбе койотов и барсуков упоминается в сказках североамериканских индейцев. Оба зверя питаются в основном мелкими грызунами: земляными белками, сусликами, луговыми собачками. Койоты способны легко нагнать жертву, но теряются, стоит лишь той укрыться в норе. Барсуки не так быстры, однако их мощные передние лапы позволяют добраться до добычи, даже если та успела забраться глубоко под землю. Одинокий койот (как правило они живут стаях) может вступить во временный союз с барсуком. Эти отношения длятся не длительнее одной охоты, пока барсук не воспользуется добычей, загнанной койотом в нору, либо койот не догонит зверя, спугнутого барсуком.

Птица-носорог во влажном тропическом лесу Малайзии и фиговое дерево (инжир, смоковница) также связаны взаимоотношениями, относящимися к протокооперации. Питаясь плодами инжира, носорог способствует его расселению. Мелкие семена фигового дерева проходят непереваренными через пищевой тракт птицы. Семена вместе с пометом попадают в места со скоплением органики в развилках стеблей древесных пород и дают начало новым растениям. Длинные корни по мере роста инжира спускаются по стволу дерева, дотягиваются до земли, закрепляются там и питают смоковницу.

Довольно распространенный в природе случай протокооперации относится к совместному существованию буйволовых скворцов (волоклюи) и крупных животных. Питаются волоклюи, как и другие виды скворцов, различными насекомыми и их личинками. Но способ добычи пищи у них уникальный. На равнинах Африки пасутся несметные стада травоядных животных. Все они в той или иной степени заражены эктопаразитами. Вот именно этих насекомых - блох, клещей, паразитических мух, оводов - ищут волоклюи. Для этого они садятся на спины животных и ловко держась цепкими лапками лазят по их телу.

Волоклюи посещают практически все виды травоядных - зебр, антилоп, носорогов, бегемотов, жирафов, газелей, буйволов — никого не обделяя своим вниманием. В поисках пищи волоклюи заглядывают в самые труднодоступные части тела — уши, глаза, ноздри (рис. 4.17).

Дело в том, что местные оводы откладывают под кожу слонов, антилоп, жирафов, бегемотов и носорогов свои личинки. Вот их удалением и занимается волоклюй, правда, не

безвозмездно. Он находит на коже животного бугорок, указывающий на то, что в этом месте развивается личинка, и сжимает его с двух сторон своими когтистыми лапками. Затем волоклюй пробивает клювом кожу, захватывает личинку и удаляет ее, чтобы затем с удовольствием проглотить. Процедура наверняка болезненная, но животные терпеливо переносят подобное обследование и никогда не пытаются прогнать волоклюев, надеясь на последующее облегчение.

Рис. 4.17. Антилопа импала и волоклюй

Таким образом, эти птицы являются санитарами саванн. В случае опасности бдительные часовые с шумом упархивают, подавая своим партнерам сигнал тревоги. Налицо взаимное выгодное сотрудничество организмов.

Интересный пример коллективной охоты коралловых лососей (групперов) и яванской, или бурой, мурены был описан в Красном море. Групер после неудачной охоты, когда жертве удавалось спрятаться в щели между кораллами, отправлялся на поиски мурены. Повстречав ее, он останавливался и подавал ей своеобразный сигнал поохотиться вместе. Мурена могла проигнорировать призыв, но все же обычно мурены в ответ вылезали из укрытия и отправлялись с групером на охоту.

Доплыв до укрытия, где спряталась рыба, групер останавливается и машет головой и плавниками, показывая компаньону заветное место. А далее сценарий мог развиваться двумя способами. В одних случаях мурена ловила рыбу в укрытии и проглатывала ее. В других случаях действия мурены приводили к тому, что рыба пыталась выплыть из укрытия и попадала в пасть к груперу. И он тоже проглатывал добычу целиком.

Ни в одном случае не зарегистрировано агрессии или драки двух охотников: кто рыбу поймал, то ее и съел. Совместная охота выгодна обоим видам: ленивая мурена без групера никогда бы не отыскала добычу, а групер без мурены мог бы ждать рыбу часами.

7. **Симбиоз** (от греч. – «симбиозис» - сожительство) - это тесная взаимосвязь между представителями разных видов, из которых по крайней мере один обойтись без другого не может.

Этот термин впервые предложил немецкий ботаник Генрих де Бари в 1873 г. Есть такой червячок — конволюта. В его теле живут фотосинтезирующие бактерии. Зачем червячку зеленые сожители? Оказывается, без них личинки конволюты погибают.

Самостоятельно питаться этот червячок не может. Бактерии уделяют червяку часть своей первичной продукции фотосинтеза, и сами пользуются продуктами его обмена веществ. Это сожительство представляет собой великолепную систему взаимной пользы.

Классическим примером симбиоза являются лишайники. Они состоят из двух компонентов - гетеротрофного гриба (микобионта) и автотрофного организма (фикобионта) - цианобактерии, водоросли. Гриб доставляет фикобионту воду и неорганические вещества и защищает от высыхания, а также обеспечивает прикрепление к почве. От автотрофного компонента он в свою очередь получает углеводы, которые образуются в ходе фотосинтеза.

Яркий пример симбиоза среди растений представляет микориза — сожительство мицелия гриба с корнями высшего растения (гифы оплетают корни и способствуют поступлению в них воды и минеральных веществ из почвы); некоторые орхидеи не могут расти без микоризы.

Интересный пример симбиоза - взаимосвязь муравьев-листорезов из рода Atta и определенного вида гриба в тропическом лесу (рис. 4.18). Муравьи-листорезы строят огромные гнезда под землей, в каждом гнезде имеется специально устроенная плантация грибов. Грибы служат муравьям практически единственной пищей. Когда матка основывает новый муравейник, она переносит во рту культуру пищевого гриба, и таким образом обеспечивает пропитанием свою новую семью. Эти пищевые грибы произрастают только на субстрате измельченных живых листьев или опада, который пополняется рабочими муравьями. Так что сельское хозяйство — не человеческое изобретение. Муравьи придумали его по крайней мере на 50 млн лет раньше.

Взбираясь на деревья, муравьи вырезают острыми челюстями кусочки листьев. Вначале отдельные особи насекомых умело подрезают черенки листьев, затем в дело вступают другие «специалисты» и выгрызают из листьев кусочки, которые в свою очередь подхватывают носильщики и перетаскивают в муравейник. Такой груз превышает вес тела муравья в 50 раз! Груз перетаскивается в подземные жилища на глубину 4,5-6 метров.

Самое интересное, что муравьи не едят собранные листья, а, утащив их под землю, тщательно крошат, смешав со слюной и экскрементами. Полученная масса служит субстратом для особого гриба, конидиями (споры бесполого размножения некоторых групп грибов) которых они питаются и вскармливают свои личинки. Особи-«садоводы» тщательно ухаживают за своими делянками: удобряют (то есть обрабатывают) своими экскрементами каждый кусочек листьев, чтобы грибы лучше на них развивались. Когда гифы прорастают, насекомые их постоянно подстригают в тех местах, где начинают появляться плодовые тела. Кроме всего прочего эти рачительные хозяева пропалывают свой «огород» и выделяют вещества, подавляющие рост бактерий. Таким образом, муравьи-листорезы развели настоящее земледельческое хозяйство. Они вносят удобрения, пропалывают огород и собирают урожай. Главное состоит в том, ни гриб, ни муравей самостоятельно друг от друга попросту бы не выжили. Интересно, что когда молодая самка покидает гнездо, чтобы образовать новую колонию, она обязательно прихватывает с собой кусочек грибницы и сразу же начинает обживание нового места с закладки грибного огорода.

А

Б

Рис. 4.18. Муравьи-листорезы. А – процесс заготовки листьев. Б – муравьи в своем «огороде»

И в завершение рассказа об этой удивительной дружбе, добавим, что, оказывается, у рабочих особей листорезов есть свои телохранители. Маленькие рабочие муравьи забираются на кусочки листьев, которые тянут на себе более крупные собратья, и не слезают оттуда на всем протяжении маршрута.

Природные популяции, как правило, приспосабливаются к совместной жизни друг с другом, образуя более или менее взаимовыгодные формы совместного существования. При этом один из партнеров возлагает на другого задачу регулирования своих отношений с внешней средой. Симбиоз может развиваться на основе пищевых (питание неиспользованными остатками пищи) или пространственных (поселение на поверхности или внутри тела другого, использование нор, гнезд и т.д.) взаимоотношений.

По степени соединения партнеров и по их типовой зависимости друг от друга различают несколько типов симбиоза: паразитизм, комменсализм, мутуализм.

Паразитизм выгоден одному из партнеров (паразиту) и вреден другому (хозяину). Комменсализм полезен одному симбионту, но не отражается на другом. Мутуализм - это взаимовыгодное сосуществование.

**Паразитизм** (от греч. «пара» - возле и «ситос» - пища) - одна популяция использует другую в качестве среды обитания и источника пищи. Жизнь паразитов проходит незаметно, внешний вид непривычен, жизненные циклы невероятно сложны, а влияние на здоровье людей и животных, функционирование экосистем, экономику и даже историю человечества весьма значительно. Паразитам приходится приспосабливаться к жизни вместе с организмом хозяина, справляться с его защитными реакциями, находить способы распространения и заражения новых хозяев.

Большое количество паразитов имеется среди животных (блохи, вши, клещи, различные виды тлей, бактерии, гельминты и др.), растений (петров крест, подъельник обыкновенный, гнездовка настоящая и др.), грибов (различные виды ржавчинных, головневых, мучнисторосяных грибов).

**Комменсализм** (от лат. «ком» - с, вместе и «менса» - стол, трапеза) - одна популяция извлекает пользу от объединения, а для другой это объединение безразлично. Таким образом, один вид (или популяция) извлекает пользу от сожительства, а другой вид (или популяция) ничего не выигрывает от этого, но и не страдает. Такой тип взаимоотношений, широко представлен в океане, где практически в каждой норе, вырытой червем, и в каждой раковине обитают гости, использующие убежище хозяина и не приносящие ему ни пользы, ни вреда.

Часто под комменсализмом понимают такое сожительство, при котором один из партнеров питается остатками пищи или продуктами выделения другого, не причиняя ему вреда. Такую разновидность комменсализма, основанную на потреблении остатков пищи хозяев, называют *нахлебничеством*.

Таковы взаимодействия между различными видами почвенных бактерий-сапрофитов, перерабатывающих разные органические вещества из перегнивших растительных остатков, и высшими растениями, которые потребляют образовавшиеся при этом минеральные соли.

Для крупных организмов можно привести пример сожительства рыб-лоцманов и крупных хищных акул. С одной стороны, рыбы-лоцманы находятся в относительной безопасности, а с другой, им перепадают остатки несъеденной акулами пищи. На акул присутствие этих рыб не оказывает никакого влияния (рис. 4.19).

Рис. 4.19. Акула и рыбы-лоцманы

*Известный путешественник Тур Хейердал так описывает в своей книге «Экспедиция «Кон-Тики» акулью свиту. «Смотришь на гребень, а там, словно за стеклянной стеной, прямо на тебя не спеша идет акула, и лоцманы снуют у нее перед мордой... Это небольшая сигаровидная рыбка, полосатая, как зебра; лоцманы стаями вертятся перед носом акулы, образуя ее свиту. Свое название они получили потому, что их долго считали как бы проводниками плохо видящих акул. На самом деле лоцманы сами лишь слепо следуют за акулой и уходят вперед только тогда, когда в поле зрения появляется что-то съедобное».*

Нередко можно встретить такую форму взаимоотношений между видами, как *квартирантство*. Под последним понимается сожительство организмов; когда один из видов поселяется в жилище другого или близ него. Такой тип взаимоотношений широко распространен у растений - примером могут служить лианы и эпифиты (орхидеи, лишайники, мхи), поселяющиеся непосредственно на стволах и ветвях деревьев. В гнездах и

норах грызунов обитает множество видов членистоногих, некоторые рыбы прячутся под зонтиками медуз со стрекательными нитями. Рыба горчак откладывает икру в убежище - мантию двустворчатого моллюска, не принося ему вреда.

Иллюстрацией взаимоотношений видов-комменсалов может также служить поведение средиземноморского вида рыбы карапуса (Campus acus) в полости тела некоторых видов голотурий (морские беспозвоночные, относящиеся к типу иглокожих – Echinodermata). Для карапуса полость голотурии - своего рода убежище, для голотурии же присутствие карапуса безразлично. Никакой выгоды она от такого сожительства не имеет.

Еще одни пример. Сапсан - вид сокола, обитающий в Сибири и Казахстане. Он имеет огромное значение для выживания представителей нескольких вымирающих видов - гуся, например, и краснозобой казарки, поскольку защищает их от прожорливых песцов. Слабенькие гуси не в состоянии самостоятельно отогнать этих хищников от своих гнезд, а посему и предпочитают гнездиться поближе к сапсанам. Соколам такое соседство безразлично. Гуси же от такого объединения получают явную выгоду.

Особенно часто комменсализм можно наблюдать в морской или океанической среде. Практически в каждой норке червя, в каждой раковине двустворчатого моллюска обитают «незваные гости», которые получают здесь укрытие, но не приносят хозяину ни пользы, ни вреда.

**Мутуализм** (от лат. «мутуус» - взаимный) - связь популяций благоприятна для роста и выживания обеих, причем в естественных условиях ни одна из них не может существовать без другой. Эти взаимоотношения приносит обоюдную пользу контактирующим видам.

Распространен мутуализм очень широко: корни растений тесно связаны с грибами - микоризообразователями, полипы кораллов - с одноклеточными водорослями, цветковые растения - с опыляющими их насекомыми, кишечник большинства животных населен полезными микроорганизмами и т.д. Между партнерами-мутуалистами складываются сложные поведенческие связи. Например, африканская птица-медоуказчик приводит к гнезду медоеда: он вскрывает гнездо, поедая мед и личинок, а птица, сама не способная вскрыть гнездо, питается остатками (один медоед при этом с трудом находит гнездо!). В Центральной Америке один из видов муравьев живет в шипиках акаций, питаясь сахаром из нектарников на листьях и защищая дерево от фитофагов: если с растения удалить всех муравьев, то до 85 % семян повреждаются личинками мух. Гидра на на свету получает 50 - 100 % необходимого ей кислорода от водорослей-симбионтов. До 25 % известных видов грибов существуют в симбиозе с водорослями как лишайники, что позволяет им заселять поверхности камней и стволы деревьев, в том числе в зонах, практически непригодных для других форм жизни.

Классический пример мутуализма - сотрудничество между цветковыми растениями и опыляющими их насекомыми. Насекомое получает необходимый ему нектар, а взамен осуществляет столь необходимый для растения акт опыления. При отсутствии опылителей растения во многих случаях оказались бы на грани вымирания, а насекомые без растительной пищи погибли бы.

Мутуалистическими отношениями является взаимосвязь между жвачными животными (олени, крупный рогатый скот, антилопы) и бактериями, обитающими в их рубце (один из четырех отделов желудка жвачных). Рубец населен многочисленными

бактериями из родов Bacteroides, Ruminococcus, Clostridium, Vethanobacterium и др. Бактерии рубца приспособлены только к анаэробным (бескислородным) условиям, и многие виды под воздействием кислорода мгновенно гибнут. Основная пища жвачных - целлюлоза и другие растительные волокна. Однако сами животные лишены ферментов, которые способны разлагать растительный материал. Бактерии же выделяют целллюлозоразрушающие ферменты. Продукты микробной ферментации используются организмом-хозяином, а последний создает для бактерий непрерывный приток субстратов (растительная целлюлоза) и контролирует условия его сбраживания (нейтрализуя слюной излишнюю кислотность среды, где обитают бактерии).

## 4.8. КОНКУРЕНЦИЯ, ХИЩНИЧЕСТВО, ПАРАЗИТИЗМ

*... И даже улыбающейся флоры*
*Златая колесница – и она*
*Свой светлый путь свершает чрез раздоры:*
*И меж растений царствует война.*
*Деревья, травы вверх растут задорно,*
*За свет и воздух борются упорно,*
*А корни их, в земле неся свой труд,*
*За почву и за влажность спор ведут.*
**Эразм Дарвин - английский врач, натуралист, изобретатель и поэт**

***Конкуренция*** (от позднелат. «concurentia, concurrere» - сталкиваться) - ***такое взаимодействие, когда две популяции (или две особи) в борьбе за необходимые для жизни условия воздействуют друг на друга отрицательно, т.е. взаимно угнетают друг друга.***

Конкуренция является главным механизмом возникновения биологического разнообразия. Взаимодействие такого типа приводит к снижению выживаемости конкурирующих особей. Следует отметить, что конкуренция может проявляться и тогда, когда какого-либо ресурса достаточно, но его доступность снижается из-за активного противодействия особей.

Организмы, которые потенциально могут использовать одни и те же ресурсы, называются ***конкурентам***и. Растения и животные конкурируют друг с другом не только за корм, но и за влагу, жизненное пространство, за убежища, гнездовья – за все, от чего может зависеть благополучие вида.

Если конкуренты принадлежат к одному виду, то взаимоотношения между ними называют ***внутривидовой конкуренцией***. Конкуренция между особями одного вида является наиболее острой и жесткой в природе, поскольку они имеют одинаковые потребности в экологических факторах.

Следует отметить, что внутривидовая конкуренция на том или ином этапе существования вида встречается почти всегда. Поэтому в процессе эволюции у организмов выработались приспособления, снижающие ее интенсивность. Наиболее важные из них - способность к расселению потомков и охрана границ индивидуального участка

(территориальность), когда животное защищает место своего гнездовья или известную площадь в его округе. Так, в период размножения птиц самец охраняет определенную территорию, на которую кроме своей самки не допускает ни одной особи своего вида. Такую же картину можно наблюдать и у некоторых рыб.

Если конкурирующие особи относятся к разным видам, то это ***межвидовая конкуренция***. Объектом конкуренции может служить любой ресурс, запасы которого в данной среде недостаточны. Это может быть ограниченная территория распространения, пища, участок для гнезда, элементы питания для растений.

Результатом конкуренции может быть расширение области распространения одного вида за счет сокращения численности или исчезновения другого. Примером может служить активное расширение с конца XIX века своего ареала длиннопалым раком, который постепенно захватил весь Волжский бассейн и добрался до Беларуси и Прибалтики. Здесь он постепенно начал вытеснять родственный вид - рака широкопалого.

Конкуренция может носить достаточно острый характер, например, борьба за гнездовую территорию. Такой тип конкуренции носит название прямой конкуренции. В большинстве случаев такие конфликты происходят между особями одного вида. Однако, часто конкурентная борьба внешне протекает совсем бескровно. Например, на многих хищных животных, конкурирующих за пищу, другие хищники влияют не прямо, а опосредованно, через уменьшение пищи. То же происходит в мире растений, где при конкуренции одни из них влияют на других опосредованно через перехват питательных веществ, солнца или влаги. Этот тип конкуренции носит название косвенной конкуренции.

Конкуренция является одной из причин того, что два вида, слабо различающиеся спецификой питания, поведения, образа жизни и т.д., редко сожительствуют в одном сообществе. Исследования причин и следствий межвидовой конкуренции привели экологов к установлению особых закономерностей в функционировании отдельных популяций. Некоторые такие закономерности были возведены в ранг законов.

В начале XX века при изучении явления конкуренции американским и итальянским математиками Джеймсом Лотка и Вито Вольтерра были разработаны теоретические положения и, позднее, модель взаимодействия двух видов типа «хищник — жертва». Главным выводом предложенной модели был следующий: два вида, конкурирующие за одну и ту же пищу и в своем развитии именно этой пищей лимитированные, не могут существовать неограниченно долго. Анализируя теоретические расчеты Вольтерры-Лотки, а также результаты собственных экспериментов советский биолог Георгий Францевич Гаузе сформулировал правило, которое вошло в теорию экологии как принцип конкурентного исключения.

Исследуя рост и конкурентные взаимоотношения двух видов реснитчатых инфузорий, Гаузе провел на них ряд экспериментов, результаты которых опубликовал в 1934 г. Инфузории двух видов Paramecium caudatum и Paramecium aurelia хорошо росли раздельно в монокультуре. Пищей им служили бактериальные или дрожжевые клетки, растущие на регулярно добавляемой овсяной муке. При раздельном культивировании оба вида демонстрировали типичный S-образный рост. Однако, когда Гаузе помещал оба вида в один сосуд, каждый вид сначала быстро увеличивал свою численность, суммарная биомасса обоих видов достигала максимума, но со временем P. aurelia начинала расти за счет P.

caudatum, пока второй вид полностью не исчезал из культуры (рис. 4.20). Этот период исчезновения одного из видов инфузорий длился около 20 дней.

Таким образом, Г.Гаузе сформулировал закон конкурентного исключения (принцип конкурентного исключения), который гласит: два вида не могут существовать в одном местообитании (в одной и той же местности), если их экологические потребности идентичны. Поэтому любые два вида с идентичными экологическими потребностями обычно бывают разобщены в пространстве или во времени: они живут в разных биотопах, в разных ярусах леса, обитают на разных глубинах в одном водоеме и т.д.

В качестве примера конкурентного исключения можно привести изменение численности плотвы, красноперки и окуня при их совместном проживании в озерах. Плотва с течением времени вытесняет красноперку и окуня. Исследования показали, что

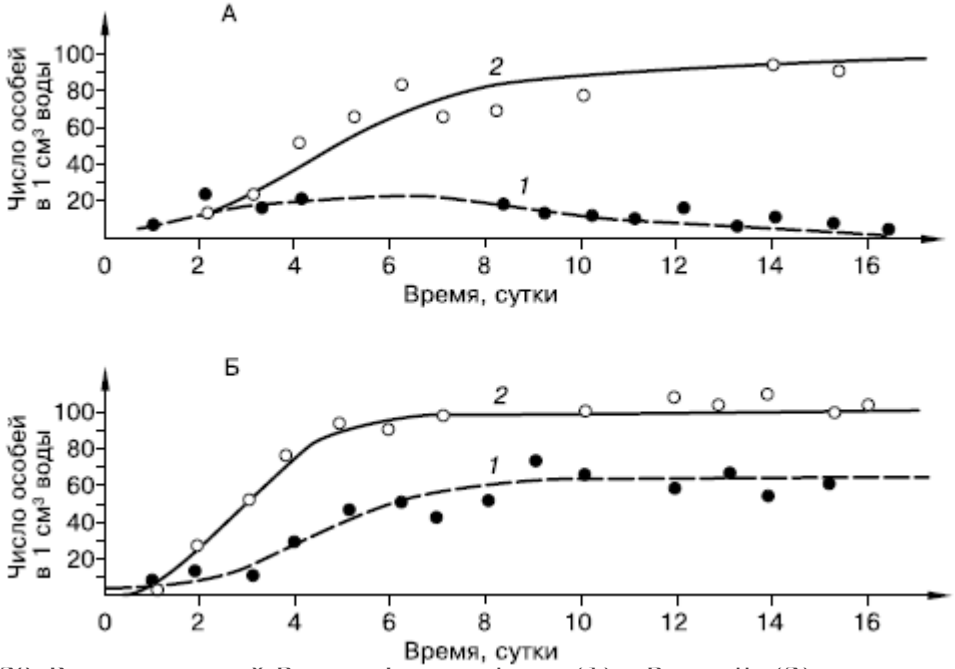



Рис. 4.20. Рост популяций Paramecium caudatum (1) и P. aurella (2) в смешанной культуре (А) и раздельных культурах (Б). P. aurella вытесняет P. caudatum

конкуренция сказывается на стадии мальков, когда кормовые спектры молоди перекрываются. В это время мальки плотвы оказываются более конкурентоспособными.

В природе часто конкурирующие за пищу или пространство виды избегают или снижают конкуренцию переселением в другое местообитание с приемлемыми для себя условиями либо переходом на более труднодоступную или трудноусваиваемую пищу, либо сменой времени или места добычи корма. Происходит деление животных на дневные и ночные (ястребы и совы, ласточки и летучие мыши, кузнечики и сверчки, различные виды рыб, проявляющие активность в разное время суток); львы охотятся на более крупных животных, а леопарды - на более мелких; для тропических лесов характерна сложившееся распределение животных и птиц по ярусам.

Примером разделения жизненного пространства может служить раздел сфер питания между двумя видами бакланов - большого и длинноносого. Они обитают в одних и тех же водах и гнездятся на одних и тех же обрывах.

Наблюдения показали, что длинноносый баклан ловит рыбу, плавающую в верхних слоях воды, тогда как большой баклан добывает пищу в основном у дна, где ловит камбал и донных беспозвоночных.

Пространственное разделение можно наблюдать и среди растений. Произрастая совместно в одном местообитании, они простирают свои корневые системы на разную глубину, тем самым разделяя области поглощения питательных элементов и воды (рис. 4.21).

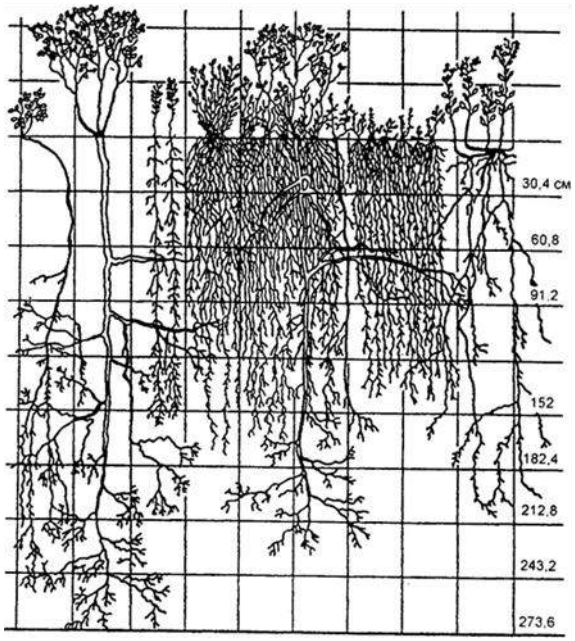



Рис. 4.21. Проникновение корней в почву в травяном фитоценозе

Принцип конкурентного исключения накладывает жесткие ограничения на совместное нахождение видов одного рода, что приводит к их географическому замещению. Данная закономерность получила название принципа видо-родового представительства: поскольку два близкородственных вида не могут занимать одинаковые экологические ниши в одном биотопе, и, соответственно, в биоценозе, богатые видами роды обычно представлены в экосистеме единственным своим представителем.

В ряде случаев (особенно в водных экосистемах) принцип конкурентного исключения нарушается в соответствии с принципом сосуществования (Дж. Хатчинсон): два вида в порядке исключения могут сосуществовать в одной экологической нише, и если близкие виды вынуждены использовать одни и те же ресурсы, то естественный отбор может благоприятствовать их сосуществованию, и они способны эволюционировать в близком направлении.

***Важным видом взаимоотношений между организмами в природе являются отношения типа хищник-жертва - взаимосвязь между хищником и жертвой, в***

***результате которой эволюционно выигрывают оба: популяция хищника обеспечивается пищей, популяция жертвы оздоровляется хищником.***

Потенциально каждый живой организм является источником энергии, т.е. пищей для других организмов. Именно такие пищевые взаимодействия лежат в основе переноса энергии и вещества в экосистемах.

***Хищником*** считается всякий организм, потребляющий в качестве пищи другой живой организм. Если одно животное (реже растение) ловит, убивает и поедает другое животное, мы имеем дело с хищничеством. Таким образом, для установления факта хищничества необходимо наличие умервщления одним организмом другого с целью использования его в виде пищи.

Диапазон отношений типа хищник-жертва довольно широк. Видимо, эти отношения существуют в природе настолько долго, насколько долго существует сама жизнь. Эволюцию хищника нельзя оторвать от эволюции жертвы и наоборот. Соучастники этих взаимоотношений не могут отстать в эволюции один от другого, потому что это чревато вымиранием как хищника, так и жертвы. Хищники, эволюционируя, вырабатывали множественные уловки, чтобы воздействовать на жертву - это острые зубы и клыки, быстрые ноги, маскирующая окраска, острые втягивающиеся когти, стрекательные клетки, ядовитые железы. Одни хищники вынуждены быстро бегать, другие достигают своей цели, охотясь стаями, третьи отлавливают преимущественно больных, раненых и неполноценных особей. Жертва, в свою очередь, не оставалась в долгу и развивала специфические средства защиты - выросты тела, шипы, колючки, панцири, защитная окраска, способность быстро прятаться, зарываться в грунт, строить убежища.

Все эти ухищрения необходимы и тому, и другому для поддержания процесса прогрессивной эволюции. Разнообразие приемов нападения у хищников и средств защиты у жертв приводит к тому, что добывание пищи и бегство от хищников представляют собой два основных вида активности организмов, приводящих к формированию их особых признаков, которые в перспективе естественный отбор закрепляет как положительные реакции вида.

В целом эволюция жертвы протекает в направлении трудноуловимости и трудноусвояемости для хищников. Хищники же эволюционируют в сторону повышения эффективности охоты и усвояемости своей жертвы.

Хищники - важное звено в пищевой цепи экосистемы. Наличие их способствует направлению естественного отбора травоядных животных, обеспечивает раннее развитие копытных (некоторые виды антилоп уже спустя 5 мин после рождения вполне самостоятельно передвигаются). В первую очередь хищники уничтожают слабых и больных животных, что особенно важно для малочисленных популяций, находящихся на грани выживания. Человек оказывает регулярное воздействие на хищников путем прямого отстрела и опосредованно. Например, путем выжигания саванн уменьшается численность антилоп, что, в свою очередь, вызывает уменьшение числа хищников.

Существует несколько классификаций хищников. Наиболее проста таксономическая классификация - деление на настоящих хищников (поедают животных) и растительноядных (питаются только растениями). Кроме того, среди всеядных можно различать хищников, питающихся животными ослабленными, больными и старыми, но оставляющими в

неприкосновенности особи, способные к размножению. Такие действия хищников идут на пользу популяции, которая в результате выбраковки неполноценных особей избавляется от балласта. В то же время существуют хищники, питающиеся особями всех возрастных групп без разбора. Такой тип хищничества нарушает потенциал роста популяции жертвы и может повредить ей.

Можно привести следующую функциональную классификацию хищников:

■ истинные хищники, убивающие свою жертву сразу после нападения на нее и в большинстве случаев поедающие жертву целиком. Это львы, орлы, божьи коровки, киты и многие другие;

■ хищники с пастбищным типом питания. Это крупные травоядные млекопитающие - зебры, антилопы, козы, овцы, крупный рогатый скот. Как правило они используют только часть своей жертвы;

■ паразиты - хищники, также поедающие только часть жертвы, но нападающие в течение жизни только на одну особь или на очень малое их количество. Это различные ленточные черви, вирусы, ржавчинные грибы, тли;

■ паразитоиды - организмы, которые ведут паразитический образ жизни в личиночном состоянии, например, некоторые насекомые, откладывающие яйца либо в тело других насекомых (на ранних стадиях развития последних), либо на его поверхность.

Это о паразитоидах написаны строки врача и натуралиста Эразма Дарвина - деда Ч.Дарвина:

«Злой овод в теле лошади, быка,
Оленя поселяет червяка;
Червь роется, грызет под темной кожей
И, выросши, на свет выходит божий.
Наездник окрыленный, чтоб запас
Питательный потомству предоставить.
Спешит, вонзая жало много раз,
Им гусениц побольше пробуравить;
Найдя в приемной матери приют,
Личинки плоть ее живую жрут...»

Паразитоиды паразитируют только в неполовозрелом состоянии, причем пораженный ими организм продолжает жить, пока не закончится развитие их личинок. Личинки паразитоидов, вылупившиеся из яиц, развиваются внутри или на теле хозяина, который обычно не достиг взрослого состояния. Паразитоид вызывает неизбежную гибель хозяина, так как по мере своего развития личинка паразитоида съедает его целиком. У паразита имеется какое-то «совестливое сочувствие» по отношению к хозяину. В любом случае он вынужден идти на компромисс, чтобы сохранить жизнь своему хозяину, а значит, и себе, и в перспективе - потомству. Поэтому непрерывно вредить своему хозяину для паразита невыгодно. Паразитоиды же начисто лишены даже зачаточного чувства «совести». Бигон, Харпер и Таунсенд (1989) отмечают, что к паразитоидам относится около 25% всех обитающих на земле видов.

Исследуя динамику популяций хищника и жертвы, экологи установили, что в природе колебания их численностей в некоторых случаях можно представить в виде

взаимосвязанных циклов. В природных условиях можно проследить причинно-следственную связь, регулирующую численность хищника и жертвы:

***размножение жертвы*** ⇒ ***размножение хищника*** ⇒ ***сокращение численности жертвы*** ⇒ ***падение численности хищника*** ⇒ ***размножение жертвы*** и т. д.

Эта система с отрицательной обратной связью приводит к устойчивому равновесию. Волны флуктуаций хищника и жертвы следуют друг за другом с постоянным сдвигом по фазе, а в среднем численность как хищника, так и жертвы остается постоянной. Таким образом, как правило, хищник не может полностью истребить жертву (рис. 4.22). Обе популяции развиваются циклически. Если популяция травоядных увеличивается, вероятность встреч хищник—жертва возрастает, и, соответственно (после некоторой временной задержки), растет популяция хищников. Но рост популяции хищников приводит к сокращению популяции травоядных (также после некоторой задержки), что ведет к снижению численности потомства хищников, а это повышает число травоядных и так далее. Эти две популяции как бы танцуют вальс во времени, следуя друг за другом.

Рис. 4.22. Циклические изменения численности видов хищника и его жертвы

Классический пример - колебание численности американского зайца-беляка в бореальных лесах Канады, которое соответствует колебанию численности ряда хищников, таких как рысь. Раз в 9-10 лет наблюдается подъем и спад численности зайца и соответственно рыси. Когда численность популяции зайца достигает максимума, также увеличивается вследствие изобилия добычи численность популяции рыси. Как только численность зайца падает из-за перенаселенности, болезней, либо недостатка корма, гибнет от голода и рысь. Затем при избытке пищи и малом количестве хищников зайцы снова начинают размножаться. Таким образом, периодические колебания численности зайца-беляка вызывают похожие изменения численности рыси (Рис 4.21).

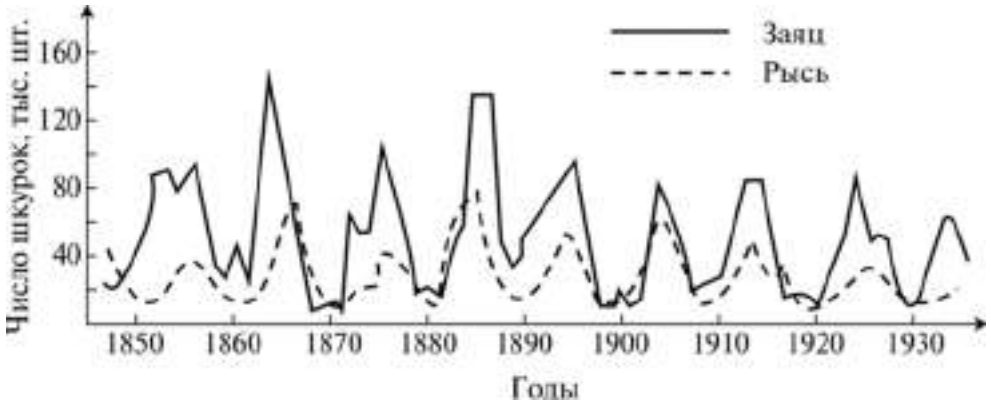



Рис. 4.21. График колебания численности канадских популяций рыси и зайца в природе

***Одним из важных типов взаимоотношений между популяциями в природе являются отношения типа паразит-хозяин - форма взаимоотношений между видами, которые носят антагонистический характер.*** Вид-паразит обычно использует другой вид (хозяин) в качестве среды обитания и источника пищи.

Паразитизм известен на всех уровнях организации живого, начиная вирусами и кончая высшими растениями и многоклеточными животными. Можно сказать, что паразитизм - явление всеобщее и довольно распространенное. Почти все живые существа могут подвергаться нападению паразитов. Паразитофауна обыкновенного крота, к примеру, очень богата. Она насчитывает 8 видов сосальщиков, 2 вида ленточных червей, 18 видов нематод, более 20 видов блох и более 30 видов клещей. Обыкновенная белка является хозяином 50 видов эндопаразитов, из которых 4 вида кокцидий, 2 вида сосальщиков, 15 видов ленточных червей, 26 видов нематод и 3 вида скребней.

Следует отметить, что паразитизм – это явление многогранное и сложное. Его нельзя определить однозначно. Поэтому существует несколько подходов к понятию сущности паразитизма.

Паразитизм обычно определяют по двум основным признакам: питание за счет хозяина или получение иной выгоды от сожительства; обитание в среде живых организмов-хозяев. Соответственно сложились две главные концепции паразитизма — трофическая и экологическая. Между сторонниками этих концепций в течение почти полутора веков ведется дискуссия о сущности паразитизма.

В основу ***трофической концепции*** легли представления немецкого зоолога Рудольфа Лейкарта, который считал основным критерием паразитизма питание одного организма за счет другого. По определению Лейкарта: «Паразиты - существа, которые находят пищу и жилище на другом живом организме. Паразиты сродни свободно живущим животным, отличаясь от них лишь родом пищи». Таким образом паразитизм рассматривался как разновидность хищничества, при котором хищник (паразит) слабее и мельче хозяина. Паразит отличается от последнего многократным использованием жертвы-хозяина. Однако различия между хищниками и паразитами весьма очевидны. Паразиты отличаются от хищников более высоким био-тическим потенциалом, избирательностью действия. Более специализированы строение, выбор хозяина, жизненные циклы.

В 1883 году соотечественник Лейкарта Максимилиан Браун выдвинул концепцию о том, что паразиты так же как, например, наземные или водные организмы, выделяются по образу жизни и отношению к среде. Это положение составляет основу ***экологической концепции паразитизма***.

Хозяин для паразита является средой обитания, в которой отсутствует конкуренция и можно полностью реализовывать жизненные функции. Паразит для хозяина — чуждый организм, своеобразный «ксенобиотик», фактор загрязнения внутренней среды хозяина.

Организмы, которые не поражены какими-либо паразитами - являются большой редкостью. Даже человек является средой обитания для многих паразитов. Паразиты представлены во всех группах растений и животных, однако чем ниже на эволюционной лестнице находится данная группа, тем больше она включает видов-паразитов. К примеру, плоские черви, нематоды и некоторые членистоногие почти целиком состоят из паразитических форм.

Паразиты, питающиеся телом хозяина и обитающие на его поверхности, носят название эктопаразитов. Это блохи, вши, клещи, различные виды тлей. Паразиты, живущие во внутренних тканях, полостях и клетках хозяина, носят название экзопаразитов. Это различные вирусы, бактерии, гельминты и др.

Все паразиты для обеспечения выживания своего вида должны переходить от хозяина к хозяину. Одни паразиты выработали довольно простой цикл воспроизведения. К примеру, многим бактериям, которые являются причиной таких болезней, как скарлатина, пневмония, дифтерия, достаточно попасть на поверхность тела хозяина или на некоторые его железы внешней секреции. Другие паразиты выработали довольно сложные циклы развития.

К примеру, в кишечнике лисицы обитает ленточный червь, откладывающий там крошечные яйца. Вместе с экскрементами животного яйца попадают на землю или траву. Чтобы снова попасть в кишечник лисицы, на помощь паразиту приходят промежуточные хозяева. Зайцы, поедая траву, захватывает яйца червя. В его организме они превращаются в личинке и затаиваются там до поры до времени в виде цисты - покоящейся стадии. Теперь все зависит от сноровки и прыткости лисицы, которая охотится за зайцем. Если ей удастся поймать его, цисты в ее кишечнике превратятся во взрослого червя и жизненный цикл паразита начнется сначала.

Паразитические грибы кордицепсы заражают муравьёв, заставляя тех залезать на верхушки деревьев и умирать там, после чего споры следующего поколения паразитов разлетаются на большое расстояние и заражают новых насекомых. Схожим образом беспозвоночные животные под названием волосатики заставляют сверчков прыгать в воду и тонуть там, сами же волосатики при этом оказываются в естественной среде обитания. Однако влияют существа такого рода не только на насекомых, но и на значительно более высокоразвитых существ.

Взаимоотношения между человеком и различного рода паразитами установились с незапамятных времен. Ко многим паразитам человеческий организм приобрел невосприимчивость, но к некоторым, таким, как переносчики туберкулеза, сифилиса, гриппа, еще не найдено эффективного противоядия. Следуя поговорке, что болезнь легче предупредить, чем лечить, человек наконец-то понял, что истинная причина большинства болезней - это нарушение экологической среды.

Большинство болезней человека сегодня - это болезни цивилизации. Они проникали и проникают в самые отдаленные уголки земного шара вместе с развитием цивилизации. Особенно опасны новые болезни для сравнительно небольших замкнутых экосистем островов. Туземцы многих плотно заселенных островов Тихого океана до появления европейцев были необыкновенно здоровыми, так как у них выработался стойкий иммунитет к местным заболеваниям. Однако они оказались совершенно беззащитными против

болезней, принесенных на их острова белыми. То же касается и различных групп туземцев, обитающих в тропических лесах Африки и Южной Америки. Полукочевые племена охотников и собирателей обычно мало подвержены таким местным болезням как малярия. А вот обыкновенные грипп, корь, свинка, краснуха являются причиной повышенной смертности, поскольку у аборигенов нет против них врожденной сопротивляемости. Туземцы уединенного острова Пасхи страдают от вспышек гриппа, возникающего регулярно через 1-2 месяца после посещения острова чилийским инспекционным судном.

Среди растений и грибов также известно много паразитических видов. Одни растения-паразиты содержат хлорофилл и могут вырабатывать органические вещества, т.е. являются, собственно говоря, полупаразитами. Это паразитирующая на березах, осинах, ивах, дубах, соснах омела (Viscum album), которую часто можно встретить в белорусских лесах. Фотосинтез она осуществляет сама, а воду и минеральные соли добывает из ветвей растений, на которых живет, пуская вглубь древесных тканей особые присоски. К полупаразитам относится также луговое растение погремок (Rhinanthus alectrolophus). Под землей его корни паразитируют на корнях других растений. Иногда он настолько спешит, что присасывается к корням своих собратьев - таких же погремков. Обычно же погремок паразитирует на корнях других растений. Чаще всего это злаки, но могут быть и другие зеленые растения.

Из типичных растительных паразитов можно указать растения, обитающие в наших лесах: петров крест, подъельник обыкновенный, гнездовка настоящая, различные виды повилик и другие растения.

Много внутриклеточных паразитов среди низших грибов - это многочисленные виды ржавчинных, головневых, мучнисторосяных грибов.

## 4.9. ГОМЕОСТАЗ И КОЛЕБАНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ

Способность популяции поддерживать динамическое равновесие со средой, в частности, определенную численность особей, называется ***гомеостазом популяции*** (от греч. гомеас - подобный, одинаковый, остас - состояние). Понятие гомеостаза является одним из важнейших в экологии.

По отношению к любой природной системе (популяция, биоценоз, экосистема) гомеостаз определяется как состояние ее внутреннего функционального равновесия, поддерживаемое постоянным саморегулированием компонентов. Гомеостаз является характерным и необходимым для всех природных систем - от атома и организма до космических образований.

Функции гомеостаза свойственны популяциям всех групп живых организмов, однако наиболее полно они изучены у животных. При всем многообразии механизмов популяционного гомеостаза их можно сгруппировать в три функциональные категории (Шилов, 1997):

- поддержание пространственной структуры;
- поддержание генетической структуры;
- регуляция численности и плотности населения.

***Механизмы поддержания пространственной структуры*** разнообразны. Наиболее важные из них следующие.

Территориальная агрессия - наиболее прямая форма территориальных взаимоотношений. Она в той или иной форме свойственная всем видам. Животные, кормящиеся на своем участке проявляют агрессию при защите его от соседей (даже визуально знакомых). Птицы активно защищают территорию своего гнездования, грызуны охраняют друг от друга места своего пропитания, хищники заботятся об охране своих охотничьих участков и т.п.

Маркирование территории - относительно «мягкий» механизм гомеостаза, не связанный с агрессией. У птиц она выражается в акустической маркировке участков. Некоторые обитатели водной среды также прибегают к звуковым сигнализациям. Так, голубые киты при общении друг с другом издают низкочастотные импульсы порядка 188 децибел, что позволяет считать эти звуки самыми громкими звуками, которые способны издавать животные. Их можно услышать на расстоянии 860 километров.

У рыб нередко окраска тела говорит чужаку о занятости территории. Разнообразны механизмы маркировки территории у млекопитающих. Многие животные для мечения участков используют запах мочи и экскрементов. Но наибольшее значение имеют выделения особых желез. Например, анальные гланды африканской гориллы, считающейся самым вонючим животным, могут выделять отвратительно пахнущую жидкость, запах которой можно почувствовать на территории радиусом более полутора километров. Похожие железы имеют многие виды полевок, песчанок и другие виды мышевидных грызунов.

Нередко в качестве меток используются визуально различимые знаки. Например, следы когтей бурого медведя на стволах деревьев, либо остатки шерсти, которым многие представители семейства волчьих метят свою территорию.

Генетическая структура популяции поддерживается степенью индивидуальной изменчивости особей. Чем генетически более разнородна популяция, тем выше ее экологическая пластичность. Считается, что поддержание стабильной генетической структуры обеспечивается случайным характером скрещивания, хотя во многих группах высших животных доминирующие (преобладающие) особи имеют преимущества в спаривании. Например, на лежбищах морских слонов (как и у многих других ластоногих) секачи-доминанты составляют всего 4% от всех самцов, но принимают участие в 85% спариваний и оплодотворяют до 85% самок.

Численность любой популяции определяется ее способностью к размножению. Потенциально многие виды способны очень сильно увеличивать свою численность. Самки некоторых рыб мечут тысячи или даже миллионы икринок каждый год. Крысы и мыши 4 раза в год приносят приплод примерно с 5 детенышами в одном помете.

Однако наблюдения показывают, что численность большинства видов постоянна, следовательно, между рождаемостью и смертностью существует относительное равновесия. Такую согласованность рождаемости и смертности в популяции называют регуляцией численности популяции.

Рождаемость живых организмов определяется несколькими основными характеристиками. Одна из них - соотношение выжившего потомства, вылупившегося или

родившегося, к числу самок в конце периода размножения. Например, самки калифорнийских кондоров откладывают только 1 или 2 яйца. Это делает данный вид более уязвимым к вымиранию, нежели такие виды, как утки и куропатки, которые откладывают и высиживают от 8 до 15 яиц одновременно.

Рождаемость видов также зависит от того, сколько раз в году самки проходят через полный цикл размножения и от продолжительности беременности. Луговая полевка с периодом беременности всего лишь 21 день может производить большое количество детенышей за короткий период. Африканский слон имеет период беременности почти 2 года и не рожает более до тех пор, пока его детеныш не станет достаточно взрослым. Таким образом, у слонов рождается всего 1 детеныш как минимум каждые 2,5 года.

Природа не терпит расточительства, и потому детенышей не должно быть больше, чем родители могут выкормить. Именно поэтому птицы одних и тех же видов, поселившиеся высоко в горах, в отличие от своих собратьев в теплых и богатых кормом долинах обычно откладывают меньше яиц.

При высокой скученности особей в популяциях регулирующим механизмом численности могут являться стрессовые явления. Явление стресса было впервые описано для человека в 1936 г. Гансом Селье - канадским биологом и физиологом. Согласно Селье стресс - это совокупность физиологических реакций организма в ответ на воздействие различных неблагоприятных (реже благоприятных, например, радость, половое возбуждение) факторов. Стресс может быть вызван как серьезной опасностью, так и творческой удачей. Общеизвестны стрессовые явления при потере члена семьи, разводе, неудачи на профессиональном поприще и т.д. О стрессовых реакциях говорят как в случае поведения высших животных, так и низших (реакция на загрязнение среды у амебы), а также растений (стрессовая реакция на засуху).

Стрессовые явления наиболее характерны для млекопитающих. Стресс-реакция является механизмом, регулирующим рождаемость. При стрессах обычно у части особей снижается рождаемость и увеличивается смертность. Более сильные (доминантные) особи в меньшей степени подвержены стрессу и его последствиям. При ослаблении или прекращении стрессовых явлений организмы обычно восстанавливают функции жизнедеятельности и репродукционного процесса.

Численность популяций в природных условиях испытывает постоянные колебания, при этом их амплитуда и период зависят от особенностей вида и от условий среды обитания. Так, у многих крупных позвоночных численность обычно колеблется в несколько раз, в популяциях насекомых - в 40-50 раз, а в особо благоприятных условиях возникают резкие вспышки численности, когда она возрастает в миллионы раз (саранча).

Помимо нерегулярных колебаний у ряда организмов выявлены периодические колебания численности с относительно постоянной длительностью цикла, например, связанные с периодическими колебаниями активности Солнца.

Российский генетик Н. В. Тимофеев-Ресовский ввел в 1928 г. термин «популяционные волны» для обозначения колебаний численности особей популяции, которые возникают под влиянием различных факторов биотической и абиотической среды. Будучи характерными для всех видов, популяционные волны (или «волны жизни») имеют определенное эволюционное значение, поскольку при резком сокращении численности какой-либо

популяции среди оставшихся в живых особей могут оказаться редкие генотипы. В дальнейшем восстановление численности данной популяции будет идти за счет выживших особей, что приведет к изменению частот генов, а значит, и генофонда.

Обычно численность особей в популяции ограничивается каким-либо ресурсом. Одним из основных лимитирующих факторов является пища. Иногда природа поступает очень жестоко по отношению к своим отпрыскам. Одним из примеров такой жестокости служит жизненный цикл полярной совы. Она обычно откладывает 5-6 яиц с большими временными интервалами. Птенцы появляются на свет, соблюдая очередность. Старший птенец уже крепко стоит на ногах, а младший его брат еще в яйце. На первый взгляд, странное положение вещей. Однако для суровых условий Севера это один из способов популяции поддерживать свою численность. Как известно, полярная погода неустойчива и ненастье может обрушиться внезапно. Для взрослых особей это неудобство легко преодолимо. Они могут перенести несколько дней без пищи, а вот для птенчиков непогода может обернуться гибелью. Поэтому старший совенок, чтобы выжить, вынужден съесть своего младшего ослабевшего собрата. Законы выживания суровы.

В начале 60-х годов XX века экологами была выдвинута ***концепция саморегуляции популяций***. Согласно этой концепции в процессе роста плотности популяции изменяется не только и не столько качество среды, в которой существует данная популяция, сколько качество самих составляющих ее особей. Это выражается в снижении плодовитости, удлинении сроков полового созревания, возрастания смертности и миграционной активности (перемещение организмов за участок своего индивидуального обитания). Одним из авторов данной концепции был английский эколог Д.Читти (1960). Он подчеркивал, что в принципе каждая популяция способна регулировать свою численность так, чтобы не подрывались жизненные ресурсы местообитания и не требовалось вмешательства каких-либо внешних факторов.

Множество факторов, которые влияют на численность популяции, разделяют на независящие и зависящие от ее плотности. К ***не зависящим от плотности*** относятся прежде всего абиотические факторы. Продолжительная засуха, суровая зима, ураган, наличие пищи и т.п. могут способствовать резкому снижению численности самых разных популяций, причем независимо от их первоначальной плотности. Так, длительные снегопады и жесткий ледовый наст приводят к гибели птиц, которые зимой находят корм на земле. При этом сам фактор, вызвавший указанные изменения, не испытывает влияния первоначальной плотности популяций.

Эффект данных абиотических факторов (изменение плотности популяции) является функцией времени:

$$\frac{dN}{dt} = F(t),$$

где: F — функция; N — численность (плотность) популяции; t — время. Отсюда следует, что чем дольше действует абиотический фактор (например, проливной дождь, заморозки, извержение вулкана, поступление в среду загрязнителей), тем быстрее снижается плотность популяции, которая часто не в состоянии (без помощи человека) восстановить прежнюю численность (плотность).

Факторы не зависящие от плотности могут обеспечивать условия как для неограниченного, хотя и кратковременного, роста популяций, так и для снижения их численности до нулевой. Группы этих факторов обычно называют *модифицирующими* (от лат. модификацио - изменение).

К ***зависящим от плотности*** относится подавляющее большинство биотических факторов (конкуренция, хищники, обеспеченность кормом, инфекции и др.). Здесь имеет место в ряде случаев монотонная зависимость: с повышением плотности популяции сильнее влияют указанные факторы. Так, чем выше плотность популяции растений, тем сильнее они затеняют друг друга.

Эффект воздействия факторов на популяцию зависит от ее плотности:

$$\frac{dN}{dt} = F(N_0)$$

где: F — функция; N — численность (плотность) популяции; t — время; $N_o$ - исходная численность. Действие таких факторов (нашествие паразитов, вирусные, грибковые, бактериальные заболевания и др.) становится более эффективным с увеличением плотности популяции.

Факторы, зависящие от плотности популяции, многие исследователи рассматривают как один из главных механизмов, предотвращающих перенаселение и способствующих установлению устойчивого равновесия.

Их называют *регулирующими*. Они «работают» по принципу обратной отрицательной связи: чем значительнее численность, тем сильнее срабатывают механизмы, обусловливающие ее снижение, и наоборот - при низкой численности сила этих механизмов ослабевает и создаются условия для более полной реализации биотического потенциала. Регулирующие факторы обеспечивают поддержание численности в определенных границах значений.

К числу регулирующих факторов относится, в частности, взаимоотношение организмов типа хищник - жертва. Высокая численность жертвы создает условия (пищевые) для размножения хищника. Последний, в свою очередь, увеличив численность, снижает количество жертвы. Численность обоих видов в результате этого носит синхронно-колебательный характер. Регулирующие факторы, в отличие от модифицирующих, никогда не доводят численность популяций до нулевых значений вследствие того, что сила их действия уменьшается по мере уменьшения численности популяций.

Данные точки зрения не являются крайними, и ни одну, ни другую из них нельзя принять целиком или отвергнуть. Задача исследователя заключается в том, чтобы выяснить, способны ли виды регулировать свою рождаемость, а если да, то при помощи какого механизма и при каких условиях. У одних видов наблюдается относительно постоянная численность, плотность других видов подвержена нерегулярным либо циклическим, как у зайца-беляка, колебаниям.

## 4.10. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ЭКОЛОГИИ

Современная экология придает изучению популяций особое значение. Исследовать вид в динамике, показать его структурно-функциональные особенности можно лишь детально изучив особенности жизнедеятельности составляющих его отдельных особей.

Такой популяционный подход решает вопросы, связанные с выявлением факторов, влияющих на распространение, обилие, рост численности отдельных популяций. Популяционный подход концентрирует свое внимание на отдельных видах. Чаще всего — это виды, имеющие важное хозяйственное значение (вредители сельского и лесного хозяйства, объекты промысла, переносчики опасных заболеваний и т. д.), но иногда это и просто массовые виды или виды редкие, нуждающиеся в охране.

Так как любая популяция вида организмов в природе вступает в разнообразную сеть взаимосвязей, взаимодействий, экологу особенно важно знать специфику этих взаимодействий, важнейшими из которых являются конкуренция, хищничество, паразитизм, комменсализм и мутуализм. Следствием всех этих взаимодействий между популяциями и отдельными видами является возникновение и поддержание биологического разнообразия

в природных биосистемах, которое является основой эволюции различных форм живого вещества на нашей планете.

Для современных работ в области популяционной экологии характерно стремление не только описать то или иное явление, но и дать ему удовлетворяющее эколога объяснение. Во многих случаях от экологов требуют также и поиска путей разрешения того или иного «экологического инцидента». В результате приобретаются (или уточняются) знания о жизнедеятельности и экологии того или иного вида.

В экологии достаточно классических примеров, когда вспышки численности вида приводили к возникновению «экологических взрывов». Один из виднейших зоологов Чарлз С. Элтон, профессор Оксфордского университета, изучая расселение и «нашествия» живых существ, писал: «Экологические взрывы отличаются от некоторых других тем, что они не производят столь сильного шума и протекают не так быстро. Иными словами, они могут медленно развиваться и так же медленно затухать; но иногда их последствия оказываются весьма внушительными и вызывают разорение, гибель или вынужденную эмиграцию множества людей».

*Классическим примером тому является интродукция кроликов в Австралию.*

*Все началось 26 января 1788 года, когда англичанин Артур Филипп высадился близ Сиднея и основал колонию Новый Южный Уэльс. Он прибыл с 11 парусными кораблями, на борту которых были кролики, предназначенные для провианта. В дороге не все ушастые были съедены, поэтому животных взяли на берег.*

*В 1859 Том Остин выпустил в австралийском парке 24 кролика, чтобы на них охотиться. За 70 лет их количество выросло до 600 миллионов. Кролики словно попали в рай: они сметали на своем пути еду, которой питались другие представители фауны, и все время размножались (рис. 4.22). Ушастые ели молодые побеги деревьев, не позволяя им вырасти, из-за чего в Австралии наступили перебои с лесом.*

Рис. 4.22. Популяция диких кроликов в Австралии

*Мир диких животных Австралии довольно специфичен. Под влиянием длительной изоляции на континенте сформировалась особая экосистема, которая оказалась не готова к тысячам кроликов. Дело в том, что на большей части Австралии нет хищников, способных сдерживать взрывной рост популяции каких-либо животных.*

*Из-за большого поедания травы кролики стали основными конкурентами овец, которых разводили местные фермеры. По подсчетам специалистов, кролики ежегодно съедают количество травы, которого хватило бы для откорма 25 миллионов овец. Выражение «кролики съели Австралию» оказалось не так уж и лишенным смысла. Все эти явления носили массовый характер, так как численность поголовья перешагнула за несколько миллионов особей. Местные жители срочно искали выход из сложившегося положения. Ежегодно отстреливали около 2 миллионов кроликов. Это никак не улучшило ситуацию. В начале XX века даже был построен проволочный забор на пути распространения кроликов, но он был с легкостью преодолен прекрасно прыгающими и роющими норы зверьками.*

*Для уничтожения кроликов в Австралию были интродуцированы лисы. В некоторых случаях введение в природное сообщество естественного врага заносного вредителя приносило успех в борьбе с последним, но здесь оказалось не все так просто. Завезенные хищники нашли в изобилии более легкую добычу - местных сумчатых, не доставляя запланированной жертве особых хлопот.*

*И тогда австралийцам пришлось прибегнуть к помощи ученых. В 1950 году специалисты заразили кроликов возбудителем инфекционного вирусного заболевания - миксоматоза, поражающего только кроликов.*

*В 1950 году несколько групп кроликов были заражены этой болезнью и выпущены в различных областях Австралии. К июню 1951 года площадь очага эпизоотии (распространение заболевания среди большого числа животных) составила 2.5 млн. км2. Кролики погибали в огромных количествах. И хотя истребить до конца их не удалось, их численность упала. На сегодняшний*

*день в Австралии насчитывается 10 млрд кроликов. Их пока удается удерживать в южной и центральной областях страны, а также в северных пустынях.*

*Сопутствующая история внедрения чужеродного вида в экосистему со свободными экологическими нишами - нашествие кактуса из рода опунция (Opuntia) на Австралийский континент.*

*Эти кактусы были ввезены в Австралию в начале века для использования в качестве живых изгородей (в том числе и для защиты от надоевших кроликов). Однако при отсутствии сильных конкурентов опунция быстро распространилась по всему материку, превратившись в сорняк и заняв тысячи гектаров ценных луговых и пастбищных угодий. После нескольких неудачных попыток искоренения опунции для борьбы с ней завезли из Южной Америки бабочку кактусовую огневку (Cactoblastis cactorum). Ее гусеницы кормятся на растущих побегах опунции и быстро уничтожают растение, буквально пресекая ее развитие в самом зародыше. Это насекомое оказалось таким эффективным средством борьбы, что уже через несколько лет о вреде, наносимом опунцией, вспоминали как о чем-то давно прошедшем.*

*Для борьбы с опунцией экологи вынуждены были изучить биологию, экологию, способ размножения не только растения-вредителя, но и могущего оказать помощь насекомого. Экологической катастрофы удалось избежать, вспышка чужестранца была подавлена. Однако опасность таких катастроф в современном мире реально существует.*

Такими и подобными вопросами занимается популяционная экология. Ее значение для будущего человечества трудно переоценить. Хотя экологи-популяционисты начинали с исследований популяций различных вредителей с целью разработки мер защиты от них, направленность их работ не исчерпывается этим направлением. Популяционная экология призвана разрабатывать научные основы сохранения видов растений и животных, которым угрожает исчезновение, для чего необходимы тщательные детальные исследования их популяций в естественной среде.

Одна из задач популяционной экологии - поиск путей предотвращения полного вымирания промысловых животных при их хозяйственном использовании, например, среди китообразных и многих видов рыб. Для эколога-популяциониста основным объектом исследования становится популяция животного или растения в естественных природных условиях, а задача, которую он решает, - получение необходимых сведений о состоянии той или иной популяции. Решение подобной задачи возможно лишь при детальном изучении таких популяционных параметров, как пространственные изменения популяции (изучение миграционных процессов) и изменения во времени (динамика числа особей данного вида).

# ГЛАВА 5. СИНЭКОЛОГИЯ. УЧЕНИЕ О БИОЦЕНОЗАХ

*Синэкология (от греч. «syn» – вместе и экология) – раздел экологии, посвященный учению жизни групп видов, представляющих определенные единства…*
**Б.М. Миркин - российский эколог**

По мере развития экологии, в начале XX века, исследования биотических взаимоотношений отдельных видов друг с другом, постепенно развивались в изучение систем взимосвязанных организмов, или сообществ растений, животных, грибов, микроорганизмов. Экологи изучая разнообразные организмы, пришли к выводу, что каждый отдельный вид, даже при изучении его в сочетании с другими видами, которые оказывают на него непосредственное влияние, является всего-навсего мельчайшей частичкой среди тысяч видов растений, животных и микроорганизмов, которые обитают в той же зоне - в лесу, водоеме или на побережье. Осознание этого факта привело к появлению в середине 20-х гг. направления, занимающегося изучением экологии сообществ видов. Такие сообщества, или биоценозы и стали предметом изучения биоценологии, или ***синэкологии***.

Термин «синэкология» был предложен на Третьем ботаническом конгрессе в 1910 г. Его автором стал швейцарский ботаник Карл Шрётер. Поскольку объектами экологического изучения стали не только отдельные виды, но и их комплексы, Шрётер предложил различать соответственно ауто- и синэкологию, что позднее приняли и зоологи. Именно на этом конгрессе и произошло разделение экологии на аутоэкологию (экология особей) и синэкологию - экологию сообществ.

В энциклопедическом словаре Брокгауза и Ефрона (начало XX в.) можно прочитать такое определение синэкологии: «Синэкология или учение о растительных формациях, распадается на следующие отделы: I. Физиономическая синэкология имеет задачей описание растительных формаций с точки зрения их состава и «физиономии» («жизненных форм»). II. Географическая синэкология изучает географическое распределение формаций по областям, по горным поясам и по геологическим системам (формациям и проч.), представляющим собой субстрат для растительности. III. Экологическая синэкология изучает условия жизни данного местообитания; отдельные экологические группы, входящие в состав данной формации; происхождение формаций, условия поддержания их в равновесии и изменения, претерпеваемые формациями. IV. Историческая синэкология исследует флористические элементы отдельных формаций и историю их иммиграции».

Так как Шрётер был ботаником, поначалу синэкологию понимали как синоним фитоценологии (науки о растительных сообществах). В конечном итоге, синэкологию стали рассматривать просто как часть фитоценологии охватывающей экологическое изучение фитоценозов. Но по мере становления и развития экологии как самостоятельной науки, ту часть экологии, которая исследует закономерности сложения сообществ и совместной жизни в них живых организмов начали называть синэкологией.

Под ***синэкологией*** в настоящее время понимают исследования биотических взаимоотношений взаимосвязанных организмов, или ***сообществ*** растений, животных, грибов, микроорганизмов.

Таким образом, ***синэкология - это раздел экологии, изучающий многовидовые сообщества организмов – биоценозы.***

## 5.1. ПОНЯТИЕ БИОЦЕНОЗА

*Дерево – это целый мир! В стволе его дырки, продолбленные дятлами, и в каждой дырке кто-нибудь живет и трюкает: то жук какой, то птичка, то ящерка. В травке и сплетении корней позапрятаны гнезда. Мышиные и сусликовые норки уходят под дерево. Муравейник привален к стволу…*

**Виктор Астафьев – российский писатель**

В современной экологической литературе термин биоценоз (biocoenosis) обычно применяется как синоним термина сообщество (community). Как и при установлении сущности понятия популяция, при определении сообщества существует также определенная путаница. Многие биологи довольно по-разному трактуют суть биоценоза. Одни под этим термином понимают группу встречающихся совместно популяций. Другие под биоценозом понимают пространственно ограниченные совокупности (ассоциации) растений и животных с доминированием (преобладанием) какого-либо одного вида: сообщества птиц, насекомых, луговых растений, еловое сообщество, осоковое сообщество и т.п.

Биоценоз можно определить как ***исторически сложившаяся совокупность животных, растений, грибов и микроорганизмов, населяющих относительно однородное жизненное пространство (определённый участок суши или акватории), и связанных между собой окружающей их средой.***

В настоящее время наиболее удачным определением биоценоза служит таковое американского эколога Роберта Хардинга Уиттекера, которое он привел в своем фундаментальном труде «Сообщества и экосистемы». ***Биоценоз - это сочетание популяций растений, животных, микроорганизмов и грибов, взаимодействующих друг с другом в пределах данной среды и образующих тем самым особую живую систему со своими собственными составом, структурой, взаимоотношениями со средой, развитием и функциями.***

Следует отметить, что биоценозы, как и все биологические системы - системы открытые, и в природе переходят одно в другое вдоль тех или иных градиентов среды, а не занимают четко ограниченные зоны. Нередко различные биоценозы настолько сливаются, переходят друг в друга, что при отсутствии четких границ между средами обитания, иногда невозможно определить где кончается одно и начинается другой биоценоз. Поэтому установить границы биоценоза порой бывает нелегко. Иногда экологи ограничиваются при выделении сообщества просто произвольным набором видов.

В состав биоценоза входят совокупность растений на определенной территории – фитоценоз (от греч. «phyton» – растение), животные, проживающие в пределах фитоценоза - зооценоз (от греч. «zoon» – животное), совокупность микроорганизмов, населяющих почву – микробоценоз и сообщество грибов – микоценоз (от греч. «mykes» – гриб) (рис. 5.1).

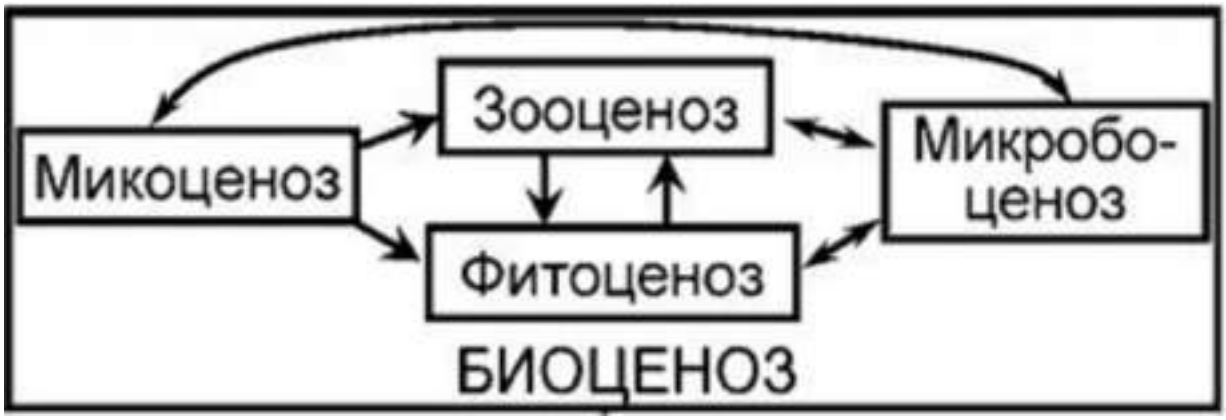



Рис. 5.1. Структура биоценоза

Каждый биоценоз развивается в пределах определенного однородного пространства, которое характеризуется определенным сочетанием абиотических факторов. К ним могут относиться количество приходящей солнечной радиации, температура, влажность, химический и механический состав почвы, ее кислотность, рельеф местности и др. ***Такое однородное пространство, часть абиотической среды, занимаемое биоценозом, называется биотоп.*** Это может быть какой-либо участок суши или водоема, берег моря или склон горы. Биотоп – это неорганическая среда, которая является необходимым условием существования биоценоза. Между биоценозом и биотопом существует тесное взаимодействие.

В приведенном нами выше определении биоценоза акцент делается на приуроченности организмов к определенному местообитанию. К одному биоценозу относятся виды, которые сосуществуют вместе в пределах данной среды.

В связи с этим необходимо привести определение биоценоза, предложенное отечественными экологами. ***Биоценоз - это совокупность всех популяций биологических видов, принимающих существенное (постоянное или периодическое) участие в функционировании данной экосистемы.*** Из данного определения видно, что в биоценоз включаются не только виды растений, животных и микроорганизмов, постоянно обитающие в рассматриваемой экосистеме, но оказывающие существенное воздействие на жизнь экосистемы.

Например, многие насекомые размножаются в водоемах, где служат важным источником питания рыб и некоторых других животных, а во взрослом состоянии ведут наземный образ жизни, т.е. выступают как элементы сухопутных биоценозов. Зайцы могут питаться на лугу, а обитать в лесу. То же касается и многих видов лесных птиц, которые ищут себе пропитание не только в лесу, а и на прилегающих лугах или болотах. Примеры можно продолжить, особенно это касается относительно многих животных, ведущих кочевой образ жизни.

Поддержание структуры и функций сообщества зависит от сложного ряда взаимодействий, непосредственно или косвенно связывающих его членов в одну сложную сеть. Влияние той или иной популяции простирается до экологически отдаленных частей сообщества через ее конкурентов, хищников и жертв. Насекомоядные птицы не поедают деревья, но они поедают многих насекомых, которые кормятся листьями или опыляют

цветки. Поедая насекомых-опылителей, птицы косвенным образом воздействуют на число производимых деревом плодов, на количестве пищи, доступной животным, которые питаются плодами и проростками, на хищников и паразитов этих животных и так далее.

Биоценоз, как открытая система, получает на ее «входе» солнечную энергию, газы, атмосферу, воду, минеральные элементы почвы. На «выходе» - тепло, кислород, углерод, биогенные вещества, уносимые водой. Однако главным «продуктом» биоценоза является живая продукция - растительная и животная биомасса, и так преобразованное в биотопе неживое и отмершее вещество - источник разнообразных полезных ископаемых.

## 5.2. ВИДОВАЯ СТРУКТУРА БИОЦЕНОЗА

Каждый биоценоз можно описать, основываясь на совокупности составляющих его видов. Одни биоценозы слагаются преимущественно из животных видов, как, например, биоценоз кораллового рифа. В других биоценозах - лесных - главную роль играют растения: биоценоз елового, березового, дубового леса. Степень насыщенности видами в различных биоценозах разная.

Самая известная закономерность видового разнообразия - его уменьшение от тропиков в сторону высоких широт. Причем, это касается всех групп наземных и водных организмов, начиная от двустворчатых моллюсков, муравьев и летающих насекомых до пресмыкающихся, птиц, деревьев.

Например, во влажных тропических лесах, в Малайзии, на 1 гектаре леса можно насчитать до 200 видов древесных пород. Биоценоз соснового леса в условиях Беларуси может включать максимум до десяти видов деревьев на 1 гектар, а на севере таежной области на такой же площади присутствуют 2-5 видов. Наиболее бедными биоценозами по набору видов являются альпийские и арктические пустыни, самыми богатыми - тропические леса. Правда, не обходится и без исключений. Пингвины и тюлени приполярных областей здесь наиболее разнообразны. Однако, в тропиках таких групп животных, не встречающихся в более высоких широтах значительно больше.

Наиболее простым показателем видового разнообразия биоценоза является общее число видов - видовое богатство. Если какой-либо вид растения (или животного) количественно преобладает в сообществе (имеет большую биомассу, продуктивность, численность или обилие), то такой вид называется ***доминантом*** (от лат. «dominans» - господствующий), или ***доминирующим видом***.

Доминанты господствуют в сообществе и составляют «видовое ядро» любого биоценоза. Доминантные, или массовые, виды определяют его облик, поддерживают главные связи, в наибольшей мере влияют на местообитание.

Обычно типичные наземные биоценозы называют по доминирующим видам растений: ельник черничный, березняк широкотравный, дубрава кисличная и т. п. В каждом из них доминируют и определенные виды животных, грибов и микроорганизмов.

Доминантные виды есть в любом биоценозе. В дубраве могучие дубы, используя основную долю солнечной энергии, наращивают наибольшую биомассу, затеняют почву, ослабляют движение воздуха и создают массу удобств для жизни других обитателей леса.

Однако, кроме дубов в дубраве проживает большое количество других организмов. Например, дождевой червь, живущий здесь, постоянно улучшает физические и химические условия почвы, пропуская через свою пищеварительную систему частицы отмерших растений и опавших листьев. Дуб и червь вносят свой особый вклад в жизнедеятельность биоценоза, однако, несмотря на то, что роль червя и важна, роль дуба – определяющая, поскольку вся жизнь дубового леса обуславливается этой древесной породой и связанными с ним растениями. Поэтому, именно дуб является доминирующим видом в таком лесу.

На 0,1 га луга с доминированием овсяницы луговой можно насчитать до 50-60 видов высших растений; на 0,1 га широкотравной дубравы из дуба черешчатого можно насчитать 25-30 видов, а на такой же площади в сосняке мшистом произрастает всего 15-20 видов. Очевидно, что данные биоценозы различаются по видовому богатству, или видовому разнообразию.

Кроме основных доминантов в биоценозе часто выделяют виды, которые занимают второе по численности и значимости место в данном биоценозе. Такие виды носят название ***субдоминанты***. Такие виды имеют важное, но меньшее, чем доминант значение в биоценозе. Например, в сосняке березово–черничном субдоминантом является береза, если она вместе с сосной образует древесный ярус.

Постоянные виды биоценоза, но не являющиеся доминантными, слабо влияющие на фитосреду, называются ***ассектаторами*** (от лат. «assectator» — постоянный спутник).

Не все доминантные виды одинаково влияют на биоценоз. Среди них выделяются те, которые своей жизнедеятельностью в наибольшей степени создают среду для всего сообщества и без которых поэтому существование большинства других видов невозможно. Такие средообразующие виды называют ***эдификаторами*** (от лат. «aedificator» — строитель). Удаление вида-эдификатора из биоценоза обычно вызывает изменение физической среды, в первую очередь микроклимата биотопа. Эдификаторы определяют появление в нём других видов. Например, в березняке с отдельными елями отличие во влиянии на среду елей настолько велико, что в зоне их воздействия радикально изменяется напочвенный покров.

Видовое разнообразие сообщества (число видов, встреченное в определенном местообитании) носит название альфа-разнообразия. Для измерения альфа-разнообразия предложено множество показателей, среди которых обычно используют степень количественной представленности вида. Однако самым простым и надежным показателем является подсчет числа видов на единицу площади.

***Альфа-разнообразие*** характеризует богатство видами отдельных сообществ. Это разнообразие видов внутри местообитания или одного сообщества (локальный уровень), которое характеризуется видовым богатством, то есть числом видов, встречающихся в пределах экосистемы. Основными показателями альфа-разнообразия растительности являются два показателя: видовое богатство – общее число видов в сообществе; и видовая насыщенность - среднее число видов на единицу площади. Одновременный учет видового богатства и видовой насыщенности позволяет получать сопоставимые оценки видового разнообразия при анализе различных сообществ.

Р.Уиттекер (1980) приводит пример увеличения разнообразия видов птиц в сообществах со сходной структурой от умеренного климата к климату тропических

низменностей. Такое увеличение числа видов птиц стало возможно благодаря большему разнообразию местообитаний, т.е. разнообразию сообществ.

***Бета-разнообразие*** характеризует изменчивость показателей альфа-разнообразия в пространстве – по градиентам факторов среды или при переходе от одного типа сообщества к другому. Таким образом, бета-разнообразие – это разнообразие сообществ - это степень изменяемости флористического состава сообществ вдоль градиентов ведущего фактора (изменение климата, увлажнения, высоты над уровнем моря и т.п.). Таким образом, бета-разнообразие – это показатель скорости изменения видового состава биоценоза по пространственным и экологическим градиентам территории. Бета-разнообразие используется в качестве одного из показателей биологического разнообразия. Наиболее, быстрые изменения бета-разнообразия наблюдаются в горах, с характерной для них высотной поясностью. Для его оценки можно использовать результаты классификации данного региона и оценить бета-разнообразие числом установленных типов сообществ.

И, наконец, существует еще один способ оценки разнообразия сообществ. Все видовое богатство региона, объединяющее альфа и бета-разнообразия называется гамма-разнообразие. ***Гамма-разнообразие*** - это видовое разнообразие ландшафтов, или экосистемное разнообразие, которое слагается из разнообразных сообществ. Оно представлено общим разнообразим видов в ландшафте или его части. Простейшим показателем гамма-разнообразия будет конкретная флора, список видов в пределах ландшафта. Другими словами, гамма-разнообразие — разнообразие видов в пределах крупных регионов в соответствии с дифференциацией условий по важнейшим географическим градиентам: широтному, высотному и градиенту «океан – суша». Оно применимо в больших географических масштабах и учитывает число видов на большой территории или континенте.

В 1939 г. немецкий гидробиолог А. Тинеман сформулировал широко известные биоценотические принципы:

а) принцип разнообразия – чем разнообразнее условия биотопа, чем больше видов в биоценозе;

б) принцип отклонения условий – чем выше отклонения условий биотопа от нормы, тем беднее видами и специфичнее биоценоз, а численность особей отдельных составляющих его видов выше.

Примером проявления первого принципа А. Тинемана служит тропический лес, где в условиях очень большого разнообразия среды жизни в биоценозы входит огромное число видов и трудно встретить место, где бы рядом росли два растения одного вида.

Также можно указать на процесс «цветения» водохранилищ равнинного типа (массовое развитие сине-зеленых водорослей в условиях повышенного загрязнения водоемов).

Второй принцип А. Тинемана проявляется в экстремальных биотопах, в том числе монокультуре и местах интенсивного загрязнения среды. В этих местах всегда мало видов, но число особей в них обычно велико, наблюдаются вспышки массового размножения организмов.

Например, в тундре наблюдается периодическое массовое развитие всего двух видов грызунов – леммингов.

## 5.3. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА БИОЦЕНОЗА

Биоценозы обладают рядом признаков и свойств, которые дают представление о характере их структуры. Любой биоценоз слагается из многих видов животных, растений и микроорганизмов, находящихся между собой в сложных взаимосвязях. Последние характеризуют структуру биоценоза. Понятие структуры биоценоза целесообразно рассматривать как общее понятие, включающее состав подчиненных элементов, их взаимное расположение (пространственная или морфологическая структура) и различные взаимоотношения между ними (функциональная структура) и все это в динамике, в изменении как в пространстве, так и во времени. Проблема определения пространственной структуры биоценоза сводится в общих чертах к расчленению его на различающиеся между собой внутриценозные части и выяснению их характера, их связей и меры зависимости их друг от друга и от условий среды.

***Пространственная структура биоценоза включает его вертикальную и горизонтальную структуру.***

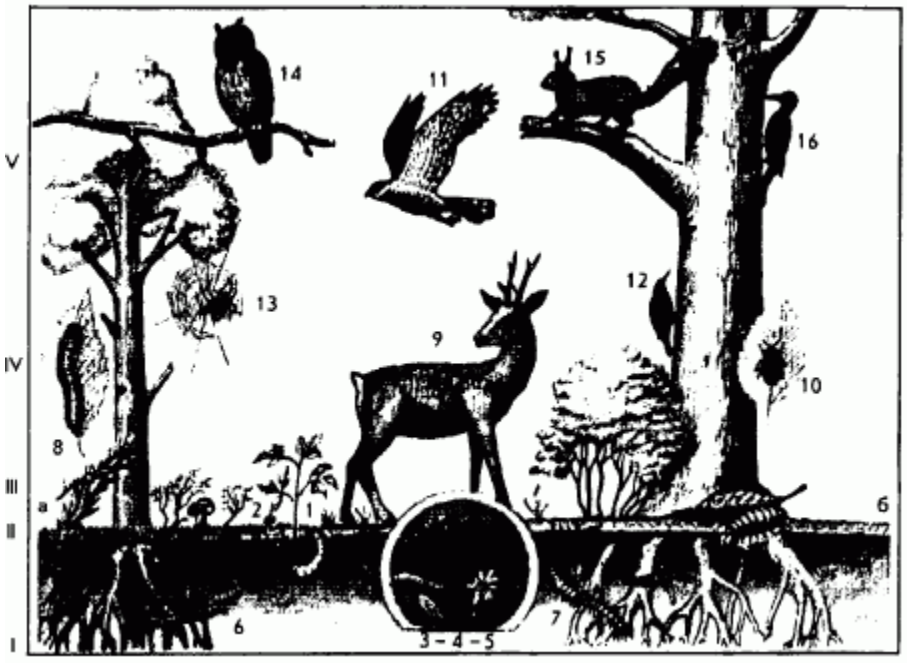



Рис. 5.2. Распределение организмов по ярусам в лиственном лесу:
I - верхние слои почвы; II - поверхность почвы (а - моховой покров с мелкими членистоногими; б - слой опавшей листвы с мокрицами); III - ярус трав; IV - ярус кустарников (подлесок); V - ярус древостоя. 1 - личинки насекомых; 2 - грибы; 3 - бактерии; 4 - круглые черви; 5 - протисты; 6 - дождевой червь; 7- многоножки; 8 - гусеница чешуекрылая; 9 - косуля; 10 - насекомое; 11 - ястреб; 12 - пищуха; 13 - паук; 14 - сова; 15 - белка, 16 – дятел

Вертикальная структура биоценоза образована отдельными его элементами, особыми слоями, которые называются ярусы. Ярус - совместно произрастающие группы видов растений, различающиеся по высоте и по положению в биоценозе ассимилирующих органов (листья, стебли, подземные органы - клубни, корневища, луковицы и т.п.). Как

правило, разные ярусы образованы разными жизненными формами. Наиболее четко ярусность выражена в лесных биоценозах: ельниках, сосняках, дубравах, березняках (рис. 5.2).

Первый древесный ярус здесь обычно формируют высокие деревья с высоко расположенной листвой, которая хорошо освещается солнцем. Это так называемые лесообразующие породы, из которых состоят наши лесные массивы. Неиспользованный свет может поглощаться деревьями поменьше, образующих второй подпологовый ярус.

Оставшиеся около 10% солнечной радиации перехватывается ***ярусом подлеска***. Его составляют кустарники и кустарниковые формы древесных пород, например, орешник, рябина, крушина, ива, яблоня лесная и т.п. На открытых местах, в нормальных экологических условиях, многие кустарниковые формы таких пород как рябина, яблоня, груша имели бы вид деревьев первой величины. Однако под пологом леса, в условиях затенения и нехватки элементов питания, они обречены на существование в виде низкорослых, зачастую не дающих семян деревцев. По мере развития лесного биоценоза, такие породы никогда не достигнут высоты первого древесного яруса и не войдут в его состав. Этим они отличаются от следующего яруса лесного биоценоза.

***Ярус подроста***. К нему относятся молодые невысокие (от 1 до 3-5 м) деревца, *которые в будущем, в перспективе, смогут выйти в первый ярус.* По мере развития биоценоза они могут сменить господствующую породу. Это будущие лесообразующие породы. К ним относятся ель, сосна, дуб, граб, береза, осина, ясень, ольха черная и др. Данные породы образуют основные лесные массивы нашей Республики. И, хотя условия освещенности, увлажнения, питания для них не совсем благоприятны, они, благодаря своей конкурентноспособности, могут в будущем достичь первого яруса, и образовать биоценозы со своим господством.

Незначительная часть солнечной радиации - от 1 до 5% используется растениями травяного покрова, которые образуют ***травяно-кустарничковый яр***ус. Сюда относятся наши лесные травы и кустарнички: ландыш, кислица, земляника, брусника, черника, папоротники.

Напочвенный слой мхов и лишайников формирует ***мохово-лишайниковый ярус***. Итак, схематично в лесном биоценозе выделяются древостой, подлесок, подрост, травяной покров, и мохово-лишайниковый ярус. Следует отметить, что ярусов может быть меньше (например, отсутствуют кустарники), или больше (в сложных смешанных древостоях с несколькими древесными породами). В состав ярусов не включают лианы, эпифиты (растения, проживающие на других растениях, но не являющиеся паразитами, например, мхи и лишайники на стволах деревьев), а также растения-паразиты, которые выделяются в группу ***внеярусной растительности,*** поскольку затруднительно отнести их какому-либо конкретному ярусу. В лесах умеренного пояса можно выделить 2-3 (реже больше) ярусов. В тропических лесах ярусы выделить довольно сложно, хотя разные виды деревьев характеризуются разной высотой.

В травяных сообществах также выделяют ярусы, хотя они менее четко выражены, чем в лесных сообществах. Обычно первый ярус здесь образуют высокие злаки и травы, такие как вейник наземный или чертополох. Затем идет ярус трав средней высоты. Это могут быть мятлик однолетний, клевер луговой, ромашка непахучая и другие виды. К третьему

ярусу можно отнести лапчатку гусиную, вербейник монетчатый, подорожник обыкновенный.

Ярусность свойственна и подземным частям растений. Такие ярусы выделяют по глубине залегания всасывающих частей корней. Ярусность в подземной части биоценоза способствует более продуктивному использованию воды и минеральных веществ в разных горизонтах почвы. Благодаря этому на одной и той же территории может обитать большое количество растений. Подземные ярусы не всегда легко выделить, поскольку основная масса корней приходится на самый верхний слой почвы, глубиной до 20-30 сантиметров. Однако, тем не менее, часто можно выделить 2-3, а то и больше подземных ярусов.

В водных сообществах кроме яруса корней и корневищ различают:

- Ярус надводных трав.
- Ярус плавающих трав.
- Ярус высоких водных трав.
- Ярус низких водных трав.

5. Ярус придонных растений (водоросли).

Подобно распределению растительности по ярусам, в биоценозах разные виды животных также занимают определенные уровни. В почве живут почвенные черви, микроорганизмы, землеройные животные. В листовом опаде, на поверхности почвы живут различные многоножки, жужелицы, клещи и другие мелкие животные. В верхнем пологе леса гнездятся птицы, причем, одни могут питаться и гнездиться ниже верхнего яруса, другие в кустарниках, а третьи возле самой земли. Крупные млекопитающие обитают в нижних ярусах.

Ярусность присуща и биоценозам океана и морей. Разные виды планктона держатся различной глубины, в зависимости от освещения. Также разные виды рыб обитают на разной глубине, в зависимости от того, где они находят себе пропитание.

Особи живых организмов распределены в пространстве неравномерно. Обычно они составляют группировки организмов, что является приспособительным фактором в их жизни. Такие группировки организмов определяют **горизонтальную структуру биоценоза - это горизонтальное распределение особей видов, образующих различного рода узорчатость, пятнистость каждого вида.**

Примеров такого распределения можно привести множество. Огромными косяками передвигаются с место на место многие рыбы. В большие стаи собираются водоплавающие птицы, готовящиеся к дальним перелетам. Северо-американские олени карибу в условиях тундры образуют огромные стада. В южноамериканских тропиках группы муравьев, вооруженные могучими челюстями и жалами, выстраиваются фронтом 20-метровой ширины и идут в атаку, истребляя всех, кто замешкался и не в силах спастись бегством.

Такие же примеры можно привести и для растений: пятнистое размещение особей клевера на лугу, пятна мхов и лишайников в тундре, скопление кустарничков брусники в сосновом лесу, обширные пятна кислицы в еловом лесу, земляничные поляны на светлых лесных опушках.

Наличие горизонтальных элементов биоценоза, мозаичности, имеет довольно важное значение для жизни сообщества. Мозаичность позволяет более полно использовать

различные типы микроместообитаний. Особям, образующим группировки, свойственна высокая выживаемость, они наиболее эффективно используют пищевые ресурсы.

Это ведет к увеличению и разнообразию видов в биоценозе, способствует его устойчивости и жизненности.

К элементарным единицам горизонтального строения растительных сообществ относятся такие структурные единицы как микроценоз и микрогруппировка.

***Микроценоз*** (от греч. «микрос» - малый и «койнос» - общий) - наименьшая по размерам структурная единица горизонтального расчленения сообщества, которая включает все ярусы, обособленная в вертикальном направлении от других окружающих ее микроценозов этого же сообщества и характеризующаяся определенным составом, структурой, динамикой и обладающая некоторой целостностью. Почти каждое сообщество включает в себя комплекс микросообществ или микроценозов.

***Микрогруппировка*** - Сгущение особей одного или нескольких видов в пределах яруса, внутриярусные мозаичные пятна. Например, в моховом ярусе можно выделить различные пятна мхов с доминированием одного или нескольких видов. В травяно-кустарничковом ярусе можно выделить микрогруппировки черничные, чернично-кисличные, голубично-сфагновые и т.п. Иногда термины «микроценоз» и «микрогруппировка» употребляются как синонимы.

Особи разных видов существуют в биоценозах не изолированно, обычно вступают между собой в разнообразные взаимоотношения. Такие прямые и косвенные межвидовые отношения (связи) обычно подразделяются на четыре типа:

- трофические,
- топические,
- форические,
- фабрические.

***Трофические отношения*** возникают тогда, когда один вид в биоценозе питается другим (либо их мертвыми остатками, либо продуктами их жизнедеятельности). Божья коровка, питающаяся тлей, корова на лугу, поедающая сочную траву, волк, охотящийся на зайца - это все при меры прямых трофических связей между видами.

***Топические отношения*** характеризуют изменение условий обитания одного вида в результате жизнедеятельности другого. Ель, затеняя почву, вытесняет светолюбивые виды из-под своей кроны, морские желуди поселяются на коже китов, мхи и лишайники, поселяющиеся на коре деревьев. Все эти организмы связаны друг с другом топическими связями.

***Форические связи*** – участие одного вида в распространении другого. В этой роли обычно выступают животные, переносящие семена, споры, пыльцу растений. Так, обладающие цепляющимися шипами семена лопуха или череды могут захватываться шерстью крупных млекопитающих и переноситься на большие расстояния.

***Фабрические связи*** – тип отношений, при которых особи одного вида используют для своих сооружений продукты выделения, мертвые остатки, либо даже живых особей другого вида. Например, птицы строят гнезда из сухих веточек, шерсти млекопитающих, травы и т.п. Личинки ручейников для строительства своих домиков используют кусочки коры, песчинки, обломки раковин, или же сами раковины с живыми моллюсками мелких видов.

Австралийский атласный шалашник строит свой шалашик из веточек, принося туда различные перья, ягоды, яркие кусочки пластмассы. Все предметы в коллекции только зеленовато-синего цвета, который напоминает окраску его собственного оперения.

## 5.4. КОНТИНУУМ, ЭКОТОНЫ, КРАЕВОЙ ЭФФЕКТ

Границы между биоценозами в природе весьма редко бывают четкие. Тем не менее, такая структурная характеристика биоценозов, как наличие границ обитания различных сообществ, является важным признаком.

Если мы будем оценивать в целом растительный покров Земного шара, то увидим, что он одевает всю поверхность планеты сплошным зеленым ковром (за исключением пустынных и ледниковых зон). Если бы не деятельность человека, то зеленый покров Земли так и оставался бы сплошным и ненарушенным. Человек-же своей деятельностью в одних местах полностью уничтожил зеленое покрывало, в других оставил после своей деятельности пустые голые пятна городов, рудных разработок, рукотворных пустынь.

Однако, благодаря высокой пластичности живых организмов, растения быстро заполняют любую освобождающуюся экологическую нишу и раны, нанесенные природе человеком во многих местах постепенно затягиваются. Если вообще снять влияние человека (антропогенный пресс) на живую природу, то по прошествии определенного периода времени языки растительного покрова, сомкнувшись, снова покроют безжизненную землю. Такое явление уже наблюдается в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, где вот уже больше десяти лет не проявляется никакой хозяйственной деятельности человека. Постепенно дороги, заброшенные деревни и хозяйственные постройки зарастают естественной растительностью.

Таким образом, растения, образующие растительные сообщества, составляют основу, каркас биоценоза. Американский биолог Хатчинсон на вопрос, почему в природе существует такое разнообразие видов животных, отвечал: из-за наличия большого числа видов растений. Действительно, большая растительная биомасса служит животным достаточным источником пищевых ресурсов, причем, ресурсов разнообразных. Следствием этого разнообразия является специализация животных по растительному питанию, непосредственно (при прямом поедании растений) или опосредованно (при поедании мелких животных, селящихся на растениях). Именно поэтому существуют многовидовые биоценозы с большим числом видов растений и животных.

Растения, зеленым океаном покрывающие сушу, создают непрерывную ткань взаимовлияний. Это касается не только сухопутной, но также и водной растительности. Однако, если мы обратим внимание на растительный покров любой местности, то увидим, что он слагается из различных растительных сообществ. Мы можем вполне отчетливо выделить обособленные участки елового или соснового леса, болота, луга и т.п. Такие обособленные участки можно назвать *дискретными единицами* (дискретный - от лат. «discretus» - прерывистый, состоящий из отдельных частей).

Экологу очень часто приходится встречаться с трудностью разграничения биоценозов, располагающихся по соседству друг с другом. Между ними могут быть самые постепенные переходы, но в центральных частях своих участков они почти всегда отчетливо

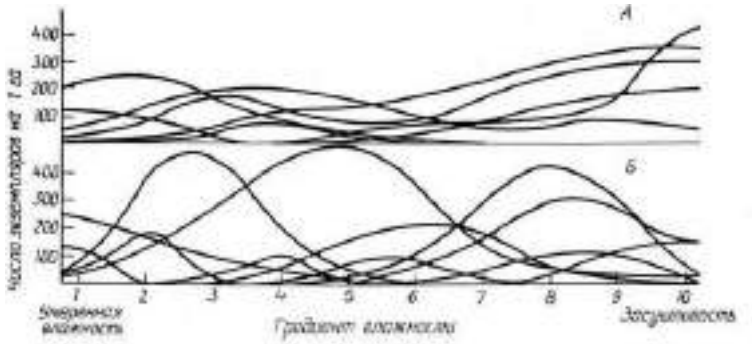
различаются между собою, так что мы без труда относим их к разным типам биоценозов. Таким образом, несмотря на видимое отличие границ между сообществами, мы все же можем выделить некие дискретные или прерывистые единицы.

Каждый вид индивидуально распределяется по экологическим факторам. Кривые распределений разных видов перекрываются, но их оптимумы различаются. По этой причине при изменении условий среды в пространстве (например, от сухой вершины холма к влажному логу) или во времени (при пересыхании озера, при усилении выпаса, при зарастании скал) состав биоценозов изменяется постепенно.

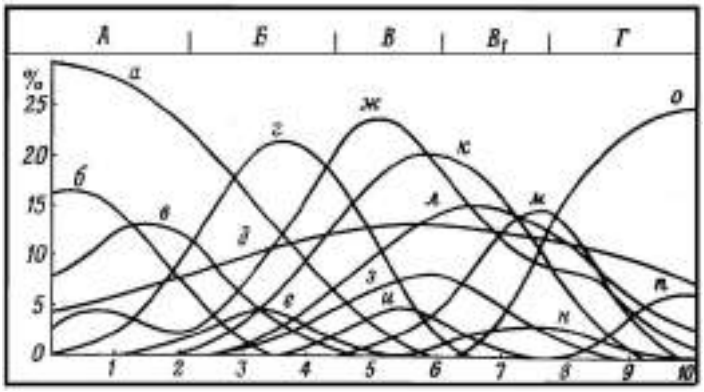
Изменение численности организмов вдоль ряда градиентов среды описывается колоколообразными кривыми, напоминающими кривые толерантности. Эти кривые имеют тенденцию варьировать независимо друг от друга и часто широко перекрываются (рис. 5.3), свидетельствуя о том, что у популяции каждого вида имеются свои специфические требования к среде, свой диапазон толерантности к местообитанию, а следовательно, и своя собственная зона максимального доминирования.

Данный принцип индивидуальности экологии видов был сформулирован в 1910 г. двадцатишестилетним ученым Леонтием Григорьевичем Раменским: «...каждое растение по своему, своеобразно распределено по условиям среды, входя в ряд определенных группировок с другими видами. Нет двух кривых обилия, которые бы совпадали или были вполне параллельны друг другу: все кривые сложно пересекаются, на различных уровнях ориентируя свою вершину (уровень наибольшего обилия) и имея форму симметричную или неравнобокую, растянутую или сжатую с боков (стенотопные виды) и т.д. Видовая специфичность распределения несомненно является отражением факта физиологического своеобразия каждого вида организмов. Нет сомнения, что реакция каждого организма на внешние условия своеобразна; было бы непонятной странностью если бы, вопреки этому, растения в природе маршировали в ногу».

Важным следствием принципа индивидуальности экологии видов является постепенность изменения состава растительных сообществ и экосистем вдоль градиентов среды и во времени (т.е. в ходе сукцессии, см. ниже). Это положение легло в основу концепции о растительном покрове, как явлении непрерывном, выдвинутой Л.Г. Раменским и американским экологом Генри Глизоном.




I




II

Рис. 5.3. I - Распределение популяций некоторых видов растений по градиенту влажности от сравнительно влажных долин до сухих юго-западных склонов в горах северной Калифорнии (А) и в горах на юге Аризоны (Б)
II - Схема распределения популяций доминантных видов деревьев по гипотетическому градиенту (встречаемость видов древесных растений по градиенту высоты над уровнем моря). Вид д присутствует по всему градиенту, по видам а, г, ж, к, и о, в могут быть выделены подсообщества А, Б, В, $В_1$ и Г

Характеризуя растительность, Раменский писал: «Растительность - в основе явление непрерывное... Обычно устанавливаемые исследователями границы единиц растительности отражают не действительные природные отношения, а главным образом условные приемы исследования, отсутствие действительно количественных определений и недостаточность, отрывочность материала описаний. ...Прерывность растительного покрова только относительна, так как имеется переходная полоса, хотя бы и узкая...».

Непрерывность, как свойство растительного покрова, носит название континуума. ***Континуум - это свойство растительности существовать в виде непрерывного покрова.*** Справедливости ради следует сказать, что общепринятого определения континуума не существует. Общее определение континуума выглядит следующим образом: ***континуум*** - это свойство растительного покрова, выражающееся в том, что любые два произвольно выбранных примыкающих друг к другу участка, независимо от их размеров и способа определения их границы, всегда имеют общие признаки. Это свойство проявляется как на уровне растительного покрова в целом, так и на уровне его элементов.

В связи с тем, что выделение разнокачественных растительных сообществ в пределах непрерывного их ряда невозможно, современные экологи отмечают, что ***растительному покрову присущи свойства как континуальности, непрерывности, так и относительной дискретности***, которые выражены одновременно и всюду. Другими словами, континуум и дискретность представляют не что иное, как противоположности, всегда находящиеся в единстве. Иногда более заметным бывает континуум, иногда дискретность, но всегда эти два качества бывают налицо.

Следует также иметь в виду, что континуум и дискретность проявляются в растительном покрове не только в пространстве, но и во времени: в сезонных изменениях, в разногодичных колебаниях или флуктуациях и в разного рода сменах растительных сообществ.

В экологии свойство непрерывности растительного покрова распространяется в целом на непрерывный ряд популяций, биоценозов, обусловленный изменением градиента экологических факторов. Вполне очевидно, что континуум растительности и всей биоты (совокупности живых организмов, объединенных общей областью распространения) в целом проявляется на фоне континуума абиотической среды. Постепенное изменение градиентов условий среды, абиотических факторов, обуславливает существование непрерывной ткани взаимовлияний различных организмов.

Единство прерывности и непрерывности биотического покрова, «живого вещества» по В. И. Вернадскому, является основой существования и развития жизни на Земле.

С проблемой континуальности связана проблема определения границ биоценозов. Хотя различные биоценозы и представляют собой естественные экосистемы с определенной степенью целостности и очерченными границами, провести четкие границы между биоценозами не всегда представляется возможным. Сухой лес постепенно переходит в увлажненный луг, который сменяется совсем влажным болотом. Визуально мы отграничим лес от луга и болота, но сказать четко, где проходит линия границы мы не в состоянии. В подавляющем большинстве случаев мы будем иметь дело со своеобразной переходной полосой различной ширины и длины, потому что жесткие, резкие границы в природе - редкое исключение. Они характерны главным образом для сообществ, подверженных интенсивному антропогенному воздействию. Такая переходная полоса (или зона) между смежными физиономически различимыми сообществами называется ***экотон*** (рис. 5.4).

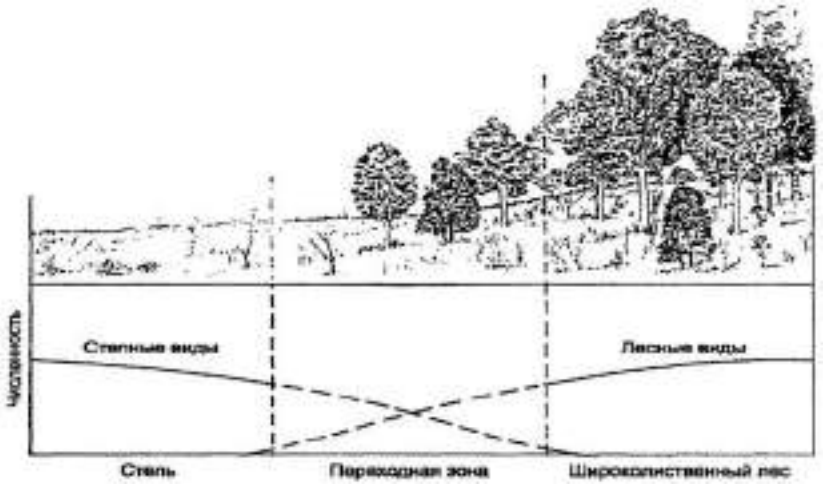



Рис. 5.4. Краевой эффект (переходная зона) между биоценозами леса и луга

Более или менее резкие границы между биоценозами можно наблюдать лишь в случаях резкого изменения факторов абиотической среды. Например, такие границы существуют между водными и наземными биоценозами, в местах, где происходит резкая смена минерального состава почвы и т.п. В целом же, говоря об экотоне мы имеем в виду

переходную полосу между соседними (двумя или несколькими) контактирующими биоценозами, некую зону контакта, высокой биологической активности, где присутствуют организмы как из одного, так и из другого биоценоза. Поэтому часто количество видов в экотоне превышает количество их в каждом из граничащих биоценозов. ***Такое явление - тенденция к увеличению разнообразия и плотности организмов на границах биоценозов носит название краевой эффект.*** Наиболее отчетливо краевой эффект проявляется в зонах, отделяющих лес от луга (зона кустарников), лес от болота и т.д. Экологами отмечено, что максимальные изменения происходят на опушках: на границах сгущений разного рода, имеющих свои законы смещения и обмена вещества. Поэтому синонимом понятия «краевой эффект» в экологии является термин «опушечный эффект».

## 5.5. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НИША

*Вальдшнепы любят тихий лес,*
*Вьюрки – кустарник горный,*
*А цапли с вышины небес*
*Стремятся в край озерный.*
*Дрозды в орешнике живут,*
*В тиши лесной полянки,*
*Густой боярышник – приют*
*Веселой коноплянки.*
*У каждого обычай свой,*
*Свой путь, свои стремленья.*
**Р. Бернс – шотландский поэт**

Эрнест Геккель одним из первых подошел к такому важному теоретическому обощению, как экологическая ниша. Он писал: «… для каждого отдельного вида в экономии природы имеется определенное число мест».

Видимо, первым данный термин предложил американский биолог Р. Джонсон в 1910 г для обозначения самой малой единицы территориального распространения вида (при описании распространения божьих коровок). В экологическую терминологию понятие экологической ниши было введено американским зоологом-натуралистом Дж.Гриннеллом (1914) и английским экологом Ч.Элтоном (1927). Гриннелл предложил термин «ниша» при описании птиц – пересмешников Калифорнии. Он отмечал, что особенности их питания, гнездования и другие адаптации определяют место этой популяции в сообществе, т.е. экологическую нишу. Под термином «ниша» Гринелл понимал самую мелкую единицу распространения вида. Он характеризовал нишу как взаимосвязанный комплекс адаптаций организмов к условиям существования в определенном местообитании. Среди данных адаптаций он отдавал первенство трофическим, т.е. составу пищи и способу кормодобывания, а ведущим адаптивным признаком считал кормовое поведение, которое влияет на выбор животными кормовых субстратов, или микроместообитаний, что, как следствие, определяет биотопические предпочтения и ареал видов, их морфологию и состав пищи. При определении ниши Гринелл уделял большое внимание чисто пространственному распределению видов относительно друг друга.

Элтон описывал нишу как место данного организма в биотической среде, как позицию вида в зависимости от других видов в сообществе, его положение в цепях питания. При определении ниши он подчеркивал особую важность трофических связей.

Экологическая ниша – это совокупность факторов среды, в которых обитает тот или иной вид организмов, его место в природе, в пределах которого данный вид может существовать неограниченно долго.

Начиная с середины XX века, интерес экологов переместился к изучению отдельных параметров ниши. В основе этих исследований лежала концепция многомерной экологической ниши американского эколога Ивлина Хатчинсона. Он дал классическое определение экологической ниши, согласно которому экологическая ниша представляет собой часть воображаемого многомерного пространства (гиперобъема), отдельные измерения которого соответствуют факторам, необходимым для нормального существования вида и внутри которого сложившиеся условия дают возможность организму обитать неопределенно долго.

Общую совокупность значений всех факторов, при которых данный организм может существовать, Хатчинсон называл ***фундаментальной нишей***. Это некое абстрактно заселенное гиперпространство, или гиперобъем, когда вид не ограничен биотическими взаимодействиями (конкуренцией, хищничеством и пр.), в пределах которого условия среды допускают длительное существование особи или популяции. Осями этого пространства могут быть параметры среды (пространственная ниша), взаимоотношений вида с «соседями» (трофическая ниша). Фундаментальная ниша определяется только физиологическими (потенциальными) особенностями организмов, наследственно закрепленными его генотипом. Реализация этих потенций зависит от степени соответствия существующих условий конкретного биотопа потребностям вида и поэтому характеризует фенотип вида.

Почему фундаментальная ниша – это абстрактное понятие?

Во-первых, она может существовать только в условиях отсутствия ограничений со стороны конкуренции с другими видами и при оптимуме абиотической среды. Этого в природе добиться невозможно.

Во-вторых, наглядному изображению многомерный объем (в котором более трех измерений) не поддается. Однако, мысленно этот процесс можно продолжить в виде абстрактного представления. И тогда экологическую нишу можно представить себе как n-мерную фигуру («гиперобъем»).

Реальный же диапазон условий, в которых организм существует на самом деле - меньший, чем фундаментальная ниша - тот, в пределах которых вид реально встречается в природе. Такая ниша носит название ***реализованной ниши***. Реализация потенциальных возможностей зависит от степени соответствия существующих условий конкретного биотопа потребностям вида и поэтому характеризует фенотип вида. Реализованная ниша – та часть фундаментальной ниши, которую данный вид (популяция) в состоянии «отвоевать» в конкурентной борьбе. Таким образом, реализованная экологическая ниша как бы вложена в фундаментальную и почти всегда меньше последней.

Экологическую нишу можно также определить как место вида в природе, включающее не только положение вида в пространстве, но и функциональную роль его в сообществе

(например, трофический статус) и его положение относительно абиотических условий существования (температуры, влажности и т.п.) (рис. 5.5).

Большинство видов растений и животных могут существовать только в специальных нишах, в которых поддерживается определенные физико-химические факторы, температура и источники питания. После того, как в Китае, например, началось уничтожение бамбука, панда, чей рацион на 99 % состоит из бамбука, оказалась на грани вымирания.

Отметим, что необходимо отличать понятие «экологическая ниша» от понятия «местообитание» (среда обитания). Оба понятия частично перекрываются, но термин «местообитание» обозначает лишь пространство, где распространяется и обитает определенный вид, тогда как термин «экологическая ниша» включает в себя ту роль, функцию, который выполняет данный вид в среде обитания. Местообитание вида – это совокупность отвечающих его требованиям участков в пределах видового ареала. Это та часть пространства, которая заселена видом и которая обладает необходимыми абиотическими условиями для его существования. Местообитание вида является важным компонентом его экологической ниши.

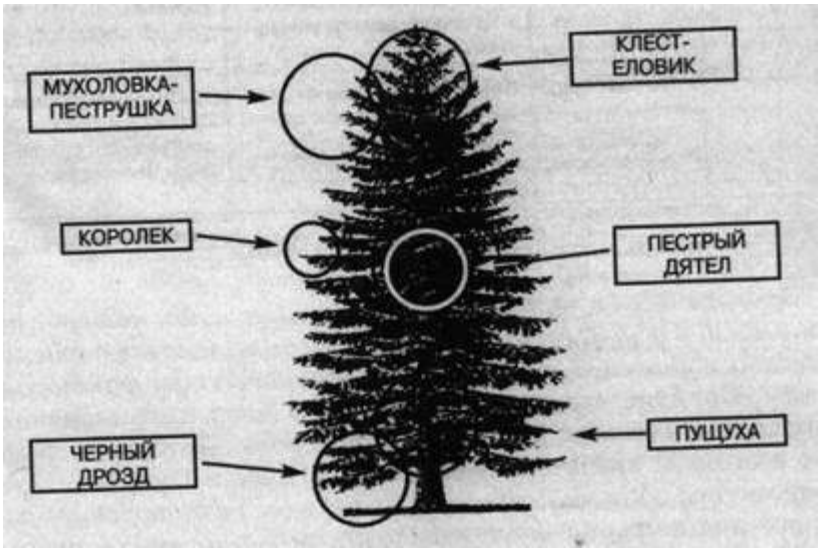



Рис. 5.5. Экологические ниши некоторых птиц, населяющих хвойные леса

Американский эколог Роберт Мак-Артур при изучении распределения экологических ниш предложил *принцип «плотной упаковки» экологических ниш*. Он гласит: виды, объединенные в сообщество, стремятся использовать все возможности для существования, с минимальной конкуренцией и максимальной биологической продуктивностью. Другими словами, в естественных сообществах, организмы стремятся использовать все возможности для существования, предоставляемые средой, и максимизировать биопродуктивность в конкретном биотопе. Процесс упаковки или дифференциации экологических ниш ведет к снижению конкуренции в сообществе, разделу ресурсов, пространства и функциональной специализации организмов (например, опылителей). Пространство при этом заполняется с наибольшей полнотой.

Следует отметить, что у совместно живущих видов экологические ниши могут частично перекрываться, но полностью никогда не совпадают, иначе при этом вступает в

действие закон конкурентного исключения (принцип Гаузе), и один вид вытесняет другой из данного биоценоза. Если же по какой-то причине, например, при вымирании какого-либо вида «освобождается» экологическая ниша, проявляется *правило обязательности заполнения экологических ниш*: пустующая экологическая ниша тут же заполняется другим видом. В результате пожаров в лесах высвобождаются (оголяются) отдельные зоны. Такие освободившиеся участки неизменно заселяются вновь.

Кролики в Австралии размножились в невероятном количестве только из-за того, что была свободна экологическая ниша, которую они заняли. Иногда такое внедрение инородного вида в экосистему с незанятыми экологическими нишами - бедствие, иногда такое расселение может служить человеку. Возьмем, например, такого зверька как ондатра. Ее родина – Северная Америка. Ученые сравнили животный мир водно-болотных ландшафтов Северной Америки и Евразии. Оказывается, очень много сходного. И вот в конце 20-х годов этот крупный грызун с довольно ценным мехом был завезен на территорию России и поселен на Соловецких островах в Белом море и у берегов Камчатки. Позже ондатру стали акклиматизировать в пресных водоемах. Сейчас она обычна на территории бывшего Советского Союза. Зверек занял свободную экологическую нишу: берега и мелководья рек, озер и болот. Да и корма в достатке – огромная биомасса водных растений.

Одна из основных проблем, стоящих перед членами одного сообщества, будь это растения или животные, - это распределение жизненного пространства. Для этого организмы приспособились разделять, разграничивать экологические ниши, причем, это может быть пространственное или временное разделение ниш. Птицы, обитающие в разных местах крон деревьев, могут никогда не сталкиваться с птицами, обитающими в листве кустарников. Многие млекопитающие, например, речные бобры, метят территорию своего проживания пахучими выделениями, другие оповещают соседей предостерегающими криками. Цветковые растения распускают свои цветы в разное время года, приспосабливаясь к разносезонным насекомым.

Закон конкурентного исключения Г.Гаузе (см. выше) для близких по экологии видов в свете учения об экологической нише может быть сформулирован таким образом: два вида не могут занимать одну и ту же экологическую нишу. Конкурирующие виды, обитающие совместно, для ослабления конкуренции часто «разделяют» имеющиеся ресурсы. Самый типичный пример такого разделения – деление на животных, активных днем, и проявляющих свою активность ночью.

Летучие мыши (каждое четвертое в мире млекопитающее принадлежит к этому подотряду рукокрылых) делят воздушное пространство с другими охотниками на насекомых – птицами, используя смену дня и ночи. Птицы господствуют в небе днем, а ночью во всю охотятся летучие мыши. Правда, у них есть несколько относительно слабых конкурентов, таких, как совы и козодои.

Похожее разделение экологических ниш на дневную и ночную смену наблюдается и у растений. Одни растения распускают цветки днем (большинство дикорастущих видов), другие – ночью (любка двулистная, душистый табак). При этом ночные виды испускают еще и привлекающий опылителей аромат.

Размерность экологической ниши в природе может быть самой различной. Одни организмы могут существовать в широких экологических амплитудах, и тем самым расширять свою экологическую нишу Другие же наоборот эволюционно приспособились к

довольно узким экологическим нишам. Удивительный пример такого сужения экологической ниши можно наблюдать у одного из азиатских видов комаров. Обитающий в Таиланде один из малярийных комаров Anopheles dirus размножается исключительно только в заполненных дождевой водой ямках, образующихся в лесу от следов ног, оставленных слонами!

Еще примеры. Несколько лет назад в непроходимом лесу гавайского острова Мауи был обнаружен новый вид птиц Melamprosops phaeosoma, относящийся к семейству гавайских цветочниц. Местообитание этих птиц простирается всего лишь на несколько квадратных километров.

Ареал оранжевой жабы (Bufo periglenes) охватывает вершину одной-единственной горы в Коста-Рике. Всего за несколько часов весь лес здесь можно вырубить. Тогда золотистой жабе и подобным ей эндемикам (местным видам, обитающим только в данном регионе) придет конец.

В густонаселенной зоне Тропической Африки прекрасно себя чувствует червь, нашедший пристанище под веками гиппопотама и питающийся исключительно слезами этого животного. Более узкую нишу трудно себе представить.

# ГЛАВА 6. ЭКОСИСТЕМНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Основным объектом изучения экологии являются экологические системы, или экосистемы. Экосистема является следующим после биоценоза надорганизменным уровнем живой природы. Говоря о биоценозе, мы рассматривали только живые организмы. Если же объединить живые организмы (биоценоз) вместе с факторами окружающей среды, то это уже экосистема. Таким образом, экосистема - природный комплекс (биокосная система), образованный живыми организмами (биоценоз) и средой их обитания (например, атмосфера — косной, почва, водоем — биокосной и т.д.), связанными между собой обменом веществ и энергии. Экосистемный уровень организации живого является объектом экологических исследований.

Общепринятому в экологии термину «экосистема» мы обязаны английскому ботанику Артуру Тенсли. В 1935 году в публикации «Правильное и неправильное использование ботанических терминов» он впервые ввел привычный для нас сейчас термин «экосистема». Это наиболее известное достижение А.Тенсли, увековечившее его имя в экологической науке. Тенсли разъяснял: «Из обстоятельств, что животный мир опосредованно или непосредственно зависит от растительности, получая от них пищу, а нередко и убежище, и что животные влияют разнообразным и обширным образом на растительность, причем некоторые виды растений зависят от животных, которые делают возможным их существование, ясно, что животное население и растительность одной и той же местности тесно связаны между собой».

Он считал, что экосистемы, «с точки зрения эколога представляют собой основные природные единицы на поверхности земли», в которые входит «не только комплекс организмов, но и весь комплекс физических факторов, образующих то, что мы называем средой биома, — факторы местообитания в самом широком смысле». Тенсли подчеркивал, что для экосистем характерен разного рода обмен веществ не только между организмами, но и между органическим и неорганическим веществом. Это не только комплекс живых организмов, но и сочетание физических факторов.

Главным предметом исследования при экосистемном подходе в экологии становятся процессы трансформации вещества и энергии между биотой и физической средой, т. е. возникающий биогеохимический круговорот веществ в экосистеме в целом. Это позволяет дать обобщенную интегрированную оценку результатов жизнедеятельности сразу многих отдельных организмов многих видов, так как по биогеохимическим функциям, т. е. по характеру осуществляемых в природе процессов превращения вещества и энергии, организмы более однообразны, чем по своим морфологическим признакам и строению. Например, все высшие растения потребляют одни и те же вещества, все они используют свет и благодаря фотосинтезу образуют близкие по составу органические вещества и выделяют кислород.

В настоящее время концепция экосистемы — одно из наиболее важных обобщений биологии и экологии. Концепция экосистемы исходит прежде всего из того, что живые организмы и их непосредственное неживое окружение находятся в тесной и постоянной связи друг с другом. Таким образом, живая составляющая и среда обитания объединены в

единое функциональное целое, возникающее на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей, существующих между отдельными экологическими компонентами.

Широкому распространению идеи экосистемы способствовала гибкость самого понятия, так как к экосистемам можно относить биотические сообщества любого масштаба с их средой обитания - от пруда и озера до Мирового океана, и от пня или муравейника в лесу до обширного лесного массива, например, тайги. К тому же немаловажное значение имеет и то, что сейчас как никогда остро встали вопросы охраны биосферы и теоретического обоснования природоохранных мероприятий, которые опираются прежде всего на концепцию биотических сообществ - экосистем.

## 6.1. ПОНЯТИЕ ЭКОСИСТЕМЫ

*Невозмутимый строй во всем,*
*Созвучье полное в природе -*
*Лишь в нашей призрачной свободе*
*Разлад мы с нею сознаем.*
*Откуда, как разлад возник?*
*И отчего же в общем хоре*
*Душа не то поет, что море,*
*И ропщет мыслящий тростник?*

**Ф.Тютчев – русский поэт**

Понятие экосистемы является ключевым для каждого, кто стремится узнать и понять, как устроен мир. Экосистемы являются своего рода «кирпичиками», из которых слагается одна большая общая живая система - биосфера. Экосистема - это фундаментальное понятие, обозначающее общность живого и среды его обитания.

Всюду, где мы наблюдаем отчетливое единство растений и животных, объединенных отдельным участком окружающей среды, мы имеем пример экосистемы.

Примеры экосистем: пруд с обитающими в нём растениями, рыбами, беспозвоночными животными, микроорганизмами, донными отложениями, с характерными для него изменениями температуры, количества растворённого в воде кислорода, состава воды и т.п.; лес с лесной подстилкой, почвой, микроорганизмами, с населяющими его птицами, травоядными и хищными млекопитающими, с характерным для него распределением температуры и влажности воздуха, света, почвенных вод и др. факторов среды, с присущим ему обменом веществ и энергии. Гниющий пень в лесу, с живущими на нём и в нём организмами и условиями обитания, тоже можно рассматривать как экосистему.

Под ***экосистемой*** в настоящее время понимают ***любую совокупность совместно обитающих живых организмов и условий их существования (среда обитания), объединенную в единое функциональное целое потоками энергии и биологическим круговоротом веществ.*** Экосистема представляет собой природный комплекс, образованный живыми организмами (биоценоз) и средой их обитания. Это фундаментальная общность живого и среды его обитания, любая совокупность совместно обитающих живых организмов и условий их существования (среда обитания) (рис. 6.1).

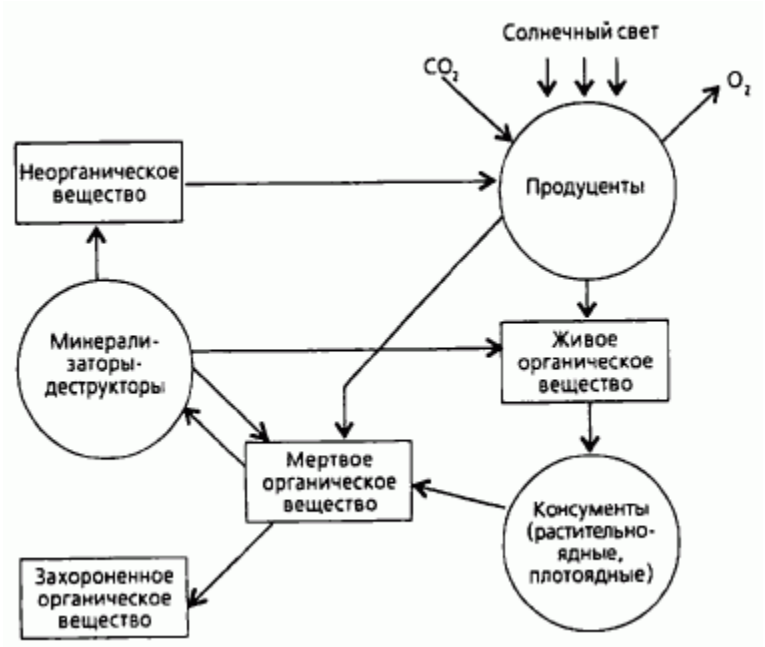



Рис. 6.1. Функциональная структура экосистемы и потоки вещества в экосистеме

Таким образом, экосистема представляет собой функциональное единство живых организмов (животные, растения, грибы, микроорганизмы) и среды их обитания (климат, почва, водная среда) (рис. 6.2).

Приведем еще одно классическое определение экосистемы одного из наиболее авторитетных экологов современности Юджина Одума: «Любая единица (биосистема), включающая все совместно функционирующие организмы (биотическое сообщество) на данном участке и взаимодействующая с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенные биотические структуры и круговорот веществ между живой и неживой частями, представляют собой экологическую систему, или экосистему».

Для поддержания круговорота веществ в системе необходимо наличие запаса неорганических молекул в усвояемой форме и трех функционально различных экологических групп организмов: продуцентов, консументов и редуцентов.

Продуцентами выступают автотрофные организмы (зеленые растения), способные строить свои тела за счет неорганических соединений. Консументы– это гетеротрофные организмы (животные, паразитические растения), потребляющие органическое вещество продуцентов или других консументов и трансформирующие его в новые формы. Разлагают отмершие останки живых существ редуценты (бактерии, грибы), которые живут за счет мертвого органического вещества, переводя его вновь в неорганические соединения (рис. 6.3).

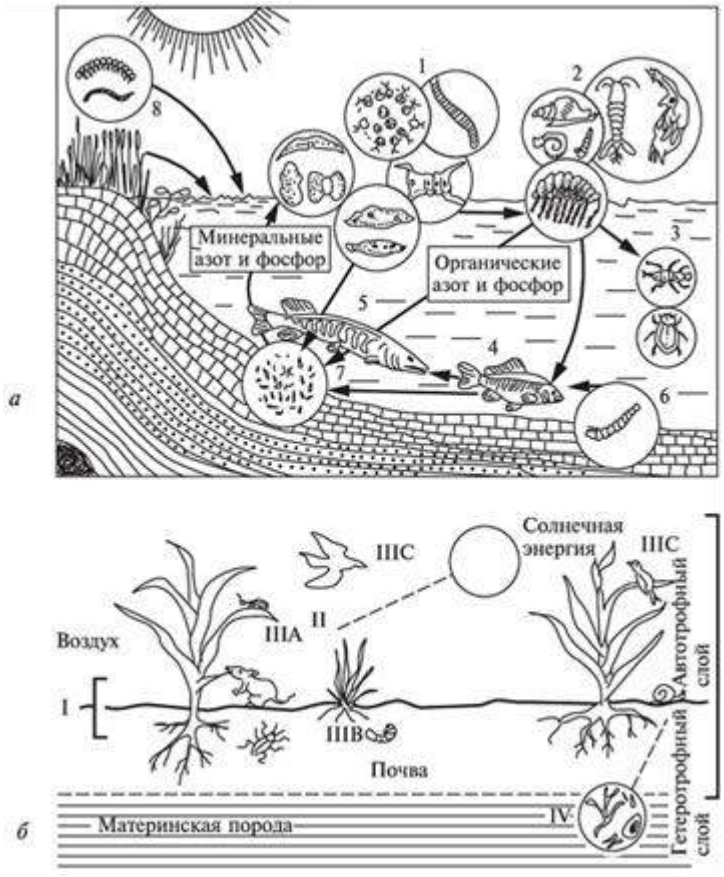



Рис. 6.2. Различные экосистемы: ***а*** — пруда средней полосы (1 — фитопланктон; 2 — зоопланктон; 3 — жуки-плавунцы (личинки и взрослые особи); 4- молодые карпы; 5 — щуки; 6 — личинки хирономид (комаров-дергунцов); 7- бактерии; 8 — насекомые прибрежной растительности; ***б*** — луга (I — абиотические вещества, т.е. основные неорганические и органические слагаемые); II- продуценты (растительность); III- макроконсументы (животные): A — травоядные (кобылки, полевые мыши и т.д.); B — косвенные или питающиеся детритом консументы, или сапробы (почвенные беспозвоночные); C- «верховые» хищники (ястребы); IV- разлагатели (гнилостные бактерии и грибы)

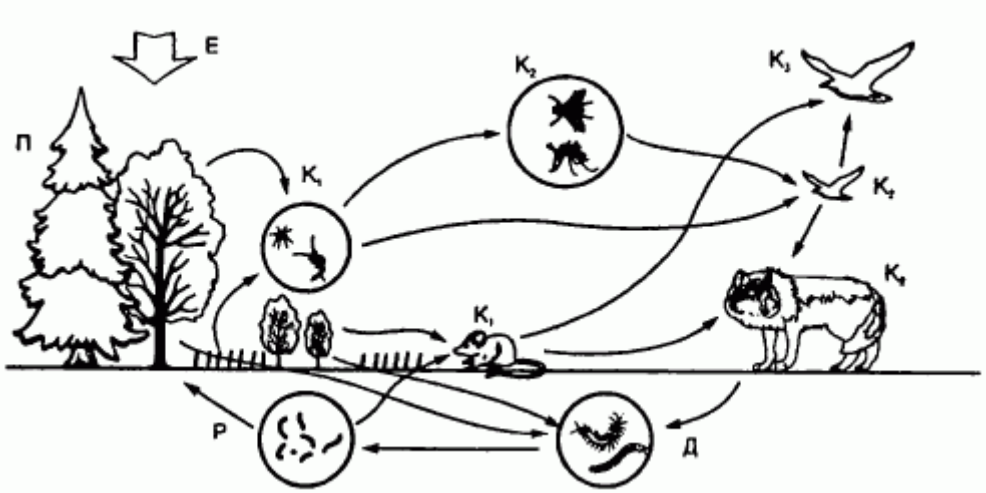


Рис. 6.3. Схема наземной экосистемы: энергия солнечного света (Е) поглощается растениями-продуцентами (П) и преобразуется в химическую энергию органических веществ. В цепи консументов (К1 - К3) органические вещества частично деградируют; процесс продолжают почвенные животные-деструкторы (Д) и завершают микроорганизмы-редуценты (Р). На каждом этапе значительная часть энергии используемых органических веществ рассеивается в виде тепла. Деструкторов и редуцентов часто объединяют в единую группу под любым из этих названий, объединяя тем самым процессы физического и химического разрушения и минерализации органики

## 6.2. ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Любой естественной экологической системе присущи некоторые особенности. Прежде всего, экосистему следует рассматривать как информационно саморазвивающуюся, термодинамически открытую совокупность биотических экологических компонентов и абиотических источников вещества и энергии. Для существования экологической системы необходимо прохождение через нее потока энергии, материи, информации.

Экосистемы (как и все биологические системы) представляют собой системы открытые, поэтому важной составной частью концепции экосистемы является среда на входе и среда на выходе. Пример открытых термодинамических систем - люди, животные, растения, водоемы, океан, Земной шар в целом и пр. Для открытых систем характерен обмен веществом и энергией с окружающей средой. К примеру, для биосферы нашей Земли средой на входе будет являться энергия Солнца, земное и космическое вещество, а на выходе – осадочные биогенные породы и уходящие в космос газы.

Термодинамическая система, которая может обмениваться с окружающей средой теплом и энергией, но не веществом, является закрытой системой (примером закрытой системы можно считать термос или космический корабль). Изолированная система не может обмениваться с окружающей средой ничем (пример — герметично упакованные продукты - бутылки с газированной водой, пакеты с чипсами). Характеристика систем различного типа представлена в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Обмен веществом и энергией в системах различного типа

| Тип системы | Обмен веществом | Обмен энергией |
|---|---|---|
| Изолированная | нет | нет |
| Закрытая | нет | да |
| Открытая | да | да |

Следующая особенность: в экосистеме все входящие в нее компоненты (в том числе абиотические) взаимосвязаны и функционально соответствуют друг другу. Выпадение одной части системы (например, уничтожение вида) неминуемо ведет к исключению всех тесно связанных с ним видов и функциональному изменению экосистемы в целом. Такое положение находит отражение в принципе экологической комплементарности (дополнительности): никакая функциональная часть экосистемы (экологический компонент, элемент и т. д.) не может существовать без других функционально дополняющих частей.

И еще: понятие «экосистема» можно применить к объектам различной степени сложности и разного размера. Это может быть частичка почвы и капля воды, кочка на болоте и само болото, лужа, озеро и океан, луг, лес, Земля в целом. Понятие «экосистема» является безранговым, обладает признаком безразмерности, ей не свойственны территориальные ограничения. Обычно экосистемы разграничиваются элементами абиотической среды, например рельефом, видовым разнообразием, физико-химическими и трофическими условиями и т.п.

И хотя экосистема обладает свойством безразмерности, безранговости, все же каждая конкретная из них имеет свои собственные границы. Кажущийся парадокс можно объяснить исходя из концепции континуальности (непрерывности) живого на планете. Очевидные границы в природе провести невозможно – отсюда безграничность экосистем (не в смысле протяженности, а в смысле невозможности провести реальную границу). И поэтому ученый-эколог в каждом конкретном случае проводит ту границу природного объекта, в пределах которого ему удобно проводить экологические исследования и получать репрезентативные результаты. Например – кто-то хочет изучать озеро Нарочь в целом; кто-то лишь правый (или левый) берег озера; другой предметом исследования делает заросли тростника и камышей на берегу озера, а кто-то живое население валуна, омываемого водой на берегу озера. Как видим, границы предмета исследования каждый ученый проводит по-своему, но каждый изучает отдельную экосистему.

Таким образом, любые пространственные ограничения экосистемы всегда условны. Допустим, нам надо изучить пчелиную семью. Ее можно изучать как таковую, ограничиваясь объемом улья, оборудовав его необходимыми датчиками и прозрачными стенками. Граница исследований будет определяться стенками улья. Однако, при необходимости оценки источников питания пчелиной семьи, исследования будут определяться дальностью полета пчелы, а сами они включат в себя также геоботанический спектр территории, охваченной пчелами этой семьи. Следовательно, границы экосистемы в общем случае определяются целями ее исследования.

Как видно, экосистемы могут быть очень разными по размерам: небольшая лужа в несколько квадратных метров является экосистемой, но в то же время и лесной массив в несколько сотен гектаров также представляет собой экосистему. Следовательно, площадь не является основным признаком экосистемы.

Размер экосистемы не может быть выражен в физических единицах измерения (площадь, длина, объем и т.д.). Он выражается системной мерой, учитывающей процессы обмена веществ и энергии. Поэтому под экосистемой обычно понимается совокупность биотической (живые организмы) и абиотической среды, при взаимодействии которых происходит более или менее полный биотический круговорот, в котором участвуют продуценты, консументы и редуценты. Термин «экосистема» применяется и по отношению к искусственным образованиям, например экосистема парка, сельскохозяйственная экосистема.

Экосистемы по их размерности можно разделить на микроэкосистемы (экосистема гниющего пня или дерева в лесу, прибрежные заросли водных растений), мезоэкосистемы (болото, сосновый лес, ржаное поле) и макроэкосистемы (океан, море, пустыня).

Для естественной экосистемы характерны три признака:

1) экосистема обязательно представляет собой совокупность живых и неживых компонентов;

2) в рамках экосистемы осуществляется полный цикл круговорота веществ, начиная с создания органического вещества и заканчивая его разложением на неорганические составляющие;

3) экосистема сохраняет устойчивость в течение определенного времени.

Пространственная разграниченность экосистем в одних случаях может быть выражена относительно отчетливо, в других - границы между ними могут быть только условными. Для эколога, изучающего структуру экосистем, удобно пользоваться естественными границами (например, край болота, опушка леса, берег реки или озера). В любом случае выделение экосистем правомочно лишь в том случае, если имеет место приток из окружающей среды не только энергии, но и определенного количества вещества.

Существование экосистемы возможно лишь при притоке из окружающей среды не только энергии, но и большего или меньшего количества вещества. Поэтому все экологические системы, в совокупности слагающие биосферу Земли, принадлежат к открытым системам, обменивающимся с окружающей их средой веществом и энергией.

Их стабильность создается и регулируется взаимодействием круговорота веществ и потоков энергии. Исходя из общей теории систем, концепция экосистемы, как открытой системы, должна учитывать специфику связанных между собой среды на входе и среды на выходе. К примеру, для биосферы нашей Земли средой на входе будет являться энергия, земное и космическое вещество, а на выходе - осадочные биогенные породы и уходящие в космос газы.

Все компоненты экосистем взаимосвязаны между собой, устойчивое соотношение видов сложено веками. Поэтому появление в ней любого нового вида, не свойственного данной экосистеме может нарушить естественное равновесие.

Примеров множество. Наиболее известные относятся к экосистемам пятого континента - Австралии. История Австралии богата примерами неудачной интродукции живых организмов. В 1935 году в Австралийском Квинсленде для борьбы с насекомыми-вредителями сахарного тростника было выпущено 60 000 особей тростниковых жаб, но заросли сахарного тростника в качестве среды обитания этим земноводным пришлись не по душе, и они разбрелись повсюду, оставив насекомых-вредителей в полном здравии (рис. 6.4).

Рис. 6.4. Тростниковая жаба

Некоторые особи тростниковых жаб могут достигать 40 см в длину. На плохой аппетит эти земноводные тоже не жалуются, «в расход» у них идёт буквально всё. К великому сожалению, токсичные выделения кожи жаб не пришлись по вкусу австралийским хищникам, и самый сухой

континент планеты в очередной раз столкнулся с неконтролируемым ростом численности чужеземцев.

Какие только способы борьбы с тростниковыми жабами не предпринимали австралийцы. Для борьбы с этими земноводными использовали даже корм для кошек. Рассыпая кошачий корм рядом с «местом дислокации» жаб, учёные привлекали внимание муравьёв, которые «остервенело» набрасывались на земноводных и их потомство. В результате муравьиных атак погибало около 80% всего потомства тростниковых жаб.

Первым Австралийским фермерам очень сильно докучали кенгуру, и чтобы оградить свои плантации от этих «надоедливых животных» в качестве живой изгороди в Австралию был завезён кактус Опунция. Фермеры этим кактусом обсаживали по периметру свои участки, образуя живую неприступную изгородь. Опунция прижилась в новых условиях просто отлично. В отсутствие естественных врагов она стала разрастаться настолько быстро, что стала поглощать фермерские земли. Многие поля были по этой причине попросту заброшены. Для того, чтобы остановить неконтролируемое распространение Опунции в Австралию был интродуцирован ещё один вид живых организмов — бабочка Огнёвка, которая является естественным врагом кактуса на его родине.

В 1789 году в результате крушения японского судна возле одного из Алеутских островов возле Аляски серые норвежские крысы оказались на берегах этого острова. Буквально через несколько лет многие виды морских птиц и рептилий исчезли с острова. В 2008 американские власти разбросали пакеты с крысиным ядом по всему острову и таким образом остановили крысиные бесчинства.

Примером неудачной непреднамеренной интродукции может служить распространение колорадского жука в Европе. Своё народное название жук получил в 1859 году после того, как опустошил картофельные поля в американском штате Колорадо, но настоящей его родиной является Сонорская зоогеографическая подобласть на северо-востоке Мексики.

Первые серьезные повреждения картофеля колорадским жуком были отмечены в 1855 г. в США (штат Небраска). Несмотря на все меры предосторожности, новый вредитель быстро распространился по Северной Америке, а в 1876–1877 гг. с грузами попал в Европу (г. Лейпциг). После этого колорадского жука еще несколько раз завозили на европейский континент, но его очаги удавалось ликвидировать, пока в 1918 г., во время Первой мировой войны, ему не удалось образовать очаг в районе Бордо (Франция), откуда жук начал свое шествие по странам Европы. Продвигаясь на восток по ходу преобладающих в летние месяцы ветров, к концу 1940х гг. жук достиг границ СССР. Первые его очаги на территории СССР были обнаружены в Львовской области в 1949 г., а затем в 1953 г. он появился одновременно в Калининградской, Волынской, Брестской и Гродненской областях. В 1958 г. произошел массовый залёт колорадского жука из Венгрии и Чехословакии в Закарпатскую область; одновременно на побережье Литвы и Калининградской области было принесено морскими волнами огромное количество вредителя из Польши. С этого времени началось массовое расселение колорадского жука по территории России.

Принцип экосистемы используется при разработке биологических систем жизнеобеспечения человека в условиях изоляции от биосферы Земли, например, в космических или подводных аппаратах. Основным компонентом такой искусственно создаваемой экосистемы являются зеленые растения, которые за счёт использования энергии света в процессе фотосинтеза поглощают двуокись углерода и выделяют кислород, т. е. осуществляют регенерацию (восстановление) атмосферы. Биомасса растений используется в пищу человеком и др. гетеротрофными организмами, которые, в свою очередь, могут входить в пищевой рацион человека. Неиспользованная биомасса растений,

продукты жизнедеятельности человека и других компонентов биокомплекса разлагаются микроорганизмами до воды, двуокиси углерода и минеральных веществ, которые вновь используются растениями. В настоящее время созданы экспериментальные экосистемы, включающие человека, одноклеточные водоросли, высшие растения (капуста, морковь, свёкла, томат, пшеница и др.), микроорганизмы — минерализаторы. За счёт регенерации в таких экосистемах полностью обеспечивалась потребность человека в кислороде, воде и до 20 % в пище.

## 6.3. КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ В ЭКОСИСТЕМАХ

Все живые организмы в процессе жизнедеятельности находятся в постоянном и активном взаимодействии с окружающей средой. Суть этого взаимодействия заключается в обмене веществом и энергией. Жизнедеятельность экосистемы и круговорот веществ в ней возможны только при условии постоянного притока энергии. Основной источник энергии на Земле – солнечное излучение. Энергия Солнца переводится фотосинтезирующими организмами в энергию химических связей органических соединений. Передача энергии по пищевым цепям подчиняется второму закону термодинамики: преобразование одного вида энергии в другой идет с потерей части энергии. При этом ее перераспределение подчиняется строгой закономерности: энергия, получаемая экосистемой и усваиваемая продуцентами, рассеивается или вместе с их биомассой необратимо передается консументам первого, второго и т.д. порядков, а затем редуцентам с падением потока энергии на каждом трофическом уровне. В связи с этим круговорота энергии не бывает.

В отличие от энергии, которая используется в экосистеме только один раз, вещества используются многократно из-за того, что их потребление и превращение происходит по кругу. Этот круговорот осуществляется живыми организмами экосистемы (продуцентами, консументами, редуцентами) и называется биологическим круговоротом веществ. Под биологическим круговоротом понимается поступление химических элементов из почвы и атмосферы в живые организмы, превращение в них поступающих элементов в новые сложные соединения и возвращение их в почву и атмосферу в процессе жизнедеятельности.

Экологические системы суши и мирового океана связывают и перераспределяют солнечную энергию, углерод атмосферы, влагу, кислород, водород, фосфор, азот, серу, кальций и другие элементы. Жизнедеятельностью растительных организмов (продуцентов) и их взаимодействиями с животными (консументами), микроорганизмами (редуцентами) и неживой природой обеспечивается механизм накопления и перераспределения солнечной энергии, поступающей на Землю.

Важнейшим аспектом существования жизни на Земле являются круговороты (биогеохимические циклы), в которые вовлечены вода и основные биогенные химические элементы – C, H, O, N, P, S, Fe, Mg, Mo, Mn, Cu, Zn, Ca, Na, K и др. Все циклы состоят из двух фаз: органической (во время которой вещество или элемент находится в составе живых организмов) и неорганической. Последовательные переходы вещества из одной фазы в другую совершаются бесчисленное число раз. Так, например, ежегодно проходит через органическую фазу и возвращается в неорганическую 1/7 часть всего углекислого газа и 1/4500 часть кислорода атмосферы; подсчитано, что вся вода оборачивается за 2 млн. лет

В качестве примера рассмотрим круговорот азота – одного из важнейших химических элементов живых организмов. Азот является важным строительным материалом для белков, нуклеиновых кислот, компонентом АТФ, хлорофилла, гемоглобина и др.

Азот распространен в биосфере крайне неравномерно. В почве его содержится всего от 0,02 до 0,5%, и то лишь благодаря деятельности микроорганизмов, некоторых растений и разложению органических веществ. В то же самое время миллионы тонн азота в атмосфере буквально давят на поверхность Земли. Над каждым гектаром почвы, образно говоря, «висит» до 80 тыс. т этого элемента. Недаром азот называют инертным газом. Несмотря на то, что азота в атмосфере очень много (78%), большинство растений не в состоянии ассимилировать его в молекулярном состоянии. Элементом жизни азот становится только в химических соединениях - легкорастворимых азотнокислых и аммиачных солях. Однако связанного (хотя бы в простые оксиды) азота в воздухе нет.

Исключением является техногенное поступление азота в атмосферу. Это происходит в результате выбросов автомобильного транспорта, тепловых электростанций, котельных, промышленных предприятий. При сжигании ископаемого топлива (нефть, уголь, газ) в атмосферу земли происходит выброс оксидов азота ($N_2O$, $NO_2$), которые являются загрязнителями окружающей среды.

Напрямую азот атмосферы способны использовать лишь немногие прокариотические организмы – некоторые виды бактерий и цианобактерий. Высшие растения могут использовать азот только в результате симбиотических взаимоотношений с азотфиксирующими прокариотическими организмами – клубеньковыми бактериями, которые поселяются в тканях корней некоторых растений из семейства бобовых, таких, как арахис, соя, чечевица, фасоль, люцерна, клевер, люпин и др. Фиксируя атмосферный азот, они снабжают растение-хозяина доступными для него соединениями азота в виде нитратов и нитритов.

Мертвые азотсодержащие органические вещества (белки, нуклеиновые кислоты, мочевина) разлагаются аммонифицирующими бактериями до аммиака. Он легко растворяется в воде. Часть его может поглощаться непосредственно растениями, часть вымывается из почвы, а оставшийся аммиак подвергается действию специализированных бактерий в результате процесса нитрификации - окисления азотсодержащих соединений. В результате корни растений получают нитриты и нитраты, образующиеся в ходе реакции

$$NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-.$$

В природе осуществляется и обратный процесс - восстановление нитритов и нитратов до газообразных азотистых продуктов - денитрификация. В результате этого процесса денитрифицирующие бактерии восстанавливают ион $NO_3$- до $N_2$. Денитрификация происходит в несколько этапов:

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow N_2O \rightarrow N_2.$$

Таким образом, в ходе денитрификации связанный азот удаляется из почвы и воды, и в виде газообразного азота возвращается в атмосферу. Денитрификация замыкает цикл азота и препятствует накоплению его оксидов, которые в высоких концентрациях токсичны.

Круговорот веществ никогда не бывает полностью замкнутым. Часть органических и неорганических веществ выносится за пределы экосистемы, и в то же время их запасы могут пополняться за счет притока извне. В отдельных случаях степень повторяющегося воспроизводства некоторых циклов круговорота веществ составляет 90-98%. Неполная замкнутость циклов в масштабах геологического времени приводит к накоплению элементов в различных природных сферах Земли. Таким образом накапливаются полезные ископаемые – уголь, нефть, газ, известняки и т.п.

## 6.4. АВТОТРОФНЫЙ И ГЕТЕРОТРОФНЫЙ КОМПОНЕНТ ЭКОСИСТЕМЫ

Растения синтезируют органические вещества, используя энергию солнечного света и поглощая питательные вещества из почвы и воды. Эти соединения служат растениям материалом, из которого они образуют свои ткани, и источником энергии, необходимой им для поддержания своих функций. Для высвобождения запасенной химической энергии растения разлагают органические соединения на исходные неорганические компоненты - диоксид углерода, воду, нитраты, фосфаты и другие, завершая тем самым круговорот питательных веществ.

В 80-х годах XIX в. немецкий биолог Вильгельм Пфеффер разделил все живые организмы по способу питания (рис. 6.5).

Рис. 6.5. Классификация организмов по типу питания

Это деление сохранилось и до нашего времени. Пфеффер исходил из того, что зеленое растение в природе не нуждается в притоке органического вещества извне, а само может

синтезировать его в процессе фотосинтеза. Только исключительно зеленым растениям природой дано искусство создавать органические вещества из воды и воздуха, используя солнечную энергию. Пфеффер назвал их автотрофами, что буквально означает «самопитающиеся, самокормящиеся» (от греч. «авто» - сам и «трофе» - кормиться, питаться (рис.6.6). Автотрофные растения не только кормятся сами, но и кормят все остальные живые организмы. Это кормильцы биосферы.

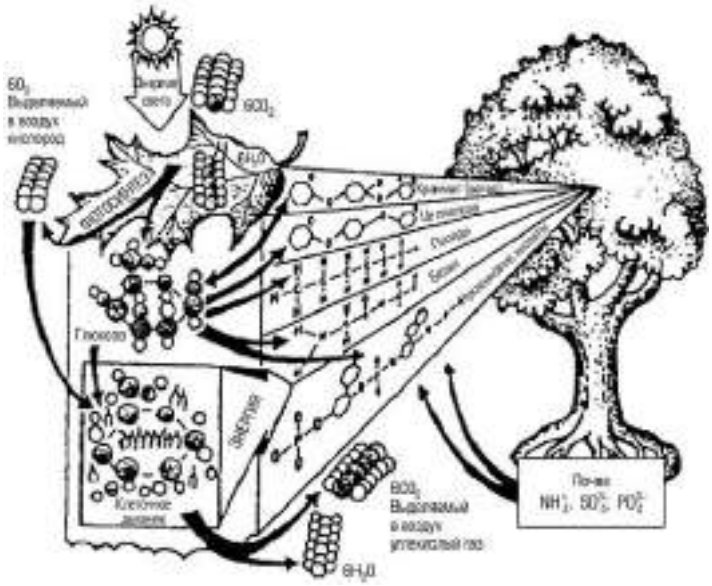


Рис. 6.6. Схема функционирования автотрофного организма

Организмы, которые нуждаются в готовом органическом веществе, образованном другими, Пфеффер назвал гетеротрофами, что означает «питающиеся другими» (от греч. «гетер» - другой). К таким организмам относятся все животные, которые извлекают необходимую им энергию из готовой пищи, поедая растения или других животных. Сюда же можно отнести группу бесхлорофильных растений-паразитов, которые, присасываясь к корням своих собратьев в буквальном смысле тянут из них соки. В мире растений это наш лесной Петров-крест, или полевая заразиха.

Специализация живых форм в качестве производителей и потребителей пищи создает в биологических сообществах определенную энергетическую структуру, называемую трофической структурой, в пределах которой происходят перенос энергии и круговороты питательных веществ. Пищевая цепь у сухопутных организмов, идущая от травы через гусеницу, воробья и змею к луню, указывает этапы движения содержащихся в них энергии органических и неорганических питательных веществ. В каждом звене пищевой цепи, на каждом трофическом уровне сообщества большая часть поглощаемой с пищей энергии рассеивается в виде тепла, движения, а у светящихся организмов - в виде света. Ни одна из этих форм энергии не может быть использована другими организмами, следовательно, при переходе к каждому последующему звену пищевой цепи общее количество пригодной для использования энергии, передаваемой на следующий, более высокий трофический уровень, уменьшается. Поэтому неудивительно, что если собрать в кучу всю траву Африки, то она будет огромна по сравнению с кучей, образованной всеми кузнечиками, антилопами, зебрами, носорогами и всеми другими травоядными животными Африки. Что же касается

жалкой кучки львов, гепардов и гиен, то мы ее можем просто не заметить рядом с кучами травы и растительноядных животных.

Сходные пищевые цепи присутствуют и в водной среде, например, в океане. На самых высоких уровнях пищевой цепи находятся крупные свободноплавающие хищники: кальмары, рыбы, дельфины, тюлени и киты. Эти выносливые пловцы известны под названием «нектон», и они также опутаны узами иерархии хищников и добычи. Так, питающиеся планктоном рыбы, такие, как сельдь, служат пищей тарпонам (рыбы из отряда костистых - Elopiformes) и тунцам, которые в свою очередь становятся добычей акул. В целом, чем выше ранг вида в пищевой цепи, тем малочисленнее его популяция и ниже его плотность, т.е. передача питательных веществ от жертвы к хищнику происходит малоэффективно. Для того, чтобы вырастить фунт зоопланктона, требуется около десяти фунтов фитопланктона и десять фунтов зоопланктона, чтобы получить один фунт сельди. И такой же коэффициент преобразования сохраняется вплоть до высших звеньев пищевой цепи.

## 6.5. ПОТОК ЭНЕРГИИ. ПИЩЕВЫЕ ЦЕПИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПИРАМИДЫ

*Крупная рыба питается средней,*
*а средняя – мелюзгой.*
**Восточная пословица**

Движение вещества и энергии – основное условие поддержания жизнедеятельности организмов в экосистеме, ее устойчивости. Первоначальная пища создается зелеными растениями. Основным источником энергии для зеленых растений является солнечное излучение. Поглощая энергию Солнца, с использованием углекислого газа, воды и растворенных в ней неорганических соединений, фотосинтезирующие организмы (зеленые растения, некоторые протисты, бактерии и цианобактерии) преобразуют ее в процессе фотосинтеза в химическую энергию органических веществ. Эти вещества служат источником энергии не только для самих зеленых растений, но и для других организмов, составляющих биоценоз.

По участию в биологическом круговороте веществ в экосистеме различают три группы организмов (рис. 6.7).

1. Основу экосистемы составляют **продуценты** (автотрофные организмы). Являясь организмами-продуцентами автотрофы синтезируют с помощью солнечного света из $CO_2$ и $H_2O$, а также неорганических солей почвы органические соединения, преобразуя при этом световую энергию в химическую. Они обеспечивают органическими веществами и энергией все живое население биоценоза. Зеленые растения лежат в основании всех пищевых связей. Они не только кормятся сами, но и кормят все остальные живые организмы.

Скорость, с которой в ходе фотосинтеза солнечная энергия преобразовывается в органическое вещество в пересчете на единицу площади носит название ***первичной продукции***. Она выражается либо в единицах энергии (джоуль на 1 $м^2$ за сутки), либо в единицах сухого органического вещества (килограмм на 1 га за сутки).

2. Кроме продуцентов в экосистему входят организмы, которые используют для питания органические вещества, произведенные другими видами. Они не способны синтезировать вещества своего тела из неорганических составляющих. Это **консументы** (потребители). К ним относятся все животные, которые извлекают необходимую энергию из готовой пищи, поедая растения или других животных. ***Первичными консументами*** являются растительноядные животные (фитофаги), питающиеся травой, семенами, плодами, подземными частями растений — корнями, клубнями, луковицами и даже древесиной (некоторые насекомые). Ко ***вторичным консументам*** относят плотоядных животных (хищников).

К консументам также можно отнести группу бесхлорофильных растений (растения-паразиты), которые, присасываясь к корням своих собратьев в буквальном смысле тянут из них соки. В мире растений это наш лесной петров крест, полевая заразиха.

Многие консументы в свою очередь служат пищей другим животным. Консументы сами не могут строить органическое вещество из неорганического и получают его в готовых формах, питаясь другими организмами. В своих телах они преобразуют органическое вещество в специфические формы белков и других веществ, а в окружающую среду выделяют отходы, которые образуются в процессе их жизнедеятельности. Скорость образования биомассы консументами носит название ***вторичной продукции.***

3. Особую группу консументов составляют **редуценты** (от лат. «reducens, reducentis» — возвращающий, восстанавливающий) — микроорганизмы и грибы, разрушающие мертвое органическое вещество и превращающие его в воду, $CO_2$ и неорганические вещества, которые в состоянии усваивать другие организмы (продуценты).

Основными редуцентами являются бактерии, грибы, простейшие, т.е. гетеротрофные микроорганизмы. Если снижается их активность (например, при использовании человеком сильно действующих пестицидов), то ухудшаются условия для жизнедеятельности растений и консументов. Мертвые органические остатки, (гниющий в лесу пень, труп животного) не исчезают в никуда, они разлагаются редуцентами до простых неорганических соединений. При этом выделяется большое количество $CO_2$. За счет разложения и минерализации мертвых органических остатков высвобождаются химические элементы. Таким образом, редуценты полностью разлагают все растительные и животные остатки до неорганических составляющих, которые снова могут быть вовлечены в круговорот веществ, тем самым замыкая его, улучшая условия питания растений и увеличивая объем создаваемой биологической продукции. Так восстанавливается неорганическая материя.

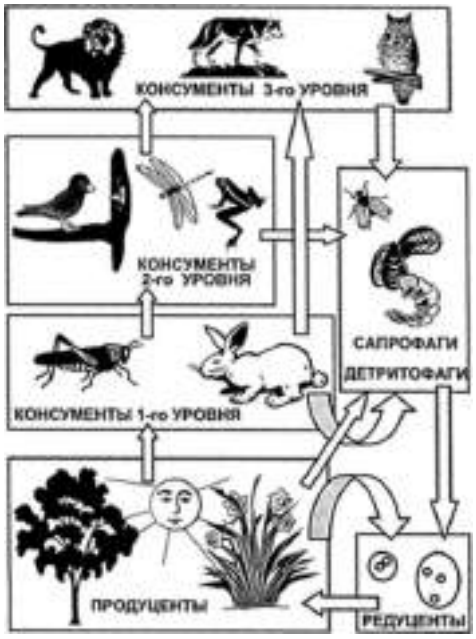



Рис. 6.7. Группы организмов, объединенные по участию в биологическом круговороте веществ

Таким образом, осуществляя пищевые взаимодействия, организмы в экосистеме выполняют три функции:

1) ***энергетическую***, которая выражается в запасании энергии в форме химических связей первичного органического вещества; ее выполняют организмы-продуценты;
2) ***перераспределения и переноса*** энергии пищи; ее выполняют консументы;
3) ***разложения*** редуцентами органического вещества любого происхождения до простых минеральных соединений, которые снова вовлекаются в биологический круговорот организмами-продуцентами.

Энергия, содержащаяся в одних организмах, потребляется другими организмами. **Перенос веществ и заключенной в них энергии от автотрофов к гетеротрофам, происходящий в результате поедания одними организмами других, называется пищевой цепью** (рис. 6.8). Число звеньев в ней может быть различным, но обычно их бывает от 3 до 5.

Пищевую цепь можно представить в виде канала, по которому происходит передача энергии от его первого звена – зеленых растений к организмам различных трофических уровней путем потребления в качестве своей пищи одними организмами других.

**Совокупность организмов, объединенных одним типом питания и занимающих определенное положение в пищевой цепи носит название трофический уровень**. К одному трофическому уровню принадлежат организмы, получающие свою энергию от Солнца через одинаковое число ступеней.

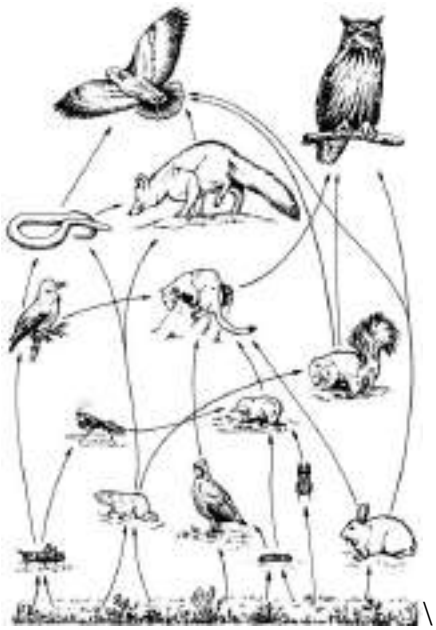


Рис. 6.8. Пищевые цепи в наземной экосистеме

Первый трофический уровень занимают автотрофы (продуценты), второй - растительноядные животные (консументы первого порядка), третий - хищники, питающиеся растительноядными животными (консументы второго порядка) и паразиты первичных консументов, и, наконец, вторичные хищники (консументы третьего порядка) и паразиты вторичных консументов образуют четвертый трофический уровень (рис. 6.9).

В развитых, сложившихся экосистемах существуют сложные пищевые взаимодействия между автотрофами и гетеротрофами. Поэт Николай Заболоцкий так изобразил три звена пищевой цепи гетеротрофов: «Жук ел траву, жука клевала птица, хорек пил мозг из птичьей головы».

Любое изъятие любого какого-либо звена пищевой цепи может привести к непоправимым катастрофам. Так, несколько лет назад было отмечено стремительное сокращение популяции каланов вдоль побережья Аляски. Таким обстоятельством стал китобойный промысел, подорвавший численность горбачей и синих китов, бывших исконной добычей косаток. Из-за этого косатки переходят на новый вид добычи пятнистых тюленей, сивучей и каланов. Это вскоре вызвало невиданный всплеск численности морских ежей — основной пищи каланов. Морские ежи обитают на дне, в зарослях бурых водорослей, питаются беспозвоночными, населяющими этот богатейший морской ландшафт. При бесконтрольном росте популяции морские ежи быстро свели на нет заросли ламинарии и других водорослей на обширных акваториях западной Аляски, что в конечном итоге привело к экологической катастрофе.

*Простейшая пищевая цепь (или цепь питания) может состоять из фитопланктона, затем более крупных планктонных ракообразных и завершается китом, который фильтрует этих ракообразных из воды. Всем известная примета погоды, когда ласточки летают низко над землей, тоже повинуется биологическому закону цепей питания. Как известно, при низком полете ласточек обычно ожидают ухудшения погоды и близящегося дождя. Комары - любимое лакомство ласточек - постоянны в своей любви к атмосферному давлению. Если оно понижается, то меняют*

*«воздушный коридор» и комары, а за ними вниз к земле устремляются ласточки. Комары для них - одно из основных звеньев в пищевой цепи. Глядя на низко летающих пернатых, мы говорим, что это - к дождю. И в большинстве случаев оказываемся правыми.*

*Еще один пример - цепь питания из экосистемы болота. Начинается такая цепь с улавливания солнечной энергии цветком. Бабочка, питающаяся нектаром цветка, представляет собой второе звено в этой цепи. Одно из самых хищных летающих насекомых - стрекоза нападает на бабочку. Спрятавшаяся среди зеленой травы лягушка ловит стрекозу, но сама служит добычей для такого хищника, как уж. Это уже пятое звено пищевой цепи. Целый день уж мог бы переваривать лягушку, но еще не успело зайти солнце, как он сам стал добычей другого хищника - ястреба. Цепь питания замкнулась. У ястреба, так же как и у кита, особенных врагов нет. Вот только человека им стоит опасаться. Человек - потенциальное (но не обязательное) заключительное звено пищевой цепи.*

Знание пищевых цепей в природе необходимо для прогнозирования последствий любых воздействий на экосистемы. Хорошо известен пример того, к чему привело игнорирование структуры пищевых цепей при попытке уничтожить комаров на озере Клир-Лэйк в США. После использования для этой цели инсектицида ДДТ, его концентрация в воде составила 0,02 части на 106, в планктоне - 10 на 106, в рыбах, питающихся планктоном, - 903 на 106, в хищных рыбах - 2690 на 106, а в рыбоядных птицах - 2134 на 106. Таким образом, концентрация ДДТ увеличилась в 100 тыс. раз по мере продвижения вверх по пищевой цепи, что привело к сокращению численности птиц на озере Клир-Лэйк.

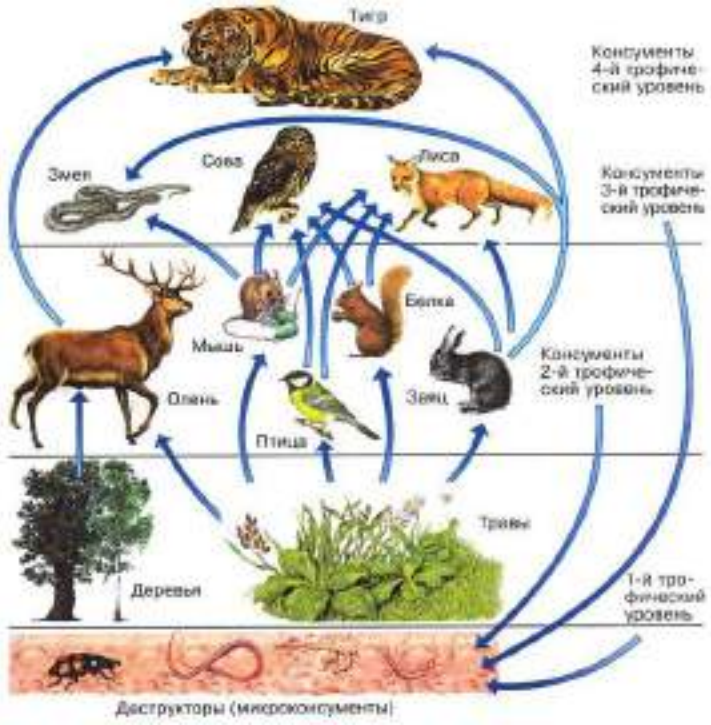



Рис. 6.9. Трофическая структура и трофические уровни экосистемы

*Как-то крестьяне обратились к великому Чарльзу Дарвину, чтобы он подсказал им как увеличить урожаи семян клевера, которые стали катастрофически падать. «Заведите кошек», — ответил ученый. Крестьяне подумали, что он шутит. Но Дарвин знал то, чего не знали крестьяне. Клевер опылялся шмелями, гнезда которых стали разорять расплодившиеся мыши. Вот вам и еще один пример пищевой цепи: клевер — шмели — мыши — кошки.*

Пищевая (трофическая) цепь в экосистеме начинается с зеленого растения и через ряд промежуточных организмов-консументов заканчивается звеном, который представлен хищными птицами или хищными млекопитающими.

В экосистемах обычно существует ряд параллельных пищевых цепей, например, травянистая растительность — грызуны — мелкие хищники; травянистая растительность — копытные — крупные хищники. Параллельные пищевые цепи нередко объединяют обитателей разных ярусов (почвы, травянистого покрова, древесного яруса), но и между ними могут существовать связи. Сокращение численности особей одного вида — звена в пищевой цепи, вызванное деятельностью человека или другими причинами, неизбежно приводит к нарушениям целостности экосистемы.

Пищевые цепи в чистом виде в природе встречаются довольно редко. В большинстве случаев один и тот же организм может быть съеден разными хищниками. Например, дафнию может употребить в пищу не только мелкая рыба, но и хищный рачок циклоп, а плотва может быть съедена не только щукой, но и выдрой. Как видно, одни и те же виды могут быть источником пищи для многих организмов, и тем самым являться составной частью различных пищевых цепей. В результате в экосистеме формируются **пищевые сети** - сложный тип взаимоотношений, включающий разветвленные цепи питания (рис. 6.10).

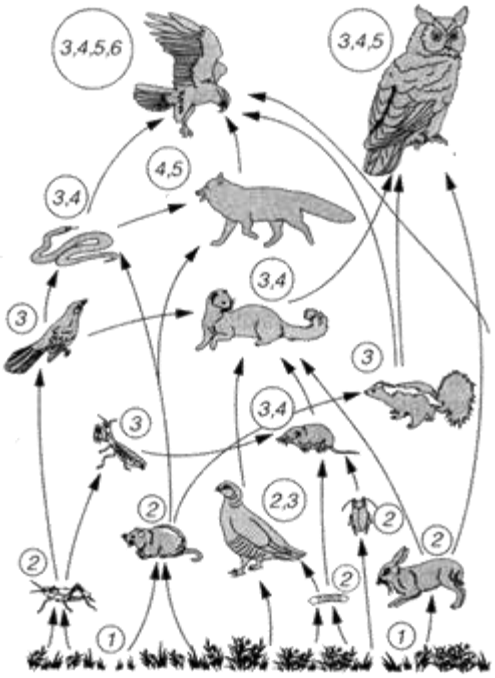



Рис. 6.10. Пищевая сеть луговой экосистемы (цифрами обозначены трофические уровни)

Сложность пищевых цепей многократно возрастает, если принять во внимание, что у членов цепей питания – организмов-хозяев – имеются многочисленные специфические паразиты, которые в свою очередь являются звеньями других цепей. Например, обыкновенная белка является хозяином 50 видов различных паразитов.

Пищевые цепи, которые начинаются с автотрофных фотосинтезирующих организмов (растениий), называются ***пастбищными,*** или цепями выедания (рис. 6.11). Примером может служить пастбищная пищевая цепь луговой экосистемы. Начинается такая цепь с

улавливания солнечной энергии растением. Бабочка, питающаяся нектаром цветка, представляет собой второе звено в этой цепи.

Стрекоза - хищное летающее насекомое, нападает на бабочку. Спрятавшаяся среди зеленой травы лягушка ловит стрекозу, но сама служит добычей для такого хищника, как уж. Это уже пятое звено пищевой цепи. Целый день уж мог бы переваривать лягушку, но еще не успело зайти солнце, как он сам стал добычей другого хищника - змееяда. Цепь питания замкнулась.

Если пищевая цепь начинается с отмерших остатков растений, трупов и экскрементов животных – **детрита** – она называется ***детритной*** или цепью разложения (рис. 6.12).

Рис. 6.11. Пастбищная пищевая цепь

Такие цепи наиболее характерны для сообществ дна глубоких озер, океанов, где многие организмы питаются за счет оседания детрита, образованного отмершими организмами верхних освещенных слоев водоема. Распространены детритные цепи также и в лесах, где большая часть ежегодного прироста живой массы растений не потребляется непосредственно растительноядными животными, а отмирает, образуя опад, и разлагается затем сапротрофными организмами с последующей минерализацией редуцентами.

Рис. 6.12. Детритная пищевая цепь

Типичным примерами детритной пищевой цепи наших лесов являются следующие:

а) листовая подстилка – многоножки – сойка – ястреб-перепелятник;

б) мертвое животное - личинки падальных мух - травяная лягушка - обыкновенный уж.

Тела погибших растений и животных еще содержат энергию и «строительный материал», так же, как и прижизненные выделения, например, моча и фекалии. Эти органические материалы разлагаются редуцентами - микроорганизмами, а именно грибами и бактериями, живущими как сапрофиты на органических остатках. Они выделяют пищеварительные ферменты на мертвые тела или отходы жизнедеятельности и поглощают продукты их переваривания. Скорость разложения может быть различной. Органические вещества мочи, фекалий и трупов животных потребляются за несколько недель, тогда как упавшие деревья и ветви могут разлагаться многие годы. Очень существенную роль в разложении древесины (и других растительных остатков) играют грибы, которые выделяют фермент целлюлозу, размягчающий древесину, и это дает возможность мелким животным проникать внутрь и поглощать размягченный материал.

Таким образом, энергия, входящая в экосистему, разбивается на два основных русла, поступая к консументам через живые ткани растений или запасы мертвого органического вещества.

В последнее время на дне океана в зонах глубоководных гидротермальных горячих источников установлены трофические цепи из одних микроорганизмов и животных, т.е. без детрита. На таком микробном питании развиваются целые зооценозы из моллюсков, актиний, кораллов, которыми питаются крабы и рыбы. Реализация этих процессов протекает при температурах до 100-150 °С и в редких случаях - до 200-250 °С. Хемоавтотрофные организмы окисляют органические и неорганические восстановленные

соединения ($H_2S$, S, $NH_3$ и др.) и составляют начало пищевой цепи, замыкающими звеньями которой являются крупные животные. Образование органических веществ в хемоавтотрофных процессах осуществляется по схеме: живое вещество + восстановленные соединения и кислород —> окисление восстановленных соединений + синтез из $CO_2$ и $H_2O$ органических соединений.

В результате последовательности превращений энергии в пищевых цепях каждое сообщество живых организмов приобретает определенную ***трофическую структуру*.** Трофическая структура сообщества отражает соотношение между продуцентами, консументами (отдельно первого, второго и т.д. порядков) и редуцентами, выраженное или количеством особей живых организмов, или их биомассой, или заключенной в них энергией, рассчитанных на единицу площади в единицу времени.

Трофическую структуру обычно отображают графическими моделями в виде **экологических пирамид**. Эффект пирамиды в виде таких моделей разработал в 1927 году английский зоолог Чарлз Элтон.

Эрнест Геккель одним из первых дал классический пример трофической пирамиды: пальмы – насекомые - насекомоядные птицы – хищные птицы – клещи – паразитические грибы.

Основанием экологической пирамиды служит первый трофический уровень - уровень продуцентов, а последующие уровни образуют следующие этажи пирамиды – консументы различных порядков. При этом высота всех блоков - одинакова, а длина пропорциональна числу, биомассе или энергии на соответствующем уровне. Различают три способа построения экологических пирамид.

**1. Пирамида чисел** (численностей) отражает численность отдельных организмов на каждом уровне. Например, чтобы прокормить одного волка, необходимо по крайней мере несколько зайцев, на которых он мог бы охотиться; чтобы прокормить этих зайцев, нужно довольно большое количество разнообразных растений. Иногда пирамиды чисел могут быть обращенными, или перевернутыми. Это касается пищевых цепей леса, когда продуцентами служат деревья, а первичными консументами – насекомые. В этом случае уровень первичных консументов численно богаче уровня продуцентов (на одном дереве кормится большое количество насекомых) (рис. 6.13).

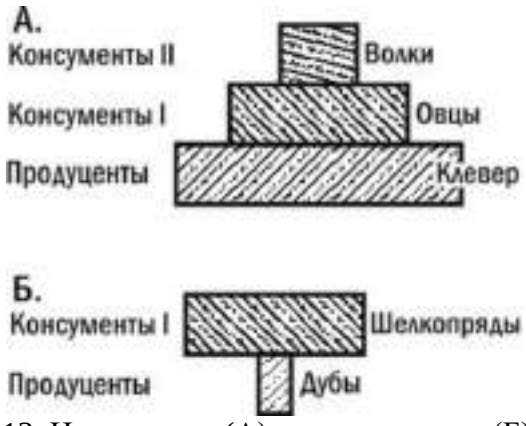



Рис. 6.13. Нормальная (А) и перевернутая (Б) пирамида чисел

**2. Пирамида биомасс** - соотношение между организмами разных трофических уровней (продуцентами, консументами и редуцентами), выраженное в их массе. Обычно в наземных биоценозах общая масса продуцентов больше, чем каждого последующего звена. В свою очередь, общая масса консументов первого порядка больше, нежели консументов второго порядка и т.д. Если организмы не слишком различаются по размерам, то на графике обычно получается ступенчатая пирамида с суживающейся верхушкой. Так, для образования 1 кг говядины необходимо 70-90 кг свежей травы.

В водных экосистемах можно также получить обращенную (или перевернутую) пирамиду биомасс, когда биомасса продуцентов оказывается меньшей, нежели консументов, а иногда и редуцентов. Например, в океане при довольно высокой продуктивности фитопланктона, общая масса в данный момент его может быть меньше, нежели потребителей-консументов (зоопланктон, крупные рыбы) (рис. 6.14).

В большинстве наземных сообществ пирамида биомасс сходна с пирамидой продуктивности. Если собрать все организмы, обитающие на каком-нибудь лугу, то вес растений окажется гораздо больше веса всех прямокрылых и копытных, питающихся этими растениями. Вес этих растительноядных животных в свою очередь будет больше веса птиц и кошачьих, составляющих уровень первичных плотоядных, а эти последние также будут превышать по весу питающихся ими хищников, если таковые имеются. Один лев весит довольно много, но львы встречаются столь редко, что вес их, выраженный в граммах на 1 м$^2$ окажется ничтожным.

Рис. 6.14. Пирамиды биомасс: а – обычная, б - перевернутая (цифрами обозначена биомасса в граммах сухого вещества, приходящегося на 1 м$^{2)}$

Пирамиды чисел и биомасс отражают ***статику*** системы, то есть характеризуют количество или биомассу организмов в определенный промежуток времени. Они не дают полной информации о трофической структуре экосистемы, хотя также позволяют решать ряд практических задач, особенно связанных с сохранением устойчивости экосистем. Пирамида чисел позволяет, например, рассчитывать допустимую численность отстрела животных в охотничий период без последствий для нормального воспроизводства биоценоза.

**3. Пирамида энергии** отражает величину потока энергии, скорость прохождения массы пищи через пищевую цепь. На структуру экосистемы в большей степени оказывает влияние не количество фиксированной энергии, а скорость продуцирования пищи.

Пирамида энергии, в отличие от пирамид чисел и биомасс, всегда суживается кверху.

Для иллюстрации трофической структуры упрощенной теоретической экосистемы можно привести пример одной ее цепи, которая функционирует в течение года. Пусть имеется посев люцерны на площади в 4 га. Здесь кормятся телята, мясом которых (и только им) в течение года питается 12-летний мальчик. Результаты расчетов представлены в виде трех пирамид: чисел, биомасс и энергии (рис. 6.15).

Люцерна использует всего 0,24% всей падающей на поле солнечной энергии. Из этого количества 8% накапливается телятами, 0,7% расходуется на рост и развитие ребенка. В итоге из всей солнечной энергии, падающей на 4 га люцернового поля, лишь немногим более одной миллионной доли ее идет на пропитание мальчика в течение года. За то же время мальчик съедает 4,5 теленка, которые поедают 20 млн растений люцерны.

При неизменном энергетическом потоке в пищевой сети (или цепи) действует правило «метаболизм и размеры особей» (правило Ю. Одума): более мелкие наземные организмы с высоким удельным метаболизмом создают относительно меньшую биомассу, чем крупные, т. к. по сравнению с последними, более значительная часть их энергии уходит на поддержание обмена веществ, а у теплокровных – и постоянной температуры тела. Правило американского эколога Ю. Одума обычно не реализуется в водных биоценозах, т. к. мелкие водные организмы в значительной мере поддерживают свой обмен веществ за счет внешней энергии непосредственно окружающей их среды.

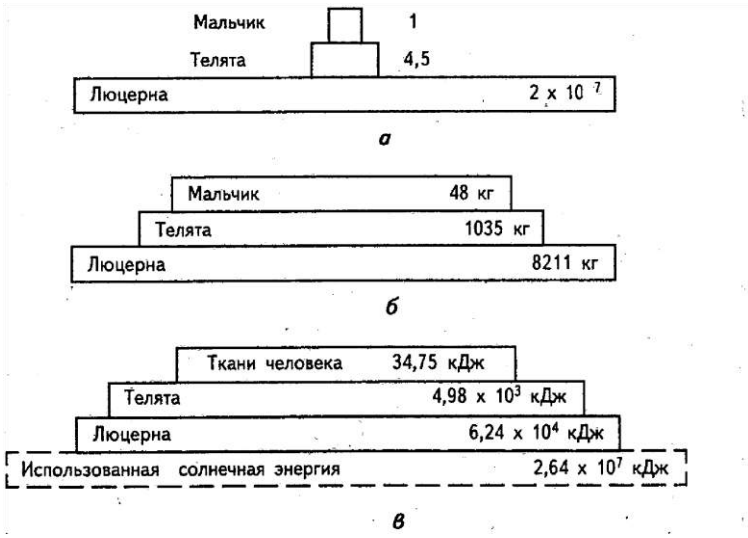



Рис. 6.15. Пример простой экологической пирамиды (вверху – пирамида чисел, в середине – биомассы, внизу – энергии).

Из-за антропогенного нарушения природной среды и уничтожения крупных деревьев, травоядных животных и хищников происходит постепенное измельчание фауны и флоры. В соответствии с правилом Ю. Одума это неминуемо приводит к общему снижению относительной продуктивности организмов и термодинамическому разладу в сообществах и биоценозах.

Наряду с правилом «метаболизм и размеры особей» в биосистемах действует закон удельной продуктивности: если измельчение особей согласно правилу Ю. Одума, ведет к производству относительно меньшего объема биомассы, то удельный ее выход с единицы

площади в силу более полного заселения пространства увеличивается. Поэтому никогда слоны не дадут той биомассы с единицы площади, какую способны дать саранча или более мелкие беспозвоночные.

Данная закономерность распространяется и на домашних животных: прирост птичьего мяса на единицу площади происходит гораздо быстрее, чем, к примеру, у крупного рогатого скота.

Пищевая цепь, идущая от цветка через стрекозу, лягушку, ужа к ястребу, указывает путь органических веществ, а также содержащихся в них энергии и неорганических питательных веществ. Общее правило касающееся любой пищевой цепи гласит, что на каждом трофическом уровне сообществе большая часть поглощаемой с пищей энергии рассеивается в виде тепла, движения, а у светящихся организмов - в виде света, причем, ни одна из этих форм энергии не может быть использована другими организмами. Таким образом, потребленная пища на каждом трофическом уровне ассимилируется не полностью. Значительная ее часть тратится на обмен веществ. При переходе к каждому последующему звену пищевой цепи общее количество пригодной для использования энергии, передаваемой на следующий, более высокий трофический уровень, уменьшается. Продукция каждого последующего уровня примерно в 10 раз меньше продукции предыдущего.

Установлено, что максимальная величина энергии, передающаяся на следующий трофический уровень может в некоторых случаях составлять 30% от предыдущего, и это в лучшем случае. Во многих биоценозах, пищевых цепях такой процент передаваемой энергии может составлять всего лишь 1%.

В 1942 году американский эколог Раймонд Линдеман сформулировал ***закон пирамиды энергий (или закон 10 процентов)***, согласно которому с одного трофического уровня через пищевые цепи на другой трофический уровень переходит в среднем около 10% поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды энергии (рис.6.16.). Изъятие энергии выше этого уровня ведет к саморазрушению системы. Остальная часть энергии теряется в виде теплового излучения. Организмы в результате процессов обмена теряют в каждом звене пищевой цепи около 90% всей энергии, которая расходуется на поддержание их жизнедеятельности.

Закон позволяет делать расчеты необходимой земельной площади для обеспечения диких и домашних животных, а также человека продовольствием и другие эколого-экономические расчеты.

Если заяц съел 10 кг растительной массы, то его собственная масса может увеличиться на 1 кг. Лисица или волк, поедая 1 кг зайчатины увеличивают свою массу уже только на 100 г, или на 0,01 от биомассы растений, съеденных зайцем. В случае древесных растений эта доля много ниже из-за того, что древесина плохо усваивается организмами. Для трав и морских водорослей эта величина значительно больше, поскольку у них отсутствуют трудноусвояемые ткани. Однако, общая закономерность процесса передачи энергии остается: через верхние трофические уровни ее проходит значительно меньше, чем через нижние.

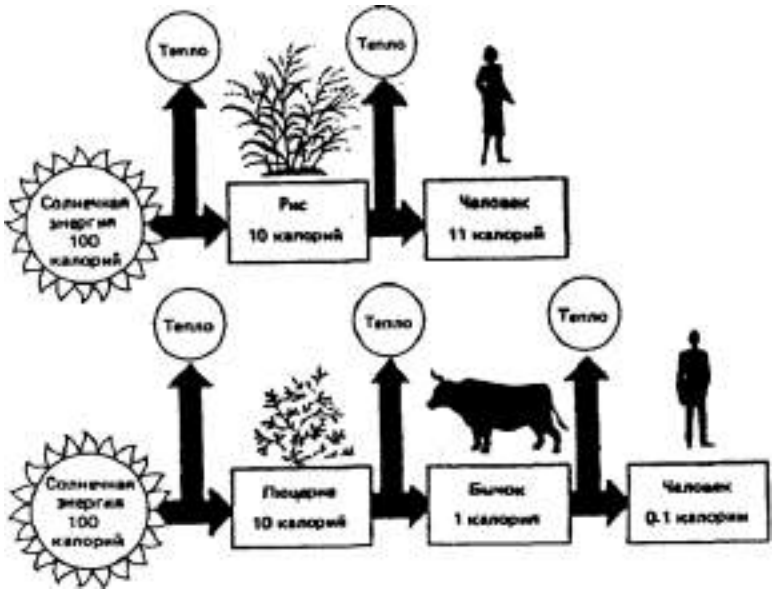



Рис. 6.16. Потери энергии в пищевой цепи (правило Линдемана)

Вот почему цепи питания обычно не могут иметь более 3-5 (редко 6) звеньев, а экологические пирамиды не могут состоять из большого количества этажей. К конечному звену пищевой цепи, так же как и к верхнему этажу экологической пирамиды будет поступать так мало энергии, что ее не хватит в случае увеличения числа организмов.

Этому утверждению можно найти объяснение, проследив, куда тратится энергия потребленной пищи (*C*). Часть ее идет на построение новых тканей, т.е. на прирост (*P*). Часть энергии пищи расходуется на обеспечение энергетического обмена, или на дыхание (*R*). Поскольку усвояемость пищи не может быть полной, т.е. 100%, то часть неусвоенной пищи в виде экскрементов удаляется из организма (*F*). Балансовое равенство будет выглядеть следующим образом:

$$C = P + R + F$$

Учитывая, что энергия, затраченная на дыхание, не передается на следующий трофический уровень и уходит из экосистемы, становится ясным, почему каждый последующий уровень всегда будет меньше предыдущего.

Именно поэтому большие хищные животные всегда присутствуют в природе в малых количествах. Поэтому также нет хищников, которые питались бы волками. В таком случае они просто не прокормились бы, поскольку волки немногочисленны.

Неравноценность показателей при сопоставлении различных экологических пирамид дало основание Ю. Одуму сформулировать своеобразное «экологическое правило», согласно которому «данные по численности приводят к переоценке значения мелких организмов, а данные по биомассе - к переоценке роли крупных организмов». Поэтому при исследовании трофической структуры экосистемы наиболее подходящим показателем для сравнения любых компонентов экосистемы является поток энергии.

## 6.6. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ

Лучистая энергия солнца, усваиваемая зелеными автотрофными растениями, превращается в энергию химических связей синтезируемого вещества. Скорость фиксации солнечной энергии определяет ***продуктивность*** сообществ. Продуктивность автотрофных организмов представляет собой первичную продуктивность. Продуктивность представителей других трофических уровней составляет вторичную продуктивность.

Основной показатель продуктивности - биомасса организмов (растительных и животных), составляющих экосистему. **Биомасса - выраженное в единицах массы или энергии количество живого вещества организмов, приходящееся на единицу площади или объема** (например, г./м$^2$, г/м$^3$, кг/га, т/км$^2$ и др.). Используют массу либо сырого, либо, чаще всего, сухого вещества. Различают растительную биомассу – фитомассу, животную – зоомассу, бактериомассу, либо биомассу каких-либо конкретных групп или организмов отдельных видов.

Величина биомассы меняется в зависимости от сезона года, миграций животных, от степени ее потребления консументами разных порядков. Например, в условиях Республики Беларусь самая низкая величина биомассы травянистых многолетних растений бывает поздней осенью, зимой и ранней весной. В период с мая по октябрь ее величина значительно увеличивается за счет роста надземных частей растений.

**Продукция. Биомасса, производимая биоценозом на единице площади за единицу времени, называется биологической продукцией.** Она выражается в тех же величинах, что и биомасса, но с указанием времени, за которое она создана (например, кг/га за месяц).

Различают два вида продукции – первичную и вторичную.

Биомасса, произведенная автотрофными организмами (зелеными растениями) на единице площади за единицу времени называется ***первичной продукцией***. Ее величина определяет продуктивность всех звеньев гетеротрофных организмов экосистемы.

Суммарная продукция фотосинтеза называется ***первичной валовой продукцией***. Это вся химическая энергия в форме произведенного органического вещества. При этом часть энергии может идти на поддержание жизнедеятельности (дыхание) самих производителей продукции - растений. Эта часть может быть достаточно большой. В природных биоценозах дыхание уменьшает продуктивность более, чем наполовину. По мере старения растения доля потребляемой на дыхание энергии растет.

В тропических лесах и зрелых лесах умеренного пояса она составляет от 40 до 70 % валовой продукции. Планктонные водоросли используют на метаболизм около 40 % фиксируемой энергии. Такого же порядка траты на дыхание у большинства сельскохозяйственных культур.

Если мы изымем ту часть энергии, которая тратится растениями на дыхание, то получим *чистую первичную продукцию*. Ее можно легко учесть. Достаточно собрать, высушить и взвесить растительную массу, например, при уборке урожая.

Чистая первичная продукция – это энергетический резерв для консументов и редуцентов. Перерабатываясь в цепях питания, она идет на пополнение массы гетеротрофных организмов.

Зеленые растения могут перерабатывать от 1 до 5% получаемой энергии Солнца. Животные, питающиеся растениями, для образования биомассы своего тела используют всего 1% энергии, содержащейся в растительном материале. Из всех животных наиболее эффективно использует (преобразует) энергию домашняя свинья. В мясо и жир превращается до 20 % потребленной ею энергии.

Несмотря на то что растения активно поглощают солнечный свет, КПД этих маленьких зеленых фабрик невелик. К примеру, вся продукция хлебного поля в пересчете на сухое вещество будет равняться 8-10 т/га. В широколиственном лесу выход продукции еще меньше - 4-5 т/га.

Растения расходуют на единицу массы меньше энергии. Самая большая потребность в энергии - у гомойотермных животных. При одинаковых размерах тела и полном мышечном покое потребление энергии у них в 6-8 раз больше, чем у пойкилотермных животных. У питона (Pithon curtus) траты на дыхание составляют около 75 %, у насекомых - 84-96 %. У грызунов для продукции новых тканей остается только 2-2,3 % от ассимилированной энергии. Горностай съедает 5-6 полевок каждый день и активен весь год; гадюка довольствуется таким же числом жертв в неделю, но активна далеко не каждый день и только летом.

Активность у рептилий обусловлена очень низкими возможностями потребления и транспорта кислорода, что в свою очередь определяется уровнем развития дыхательной системы. Они могут передвигаться с небольшой скоростью в течение нескольких часов. При увеличении скорости бега в 2 раза потребление кислорода в 5-8 раз выше, чем в покое, а его продолжительность сокращается до 15-20 мин, после чего наступает изнеможение. Для рептилий, животных, у которых имеются легкие, но относительная площадь поверхности их невелика, характерна взрывообразная высокая активность за счет анаэробного дыхания. Рептилии не имеют постоянной температуры тела, и взрыв активности обеспечивается анаэробным окислением в широком диапазоне температуры среды. Этот процесс у них имеет в десятки раз большее значение по сравнению с гомойотермными животными. У птиц и млекопитающих, имеющих очень хорошо развитую дыхательную систему и постоянную высокую температуру тела, активность длительная.

Экологи давно пытались оценить первичную продукцию земного шара. Человека всегда волновала проблема увеличения производительности растительной биомассы. С одной стороны, нужно было знать достоверные цифры продуктивности зеленого покрова планеты, а с другой - попытаться прогнозировать увеличение выхода продукции в результате применения усовершенствованных технологий выращивания и улучшения посадочного материала. Численность человечества растет, а плодородной земли больше не становится. Поэтому увеличение КПД наших зеленых друзей является наиболее насущной проблемой при решении первейших задач жизнеобеспечения человека.

В таблице 6.2 приведен один из вариантов расчета первичной продукции земного шара на основании классических исследований П. Дювиньо.

Таблица 6.2. Первичная продукция разных экосистем Земного шара

| Экосистема | Площадь занятой Поверхности Земного шара млн. км$^2$ | Выход фотосинтеза % | Продукция, т/(га·год) | Общая продукция сухого органического вещества, млрд т/год |
|---|---|---|---|---|
| Леса | 40,7 | 0,38 | 5 | 20,4 |
| Степи | 25,7 | 0,1 | 1,5 | 3,8 |
| Пашни | 14,0 | 0,25 | 4 | 5,6 |
| Пустыни | 54,9 | 0,01 | 0,2 | 1,1 |
| Антарктида | 12,7 | 0 | 0 | 0 |
| Океан | 363 | 0,05 | 0,8 | 30 |
| Всего: | 511 | | | 60,9 |

Таким образом, видно, что экосистема океана дает половину всей продуктивности планеты, леса - третью часть, а пашни - около одной десятой. Необходимо отметить, что в приведенных данных в мировой литературе могут быть разночтения, поскольку авторы пользуются разными методами определения продуктивности. Например, американские экологи оценивают первичную продукцию Земного шара цифрой 100 млрд т сухого органического вещества в год. Но, несмотря на некоторые различия в показателях, общие закономерности распределения первичной продукции по основным биомам можно себе представить.

***Вторичная продукция*** – это биомасса, созданная всеми консументами биоценоза за единицу времени. При ее подсчете производят вычисления отдельно для каждого трофического уровня, потому что при движении энергии от одного трофического уровня к другому она прирастает за счет поступления с предыдущего уровня. При изучении общей продуктивности экосистемы ее нельзя оценить простой арифметической суммой первичной и вторичной продукции. Дело в том, что прирост вторичной продукции всегда происходит не параллельно росту первичной, а за счет уничтожения какой-то ее части. Происходит как бы изъятие, вычитание вторичной продукции из общего количества первичной. Поэтому оценка продуктивности экосистем всегда производят по первичной продукции. Если оценить соотношение первичной и вторичной продукции, то первая окажется во много раз больше второй. В целом вторичная продуктивность колеблется от 1 до 10% в зависимости от свойств животного и особенностей поедаемого ими корма.

## 6.7. ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ

Экосистемы непрерывно подвержены изменениям. Нескончаемый поток энергии и питательных веществ постоянно влияет на их состояние. Одни виды, постепенно отмирая, уступают место другим. Порой такие изменения трудно заметить - настолько растянуты во времени динамические процессы. Внутри экосистем постоянно протекают процессы деструкции и восстановления. Старые деревья отмирают, падают и перегнивают, а рядом покоящиеся до поры до времени в почве семена начинают прорастать, и начинается новый цикл развития жизни.

Такие постепенные процессы изменения экосистем могут носить иной характер в случае катастрофических воздействий на них. Если биоценоз разрушается, например, при воздействии урагана, пожара или рубке леса, то его восстановление происходит медленно.

Развитие (изменение) экосистемы под воздействием сил извне и внутренних противоречий ее развития в экологии носит название *динамики экосистемы*. Экологические исследования динамики проводились в основном на растительных сообществах, или фитоценозах, и обычно их считают приоритетом ботаников. Это не случайно, так как растения создают наибольшую биомассу на нашей планете и определяют физиономичность биоценозов. Кроме того, из-за оседлости растений их нетрудно исследовать: можно перечислить, подсчитать растения и определить довольно точно обилие видов и их изменения. При этом исследуются разные типы изменений растительности, которые относятся к динамическим сменам.

Основные принципиальные типы изменения биоценозов можно свести к следующим:

***1. Флуктуации*** (от лат. «fluctuatio» - колебания) – разногодичные, сравнительно краткосрочные, относительно обратимые изменения сообществ, завершающиеся возвратом к состоянию, близкому к исходному. В процессе флуктуации сообщества без смены флористического состава отклоняются от некоего среднего состояния из-за сезонных и погодных изменений климата, а также изменения динамики животного компонента экосистемы либо способов их использования. Флуктуации - это изменения, происходящие в фитоценозах по годам или более длительным периодам, связанные с неодинаковыми метеорологическими и гидрологическими условиями отдельных лет, особенностями жизненного цикла некоторых видов растений, а также с различиями в воздействиях животных. Флуктуации являются неустойчивыми и длятся конечный промежуток времени.

Флуктуации обычно связаны со сменой сезонов года (сезонные флуктуации) либо бывают вызваны непостоянными внешними факторами, меняющимися каждый год (разногодичные флуктуации). Обычно флуктуации вызываются колебаниями климата, различиями во влажности почвы, либо ритмичностью развития растительных или животных компонентов экосистемы. Причиной флуктуаций может быть и человек, неравномерно количественно и во времени использующий растительность.

Примером флуктуации может быть развитие растительности наших лесов (в основном лиственных) в разное время года. Так, войдя в березняк, осинник или дубраву ранней весной, когда еще не распустились листья на деревьях, можно увидеть целые пятна красиво цветущих растений, которые в обиходе называют подснежниками. Нужно сказать, что подснежниками по традиции называют все ранневесенние растения наших лесов, но это подснежники не настоящие. Настоящий подснежник (*Galanthus nivalis*) - растение семейства амариллисовых (родственник комнатному амариллису) растет в широколиственных лесах Карпат и на Кавказе. Наши же «подснежники» - это группа растений, которую составляют такие виды из семейства лютиковых, как ветреница дубравная (*Anemonoides nemorosa*), чистяк весенний (*Ficaria verna*), перелеска благородная (*Hepatica nobilis*), прострел раскрытый, или сон-трава (*Pulsatilla patens*), хохлатка плотная, или Галлера (*Corydalis solida*) и некоторые другие. Эти растения разноцветными пятнами покрывают почву в весеннем лесу: белыми из ветрениц, голубыми из перелесок и сон-травы, желтыми из чистяка, лиловыми из хохлаток. Их развитие является приспособлением

к более полному использования условий местообитания. Снег уже сошел, света и тепла достаточно, а вегетация основных растений еще не начиналась. Такие растения, развивающиеся только весной на короткий период, называются *эфемероидами*. Если бы не было эфемероидов, благоприятное время использовалось бы биоценозами не полностью. Но принцип «в природе не бывает пустот» срабатывает и тут.

К тому времени, когда на деревьях распускаются листья и в лесу становится сумрачно, эфемероиды уже полностью заканчивают цикл развития. Они исчезают из состава травостоя и сохраняются в почве до следующей весны в виде луковиц, корневищ, клубней и т.п. И если вы войдете в тот же лес в конце мая - начале июня, то не узнаете этого места. Здесь поднялись другие травы, и уже ничто не говорит о недавнем буйном цветении «подснежников».

Это сезонная флуктуация. Если же понаблюдать за одним и тем же участком, скажем, мшистого соснового леса в сухой и влажный годы, то также обнаружится заметное различие в травостое. В год сухой, когда влаги недостаточно, многие травянистые растения не могут развиться в полную силу. Под ногами трещат и рассыпаются в пыль лишайники, хорошо развиты мхи, а вот трав немного, они невысоки и многие сохнут на корню. Во влажный год в этом же лесу на первый план выходят именно травянистые растения. Они могут достигать высоты 1 м (некоторые злаки, золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea*) и другие). Лишайниковый покров в дождливые года обычно плохо выражен. Перед нами как бы другой лес, а между тем это лишь временное изменение его структуры. Вместе с изменением погодных условий года изменяется и растительность. Это разногодичная флуктуация.

Зоогенные флуктуации (влияние животных) можно наблюдать в случае непосредственного воздействия популяции животных. К примеру, часто в лесах, особенно в дубравах, можно видеть порои кабанов на большой площади. Естественно, что нижние ярусы растительности здесь будут повреждены. Это циклическая флуктуация с циклом в несколько (до 10) лет. По прошествии времени растительный биоценоз возвратится к состоянию, близкому к исходному.

2. ***Сукцессии*** (от лат. «successio» - преемственность, наследование) - постепенные необратимые (реже обратимые) направленные изменения биоценозов, протекающие в результате внешних и внутренних причин на одной и той же территории под влиянием природных факторов или воздействия человека. Сукцессию можно определить также как несезонную, направленную и непрерывную последовательность появления и исчезновения популяций разных видов в определенном местообитании (рис. 6.17).

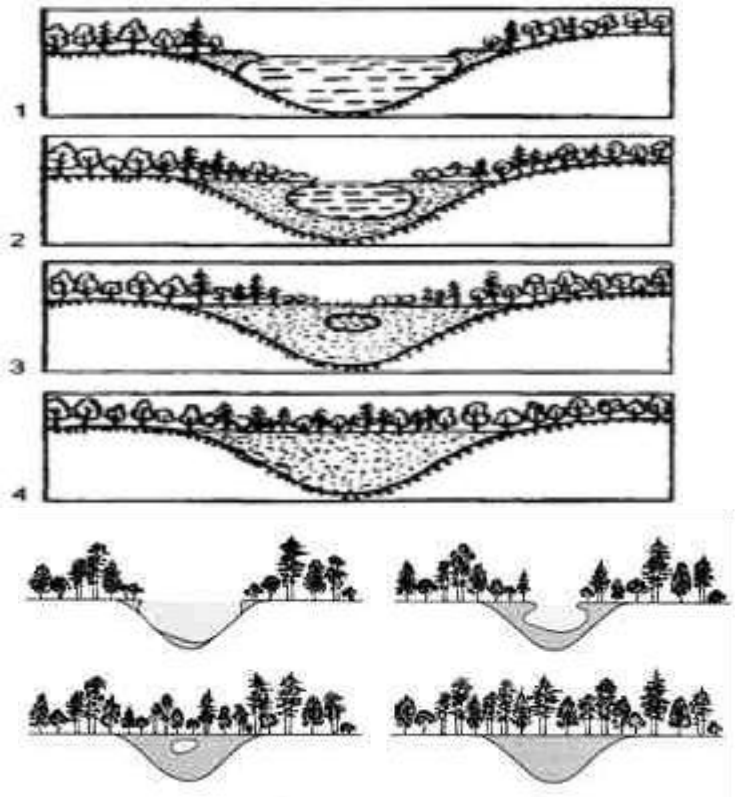



Рис. 6.17. Сукцессия при зарастании озера: растительность сплавин продвигается в направлении от берегов к центру водной поверхности (1), озеро стареет (2 и 3); спустя несколько тысяч лет после заполнения озера разложившимся органическим веществом (торфом) оно зарастает лесом (4)

В ходе сукцессии облик сообщества постоянно меняется. Меняется и функционирование экосистемы. Главными являются 4 типа сукцессионных изменений.

1. Виды растений и животных в процессе сукцессии непрерывно сменяются.
2. Идет повышение видового разнообразия организмов.
3. Увеличивается биомасса органического вещества.
4. Снижается чистая продукция сообщества и повышается его дыхание.

По поводу флуктуаций и сукцессий эстонский геоботаник Х.Трасс писал: «На фоне некоторых постоянных колебаний факторов среды сообщество сохраняется как единое целое, но при воздействии внешних сил происходит изменение его структуры – в процесс вовлекаются «второстепенные» компоненты сообщества и «запускается» виток сукцессии».

Термин «сукцессия» впервые употребил французский ботаник Де Люк в 1806 г. для обозначения смен растительности. Он является одним из ключевых терминов современной экологии. Классическая теория сукцессий была разработана американским ботаником Фредериком Клементсом. Этот тип динамики всегда находился в центре внимания экологов, и проблеме сукцессий посвящена обширная литература.

Любое новое местообитание - обнажившийся песчаный берег реки, застывшая лава потухшего вулкана, лужа после дождя - сразу оказывается ареной заселения новыми видами. Характер развивающейся растительности зависит от свойств субстрата. Это же

можно сказать и о животных, заселяющих новые территории. Постепенно поселившиеся организмы изменяют среду обитания, например, затеняют поверхность или изменяют ее влажность. Следствием такого изменения среды служит развитие новых, устойчивых ко вновь создавшимся условиям видов и вытеснение предыдущих. С течением времени формируется новый биоценоз с заметно отличающимся от первоначального видовым составом.

Принцип сукцессионного замещения заключается в том, что биологические сообщества формируют закономерный ряд экосистем, ведущий к наиболее устойчивой в данных условиях природной системе – *климаксовой* в чисто природных условиях или *узловой* при природно-антропогенном режиме.

Узловое сообщество – конечная фаза сукцессии в условиях антропогенной нарушенности природной среды, когда сообщество развивается до равновесного в данной среде состояния.

3. ***Эволюция*** (от лат. «evolutio» - развертывание) - это изменения, аналогичные сукцессии, большей частью необратимые, с формированием новых типов сообществ за счет видообразования или занесения новых для данных условий видов. В ходе эволюции число видов может возрастать. К эволюции относится и изменение сообществ при исчезновении видов. Обычно новых видов в биоценозах появляется больше, чем исчезает, поэтому в целом их разнообразие увеличивается. Процесс эволюции осуществляется в геологическом масштабе десятков и сотен тысяч лет. Он налагается на природные сукцессии и является их следствием. Эволюция сообществ - это главным образом результат эволюции видов, входящих в их состав.

## 6.8. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СУКЦЕССИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ СУКЦЕССИЙ. ПРОБЛЕМЫ СТАБИЛЬНОСТИ ЭКОСИСТЕМ

Напомним, что под **экологической сукцессией** понимается п**остепенная необратимая направленная смена одних биоценозов другими на одной и той же территории под влиянием природных факторов, или воздействия человека.** Постепенность – одна из наиболее характерных особенностей сукцессии.

Наблюдать сукцессию можно на заброшенных полях разного возраста, песчаных дюнах или песчаных морских и речных берегах. Если рассматривать сукцессию на брошенных землях, которые не используются в сельском хозяйстве, то можно заметить, что бывшие поля быстро покрываются разнообразными однолетними растениями (рис. 6.18). Сюда же попадают семена древесных пород: сосны, ели, березы, осины. Они легко и на большие расстояния разносятся ветром, а также животными. Попав на слабозадерненную почву, семена начинают прорастать, причем в наиболее благоприятном положении оказываются мелколиственные породы (береза, осина). Хвойные обычно гибнут из-за бурного развития трав, под влиянием разлагающегося опада или от обилия минеральных элементов.

Вначале изменения происходят быстро, затем скорость сукцессии снижается по мере появления растений, растущих более медленно. Всходы березы образуют густую поросль, которая затеняет почву, и даже если вместе с березой прорастают семена ели, ее всходы,

оказавшись в весьма неблагоприятных условиях, сильно отстают от березовых. Светолюбивая береза является серьезным конкурентом ели, к тому же специфические биологические особенности дают ей преимущества в росте. Березу называют «пионером леса», так как она почти всегда первой поселяется на нарушенных землях и обладает широким диапазоном приспособляемости.

Березки в возрасте 2-3 лет могут достигать высоты 100-120 см, тогда как елочки в том же возрасте едва дотягивают до 10 см. Постепенно к 8-10 годам березы формируют устойчивое березовое насаждение высотой до 10-12 м. Среди сквозистого полога березы начинает подрастать и ель, образуя подрост разной степени густоты. Перемены происходят и в нижнем, травяно-кустарничковом ярусе. По мере смыкания крон березы светолюбивые виды, характерные для начальных стадий сукцессии, постепенно начинают выпадать, уступая место теневыносливым.

Изменения касаются и животного компонента биоценоза. На первых стадиях поселяются майские хрущи, березовая пяденица, затем появляются многочисленные птицы: зяблик, щегол, пеночка. Поселяются мелкие млекопитающие: землеройка, крот, еж. Изменение условий освещения начинает благоприятно сказываться на росте молодых елочек. Если на ранних этапах сукцессии прирост елочек составлял 1-3 см в год, то по прошествии 10-15 лет он достигает уже 40-60 см. Спустя примерно 50 лет ель догоняет березу и образуется смешанный елово-березовый древостой. Из животных появляются зайцы, лесные полевки, мыши, белка. Заметны сукцессионные процессы и среди птичьего населения. Появляются иволги, питающиеся гусеницами.

Смешанный елово-березовый лес постепенно сменяется лесом еловым. Ель перегоняет в росте соперницу-березу, создает значительную тень, и светолюбивая белоствольная красавица, не выдержав конкуренции, постепенно выпадает из древостоя. Таким образом происходит сукцессия, при которой вначале березовый, затем смешанный елово-березовый лес сменяется чистым ельником. Естественный процесс смены березняка ельником длится более 100 лет. Именно поэтому процесс сукцессии иногда называют *вековой сменой*. Цепь последовательных стадий в развитии живых компонентов биоценоза называется *сукцессионным рядом*. В нашем примере это:

березняк → елово-березовый лес → ельник.

В качестве примеров сукцессий можно привести процесс изменения растительности на песчаных дюнах. Вначале здесь поселяются многолетние растения, способные переносить засушливые условия. Они укрепляют поверхность дюны и вносят в песок органические вещества. Вслед за многолетниками появляются однолетники. Их рост и развитие способствуют обогащению субстрата органическим материалом, так что постепенно создаются условия, подходящие для произрастания таких растений, как ива, толокнянка, чабрец. Эти травы предшествуют появлению проростков сосны, которые закрепляются здесь и спустя много поколений образуют сосновые леса на песчаных дюнах.

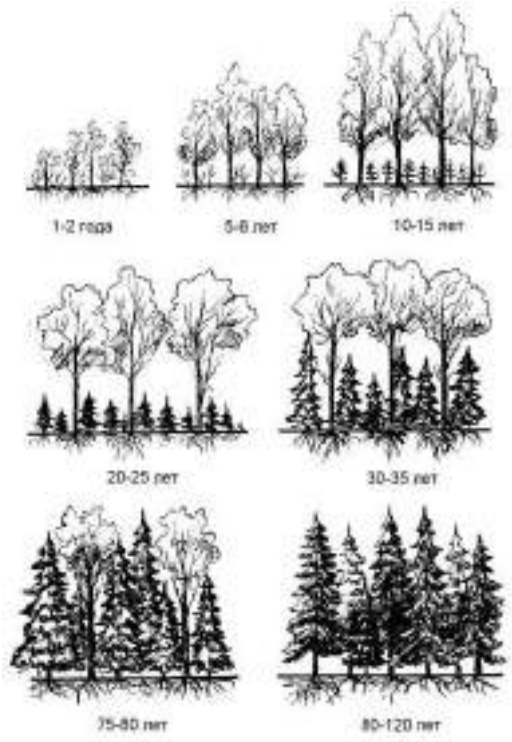



Рис. 6.18. Пример сукцессии

Еще одна классическая сукцессия - образование торфяного болота при зарастании озера рис. 6.19). Изменение растительности на болотах начинается с того, что края водоема зарастают водными растениями. Вблизи берегов сплошным ковром разрастаются влаголюбивые виды растений (камыш, тростник, осока). Постепенно создается более или менее плотный слой растительности на поверхности воды. Отмершие остатки растений постепенно накапливаются на дне водоема. Из-за малого количества кислорода в застойных водах эти остатки медленно разлагаются и постепенно превращаются в торф. Начинается формирование болотного биоценоза: появляются сфагновый мох, на сплошном ковре которого поселяются клюква, багульник, голубика, да кое-где сосенки, образующие редкую поросль тощих деревьев. Так с течением времени постепенно образуется биоценоз верхового болота.

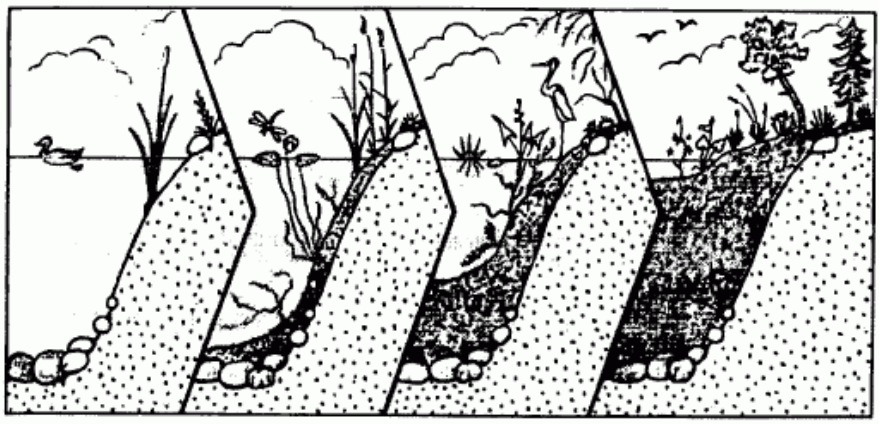


Рис. 6.19. Превращение озера в низинное болото

Все сукцессии можно разделить на две большие группы. Это прежде всего ***аллогенные сукцессии*** (от греч. «allos» - иной, другой и «genesis» - возникновение), причины которых определяются внешними влияниями (природными или антропогенными), изменяющими условия среды. Таким образом, при аллогенной сукцессии источник изменения биоценоза находится в окружающей его среде. Движущие силы сукцессии имеют направленный характер:

среда → растительность

К такому типу сукцессий можно отнести переход от эвтрофного озера, обогащенного питательными веществами стоков (например, животноводческой фермы), к болоту или наземному сообществу.

Сукцессии, происходящие в результате изменения условий среды самими сообществами в отсутствие постепенного изменения абиотических факторов называются ***автогенными*** (от греч. «autos» - сам, «genesis» - происхождение). В данном случае источником смены служит сама растительность, которая посредством изменения среды своего существования, меняет свою структуру. Происходит как бы «самоотрицание» растительности. Схематично этот процесс можно представить следующим образом:

растительность → среда → растительность

Автогенные сукцессии могут быть ***первичными***: развитие сообществ идет во вновь образовавшихся местообитаниях, на новых субстратах, где растительность ранее отсутствовала, - на песчаных дюнах, застывших потоках лавы, на породах, обнажившихся в результате эрозии или отступления льдов. Первичная сукцессия начинается заселением вновь образовавшегося голого субстрата.

*Интересным примером первичной сукцессии может служить заселение живыми организмами вновь образовавшегося субстрата на месте вулкана Тамбора (Индонезия). 5 апреля 1815 года на индонезийском острове Сумбава началось гигантское извержение вулкана Тамбора, которое стало крупнейшим вулканическим извержением в истории человечества. Объём выброшенного материала оценивается в 150—180 км$^3$. Взрыв вулкана был слышен на острове Суматра, расположенном в 2 тыс. км к северо-западу от Тамборы. В воздух на высоту 43 километров были выброшены пепел, песок и вулканическая пыль. Камни до пяти килограммов весом разлетались на расстояние до 40 километров. Число погибших достигло 71 тыс. человек (самое большое количество погибших от извержения вулкана за всю историю человечества). Извержение породило глобальные климатические аномалии, включая такой феномен, как «вулканическая зима». 10 апреля звуки взрывов внутри вулкана усилились - их принимали за орудийные выстрелы даже на острове Суматра (на расстоянии 2600 км от Тамборы). Кромешная тьма в течение двух-трёх дней стояла даже в 600 км от вулкана.*

*Вся растительность на острове Сумбава была уничтожена. Перед учеными открылась перспектива изучения развития жизни при естественном заселении субстрата, возникшего после извержения. Все живое было погребено под потоками горящей лавы. Не осталось никаких признаков жизни. Даже мельчайшие споры и семена растений оказались в плену разбушевавшейся стихии. В 1847 г. научный коллектив под руководством швейцарского ботаника Генриха Золлингера посетил Сумбаву. Задачей Золлингера было изучение последствий извержения и его*

*влияние на местную экосистему. Он был первым человеком, который поднялся на вершину вулкана после извержения. Она всё ещё была покрыта дымом. Как только Золлингер поднялся, его ноги провалились в тёплый слой порошковой серы. Тем не менее, некоторая часть растительности к тому времени уже появилась, например, было обнаружено несколько живых деревьев на нижнем склоне вулкана.*

*Постепенно началось восстановление экосистемы острова. Цианобактерии, чьи споры были занесены ветром, подготовили условия, в которых начали развиваться пионерные мхи, папоротники и некоторые цветковые растения. Семена некоторых растений были выброшены морем, так же, как и более крупные плоды тропических деревьев. Постепенно формировался почвенный покров.*

*По мере возрождения жизни остров посещали многие виды птиц, но лишь после того, как появились необходимые для их существования растения, они начали вести здесь оседлую жизнь.*

*Уже в 1896 г. в районе Тамборы было обнаружено 56 видов птиц. До 1981 года было обнаружено ещё двенадцать видов. В дальнейшем последовало ещё несколько зоологических исследований района горы, и на сегодняшний день известно порядка 90 видов птиц, обитающих около вулкана, таких как малый желтохохлый какаду, земляной дрозд, многоцветный лорикет и зелёная джунглевая курица.*

*Поселившиеся птицы в своих пищеварительных трактах приносили семена и плоды многих растений. Некоторые семена путешествовали, прикрепляясь к их перьям. Постепенно на острове обосновывались и крупные животные.*

*Густые тропические дождевые леса выросли на высоте 1000-2700 метров. Небольшие рощи казуарин росли на высоте 2200-2550 метров. Также были найдены травянистые сообщества злакового растения императы цилиндрической.*

*Таким образом, заселение живыми существами субстрата, возникшего после извержения вулкана Тамбора, является примером первичной сукцессии.*

Если на какой-либо местности ранее существовала растительность, но по каким-либо причинам она была уничтожена, то ее естественное восстановление называется ***вторичной сукцессией***. К таким сукцессиям может привести, например, локальное уничтожение леса болезнями, ураганом, землетрясением - так называемая катастрофическая сукцессия, либо пожаром - ***пирогенная*** (от греч. «pyr» - огонь) сукцессия. Большинство сукцессий, наблюдаемых в настоящее время являются сукцессиями ***антропогенными*** (от греч. «anthropos» - человек). Это выпас скота, рубка лесов, возникновение очагов возгорания, распашка земель, затопление почв, опустынивание и т.п.

Каждая стадия сукцессии характеризуется изменениями не только в структуре растительности, но и животного компонента биоценоза. По мере роста древостоя животное население в значительной степени меняет свой состав. Появляющиеся хищники и паразиты контролируют видовую структуру биоценоза. Поэтому последовательная и непрерывная смена видов во времени является характерной чертой большинства сукцессионных процессов.

Сукцессии характерны как для сухопутных, так и для водных местообитаний. Их можно наблюдать и в мелководных экосистемах (озеро, пруд), и в крупных реках, и даже в океане. Обычно на процессы сукцессии в водных местообитаниях указывают изменения в составе прибрежной растительности и обилии водных животных, главным образом рыбы. Часто при строительстве водохранилищ приходится затапливать водой большие площади суши с более или менее плодородными почвами. Обилие биогенных элементов на этой

стадии приводит к вспышке численности рыбы, количество которой затем снижается по мере расходования запасов пищи. В дальнейшем происходит стабилизация обилия рыбного населения, поддерживающаяся определенным уровнем содержания питательных веществ.

Рассматривая сукцессии растительности при создании водохранилищ, можно установить некоторые общие закономерности. Так, во всех случаях формируются сообщества свободноплавающих, прикрепленных растений и прибрежно-водные группировки из рогозов, манника, ежеголовника, тростника и т.д. Такая стадийность зарастания водных местообитаний характерна для многих водных экосистем, однако некоторые стадии могут выпадать в зависимости от конкретных природных условий.

По мере развития биоценоза, происходящего в результате смены различных сукцессионных стадий, изменения его структуры и видового состава протекают до определенного предела, после которого сообщество приходит в относительное стабильное состояние, главным образом за счет стабилизации структуры растительности. Такое относительно устойчивое и равновесное по отношению к внешней среде растительное сообщество носит название климаксового. Таким образом, **климакс** (от греч. «klimax» - лестница) **представляет собой заключительную стадию развития биоценоза, на которой он находится в равновесном состоянии с окружающей средой довольно продолжительное время.** Климакс – относительно устойчивая стадия, достигаемая в процессе сукцессии. В таких климаксовых сообществах долгое время сохраняются относительно постоянные потоки вещества и энергии. Видовой состав этих сообществ обычно богат и однороден по структуре. В течение сукцессии биомасса и продукция живых организмов возрастает, а круговорот веществ становится все более замкнутым.

В пределах климаксового сообщества могут происходить изменения, но они весьма медленны или слишком малы, чтобы затронуть общий характер растительности. Когда экосистема приближается к состоянию климакса, в ней, как и во всех равновесных системах, происходит замедление всех процессов развития. Данная закономерность получила название закона сукцессионного замедления: процессы, идущие в зрелых равновесных системах, находящихся в устойчивом состоянии, как правило, проявляют тенденции к замедлению. При этом восстановительный тип сукцессии меняется на вековой их ход, т. е. саморазвитие идет в пределах климакса или узлового сообщества.

Отсюда бесперспективность попыток «торопить» природу при хозяйственных мероприятиях без выведения ее систем из равновесного состояния или создания других особых условий для проведения хозяйственных акций.

Стабильность экосистемы возможна только при сбалансированном поступлении и отчуждении органического вещества. В этом случае общая живая масса экосистемы остается в устойчивом состоянии. Под экологической стабильностью экосистемы понимается способность ее противостоять внутренним и внешним абиотическим и биотическим факторам среды.

## 6.9. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ. БИОМЫ

*Главный тип сообщества любого континента, выделяемый по физиономическим признакам, – это есть биом.*

**Роберт Уиттекер – американский эколог**

Как и любая другая наука, экология заинтересована в классификации своих объектов исследования. Вопрос об иерархической структуре биосферы является одним из важнейших в биосферологии и глобальной экологии. Попытки создания классификации экосистем Земного шара предпринимались давно, однако удобной классификации создать не удалось. Если задаться вопросом - сколько экосистем существует на земном шаре, то, вероятно ответить на него будет нелегко. Все дело в том, что из-за огромного разнообразия типов естественных экосистем, из-за их безранговости очень трудно найти тот единый критерий, опираясь на который, можно осуществить подобную классификацию. Если мы пришли к заключению, что отдельной экосистемой может быть и лужа, и кочка на болоте, и песчаная дюна с закрепившейся растительностью, то, вероятно, подсчитать все возможные варианты кочек, луж и т.п. не представляется возможным. Поэтому экологи решили сконцентрировать внимание на крупных сочетаниях экосистем - биомах.

Термин «биом» был предложен в 1916 году американским экологом Фредериком Клементсом первоначально как синоним биоценоза по Мебиусу. Первоначально понятие «биом» употреблялось для обозначения совокупности растительности и животного населения на региональном и субглобальном уровнях пространственного рассмотрения. Позже в глобальной экологии континентов сложились представления о биомах как крупных ландшафтных единицах живого покрова Земли, облик которых определяет тип растительности. В 1964-1974 годах Международная биологическая программа (МАБ) «Человек и биосфера» популяризировала концепцию биома.

Российский биогеограф и эколог Я.И. Старобогатов рассматривал биом как систему экосистем, а не биоценозов. Он указывал, что «под биомами понимают большие экосистемы, главные экосистемы планеты, или главные подразделения биосферы». Биомы, с его точки зрения, «занимают второе место в подразделении биосферы после основных областей жизни (суша, океан, мировой сток)».

В современной экологии по определению Ю. Одума биом представляет собой **«крупную региональную или субконтинентальную экосистему, характеризующуюся каким-либо основным типом растительности или другой характерной особенностью ландшафта, например, биом лиственных лесов умеренного пояса»**.

По выражению американского эколога Роберта Уиттекера, главный тип сообщества любого континента, выделяемый по физиономическим признакам растительности, – это есть биом. Биом, это природная зона или область с определенными климатическими условиями и соответствующим набором доминирующих видов растений и животных (живое население), составляющих географическое единство.

Основной признак, по которому выделяются биомы суши - особенность растительности того или иного региона. Для разграничения наземных биомов кроме физико-географических условий среды используют сочетания жизненных форм растений их составляющих. Например, для тундрового биома среди автотрофов характерно преобладание травянистых форм растений, а среди гетеротрофов – грибов, почвенных беспозвоночных, крупных копытных. Для биома дождевого тропического леса среди автотрофов характерно преобладание древесной экоморфы, а среди гетеротрофов – насекомых фито- и ксилофагов.

Таким образом, биом представляет собой совокупность сообществ, близких по составу экоморф и жизненных форм, характеру биоценотических связей, трофической структуре и применяется для классификации крупных сочетаний экосистем. Может быть, не стоило городить огород и вместо термина «биом» оставить термин «экосистема». Однако, экосистема должна быть территориально целостным образованием. А, к примеру, таежные леса северного полушария (Северная Америка и Евразия) не связаны между собой. И такого понятия, как таежная лесная экосистема, не существует.

Сходные биомы континентов объединяются в типы биомов. Продвигаясь с севера нашей планеты к экватору, можно выделить девять основных типов сухопутных биомов. Приведем их краткую характеристику.

**1. Тундра**. Расположена между полярными льдами и таежными лесами к югу. Она начинается там, где кончаются леса, и простирается на север до вечных льдов Евразии и Северной Америки (рис. 6.20). Само слово «тундра» означает «к северу от границы лесов».

Рис. 6.20. Тундра на карте мира

Физико-географические условия в тундре довольно своеобразны. Положение Солнца низко даже в день летнего солнцестояния, в связи с чем атмосфера задерживает значительную долю солнечных лучей. Однако длинный полярный день позволяет растениям осуществлять фотосинтез круглые сутки. Характерной особенностью этого биома является малое годовое количество осадков - всего 250 мм в год. Основные лимитирующие факторы - низкая температуры и короткий сезон вегетации. Очень значимым фактором является вечная мерзлота. Мерзлый слой препятствует проникновению воды, что приводит к заболачиванию местности.

Древесная растительность не развита, и лишь по южной границе имеется разреженный древостой (лесотундра). В растительном покрове преобладают лишайники — виды родов Cetraria и Cladonia (ягель) — и зеленые мхи, в частности кукушкин лен (виды из рода Polytrichum). Встречаются низкорослые карликовые древесные растения, такие как карликовая береза (Betula nana). Тундра - это, видимо, единственное место на Земле, где грибы вырастают выше деревьев. Из-за скудности растительности и жестких климатических условий, крупных животных здесь мало. Основной представитель тундры - северный олень (североамериканская форма его называется карибу), встречаются заяц-беляк, лемминг и полевка (рис. 6.21).

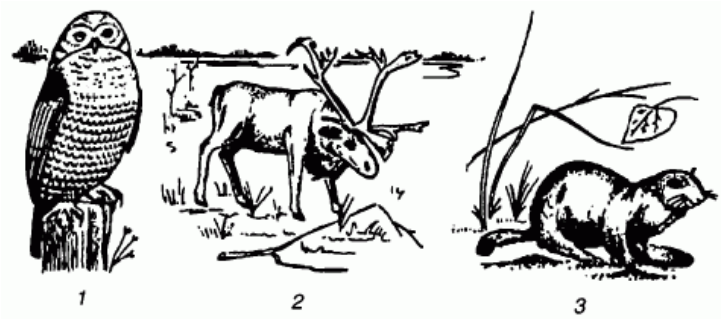



Рис. 6.21. Белая сова (1) живет в открытой тундре и питается преимущественно леммингами. Дикий олень (2) зимует в тайге и в лесотундре; весной стада оленей возвращаются в тундру. Суслик (3) обычно запасает корм на зиму, и это спасает его весной, когда пищи еще мало

Хищников мало, в основном это песцы (рис. 6.22).

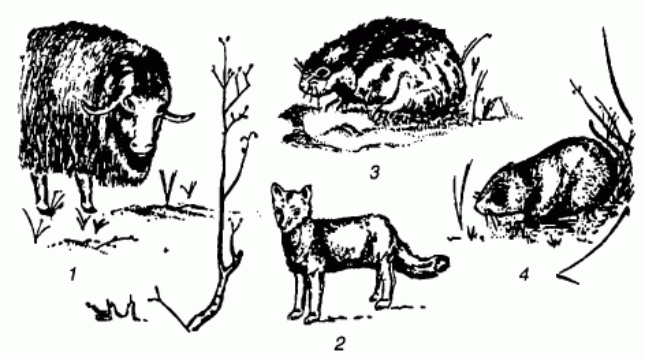



Рис. 6.22. Характерные обитатели Крайнего Севера, активные и в суровое зимнее время: овцебык (1), песец (2), лемминг (3), полевка-экономка (4)

К югу тундра переходит в лесотундру, которая рассматривается как экотон между биомами тундры и тайги. Характерным здесь является лесотундровое редколесье. В западных лесотундрах (Скандинавия) преобладает береза извилистая. К востоку от Белого моря основным видом становится ель сибирская. На восток от Урала резко преобладает сибирская лиственница, а еще восточнее — даурская лиственница.

**2. Тайга** (биом бореальных (северных) хвойных лесов). Протянулась широким поясом по северу Евразии и Северной Америки (Канада и Аляска). Этот биом занимает большую часть площади России. Внушительная часть площади Скандинавии занята именно тайгой. Существует также: канадская тайга, норвежская тайга, монгольская, шведская и финская тайга. Это крупнейший биом в мире (рис. 6.23). Тайга составляет около 27% всех лесов планеты. Евразийская тайга – одна из важнейших экосистем на планете, так как от нее зависит количество углерода и кислорода в ближайшем к Земле слое атмосферы. Густые леса, покрывающие огромную площадь, каждый день превращают огромные объёмы углекислого газа в пригодный для дыхания воздух. Одного гектара кедрового леса, произрастающего в тайге, хватило бы на то, чтобы очистить целый город от микробов, — настолько сильны фитонцидные свойства кедровника.

Рис. 6.23. Область распространения тайги

Для тайги характерны болота — ими покрыты северная Сибирь и материковые части Канады. Средняя температура самого теплого месяца составляет 10-19,5°С со среднегодовыми величинами в 2-5°С. Годовое количество осадков — 500 мм, реже до 700 мм, причем по мере продвижения на восток количество осадков уменьшается. Основные почвы подзолистые. Разнообразие древесных пород очень невелико: европейская и сибирская ели, сибирская и даурская лиственницы, сибирская пихта, обыкновенная сосна, сибирская кедровая сосна и, на крайнем востоке, аянская ель. Мелколиственные деревья — береза и осина — распространены широко, но или составляют примесь к хвойным породам.

Крупных животных мало, в основном это лоси и олени, но обитает большое количество хищников: куницы, рыси, волки, росомахи, норки, соболя. В тайге проживает лишь один вид семейства кошачьих – это опасный и хитрый хищник – рысь. Многочисленны грызуны. Ни в одном уголке мира не водится такого количества пушных зверей, как в таёжных лесах. В таежных лесах вьют гнезда и высиживают потомство более 300 разновидностей птиц, причем многие из них относятся к редким и вымирающим видам. В тайге на канадской территории обитают свыше 32 000 видов насекомых.

Из-за сурового климата в тайге почти не встречаются пресмыкающиеся – в таежных лесах на территории Евразии они представлены всего двумя видами змей и одной разновидностью ящериц. В тайге водятся сибирские лягушки, сумевшие, несмотря на свою хладнокровность, приспособиться к таёжному климату.

Резкие климатические контрасты между летом и зимой обуславливают колебание численности животных в годовом цикле. Одним из примеров служит колебание численностей зайца-беляка и рыси. Цикл развития хищника зависит от цикла развития жертвы.

**3. Листопадные (неморальные, широколиственные) леса умеренной зоны.** В умеренной поясе, где достаточно влаги (800-1500 мм в год), а жаркое лето сменяется холодной зимой, развились леса определенного типа. К существованию в таких условиях приспособились деревья, сбрасывающие листву в неблагоприятное время года. Большинство деревьев умеренных широт относятся к широколиственным породам. Это дуб, бук, клен, ясень, липа, граб. Вперемешку с ними встречаются здесь и хвойные сосна и ель, тсуга и секвойя. В основном в листопадных лесах среди древесной флоры доминируют бук и дуб. Благодаря опаду листьев формируется мощная лесная подстилка, позволяющая перезимовать многим беспозвоночным животным.

Ярусная структура широколиственных лесов намного сложнее, чем у хвойных: до трех ярусов деревьев (дубравы), двух ярусов кустарников и двух-трех ярусов трав. Раскидистая крона, высокая дуплистость деревьев и хорошо выраженная ярусность широколиственных лесов позволяют птицам занимать свои экологические ниши на различных уровнях.

Большинство лесных млекопитающих ведут наземный образ жизни – это барсуки, медведи, благородные олени, кроты и грызуны. Волки, дикие коты и лисы – распространенные здесь хищники. Множество птиц: дятлы, синицы, дрозды, зяблики и др. Данный биом характерен для Европы, Северной Америки, Восточной Азии, частично юга Чили и островов Новой Зеландии (рис. 6.24).

Рис. 6.24. Область распространения неморальных лесов

Леса этого биома занимают плодородные почвы, что при развитии человеческой цивилизации послужило причиной их широкого сведения для нужд сельского хозяйства. В результате этого его большая часть замещена культурными сообществами или сообществами лесных опушек. Таким образом, современная лесная растительность здесь сформировалась под непосредственным влиянием человека. Нетронутыми можно считать, вероятно, лишь леса в Сибири и на севере Китая.

**4. Степи умеренной зоны**. Наиболее обширная в мире зона степных экосистем располагается на самом крупном материке - Евразии. Наибольшие площади степей находятся на территории России, Казахстана, Украины и Монголии. Степи тянутся непрерывной полосой от Венгрии до Забайкалья. Длина этого степной полосы 7500 км. Ширина западной и восточной оконечностей 150-400 км, а в центральной части, на равнинах Восточной Европы или Западной Сибири и Казахстана, - до 600 км. На востоке степь растекается в виде отдельных лент и пятен, лежащих на Приамурской равнине, в долине р. Лены, а также представлена крохотными локальными островками среди тайги хребтов Восточной Сибири. Второе место после Евразии по площади степных экосистем занимает Северная Америка. Степи здесь располагаются в центральной части континента плотным массивом. Затем следуют Южная Америка, Африка и, наконец, Австралия (рис. 6.25).

Рис. 6.25. Карта распространения степей

Решающий фактор существования степей - климат. Осадков здесь недостаточно, для существования деревья, но и не настолько мало, чтобы образовались пустыни. Обширные степные просторы в Америке называются прериями. В год здесь выпадает от 250 до 750 мм осадков. Неравномерность выпадения осадков позволяет делить прерии от востока к западу Северной Америки на низкотравные (растения не вырастают выше полуметра), смешанно-травные (высота растений от 50 до 150 см) и высокотравные (травы достигают 3-метровой высоты). В Азии горы Алтая делят степи на западные (более сухие) и восточные. Степные экосистемы отличаются травянистым покровом с преобладанием узколистных (реже широколистных) дерновинных злаков, способных выносить периодическую засуху. Почти все они распаханы и заняты посевами зерновых и культурными пастбищами.

Для степей характерно наличие мощной корневой массы, превосходящей надземную, зеленую, в десятки раз. Почвы богаты гумусом (органическое вещество почвы), поскольку к концу лета травы погибают и быстро разлагаются. В прежние времена на обширных степных просторах паслись огромные естественные стада травоядных млекопитающих. В настоящее время здесь можно встретить порой только одомашненных коров, лошадей, овец и коз. Из диких копытных типичны антилопы; из грызунов - суслики, сурки, слепыши, тушканчики, кенгуровые крысы. Обычные птицы здесь степной орёл, дрофа, степной лунь, степная пустельга, жаворонки. Многочисленны пресмыкающиеся и насекомые. Ящерицы (например, вараны) могут во время засухи довольно долго жить без воды (рис. 6.26).

Рис. 6.26. Представители степной фауны: 1 — заяц-русак; 2 - степная пищуха; 3 - дрофа; 4 - луговая тиркушка; 5 - кречётка; 6 - белокрылый жаворонок; 7 - степной жаворонок; 8 - чёрный жаворонок (самец); 9 - обыкновенный сурок; 10 - крапчатый суслик; 11 - обыкновенный хомяк; 12 -

хомячок Эверсманна; 13 - белобрюхая белозубка; 14 - обыкновенный цокор; 15 - большой тушканчик; 16 - обыкновенный слепыш; 17 - стрепет; 18 - степной орёл; 19 - сайгак; 20 - журавль-красавка; 21 - степная пеструшка; 22 - степная гадюка; 23 - прыткая ящерица; 24 - степная пустельга; 25 - даурский суслик; 26 - заяц-толай; 27 - перелётная саранча; 28 - желтобрюхий полоз; 29 - дзерен; 30 - манул; 31 - степной хорь; 32 - корсак.

**5. Растительность средиземноморского типа**. Территории вокруг Средиземного моря характеризуются жарким иссушающим летом и прохладной влажной зимой. Поэтому растительность здесь представлена в основном колючими кустарниками и ароматическими травами. Этот биом носит специфическое название – чапараль («chaparral», от «chaparro» - «заросли кустарникового дуба») (рис. 6.27). Он широко распространен в Мексике, Калифорнии, по берегам Средиземного моря, в Чили и вдоль южного побережья Австралии. В Австралии часто встречаются деревья и кустарники из рода эвкалипт. Обычна жестколистная растительность с толстыми и глянцевыми листьями. Деревья редко вырастают здесь до нормального состояния. В составе чапараля — вечнозеленые кустистые дубы; очень характерно розоцветное растение аденостома (Adenostoma fasciculatum), образующая чистые естественные насаждения. В мексиканских чапаралях много мимозовых и цезальпиниевых.

Рис. 6.27. Чапараль. Adenostoma fasciculatum

Из животных для этого биома обычны кролики, древесные крысы, бурундуки некоторые виды оленей. Иногда можно встречаются косули, рыси, дикие кошки и волки. Из рептилий множество ящериц и змей. Много насекомых, особенно цикад. В Австралии в зоне распространения чапараля можно встретить кенгуру, в Северной Америке – зайцев и пум.

В этом биоме важную роль играют пожары, которые с одной стороны благоприятствуют травам и кустарникам (в почву возвращаются элементы питания), а с другой стороны создают естественный барьер от вторжения пустынной растительности.

**6. Пустыни**. Более 1/3 суши на нашей планете занято неблагоприятными для жизни областями – пустынями и полупустынями.

Биом пустынь характерен для засушливых и полузасушливых зон Земли, где выпадает менее 250 мм осадков (рис. 6.28).

Рис. 6.28. Область распространения пустынь

Самыми известными пустынями, где годами не выпадает ни одного дождя, являются центральная Сахара, пустыня Такла-Макан в Центральной Азии, Атакама в Южной Америке, Ла-Жойа в Перу и Асуан - в Ливии. В среднем такие пустыни получают около 10 мм осадков в год.

Среди пустынь различают холодные (пустыня Гоби) и жаркие (Сахара, Калахари и др.). Типичный пустынный ландшафт - обилие голого камня или песка с редкой растительностью. Поверхность обширной пустынной области Сахары только на 20% занята песками, а остальное - это галька, скалы, камни и солончаки.

В жестких условиях пустынь распространены виды растений и животных, приспособившихся к засухе. Пустынные растения относятся большей частью к группе суккулентов. Это различные кактусы и молочаи. Много однолетников. В холодных пустынях обширные площади заняты растениями, относящимися к группе солянок, - виды из семейства маревых.

Животные по-разному приспосабливаются к жизни в пустыне (рис. 6.29). Они большей частью довольно малы, что помогает им во время жары спрятаться под камнями или в норах. Пустынные животные выживают, поедая запасающие воду растения. Из крупных животных можно отметить верблюда, который может долгое время обходиться без воды, при условии периодического его «запасания». А вот такие пустынные животные, как тушканчик и кенгуровая крыса, могут существовать без воды неопределенно долгое время, питаясь лишь сухими семенами. Им хватает влаги, получаемой за счет окисления жиров, белков и углеводов из зерен высохших трав, которыми они питаются.

Рис. 6.29. Защита обитателей пустынь от перегрева в жару:
пресмыкающиеся (1) и птицы отдают тепло через кожу за счет испарения со слизистой ротовой полости; млекопитающие могут использовать разные возможности: американский антилоповый суслик (2) натирается слюной, а койот (3) "остывает" с помощью учащенного дыхания и высунув язык

Для многих мелких животных пустынь главный источник воды – влага, содержащаяся в поедаемых ими кормах. Некоторые из этих животных не только не пьют воду, но и не умеют ее пить. Многие из них рождаются и умирают, даже и не увидав воды в обычной ее форме в течение жизни.

В пустыне Намиб обитают жуки вида Onymacris unguicularis. Эти насекомые знают уникальный способ сбора воды прямо из воздуха. Жуки получают влагу из утреннего тумана. Насекомые забираются на песчаные дюны, поднимают брюшко кверху по направлению к ветру. Такое положение позволяет воде конденсироваться на выступах надкрыльев, а потом стекать по центральному желобку вдоль шва надкрыльев прямиком в рот насекомому. Таким образом жукам удаётся собрать воду, которая по объёму может достигать 40% от их собственного веса.

**7. Биом тропических саванн и лугопастбищных земель.** Саванны представляют собой обширные открытые пространства, покрытые обильной травой, где лишь иногда встречаются одиноко стоящие деревья. Термин саванна означает «равнина без деревьев». Этот биом распространен на довольно бедных почвах, что послужило причиной относительной его сохранности.

Биом располагается по обеим сторонам от экваториальной зоны между тропиков (рис. 6.30). Наиболее характерные саванны расположены в Центральной и Восточной Африке, хотя они встречаются также и в Южной Америке, и в Австралии. В отличие от настоящих степей, саванны, кроме трав, содержат также кустарники и деревья, растущие иногда целым лесом, как, например, в Бразилии. Типичный пейзаж саванны - высокая трава с редкостоящими деревьями из родов акация, баобаб, древовидные молочаи (рис. 6.31). Растения вынуждены здесь приспосабливаться к сухими сезонам и пожарам.

Особенности развития трав (опыление ветром, вегетативное размножение, способность образовывать дернину и возобновлять рост несмотря на повреждения) помогают обеспечить огромное число травоядных животных источниками питания.

Рис. 6.30. Распространение биома саванн

Отмершими растениями питаются в основном термиты. Они возводят гигантские сооружения, достигающие в поперечнике 3-4 м и высоты до 7 метров. Миллионы термитов принимают участие в строительстве. Термитники состоят из почвенных частиц, которые скреплены экскрементами насекомых и выделениями из слюнных желез. Нередко число термитников достигает 2000 на га, составляя характерную деталь саванных ландшафтов.

Рис. 6.31. Африканская саванна

Видовое разнообразие животных в саваннах значительно меньше, чем в тропических лесах, но отдельные виды выделяются высокой плотностью особей, образуя стада, табуны, стаи, прайды. В саваннах Африки пасется такое количество копытных, которое не встречается ни в одном другом биоме. Растениями питаются многие звери и птицы: бородавочники, зебры, жирафы, слоны, цесарки, страусы. В результате эволюции среди животных саванн сложилась четкая специализация в использовании кормовой базы. Так, например, бородавочники поедают подземные части растений (корни и клубни). Траву на некотором расстоянии от земли поедают зебры. Любители листвы и веток тщательно «подстригают» кусты и деревья в разных ярусах, в верхнем ярусе кормится жираф (рис. 6.32).

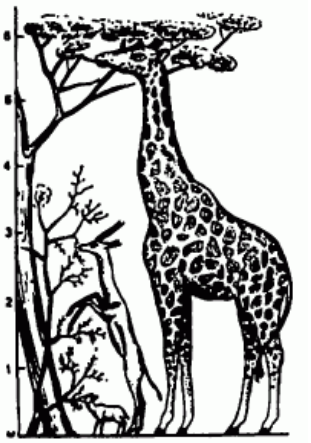


Рис. 6.32. Млекопитающие саванны используют в пищу растительность всех ярусов, так что каждый вид добывает себе пропитание без особой конкуренции. Слева направо: дикдик (антилопа), жирафовая газель и жираф

В саваннах Африки пасется такое количество копытных, которое не встречается ни в одном другом биоме. Огромное количество травоядных способствует проживанию множеству хищников. Особенности последних – большая скорость передвижения. Саванна – это открытая местность. Чтобы догнать жертву, нужно быстро бегать. Поэтому равнины Восточной Африки являются домом для самого быстрого в наземном мире животного – гепарда. Эти хищники охотятся поодиночке. Другие – львы, гиеновые собаки, предпочитают совместные действия для отлова добычи. Третьи – гиены и грифы, питающиеся падалью, всегда наготове, чтобы быстро подхватить остатки, или стащить

только что пойманную добычу. И только умный леопард подстраховывает себя, затаскивая пойманную жертву на дерево.

**8. Тропическое или колючее редколесье**. Там, где условия влажности промежуточны между пустыней и саванной, с одной стороны, и сезонным или дождевым лесом - с другой, можно встретить тропический скрэб, или колючее редколесье. Это в основном светлые редкостойные лиственные леса и колючие, причудливо изогнутые кустарники. Данный биом характерен для Южной, Юго-Западной Африки и Юго-Западной Азии. Монотонно-однообразная растительность иногда украшается величественными баобабами. Лимитирующий фактор здесь - неравномерное распределение осадков, хотя в целом их выпадает достаточное количество.

**9. Тропические леса**. Тропические дождевые леса занимают тропические области Земли в бассейнах Амазонки и Ориноко в Южной Америке; бассейны Конго, Нигера и Замбези в Центральной и Западной Африке, Мадагаскар, Индо-Малайскую область и Борнео - Новую Гвинею (рис. 6.33). Тропики обычно называют джунглями. Самые старейшие джунгли на Земле находятся в Малайзии (национальный природный парк Таман-Негара). Они старше, чем джунгли в Конго или на Амазонке. Им порядка 130 миллионов лет.

Тропические леса занимают всего около 7% суши. По разнообразию жизни на нашей планете ничто не может сравниться с тропическими дождевыми лесами. 1 гектар экваториального леса может вместить 42 000 видов насекомых, 750 видов деревьев и 1500 разновидностей других жизненных форм. Число видов рыб в Амазонке больше, чем во всем Атлантическом океане. Для тропических лесов характерны обильные, постоянно выпадающие осадки и тепло без выраженных сезонных колебаний. Они переполнены жизнью от кроны самых высоких деревьев до лесной подстилки.

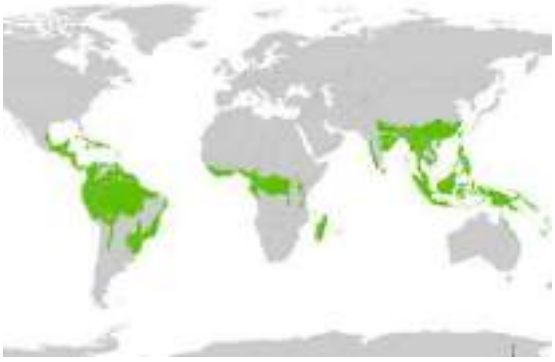


Рис. 6.33. Карта распространения тропических лесов

Постоянно влажный климат способствует тому, что растения здесь очень крупные и хорошо развитые. Растительность тропического леса предстает перед путешественником сплошной стеной растений, поднимающихся на высоту до 75 метров (рис. 6.34). Верхний ярус представлен гигантскими деревьями. Здесь едва ли найдется хоть одно дерево, не увитое многочисленными лианами и не украшенное многочисленными растениями-эпифитами и паразитами.

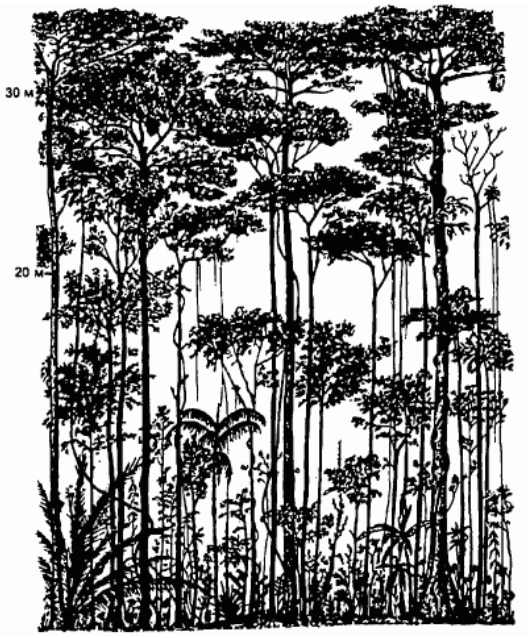



Рис. 6.34. Ярусное строение тропического дождевого леса

Так как солнечный свет очень плохо проникает сквозь густую листву деревьев, под ними практически нет растений и, конечно, животных. Все животное разнообразие сосредоточено в среднем ярусе тропического леса. Насекомые, рептилии, птицы и млекопитающие свободно перемещаются вверх и вниз по стволам могучих деревьев. Высоко наверху, в солнечных кронах, живет множество удивительных созданий, которые за всю свою жизнь так и не удосуживаются спуститься вниз, в тень. Здесь, в развесистых кронах, обитает одна из самых крупных хищных птиц в мире – южноамериканская гарпия. Тут же можно встретить филиппинскую гарпию-обезьяноеда, известную тем, что она охотится даже на крупных обезьян.

Спускаясь пониже, в более тенистые яруса, есть возможность повстречать змей и крупных кошек, таких как ягуар и оцелот в Южной Америке и дымчатого леопарда в Юго-Восточной Азии.

На поверхности земли, в сумраке тропиков, можно встретить слонов, тапиров, оленей, горилл и других млекопитающих. Они делят здесь пристанище с некоторыми нелетающими птицами, такими как шалашники.

В тропиках встречается растение с самыми крупными цветами. Это раффлезия арнольди - огромный цветок, распластанный по земле. Цветок имеет пять мощных мясистых полукруглых лепестков красно-алого цвета и достигает в поперечнике одного метра. У цветка нет ни листьев, ни стебля, ни корней. Он паразитирует на корнях других тропических растений. Процесс опыления производят мухи, слетаясь на невыносимый запах падали, испускаемый этим чудом природы.

Тропические леса зависят от двух факторов: обильных, постоянно выпадающих осадков и тепла без выраженных сезонных колебаний. Средняя температура здесь в течение года составляет в среднем 26 $^{o}$C. Средняя величина годовых осадков для всех дождевых тропических лесов составляет 230-240 см. Иногда годовые осадки достигают 762 см, как,

например в департаменте Чоко (Колумбия). Относительная влажность в лесу составляет в среднем 76%.

Главной особенностью тропических лесов является то, что произрастают они на крайне бедных почвах. Верхний слой почвы не превышает 5 см на склонах. Под ним обычно лежит красная латеритная глина, лишенная питательных веществ. В некоторых районах Амазонии и острова Калимантан джунгли удивительным образом растут прямо на песке. Почти все минеральные и органические вещества в биоме тропических лесов сосредоточены в самой растительности и циркулируют в замкнутой системе. Вырубка лесов ведет к нарушению высокоэффективной замкнутой системы и необратимому исчезновению тропического леса. Вот почему до деревьев этого биома не должен даже дотрагиваться топор лесоруба. Тем не менее, тропические леса в настоящее время подвергаются интенсивной рубке. Там, где после вмешательства человека остаются огромные оголенные территории, беспрестанный дождь и испепеляющее солнце превращают глинистый подпочвенный слой в твердую, как кирпич, массу, на которой не растет даже трава. На месте пышной изобильной растительности образуется бесплодная красная пустыня (рис. 6.35). Согласно оценкам, ареал тропических лесов ежегодно сокращается на 11-15 млн. га. Ежегодно с лица Земли исчезает 120 000 км$^2$ тропического леса (23 га в минуту). Если не будет радикальным образом изменен нынешний характер эксплуатации тропических лесов и землепользования, то в течение ближайших 50 лет от них мало что останется. Это приведет к резкому обеднению разнообразия жизни на Земле и вымиранию миллиона видов. В наших силах еще остановить величайшее биологическое стихийное бедствие из когда-либо поражавших биосферу.

Рис. 6.35. Вырубка тропических лесов в бассейне Амазонки

## 6.10. КОНЦЕПЦИЯ БИОГЕОЦЕНОЗА

*Любой участок должен рассматриваться*
*как определенное природное единство,*
*где вся растительность, фауна и микроорганизмы,*
*почва и атмосфера находятся*
*в тесном взаимодействии и взаимообусловленности.*
**В.Н.Сукачев – российский лесовод, эколог**

В истории экологии 20-40-е годы примечательны тем, что именно в это время многие экологи искали ту основную структурную единицу природного целого, которая может лежать в основе биосферных процессов. Англичанин Тенсли предложил такой единицей считать *экосистему*. В России, а затем и в Советском Союзе развитие теоретической экологии шло по несколько иному руслу. Естественнонаучные взгляды формировались под влиянием воззрений ученых, которые относились к традиционно сильной в России школе лесоведения и лесоводства. Среди них следует отметить прежде всего таких выдающихся ученых, как Г.Ф. Морозов, издавший классический труд «Учение о лесе», Г.Н. Высоцкий, М.Е. Ткаченко и др. Большое влияние на естествоиспытателей того времени оказали также идеи известного почвоведа В.В. Докучаева и геохимика, основателя учения о биосфере В.И. Вернадского.

Еще в 1899 г. В.В. Докучаев писал, что в последнее время все больше формируется и обособляется одна из наиболее интересных дисциплин в области современного естествознания, а именно учение о многогранных соотношениях и взаимоотношениях (а одновременно и о законах, управляющих вековыми изменениями), которые существуют между неживой и живой природой: между поверхностными горными породами, пластикой земли, почвами, наземными и почвенными водами, климатом страны и растительными и животными организмами, в том числе и человеком, гордым венцом природы.

Такой дисциплиной, зародившейся в недрах лесной геоботаники и оформившейся впоследствии в фундаментальную науку со своими задачами и методами, является ***биогеоценология*** (био... + гео... + гр. «koinos» - общий). Основоположником биогеоценологии стал выдающийся геоботаник, лесовод и эколог академик Владимир Николаевич Сукачев, предложивший свою трактовку структурной организации биосферы. В.Н. Сукачев посвятил свою жизнь разработке общих вопросов фитоценологии - науки о растительных сообществах (фитоценозах). В своих работах он придавал большое значение изучению межвидовых и внутривидовых взаимоотношений растений в растительных сообществах.

По В.Н.Сукачеву, биогеоценоз - это элементарная ячейка насыщенных организмами слоев биосферы, маркируемая фитоценозом - растительным сообществом. Это эволюционно сложившаяся, относительно пространственно ограниченная, внутренне однородная природная система живых организмов и абиотической среды, в которой происходит постоянный обмен веществом и энергией. Сущность биогеоценоза В.Н.Сукачев видел в процессе взаимного обмена веществом и энергией между составляющими его компонентами, между ними и окружающей внешней средой, а также между самими биогеоценозами. Однако сам ученый крайне отрицательно относился к попыткам свести

биогеоценологию лишь к проблеме энергетики биогеоценоза. Проблемы биогеоценологии - это проблемы комплексного анализа структуры растительного и животного мира, почвы, выявления трофических уровней, определения биологической продуктивности и др. Хотя В.Н.Сукачев разрабатывал концепцию биогеоценоза как ботаник и фитоценолог, она была принята большинством современных экологов. Важной ее особенностью является то, что биогеоценоз связывается с определенным участком земной поверхности.

В своё время Р. Линдеман определил экосистему как совокупность взаимосвязанных «физико-химико-биологических процессов, протекающих в любых пространственно-временных границах». Из этого определения ясно, почему понятие экосистемы оказалось неприемлемым для В.Н.Сукачёва, пришедшего к своей концепции «биогеоценоза» через изучение растительных сообществ – фитоценозов. В отличие от экосистемы – единицы функциональной, биогеоценоз – прежде всего единица структурная, выделяемая на основе изучения состава сообщества. Недаром столь большое значение в биогеоценологии придавалось познанию структуры биогеоценозов, а также проблеме разграничения разных биогеоценозов. И хотя чисто формально один и тот же объект иногда с равным основанием может называться экосистемой и биогеоценозом, внимание специалистов, изучающих его как экосистему или как биогеоценоз, скорее всего, будет сосредоточено на разных аспектах.

Биогеоценология предполагает разносторонний комплексный подход к исследованию живого покрова Земли, основанный на изучении взаимодействий слагающих его компонентов. Задачей биогеоценологии является расшифровка связей и взаимодействий между живыми и косными компонентами природы – биогеоценозами, которые ученый назвал элементарными ячейками поверхности Земли.

Исходным понятием при определении биогеоценоза был геоботанический термин ***«фитоценоз»*** - растительное сообщество, группировка растений с однородным характером взаимоотношений между ними самими и между ними и средой. Растения (автотрофные организмы) развиваются на вполне конкретном субстрате - почве, представляющем собой органико-минеральное естественноисторическое природное образование, которое населено микроорганизмами. Еще одним природным компонентом, с которым непосредственно контактируют растения, является атмосфера. Любой фитоценоз всегда населен разнообразными животными (гетеротрофными организмами).

Объединив все указанные составляющие в одно целое, мы получим структуру биогеоценоза. Она включает пять основных функционально связанных частей. Это фитоценоз - растительное сообщество (автотрофные организмы, продуценты); зооценоз - животное население (гетеротрофы, консументы) и микробоценоз - различные микроорганизмы, представленные бактериями, грибами, простейшими (редуценты). Эту живую часть биогеоценоза В.Н.Сукачев относил к биоценозу. Неживую, абиотическую часть биогеоценоза слагают совокупность климатических факторов данной территории - климатоп и биокосное образование - эдафотоп (почва). В последнее время в структуру абиотической среды биогеоценоза включают также и гидрологические факторы - гидротоп (рис. 6.36). Совокупность абиотических компонентов биогеоценоза носит название биотоп.

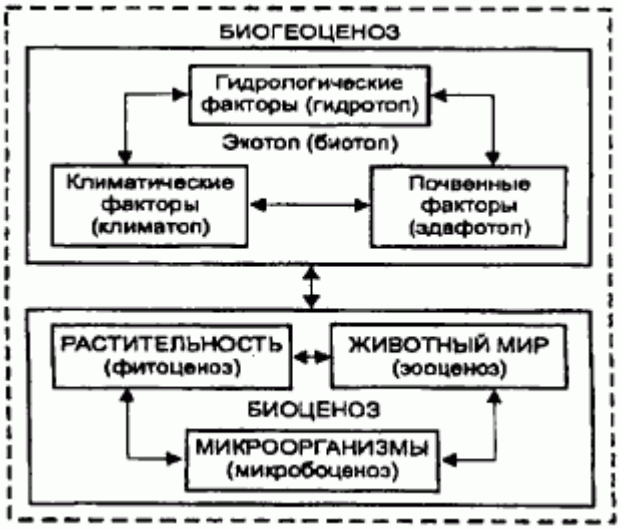



Рис. 6.36. Структура биогеоценоза

Все взаимодействия компонентов биогеоценоза связаны между собой совокупностью пищевых цепей и взаимообусловлены. Каждый компонент в природе неотделим от другого. Главным созидателем живого вещества в пределах биогеоценоза является фитоценоз - зеленые растения. Используя солнечную энергию, зеленые растения создают огромную массу органического вещества. Состав и масса такого вещества зависят главным образом от особенностей атмосферы и почвенных условий, которые определяются, с одной стороны, географическим положением (зональность, отражающаяся существованием определенных типов биомов), а с другой - рельефом местности и расположением фитоценоза. От состава и характеристики растительности зависит существование комплекса гетеротрофов. В свою очередь биоценоз в целом определяет состав и количество органического вещества, попадающего в почву (степные богатые черноземы, слабогумусированная почва бореальных лесов и крайне бедные почвы влажного тропического леса). Животные в процессе своей жизнедеятельности также оказывают разнообразное влияние на растительность. Исключительно важны взаимодействия между микроорганизмами и растительностью, микроорганизмами и позвоночными и беспозвоночными животными.

Таким образом, развивая идею биогеоценоза и теорию биогеоценологии, В.Н.Сукачев под биогеоценозом понимал сообщество животных и растений вместе с отвечающими ему условиями почвы и атмосферы. Важное значение для формирования новой концепции имела проблемная статья Сукачева «Основы теории биогеоценологии», написанная в 1947 г., где он определяет ***биогеоценоз*** как ***участок земной поверхности с однородными природными явлениями (атмосфера, горная порода, растительность, животный мир, микроорганизмы, почва, гидрологические условия), которые объединены обменом веществ и энергии в единый природный комплекс.***

Как видим, предложенная структурная единица биосферы сходна с тем, что Тенсли понимал под экосистемой. Действительно, оба эти понятия тождественны. В основе обеих формулировок лежит принцип единства живых и неживых компонентов биологических систем. Для экологов, предпочитающих термин «экосистема», более привлекательным является такой ее признак, как относительность границ. При таком подходе возможно

выделение микро-, макро- и мезоэкосистем. В этом случае под определение биогеоценоза может подходить только последний экосистемный уровень, например конкретный тип леса.

Биогеоценоз и экосистема – понятия сходные, но не одинаковые. Биогеоценоз следует рассматривать как иерархически элементарную комплексную, т.е. состоящую из биотопа и биоценоза, экосистему. Важно понять, что каждый биогеоценоз является экосистемой, но не каждая экосистема соответствует биогеоценозу, хотя в основе обеих формулировок лежит принцип единства живых и неживых компонентов биологических систем.

Прежде всего, любой биогеоценоз выделяется только на суше. На море, в океане, и вообще в водной среде биогеоценозы не выделяются. Биогеоценоз имеет конкретные границы. Они определяются границами растительного сообщества – фитоценоза. Образно говоря, биогеоценоз существует только в рамках фитоценоза. Там, где нет фитоценоза, нет и биогеоценоза. Понятия «экосистема» и «биогеоценоз» совершенно тождественны (одинаковы) только для таких природных образований, как, к примеру, лес, луг, болото, поле. Лесной биогеоценоз = лесная экосистема; луговой биогеоценоз = луговая экосистема и т.п. Для природных образований, меньших или больших по объему, нежели фитоценоз, либо там, где фитоценоз выделить нельзя, применяется только понятие экосистема. Например, кочка на болоте – экосистема, но не биогеоценоз. Текущий ручей – экосистема, но не биогеоценоз. Точно также только экосистемами являются море, тундра, влажный тропический лес и т.п. В тундре, в лесу можно выделить не один фитоценоз, а множество. Это совокупность фитоценозов, представляющих более крупное образование, нежели биогеоценоз.

Понятие биогеоценоза как определенного элемента биосферы, является биохорологическим (от греч. «хорос» - место, пространство), в этом отличие биогеоценоза от экосистемы, поскольку экосистема может быть пространственно как мельче, так и крупнее биогеоценоза. Таким образом, различие между двумя понятиями состоит главным образом в том, что экосистема - образование более общее, безранговое. Экосистема может быть и меньше, и крупнее биогеоценоза. Это может быть и участок суши или водоема, и прибрежная дюна, и капля прудовой воды, и вся биосфера в целом. Биогеоценоз же ограничен в основном границами фитоценоза. Это некий природный объект, занимающий определенное пространство и отделенный конкретными границами от таких же объектов. Это реальная зона, в которой осуществляется биогенный круговорот.

Помимо крупных слагающих компонентов биогеоценоза, которые составляют его функциональную структуру, в его пределах можно вычленить более мелкие морфологические структурно-функциональные элементы. Одним из таких элементов является ***консорция*** (от лат. «consortium» – соучастие, сообщество).

Консорции ассоциируются на основе топических связей в биоценозе. Обычно консорция включает отдельную особь или популяцию автотрофного организма и популяции видов, связанных с ней трофическими связями (пищевыми взаимодействиями).

***Консорция – это группа разнородных организмов, жизнедеятельность которых в пределах биогеоценоза связана на основе топических (пространственных) и пищевых (трофических) связей с центральным звеном (консоргентом), автотрофным организмом (зеленое растение).***

Российский писатель Виктор Астафьев так образно описал взаимоотношения организмов, которое экологи называют «консорция»: «Дерево – это целый мир! В стволе его дырки, продолбленные дятлами, и в каждой дырке кто-нибудь живет и трюкает: то жук какой, то птичка, то ящерка. В травке и сплетении корней позапрятаны гнезда. Мышиные и сусликовые норки уходят под дерево. Муравейник привален к стволу…».

Таким образом, консорция объединяет автотрофные и гетеротрофные организмы, которые тесно связаны между собой на основе пространственных и пищевых взаимоотношений и зависят от центрального вида, или ядра). Схему строения консорции предложил эстонский фитоценолог и эколог В.В.Мазинг (рис. 6.37).

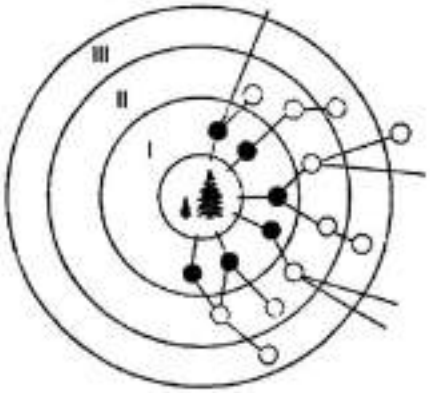



Рис. 6.37. Схема строения консорции: - центральный вид (ядро, детерминант консорции); I, II, III — концентры; - консорты, среди них: I — фитофаги, эпифиты, симбионты; II, III — зоофаги

В роли центрального вида обычно выступает эдификатор (чаще всего автотрофное растение) – основной вид, который определяет особенности биоценоза. Примером консорции может служить любое отдельное дерево с комплексом паразитов, грибами, эпифитами, насекомыми, гнездящимися птицами, мелкими грызунами и т.п. По данным В. В. Мазинга, в состав консорции березы (повислой и пушистой) входит 91 паразитный и 36 микоризообразующих грибов, 46 эпифитных лишайников, 7 видов эпифитных печеночников и 16 видов лиственных мхов, 8 видов клещей, 574 вида насекомых, 8 видов птиц, 9 видов млекопитающих - всего 803 вида, не считая водорослей, бактерий и актиномицетов.

Каждая консорция состоит из двух частей. Основная часть представлена центральным растением – консортом-детерминантом (ядро консорции); в своей жизнедеятельности с этим ядром связана группа организмов, входящих в состав консорции – консортов. В зависимости от степени приближенности консортов к центральному ядру различают несколько концентров. Например, в консорции ели к 1-му концентру относят эпифитные лишайники, мхи, водоросли, грибы, бактерии; 2-й концентр составляют организмы, которые связаны с растениями 1-го концентра. К 3-му концентру относятся паразиты животных предыдущего концентра.

Многие консорты одновременно и сами являются детерминантами консорций. Так, белка, будучи консортом ели, имеет свою консорцию из хищников (куница), паразитов, располагающихся на ее теле или в ее гнезде, и организмов, питающихся ее выделениями и пометом.

Как видно, каждая консорция охватывает большое количество видов. Консортивные связи формируют своего рода блочную структуру биогеоценоза.

## 6.11. АГРОЭКОСИСТЕМЫ, ИХ ОСОБЕННОСТИ

В биосфере помимо естественных биогеоценозов (лес, луг, болото, река и т.д.) и экосистем существуют и сообщества, созданные хозяйственной деятельностью человека. Такое искусственно созданное человеком сообщества называется агроэкосистем (агроценоз, агробиоценоз, сельскохозяйственная экосистема).

***Агроэкосистема (от греч. «агрос» - поле - сельскохозяйственная экосистема, агроценоз, агробиоценоз) - биотическое сообщество, созданное и регулярно поддерживаемое человеком с целью получения сельскохозяйственной продукции. Обычно включает совокупность организмов, обитающих на землях сельхозпользования.***

К агроэкосистемам относят поля, сады, огороды, виноградники, крупные животноводческие комплексы с прилегающими искусственными пастбищами. Характерная особенность агроэкосистем - малая экологическая надежность, но высокая урожайность одного или нескольких видов (или сортов культивируемых растений) или животных. Главное их отличие от естественных экосистем - упрощенная структура и обедненный видовой состав.

Агроэкосистемы, как и природные экосистемы характеризуются набором составляющих их видов (т.е. обладают определенным составом организмов) и определенными взаимоотношениями между организмами и средой обитания. В агроценозе складываются те же цепи питания, что и в естественных экосистемах. Например, трофическую структуру ржаного поля определяет набор продуцентов (рожь, сорняки), консументов (насекомые, птицы, полевки, лисы) и редуцентов (грибы, микроорганизмы). Однако, в отличие от естественной экосистемы, обязательным звеном пищевой цепи здесь является человек, который формирует агроценозы, исходя из их практической значимости и обеспечивает их высокую продуктивность.

Агроэкосистемы представляют собой искусственные системы и отличаются от естественных экосистем рядом особенностей.

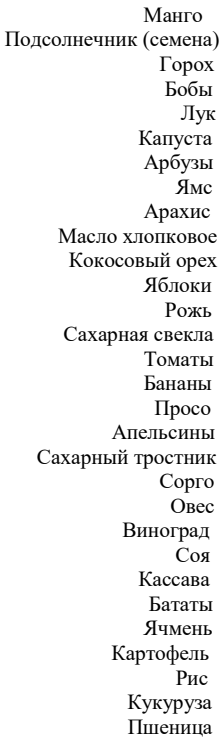
***Первым отличием*** является то, разнообразие живых организмов в них резко снижено для получения максимально высокой продукции. На ржаном или пшеничном поле кроме злаковой монокультуры можно встретить разве что несколько видов малообильных сорняков. На естественном лугу биологическое разнообразие значительно выше, но биологическая продуктивность уступает засеянному полю во много раз.

Академик А. Тахтаджян в свое время пришел к выводу, что победа цветковых растений в борьбе за существование была обеспечена их способностью образовывать многоярусные сложные сообщества. Внедряя монокультуры, мы идем против

эволюционных традиций живой природы. Агроэкосистемы будущего должны быть многообразны, многокомпонентны.

Искусственный отбор в значительной мере влияет на сужение генетической базы растений и животных. Всего четыре сорта пшеницы обеспечивают 75% урожая зерновых в канадских прериях, причем более половины площадей, отведенных под пшеницу, засевается всего одним сортом. То же касается и ряда других структур: 72 % сборов картофеля в США обеспечиваются всего лишь четырьмя сортами, а все производство гороха основывается на двух сортах. Таким образом, в агроэкосистемах произошло резкое сужение генетической базы сельскохозяйственных культур, которые крайне чувствительны к массовым размножениям вредителей и болезням.

Если проанализировать мировое производство основных пищевых растений, то окажется, что их количество ограничивается цифрой 30. Эти 30 растений составляют 95 % нашей пищи. Львиную долю среди этих культур составляют пшеница, кукуруза и рис. К ним можно отнести еще картофель. В то же время такие наши повседневные спутники как капуста, лук и горох, в пищевом рационе человечества занимают соответственно 25, 26 и 28-е место. Оказывается, для большинства землян они более экзотичны, нежели бананы, апельсины, кокосы, не говоря уже о таких массовых тропических видах, как бататы и кассава, занимающих 6-ю и 7-ю строчки в этом списке (рис. 6.38).




Годовое производство (миллионы тонн)

Рис. 6.38. Структура мирового производства основных пищевых растений

Выведение новых пород крупного рогатого скота в настоящее время преследует строго утилитарные цели. Получение тех или иных конкретных качеств (мясные и молочные

породы) неизбежно ведет к вытеснению тех пород, характеристики которых в данное время имеют меньшую ценность. Не так давно в каждом районе и практически в каждой деревне средиземноморского бассейна были свои особые породы коров, коз, лошадей или овец, каждая из которых идеально отвечала местным потребностям, а значит, и генетическое разнообразие видов домашних животных было высоким. Теперь же из 145 пород крупного рогатого скота Европы и Средиземноморья не менее 115 находятся под угрозой исчезновения. Во Франции черно-пестрые коровы бретонской породы молочного направления начинают постепенно вытесняться новыми, получаемыми путем скрещивания с американской голштинской породой. Такое положение дел заставило французских экологов разрабатывать меры по сохранению отечественных пород.

Для хозяйственной деятельности особенно велико следствие из законов «потребитель – корм» – правило монокультуры: «эксплуатируемые для нужд человека системы, представленные одним видом, равно как и системы монокультур (например, сельскохозяйственные монокультуры), неустойчивы по своей природе» (Ю. Одум, 1975).

На всех растениях агроэкосистемы действие неблагоприятных факторов отражается одинаково. Не может быть компенсировано угнетение роста и развития основной культуры усиленным ростом других видов растений. И как результат, устойчивость продуктивности агроценоза ниже, чем в естественных экосистемах.

Пагубность монокультур «учтена» природой – ею выработана стратегия сохранения гомеостаза на основе поддержания разнообразия и взаимозависимости членов биоценоза.

***Второе отличие*** – пути отбора организмов в агроценозе. Главным здесь является искусственный отбор, который направлен на повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Нередко урожайность сорта не связана с его устойчивостью к факторам окружающей среды, вредными организмами. Таким образом, виды сельскохозяйственных растений и животных в агроэкосистеме получены в результате действия искусственного, а не естественного отбора, что в значительной мере влияет на сужение их генетической базы. Всего четыре сорта пшеницы обеспечивают 75% урожая зерновых в канадских прериях, причем более половины площадей, отведенных под пшеницу, засевается всего одним сортом. То же касается и картофеля: 72% его сборов в США обеспечиваются всего лишь четырьмя сортами, а все производство культуры гороха основывается на двух сортах. Таким образом, в агроэкосистемах произошло резкое сужение генетической базы сельскохозяйственных культур, которые крайне чувствительны к массовым размножениям вредителей и болезням.

***Третье отличие***, собственно говоря, и отличающее агроэкосистему от природной экосистемы, состоит в получении дополнительной энергии для нормального функционирования. Под дополнительной понимается любой тип энергии, привносимый в агроэкосистему. Это может быть мускульная сила человека или животных, различные виды горючего для работы сельскохозяйственных машин, удобрения, пестициды, ядохимикаты, дополнительное освещение и т.д. Под дополнительной энергией можно также понимать новые породы домашних животных и сорта культурных растений, внедряемые в структуру агроэкосистемы.

Если проанализировать мировое производство основных пищевых растений, то окажется, что их количество ограничивается цифрой 30. Эти 30 растений составляют 95%

нашей пищи. Львиную долю среди этих культур составляют пшеница, кукуруза и рис. К ним можно отнести еще картофель. В то же время такие наши повседневные спутники как капуста, лук и горох, в пищевом рационе человечества занимают соответственно 25, 26 и 28-е место. Оказывается, для большинства землян они более экзотичны, нежели бананы, апельсины, кокосы, не говоря уже о таких массовых тропических как бататы и кассава, занимающие 6-ю и 7-ю строчки в этом списке.

Выведение новых пород крупного рогатого скота в настоящее время преследует строго утилитарные цели. Получение тех или иных конкретных качеств (мясные и молочные породы) неизбежно ведет к вытеснению тех пород, характеристики которых в данное время имеют меньшую ценность. Не так давно в каждом районе и практически в каждой деревне средиземноморского бассейна были свои особые породы коров, коз, лошадей или овец, каждая из которых идеально отвечала местным потребностям, а значит, и генетическое разнообразие видов домашних животных было высоким. Теперь же из 145 пород крупного рогатого скота Европы и Средиземноморья не менее 115 находятся под угрозой исчезновения.

***Четвертое отличие***: для агроценозов, по сравнению с естественными биоценозами, характерна большая открытость. В естественных экосистемах первичная продукция растений потребляется в многочисленных цепях питания и вновь возвращается в систему биологического круговорота в виде углекислого газа, воды и элементов минерального питания. Круговороты веществ (химических элементов) в естественных экосистемах осуществляются по замкнутым циклам или близки к скомпенсированности: приход вещества в цикл за определенный период в среднем равен выходу вещества из цикла.

Агроценозы же более открыты, и из них безвозвратно изымается часть вещества. вещество и энергия с урожаем, животноводческой продукцией, а также в результате разрушения почв. Природные экосистемы являются системами, если можно так выразиться, авторегуляторными, а агроценозы — управляемые человеком. Смена растительного покрова в агроценозах происходит не естественным путем, а по воле человека, что не всегда хорошо отражается на качестве входящих в нее абиотических факторов. Особенно это касается почвенного плодородия.

Почва является важнейшей системой жизнеобеспечения и существования сельскохозяйственного производства. Однако продуктивность сельскохозяйственных экосистем зависит не только от плодородия почвы и поддержания ее качества. В не меньшей мере на нее влияет сохранность среды обитания полезных насекомых (опылители) и других представителей животного мира. К тому же в этой среде обитают многие естественные враги сельскохозяйственных вредителей. Так, уже стал хрестоматийным пример массовой гибели опылителей полей гречихи в США, происходившей при столкновении их с автомобилями в местах близкого расположения сельскохозяйственных угодий к автотрассам. Печально известна также «антиворобьевая» кампания в Китае, когда были уничтожены тысячи особей этих якобы вредящих урожаю зерновых птиц. А вслед за этим последовала вспышка размножения вредителей злаковых культур, которая нанесла по-настоящему серьезный урон земледельцам страны.

Все искусственно создаваемые в сельскохозяйственной практике агроэкосистемы полей, садов, пастбищных лугов, огородов, теплиц представляют собой системы,

специально поддерживаемые человеком. В агросистемах используется именно их свойство производить высокую чистую продукцию, так как все конкурентные воздействия на культивируемые растения со стороны сорняков сдерживаются агротехническими мероприятиями, а формирование пищевых цепей за счет вредителей пресекается с помощью различных мер, например, химической и биологической борьбы. Но эти сообщества неустойчивы, не способны к самовосстановлению и саморегулированию, подвержены угрозе гибели от массового размножения вредителей или болезней. Для их поддержания необходима постоянная деятельность людей.

# ГЛАВА 7. УЧЕНИЕ О БИОСФЕРЕ

*Сияет солнце, воды блещут,*
*На всем улыбка, жизнь во всем,*
*Деревья радостно трепещут,*
*Купаясь в небе голубом.*
*Поют деревья, блещут воды,*
*Любовью воздух растворен,*
*И мир, цветущий мир природы,*
*Избытком жизни упоен.*
**Ф.И.Тютчев – русский поэт**

## 7.1. ПОНЯТИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОСФЕРЫ. СТРУКТУРА БИОСФЕРЫ

Сложный природный процесс, протекавший и протекающий на Земле непосредственно связан с взаимодействием трех оболочек планеты: литосферы, гидросферы и атмосферы. Именно эти оболочки и являются той сферой, областью, где существуют живые организмы. Такая область существования живых организмов на Земле называют биосферой (сферой жизни). Она включает в себя все области нашей планеты, освоенные жизнью.

Еще в XVII - XVIII веках многими учеными умами высказывалась идея о взаимосвязанности всех процессов в живой и неживой природе. Ученые разных специальностей подготавливали почву, на которой в начале XX века проросли ростки глобального учения о биосфере.

Впервые вплотную к понятию биосфера подошел французский естествоиспытатель Жан Батист Ламарк в XVIII в. Ему принадлежит приоритет в формулировке самого понятия «биосфера». Обобщения, сделанные Ламарком, позволяют нам говорить о том, что высказанные им идеи содержат в себе *зачатки понятия о биосфере*. Работы Ламарка положили начало представлениям о существовании на нашей планете определенного пространства, заселенного живыми существами. Причем подчеркивалось, что это пространство организовано именно жизнедеятельностью организмов.

Сам Ламарк не пользовался термином «биосфера» В лекциях 1800 г. Ламарк отметил, что живые тела содержат все неорганические вещества, наблюдаемые в природе, и объяснил это активным участием животных и растений в формировании поверхности Земли. В своем труде «Гидрология» (1802 г.) он, предвосхитив В.И. Вернадского, говорил лишь о том, что «все вещества, находящиеся на поверхности земного шара и образующие его кору, сформировались благодаря деятельности живых организмов». Обобщения, сделанные Ламарком, позволяют нам говорить о том, что высказанные им идеи содержат в себе зачатки понятия о биосфере.

Во времена Ламарка все многообразие окружающего мира - от атомов до планет - делилось на три царства: растения, животные, минералы. Ламарк, упростив это деление, всю природу разделил на два царства: живое и неживое. В своей знаменитой «Философии зоологии» он составил таблицу противоположностей живого и неживого.

Работы Ламарка положили начало представлениям о существовании на нашей планете определенного пространства, заселенного живыми существами. Причем подчеркивалось, что это пространство организовано именно жизнедеятельностью организмов.

*Из множества терминов,* которые предлагались для обозначения такого пространства, *закрепился один, предложенный в 1875 г. австрийским геологом Эдуардом Зюссом*. Именно Зюссу и отдается приоритет в первом употреблении термина «биосфера». Он писал: «В области взаимодействия верхних сфер и литосферы и на поверхности материков можно выделять самостоятельную биосферу. Она простирается теперь как над сухой, так и над влажной поверхностью, но ясно, что раньше она была ограничена только гидросферой».

Зюсс, в ранних работах не дал полной расшифровки этого термина, ограничившись описанием биосферы как особого слоя, находящегося «между верхними слоями атмосферы и литосферы и неограниченного литосферой». Лишь позднее в книге «Лик Земли» (1909 г.) геолог описал биосферу как «совокупность организмов, ограниченную в пространстве и во времени, и обитающую на поверхности Земли».

Однако Зюсс ничего не сказал о геологической роли биосферы и ее зависимости от планетарных факторов Земли. Впервые идею о геологических функциях «живого вещества», представленного совокупность всего органического мира в виде «единого нераздельного целого», высказал создатель *учения о биосфере* В.И. Вернадский в 1919 г. в «Записке о необходимости организации химического изучения организмов». Большое влияние на становление Вернадского оказал его учитель – почвовед и агроном В.В. Докучаев (1880-е гг.), активно пропагандировавший идею о необходимости создания целостного учения о взаимозависимых изменениях органического мира, рельефа, вод, почв, осадочных пород и климата.

Известный математик Н.Н. Моисеев по поводу глобальности некоторых проблем писал: «Эпитет "глобальный" возник в начале 70-х годов. Его используют всякий раз, когда речь идет о проблемах, относящихся к планете в целом. Это могут быть и вопросы экологии человека - дисциплины, в которой человечество рассматривается как одно целое... Датировать начало глобальных исследований очень трудно, ибо ученых всегда интересовали общие вопросы эволюции нашей планеты и характер процессов, которые на ней происходят. Но я предпочитаю обозначать термином "глобальные исследования" лишь те работы, которые направлены на изучение влияния человека на характер процессов общепланетарного масштаба».

К одному из таких глобальных учений, определивших направление и эволюцию естественной и экологической мысли XX века, принадлежит учение о биосфере.

Согласно современным представлениям, ***биосфера*** (от греч. «bios» - жизнь, «sphaira» - шар) – *это своеобразная оболочка Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится в непрерывном обмене с этими организмами.*

По определению основоположника учения о биосфере В.И. Вернадского, *биосфера – это оболочка Земли, состав, структура и энергетика которой определяются совокупной деятельностью живых организмов.* Сама же совокупная деятельность живых организмов проявляется как геохимический фактор планетарного масштаба.

Наша планета Земля неповторима в плане разнообразия условий внешней среды. Это океанские просторы и горные цепи, «артериальная» сеть крупных рек и мелких речушек, жаркие пустыни и вечные льды полюсов. Земля - это чудо вселенной, уникальная сфера, жемчужина в космическом пространстве. Главная особенность планеты - это существование на ней жизни в самых разных ее проявлениях. Изумляет богатое разнообразие живых существ: микроскопические организмы, насекомые, растения, рыбы, птицы, млекопитающие и, наконец, сам человек.

Многие другие планеты также могут иметь ядро, мантию, кору и атмосферу. Так, на спутнике Сатурна Титане возможно существование морей из жидкого метана, а на многих удаленных от Солнца планетах зарегистрировали присутствие оледеневшей гидросферы. На многих небесных телах найдены молекулы воды, но лишь в земной среде с ее узкими границами температур и атмосферного давления вода одновременно может присутствовать в трех фазах: газообразной, жидкой и твердой. Такому состоянию воды на нашей планете способствует и благоприятное расстояние ее от Солнца: будь Земля немного ближе к раскаленному солнечному шару, пары воды никогда бы не конденсировались, а если бы расстояние до Солнца было больше, вода замерзла бы, образуя сплошной ледяной покров.

Идеальное снабжение энергией обусловлено тем, что Земля находится именно на таком расстоянии от Солнца, которое обеспечивает существование жизни - 149 000 000 км. Она движется со скоростью около 107 000 км/час. Именно эта скорость компенсирует силу тяготения Солнца и удерживает Землю на подходящем расстоянии. Если бы скорость движения Земли упала, она была бы притянута к Солнцу и со временем превратилась бы в выжженную пустыню, как ближайший к Солнцу Меркурий. С другой стороны, если бы орбитальная скорость Земли возросла, она бы удалилась от Солнца и оказалась скованной ледовым панцирем, как Плутон.

Однако, как бы там ни было, жизнь в ее многочисленных проявлениях тонким хрупким слоем покрыла всю нашу голубую планету. На Земле появились структуры, способные самовоспроизводиться, менять свою форму в результате комбинации и рекомбинации генов и передавать эти изменения потомкам. Делящаяся клетка остается неизменной в новых поколениях. Жизнь постоянно и беспрерывно воспроизводит себя и проявляется в возникновении новых видов и особей, каждая из которых уникальна. Количество вариантов и возможных генетических комбинаций, которые приводят к созданию уникальных организмов, больше, нежели число световых лет, отделяющих Землю от самой дальней Звезды. Предполагают, что количество таких потенциальных комбинаций выражается числом 265 с двадцатью четырьмя миллиардами нулей!

Самое важное за всю историю Земли - это, конечно, появление первых форм живого и взаимодействие их с поверхностью планеты. За те 4 млрд лет, прошедшие с тех пор, как земная поверхность стала подходящим субстратом для существования жизни, на ней произошли грандиозные изменения. И начало им было положено в то неопределенно далекое время, когда началась дифференциация живого и неживого.

**Структура биосферы.** Биосфера представляет собой сложнейшую планетарную оболочку жизни, населенную организмами, составляющими в совокупности живое вещество. Это самая крупная (глобальная) экосистема Земли - область системного взаимодействия живого и косного вещества на планете. Это сложная биокосная система,

структурной единицей которой является экосистема. Биосфера имеет иерархическую структуру. Элементарные единицы биосферы – локальные экосистемы – объединяются в региональные комплексы однотипных экосистем, которые, в свою очередь, составляют биомы.

***Биосфера охватывает нижнюю часть атмосферы до высоты озонового экрана (20-25 км), верхнюю часть литосферы (кора выветривания) и всю гидросферу до глубинных слоев океана (рис. 7.1).***

Рис. 7.1. Общая структура оболочек Земли, формирующих биосферу

Биосфера охватывает нижнюю часть атмосферы до высоты озонового экрана (20-25 км), верхнюю часть литосферы (кора выветривания) и всю гидросферу до глубинных слоев океана.

В планетарной биосфере выделяют континентальную и океаническую биосферы, которые отличаются геологическими, географическими, экологическими, биологическими, физическими и другими условиями.

Ограничивают область распространения жизни слишком высокие или низкие температуры. Нижний предел распространения живого ограничивается дном океана (глубина около 11 км) или изотермой в 100 $^{o}$C в литосфере. При более высокой температуре большинство бактерий существовать не может. В Европе эта изотерма находится на глубине 10-15 км, в молодых альпийских прогибах она поднимается до 1,5-2 км. Фактически жизнь в литосфере прослеживается до глубины 3-4 км. Таким образом, вертикальная мощность океанической биосферы составляет 11 км.

Предел протяженности биосферы выражается цифрой 39-40 км. Однако основная жизнь в биосфере сконцентрирована в значительно более узких пределах, охватывающих всего несколько десятков метров. По сравнению с диаметром Земли (около 13 000 км) биосфера — это тонкая пленка на ее поверхности.

Что касается границы биосферы в морях и океанах, то английский натуралист Э. Форбс в 1841 году по результатам своих наблюдений в Средиземном море категорически заявил, что ниже 540 м жизнь в океанических водах невозможна. Однако, уже спустя 20 лет был поднят кабель с глубины 2160 метров. Он оказался весь усеян кораллами, устрицами, двустворчатыми и брюхоногими моллюсками, яйцами кальмаров.

23 января 1960 лейтенант ВМС США Дон Уолш и исследователь Жак Пикар на батискафе «Триест» впервые опустились в Марианскую впадину Тихого океана - самую глубокую точку на Земле (рис.7.2). Они погрузились на глубину 10 912 метров.

Рис. 7.2. Местонахождение Марианской впадины

Они пробыли на дне всего 12 минут, но и за это время успели встретить плоских рыб, хотя по всем возможным предположениям жизнь на такой глубине должна была отсутствовать.

В мае 2019 г. экспедиция под руководством американца Виктора Весково добралась, по всей видимости, до самого дна впадины и сделала неожиданные открытия. Ими были обнаружены четыре новых вида ракообразных ампифодов.

*Амфиподы - небольшие ракообразные, похожие на креветок. Обычно их не встречали на глубине, превышающей 4500 метров — там они просто не выживали из-за высокого давления. Но недавно учёные обнаружили один из видов амфипод - Hirondellea gigas, который проживает почти на самом дне Бездны Челленджера в Марианской впадине (рис.7.3).*

*Рис.7.3. Амфипода Hirondellea gigas*

*Существовать в таких условиях ей позволяет очень крепкий панцирь - защитный слой из геля гидроокиси алюминия, толстым слоем которого покрыты панцири ракообразных. В океанской воде содержится не так много алюминия, зато изучив образцы отложений, добытые со дна Марианской впадины, учёные обнаружили, что в них алюминия предостаточно. Изучив образы, полученные из пищеварительного тракта животных, учёные пришли к любопытным выводам: поедая пищу вместе с отложениями, амфиподы в итоге высвобождают ионы алюминия, которые затем вступают в реакцию с водой. В результате образуется гель гидроокиси алюминия, который и образует на панцирях животных дополнительный защитный слой – алюминиевый экзоскелет. Такая броня наделяет их удивительной способностью противостоять давлению, образующемуся на глубине 11 000 метров. Исследователи уверяют, что без такой защиты эти хрупкие создания могли бы жить на глубине максимум в 4500 метров.*

Самое поразительное, что на дне самой глубоководной океанической впадины ученые обнаружили самый обыкновенный мусор - пластиковый пакет и несколько оберток от конфет. Участники экспедиции с сожалением отметили, что влияние человечества на состояние окружающей среды становится видимым даже в самых отдаленных уголках планеты.

Следует отметить, что плотность организмов в океане распределяется крайне неравномерно. Примерно 5/6 его обитателей предпочитают верхние, освещаемые солнцем слои. По мере спуска в глубину количество видов резко уменьшается.

Относительно верхней границы существования жизни следует заметить, что ученые обычно проводят ее на высоте 20-25 километров, где находится спасительный для всего живого озоновый экран. Здесь та же ситуация с расселением организмов, что и в океане, только наоборот. Уже на высоте 8-9 км температура сильно ограничивает существование животных и растений.

Что касается организмов, населяющих биосферу, то их насчитывается примерно около 2-2,5 миллионов видов. Причем особое место отводится растениям, производителям

органического вещества. Их общий сухой вес (вес фитомассы) оценивается примерно в 2,42 х $10^{12}$ т. Это составляет 99% всего живого вещества на планете. Оставшийся 1% приходится на гетеротрофные организмы.

## 7.2. УЧЕНИЕ В.И.ВЕРНАДСКОГО О БИОСФЕРЕ

Одним из выдающихся естествоиспытателей, который посвятил себя изучению процессов, протекающих в биосфере, был академик Владимир Иванович Вернадский (1864-1945) (рис. 7.4.). Он стал основоположником научного направления, названного им биогеохимией, которое легло в основу современного учения о биосфере

Рис. 7.4. Портрет В. И. Вернадского, сделанный его дочерью Ниной (1920)

*Владимир Иванович уже в гимназические годы проявлял большой интерес к естественным наукам: химии, зоологии, ботанике. На свое семнадцатилетие Володя попросил отца подарить ему английское издание одной из книг Ч.Дарвина. И поэтому вполне логичным шагом было поступление его на естественное отделение физико-математического факультета Петербургского университета, где читали лекции такие корифеи науки, как А.М. Бутлеров, Д.И. Менделеев, С.П. Костычев, В.В. Докучаев, И.М. Сеченов. Находясь под влиянием идей В.В. Докучаева, Вернадский стал специализироваться по минералогии. Еще один его учитель - Д.И. Менделеев - ввел юношу в мир химии, вернее, Вернадскому открылась химическая сторона жизни природы.*

*По окончании университета Владимир Иванович был оставлен для подготовки к профессорскому званию и назначен хранителем минералогического кабинета университета. После двухлетней заграничной командировки по странам Европы в 1891 г. он защищает магистерскую диссертацию о роли глинозема в силикатах, а в 1897 г. - докторскую диссертацию на тему: «О явлении скольжения кристаллического вещества».*

*В начале XX в. В.И. Вернадским были подняты проблемы совместной эволюции человека и биосферы с позиции развития Земли как космического тела. Уже в то время ученый был одержим идеей познать и раскрыть роль человека в естественноисторическом процессе. К этому периоду он завершил создание своей «биогеохимии». Зерна, брошенные В.В. Докучаевым и Д.И. Менделеевым, дали первые ростки.*

*Кстати, термин «геохимия» появился еще в 1842 г. благодаря швейцарскому химику Кристиану Фридриху Шенбейну. Геохимия занималась изучением процессов трансформации*

*вещества земной коры, историей преобразования тех или иных геологических пород. В.И. Вернадский ввел в геохимию исторический принцип. Его исследования привели к осознанию роли жизни и живого вещества в геологических процессах. Облик Земли, ее атмосфера, осадочные породы, ландшафты - все это результат жизнедеятельности. Особую роль в становлении лика нашей планеты В.И. Вернадский отводил человеку. Он представил деятельность человечества как стихийный природный процесс, зародившийся в глубинах истории.*

*Будучи глубоким теоретиком, В.И. Вернадский стоял у истоков таких новых и общепризнанных ныне наук, как радиогеология, биогеохимия, науковедение, учение о биосфере и ноосфере. Его исследования привели к осознанию роли жизни и живого вещества в геологических процессах. Облик Земли, ее атмосфера, осадочные породы, ландшафты - все это результат жизнедеятельности организмов. Особую роль в становлении лика нашей планеты В.И. Вернадский отводил человеку. Он представил деятельность человечества как стихийный природный процесс, истоки которого теряются в глубинах истории.*

*Будучи глубоким теоретиком, В.И. Вернадский стоял у истоков таких новых и общепризнанных ныне наук, как радиогеология, биогеохимия, учение о биосфере и ноосфере и науковедение.*

В 1926 г. В.И. Вернадский опубликовал в Ленинграде книгу под названием «Биосфера». Биосфера впервые показана как единая динамическая система, населенная и управляемая жизнью, живым веществом планеты. «Биосфера - организованная, определенная оболочка земной коры, сопряженная с жизнью». В работах по биосфере ученый показал, что взаимодействие живого вещество с веществом косным есть часть большого механизма земной коры, благодаря которому происходят разнообразные геохимические и биогенные процессы, миграции атомов, осуществляется их участие в геологических и биологических циклах.

Ученый подчеркивал, что биосфера является результатом сложнейшего механизма геологического и биологического развития и взаимодействия косного и биогенного вещества. С одной стороны, это среда жизни, а с другой - результат жизнедеятельности. Главная специфика современной биосферы - это четко направленные потоки энергии и биогенный (связанный с деятельностью живых существ) круговорот веществ.

В.И. Вернадский, впервые показал, что химическое состояние наружной коры нашей планеты всецело находится под влиянием жизни и определяется живыми организмами, с деятельностью которых связан великий планетарный процесс - миграция химических элементов в биосфере. Эволюция видов, отмечал ученый, приводящая к созданию форм жизни, устойчива в биосфере и должна идти в направлении увеличения биогенной миграции атомов.

В.И. Вернадский отмечал, что «пределы биосферы обусловлены прежде всего полем существования жизни». На развитие жизни, а, следовательно, и границы биосферы оказывают влияние многие факторы и прежде всего наличие кислорода, углекислого газа, воды в ее жидкой фазе. Ограничивают область распространение жизни и слишком высокие или низкие температуры. Элементы минерального питания также влияют на развитие жизни. К ограничивающему фактору можно отнести и сверхсоленую среду (превышение концентрации солей в морской воде примерно в 10 раз). Лишены жизни подземные воды с концентрацией солей свыше 270 г/л.

На основе работ В.И. Вернадского и других исследователей, внесших большой вклад в изучение биосферы планеты, предлагается различать три основные ее формы:

1. Формы биологической систематики, включающие популяции, виды, роды, семейства и др., принятые в ботанике и зоологии.

2. Биогеографические формы - территории, характеризующие географическое распространение и распределение растений и животных, специфику флоры и фауны. Это биогеографические зоны, области и т.д. Отдельно выделяются ботанико-географические и зоогеографические территории, дающие представление о составе и характере флоры и фауны.

3. Экологические формы, известные под названиями экосистем (биогеоценозов), экотопов, биотопов и др.

Напомним, что биотоп - это участок с однородными экологическими условиями, занятый определенными биоценозами, экотоп - это местообитание сообщества. В отличие от биотопа, понятие «экотоп» включает внешние по отношению к сообществу факторы среды. Это совокупность абиотических условий неорганической среды данного участка, представляющего собой местообитание конкретного сообщества. Экологические формы определяют специфику изучения биосферы в экологических аспектах.

Вещественный состав биосферы также разнообразен. В.И. Вернадский включает в него семь глубоко разнородных, но геологически не случайных частей (рис. 7.5):

■ живое вещество;

■ биогенное вещество - рождаемое и перерабатываемое живыми организмами (горючие ископаемые, известняки и т.д.);

■ косное вещество (образуемое без участия живых организмов твердое, жидкое и газообразное);

■ биокосное вещество - косное вещество, преобразованное живыми организмами (вода, почва, кора выветривания, илы);

■ вещество радиоактивного распада (элементы и изотопы уранового, ториевого и актиноуранового ряда);

■ рассеянные атомы земного вещества и космических излучений;

■ вещество космического происхождения в форме метеоритов,

космической пыли и др.

В строении и морфологии биосферы исключительно важное значение для развития живого вещества имеют следующие ее элементы (сверху вниз):

■ слой живого вещества, так называемая «пленка жизни»;

■ педосфера, или почвенный покров;

■ ландшафтно-экологические системы - функциональные системы, включающие живые организмы и среду их обитания; - кора выветривания, т.е. зона разрушения и преобразования горных пород, их минерально-геохимических изменений в верхней части земной коры под воздействием различных факторов;

■ древняя биосфера (палеобиосфера) - комплекс горных пород, рельефа и других ландшафтных компонентов, залегающих ниже современной биосферы и погребенных под ее новейшими образованиями. Это горные породы, рудные и нерудные минералы, химические элементы, широко используемые в промышленности;

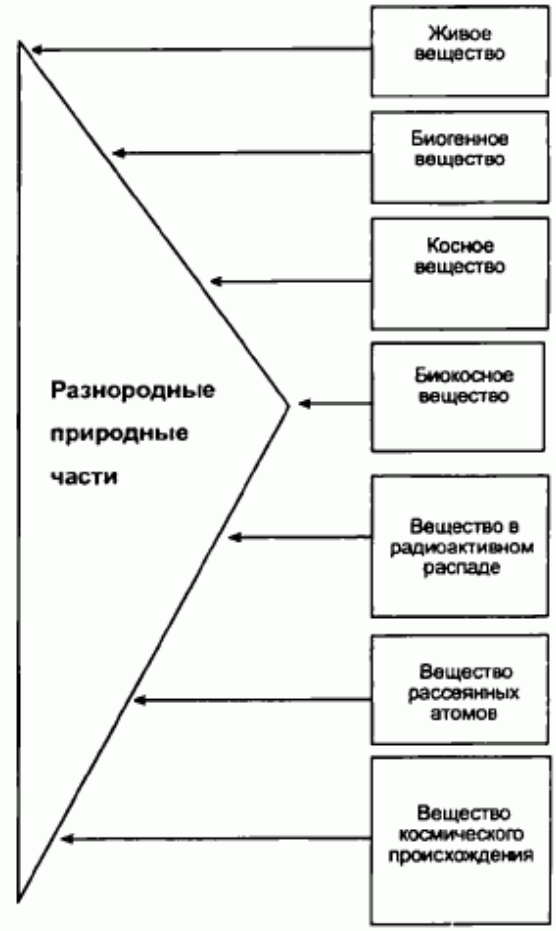



Рис. 7.5. Основные типы веществ, слагающих биосферу Земли

■ многочисленные минералы верхней части земной коры и биосферы: глины, известняки, бокситы и т.д.;

■ природные воды осадочной оболочки;

■ миллионы органических и органоминеральных соединений: уголь, графит, гумусовые вещества, нефть, природные газы; - минеральные ресурсы биосферы и земной коры, распространенные в форме свободных элементов: меди, серебра, золота, висмута, платины и т.д. Все они главный источник сырья для металлургии, химической промышленности и многих других отраслей. Их добыча и использование в экономике из год от года растут.

Согласно представлениям В. Вернадского, главное и основное – это живое вещество, совокупность всех живых организмов населяющих Землю. В процессе жизнедеятельности живые организмы взаимодействуют с веществом неживым (абиогенным) – косным веществом. Такое неживое вещество образуется процессами, в котором живые организмы не принимают участия, например, изверженные горные породы. Следующий компонент – биогенное вещество, создаваемое и перерабатываемое живыми организмами, например, газы атмосферы, каменный уголь, нефть, торф, известняк, мел, лесная подстилка, почвенный гумус и т.д. Еще одно составляющее – биокосное вещество - результат

совместной деятельности организмов и косных (абиогенных) процессов, или, другими словами, косное вещество, переработанное деятельностью живых организмов (вода, почва, кора выветривания, осадочные породы, глинистые материалы).

Косное вещество резко преобладает по массе и по объему. Живое вещество по массе составляет ничтожную часть нашей планеты «количество его исчисляется примерно 0,25% биосферы по весу». Причем «масса живого вещества остается в основном постоянной и определяется лучистой солнечной энергией заселения планеты». В настоящее время этот вывод называется *законом константности*. Из сказанного вытекает, что биосфера является результатом сложнейшего механизма геологического и биологического развития и взаимодействия косного и биогенного вещества. С одной стороны, это среда жизни, а с другой - результат жизнедеятельности. Главная специфика современной биосферы - это четко направленные потоки энергии и биогенный (связанный с деятельностью живых существ) круговорот веществ.

В своем основополагающем труде В.И. Вернадский приводит пять постулатов, относящихся к функции биосферы.

*Первый постулат*: «С самого начала биосферы жизнь, в нее входящая, должна была быть уже сложным телом, а не однородным веществом, поскольку связанные с жизнью ее биогеохимические функции по разнообразию и сложности не могут быть уделом какой-нибудь одной формы жизни». Смысл сказанного состоит в том, что первобытная биосфера изначально была представлена богатым функциональным разнообразием.

*Второй постулат*: «Организмы проявляются не единично, а в массовом эффекте...». И далее: «Первое появление жизни... должно было произойти не в виде появления одного какого-нибудь вида организмов, а их совокупности, отвечающей геохимической функции жизни. Должны были сразу появиться биоценозы».

*Третий постулат*: «В общем монолите жизни, как бы не менялись его составные части, их химические функции не могли быть затронуты морфологическим изменением». Объяснить сказанное можно тем, что первичная биосфера была представлена «совокупностями» организмов типа биоценозов, которые и были главной «действующей силой» геохимических преобразований. Их морфологические изменения «совокупностей» не отражались на «химических функциях» этих компонентов.

*Четвертый постулат*: «Живые организмы... своим дыханием, своим питанием, своим метаболизмом... непрерывной сменой поколений... порождают одно из грандиознейших планетных явлений... миграцию химических элементов в биосфере», поэтому «на всем протяжении протекших миллионов лет мы видим образование тех же минералов, во все времена шли те же циклы химических элементов, какие мы видим и сейчас».

*Пятый постулат*: «Все без исключения функции живого вещества в биосфере могут быть исполнены простейшими одноклеточными организмами».

Разрабатывая учение о биосфере В.И. Вернадский пришел к выводу, что главным трансформатором космической энергии является зеленое вещество растений. Только они способны поглощать энергию солнечного излучения и синтезировать первичные органические соединения.

Для объяснения большой суммарной энергии биосферы ученый произвел расчеты, которые действительно показали огромное значение фотосинтезирующих растений в

создании общей органической массы. Он подсчитал, что поверхность Земли составляет меньше одной десятитысячной поверхности Солнца. Общая же площадь трансформационного аппарата зеленых растений в зависимости от времени года составляет уже от 0,86 до 4,2% площади поверхности Солнца. Разница колоссальная. Этот зеленый энергетический потенциал и лежит в основе сохранения и поддержания всего живого на нашей планете.

В.И. Вернадский, так же, как и Ламарк 140 лет назад, попытался дать главные исчерпывающие признаки каждого царства живого. И чем больше он вникал в проблему, тем более ясно становилось, что вырисовывается новый разрез мира. В.И. Вернадский составил таблицу из 16 пунктов, где рассмотрел несходство живого и неживого в физическом, химическом и термодинамическом смысле.

Анализ таблицы показывал, что в природе нет никаких переходов от неживого к живому: они настолько противоречивы, что живое ни при каких условиях не может происходить из неживого. Организм и косную материю разделяет непроходимая стена. Принцип итальянского естествоиспытателя и врача Франческо Реди, гласящий, что живое происходит только от живого, между живым и неживым веществом проходит резкая граница, хотя и имеется постоянное взаимодействие, - получил свое подтверждение.

Биосфера — единственная область земной коры, занятая жизнью. Только в ней, в тонком наружном слое нашей планеты, сосредоточена жизнь; в ней находятся все организмы, всегда резкой, непроходимой гранью отделенные от окружающей их косной материи. Никогда живой организм в ней не зарождается. Он, умирая, живя и разрушаясь, отдает ей свои атомы и непрерывно берет их из нее, но охваченное жизнью живое вещество всегда имеет свое начало в живом же.

## 7.3. ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО ПЛАНЕТЫ

*Одна из особенностей живого вещества – в том, что оно выполняет химические реакции с замечательной точностью и упорядоченностью и в гораздо менее жестких условиях, чем при производстве веществ чисто химическими методами.*

**Александер Тодд – английский химик**

Основа концепции биосферы – представление о живом веществе. Более 90 % всего живого вещества приходится на наземную растительность (98 % биомассы суши). Живое вещество – наиболее мощный геохимический и энергетический фактором, ведущая сила планетарного развития. Основной источник биохимической активности организмов – это солнечная энергия, используемая в процессе фотосинтеза зелеными растениями и некоторыми микроорганизмами для создания органического вещества. Оно, в свою очередь, обеспечивает пищей и энергией остальные организмы. Фотосинтез привел к накоплению в атмосфере свободного кислорода, образованию озонового слоя, защищающего от ультрафиолетового и жесткого космического излучения, он поддерживает современный газовый состав атмосферы. Жизнь на Земле всегда существовала в форме сложно организованных комплексов разнообразных организмов (биоценозов). Вместе с тем живые

организмы и среда их обитания образуют целостные системы - биогеоценозы. Питание, дыхание и размножение организмов и связанные с ними процессы создания, накопления и распада органического вещества обеспечивают постоянный круговорот вещества и энергии. С этим круговоротом связана миграция атомов химических элементов через живое вещество. Так, весь атмосферный кислород оборачивается через живое вещество за 2000 лет, углекислый газ за 300 лет. Большим разнообразием органических и вообще химических соединений характеризуется состав самих организмов. Благодаря живому веществу на планете образовались почвы и органическое минеральное топливо (торф, уголь, возможно – нефть).

Исследуя процессы миграции атомов в биосфере, В.И. Вернадский подошел к вопросу о генезисе (происхождение, возникновение) химических элементов в земной коре, а после этого и к необходимости объяснить устойчивость соединений, из которых состоят организмы. Анализируя проблему миграции атомов, он пришел к выводу, что «нигде не существуют органические соединения, независимые от живого вещества». «Под именем живого вещества, — писал В. И. Вернадский в 1919 году, — я буду подразумевать всю совокупность всех организмов, растительности и животных, в том числе и человека. С геохимической точки зрения эта совокупность организмов имеет значение только той массой вещества, которая ее составляет, ее химическим составом и связанной с ней энергией. Очевидно, только с этой точки зрения имеет значение живое вещество и для почвы, так как, поскольку мы имеем дело с химией почв, мы имеем дело с частным проявлением общих геохимических процессов».

Тогда же ученый впервые высказал мысль о совместном нахождении химических элементов в живом веществе, которое определяется биологическими свойствами организмов, а не химическими свойствами элементов. К основным таким элементам В.И. Вернадский относил C, O, H, N, S, P, Cl, K, Mg, Ca, Na, Fe, к которым обычно присоединяют еще Si, Mn, F, J, Co, B, Ba, Sr, Pb, Zn, Ag, Br, V и т. д. В живом организме всегда содержится не менее 20—25 химических элементов, эти элементы оказываются вместе после гибели живого в исключительно малых объемах, высоких концентрациях и в соотношениях, которые определяет жизнь.

Итак, **живое вещество биосферы - это совокупность всех ее живых организмов**. Главное предназначение живого вещества и его неотъемлемый атрибут - накопление свободной энергии в биосфере. Обычная биогеохимическая энергия живого вещества производится прежде всего путем размножения.

Научные идеи В.И. Вернадского о живом веществе, о космичности жизни, о биосфере и переходе ее в новое качество - ноосферу своими корнями уходят в XIX - начало XX века, когда философы и естествоиспытатели предприняли первые попытки осмыслить роль и задачи человека в общей эволюции Земли. Именно их усилиями человек начал свое продвижение к вершинам естественной эволюции живого, постепенно занимая экологическую нишу, отведенную ему природой.

В 30-е годы В.И. Вернадский из общей массы живого вещества выделяет человечество, как его особую часть. Такое отособление человека от всего живого стало возможным по трем причинам. Во-первых, человечество является не производителем, а потребителем биогеохимической энергии. Такой тезис требовал пересмотра геохимических функций

живого вещества в биосфере. Во-вторых, масса человечества, исходя из данных демографии, не является постоянным количеством живого вещества. И в-третьих, его геохимические функции характеризуются не массой, а производственной деятельностью. Характер усвоения человечеством биогеохимической энергии определяются разумом человека. С одной стороны, человек - это кульминация бессознательной эволюции, «продукт» спонтанной деятельности природы, а с другой - зачинатель нового, разумно направленного этапа самой эволюции.

Какие же характерные особенности присущи живому веществу? Прежде всего это ***огромная свободная энергия***. В процессе эволюции видов биогенная миграция атомов, т.е. энергия живого вещества биосферы, увеличилась во много раз, и продолжает расти, ибо живое вещество перерабатывает энергию солнечных излучений, атомную энергию радиоактивного распада и космическую энергию рассеянных элементов, приходящих из нашей Галактики. Живому веществу присуща также ***высокая скорость протекания химических реакций*** по сравнению с веществом неживым, где похожие процессы идут в тысячи и миллионы раз медленнее. К примеру, некоторые гусеницы в сутки могут переработать пищи в 200 раз больше, чем весят сами, а одна синица за день съедает столько гусениц, сколько весит сама.

Для живого вещества характерно то, что ***слагающие его химические соединения, главнейшими из которых являются белки, устойчивы только в живых организмах***. После завершения процесса жизнедеятельности исходные живые органические вещества разлагаются до химических составных частей.

***Живое вещество существует на планете в форме непрерывного чередования поколений***, благодаря чему вновь образовавшееся, оно генетически связано с живым веществом прошлых эпох. Это - главная структурная единица биосферы, определяющая все другие процессы поверхности земной коры. Для живого вещества характерно ***наличие эволюционного процесса***. Генетическая информация любого организма зашифрована в каждой его клетке. При этом этим клеткам изначально предначертано быть самими собой, за исключением яйцеклетки, из которой развивается целый организм.

В.И. Вернадский отмечал, что живые организмы планеты – это наиболее постоянно действующая и могущественная по своим конечным последствиям химическая сила. Он указывал, что живое вещество неотделимо от биосферы, является ее функцией и одновременно «одной из самых могущественных геохимических сил нашей планеты». Круговорот отдельных веществ В.И. Вернадский назвал биогеохимическими циклами. Эти циклы и круговорот обеспечивают важнейшие функции живого вещества в целом. Ученый выделил несколько таких функций.

***1. Энергетическая функция.*** Заключается в накоплении и преобразовании растениями энергии Солнца (бактерии-хемоавтотрофы преобразуют энергию химических связей) и передаче ее по пищевым цепям: от продуцентов - к консументам и, далее, - к редуцентам. При этом энергия постепенно рассеивается, но часть ее вместе с остатками организмов переходит в ископаемое состояние, «консервируется» в земной коре, образуя запасы нефти, угля и др. Эта функция - одна из важнейших. В её основе лежит процесс фотосинтеза, в результате которого происходит аккумуляция солнечной энергии и её последующее перераспределение между компонентами биосферы.

***2. Газовая функция***. Осуществляется зелеными растениями, выделяющими кислород в процессе фотосинтеза, а также всеми растениями и животными, выделяющими углекислый газ в результате дыхания. Происходит также круговорот азота, связанного с деятельностью микроорганизмов. В.И. Вернадский писал, что все газы, образующиеся в биосфере, теснейшим образом связаны своим происхождением с живым веществом, всегда биогенны и изменяются главным образом биогенным путем.

Основными газовыми функциями В.И. Вернадский считал следующие.

■ Кислородно-углекислотная, носителем которой являются хлорофилльные растения. Ими создается подавляющая масса кислорода на планете. Из-за того, что ночью фотохимический процесс прекращается, а на смену ему приходит процесс образования углекислоты, эта функция называется кислородно-углекислотной.

■ Углекислотная (отдельная от кислородной). В результате жизнедеятельности животных, грибов и бактерий, создается биогенная углекислота.

■ Озонная и перекисьводородная. В.И. Вернадский считал, что озон и перекись водорода являются продуктами жизни (через кислород, идущий на образование озона и перекиси). Озон, образуясь из биогенного кислорода, защищает биосферу от губительного ультрафиолетового излучения.

■ Азотная. В.И. Вернадский полагал, что свободный азот атмосферы создается живым веществом почвы.

■ Углеводородная. Биогенные газы – углеводороды – создаются живым веществом. Их роль в биосфере очень велика, но мало изучена.

■ Водная, проявляющаяся в биогенном круговороте воды. Биогенная роль водной функции проявляется в том, что состояние растительного покрова самым тесным образом связано с влажностью воздуха, содержанием воды в почве и подпочве. Наиболее ярко она выражена в лесах суши, сведение которых ведет к изменению и перестройке всего биогеохимического круговорота воды в биосфере.

■ Сероводородная и сульфидная функции. Проявляется в действии окислительно-восстановительной системы. Она играет большую роль во всех почвах, особенно в условиях щелочной и нейтральной реакции среды. В присутствии органического вещества и при недостатке кислорода в почве через цепь химических реакций образуется сероводород, который уходит в атмосферу. Система сульфаты↔сульфиды сдвигается в сторону сульфидов. При этом развивается процесс десульфирования или десульфации почвенного раствора, грунтовых или глубинных подземных вод. В результате наблюдается постепенное исчезновение из почвы сернокислых солей и подщелачивание раствора. Такие процессы характерны для луговых солончаковых почв, торфяных болот, донных отложений застойных водоемов, полей орошаемого риса.

В период просыхания переувлажненных почв наблюдается снижение доступа кислорода и уровня грунтовых вод. В связи с этим происходит сдвиг окислительно-восстановительной системы в другую сторону, в результате чего развиваются окислительные процессы. В почвах и грунтах образуются соединения серы, окисляемые в дальнейшем до серной кислоты и сульфатов. Часть серы из системы утрачивается в виде сероводорода.

Таким образом, образование сероводорода является следствием биогенной деятельности животных и бактерий почвы. Превращение органической серы бактериями и животными в конечный продукт – сероводород и восстановление минеральной серы бактериями в процессе десульфирования в сероводород – две стадии сероводородной функции живых организмов.

***3. Концентрационная функция***. Проявляется в способности живых организмов накапливать в своих телах многие химические элементы (на первом месте стоит углерод, среди металлов – кальций). Способность концентрировать элементы из разбавленных растворов – характерная особенность живого вещества. Например, морские организмы активно накапливают микроэлементы, тяжелые металлы (ртуть, свинец, мышьяк), радиоактивные элементы. Осоки и хвощи содержат много кремния, морская капуста и щавель - йод и кальций. В скелетах позвоночных животных содержится большое количество фосфора, кальция, магния. Осуществление данной функции способствовало образованию залежей известняка, мела, торфа, угля, нефти.

В.И. Вернадский различал:

1. Концентрационные функции I рода, когда живым веществом концентрируются из окружающей среды те химические элементы, которые содержатся во всех без исключениях организмах (H, C, N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe).

2. Концентрационные функции II рода, когда наблюдается накопление химических элементов, которые в живых организмах не встречаются, или могут встречаться в очень малых количествах. Например, голотурии способны накапливать ванадий. Дождевые черви могут накапливать цинк, медь, свинец и кадмий в своих тканях. Водоросли рода ламинария накапливают в себе йод.

***4. Окислительно-восстановительная функция***. Тесно связана с энергетической. В результате химических превращений веществ в процессе жизнедеятельности микроорганизмов они получают энергию для жизненных процессов, окисляя и восстанавливая различные соединения. Велико их значение для образования многих полезных ископаемых. Например, деятельность железобактерий по окислению железа привела к образованию таких осадочных пород как железные руды; серобактерии, восстанавливая сульфаты, образовали месторождения серы.

***5. Биохимическая функция.*** Определяется как размножение, рост и перемещение в пространстве живого вещества. Все это приводит к круговороту химических элементов в природе, их биогенной миграции.

В.И. Вернадский выделял I-ую биохимическую функцию, которая связана с питанием, дыханием и размножением организмов и II-ую биохимическую функцию, которая связана с разрушением тел живых организмов после их смерти. При этом происходит ряд биохимических превращений: живое тело – биокосное – косное.

***6. Функция биогеохимической деятельности человека***. Связана с биогенной миграцией атомов, многократно усиливающейся под влиянием хозяйственной деятельности человека и его разума. Человек в ходе своей хозяйственной деятельности разрабатывает и использует для своих нужд большое количество веществ земной коры, в т.ч. таких как уголь, газ, нефть, торф, сланцы, многие руды. Одновременно происходит атропогенное поступление в биосферу чужеродных веществ в количествах, превышающих допустимое

значение. Это привело кризисному противостоянию человека и природы. Главной причиной надвигающегося экологического кризиса считается технократическая концепция, рассматривающая биосферу, с одной стороны, как источник физических ресурсов, с другой - как сточную трубу для удаления отходов.

Очень важное теоретическое и практическое значение имеет ***закон биогенной миграции атомов*** В. И. Вернадского: миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой ($O_2$, $CO_2$, $H_2$ и т. д.) обусловлены живым веществом как тем, которое в настоящее время населяет биосферу, так и тем, которое действовало на Земле в течение всей геологической истории.

Так как люди в широких масштабах воздействуют на биосферу и ее живое вещество, то они тем самым изменяют условия биогенной миграции атомов, создавая предпосылки для еще более глубоких химических перемен в исторической перспективе. Процесс может стать неуправляемым и привести к гибельным для всего живого переменам в биосфере. Отсюда одна из самых насущных задач человечества – сохранение живого покрова Земли в относительно неизмененном состоянии.

Закон биогенной миграции атомов дает в руки людей ключи для сознательного и активного предотвращения нежелательных биохимических процессов на планете и управления ими в регионах. Прежде всего он определяет необходимость учета воздействий на биоту при любых проектах преобразования природы. Там, где ранее были сделаны ошибки и среда жизни деградировала, на его основе возможно активное и постепенное выправление сложившейся неблагополучной экологической ситуации.

В настоящее время естественный круговорот атомов в атмосфере просто не успевает за техногенными выбросами. Только за счет сжигания угля в энергетических установках в окружающую среду поступает мышьяка, урана, кадмия, бериллия в десятки раз, а ртути - в тысячи раз больше, чем вовлекается в природный биохимический круговорот.

В.И. Вернадский классифицировал живое вещество на ***однородное*** и ***неоднородное***. Первое в его представлении - это родовое, видовое вещество и т.п., а второе представлено закономерными смесями живых веществ. Это лес, болото, степь, т.е. биоценоз. Характеризовать живое вещество ученый предлагал на основе таких количественных показателей, как химический состав, средний вес организмов и средняя скорость заселения ими поверхности Земного шара.

Вернадский приводит средние цифры скорости «передачи жизни в биосфере». Время захвата данным видом всей поверхности нашей планеты у разных организмов может быть выражена следующими цифрами (сутки):

Бактерия холеры (*Vibrio cholerae*) 1,25
Инфузория (*Lekconhrys patula*) 10,6 (максимум)
Диатомовые (*Nittschia putrida*) 16,8 (максимум)
Зеленый планктон 166-183 (среднее)
Насекомые: комнатная муха (*Musca domestica*) 366
Рыбы (*Pleurettes platessa*) 2159 (максимум)
Цветковые растения: клевер ползучий (*Trifolium repens*) 4076

Птицы (куры) 5600-6100
Млекопитающие: крысы 2800
Дикая свинья 37600
Слон индийский 376000.

Жизнь на нашей планете существует в неклеточной и клеточной формах. Неклеточная форма живого вещества представлена вирусами, которые лишены раздражимости и собственного синтеза белка.

*Вирусы (от лат. «virus» -«яд») – это неклеточная форма жизни, инфекционные агенты, внутриклеточные облигатные паразиты, которые может воспроизводиться только внутри живых клеток. Иногда вирусы выделяют в особое царство живой природы - Vira. Они могут размножаться только внутри определенных живых клеток. Вирусы повсеместно развиты в природе и являются опасным противником всего живого. Вне клетки вирусные частицы не проявляют признаки живого и ведут себя как частицы биополимеров. От живых организмов, являющихся внутриклеточными паразитами, вирусы отличаются полным отсутствием основного и энергетического обмена и отсутствием сложнейшего элемента живых систем — аппарата трансляции (синтеза белка), степень сложности которого превышает таковую самих вирусов. Наиболее просто организованные вирусы представляют собой нуклеопротеид, состоящий из нуклеиновой кислоты (ДНК или РНК) и белковой оболочки (капсида). Сложные вирусы могут иметь дополнительную оболочку из липопротеина.*

*Вирусы распространяются многими способами: вирусы растений часто передаются от растения к растению насекомыми, питающимися растительными соками, к примеру, тлями; коронавирусы поражают преимущественно животных, но в некоторых случаях могут передаваться человеку. Вирус гриппа распространяется воздушно-капельным путём при кашле и чихании. Норовирус и ротавирус, обычно вызывающие вирусные гастроэнтериты, передаются фекально-оральным путём при контакте с заражённой пищей или водой. ВИЧ является одним из нескольких вирусов, передающихся половым путём и при переливании заражённой крови. Каждый вирус имеет определённую специфичность к хозяевам, определяющуюся типами клеток, которые он может инфицировать. Круг хозяев может быть узок или, если вирус поражает многие виды, широк.*

Клеточные формы жизни представлены прокариотами (организмы, не имеющие ограниченного мембраной ядра) и эукариотами (клетки которых содержат оформленные ядра. К прокариотам относятся различные бактерии. Эукариоты - это все высшие животные и растения, а также одноклеточные и многоклеточные водоросли, грибы и простейшие.

## 7.4. ПОНЯТИЕ НООСФЕРЫ

*С появлением на нашей планете одаренного разумом живого существа планета переходит в новую стадию своей истории. Биосфера переходит в ноосферу.*

**В.И. Вернадский**

В 20-е годы нашего столетия В.И. Вернадский работал над проблемой химического строения биосферы Земли. Эволюция биосферы связывалась им с эволюцией жизни на Земле. Ученый делает общий вывод: «Эволюция биосферы связана с усилением

эволюционного процесса живого вещества». В своих трудах по биогеохимии он обосновал общую схему эволюции верхней оболочки нашей планеты, и пришел к необходимости анализа роли Человека разумного во всем этом процессе. В результате родилось научное направление, которое получило название *учения о ноосфере*.

Смысл этого учения состоит в следующем. Появление на Земле человека означало новый огромный шаг в эволюции планеты. Его активность многогократно ускоряет все эволюционные процессы, темпы которых быстро растут по мере развития производительных сил, технической вооруженности цивилизации. Дальнейшее неконтролируемое, ненаправляемое развитие деятельности людей таит в себе опасности, которые трудно предвидеть. Именно поэтому неизбежно настанет время, когда дальнейшая эволюция планеты, а, следовательно, и человеческого общества должны будут направляться разумом. Биосфера постепенно станет превращаться в сферу разума.

В. И. Вернадский подчеркивал: «История научной мысли... это история проявления нового геологического фактора, нового выражения организованности биосферы, сложившейся стихийно, как природное явление, в последние несколько десятков тысяч лет. Она не случайна, как всякое природное явление, она закономерна, как закономерен в ходе времени палеонтологический процесс, создавший мозг Homo sapiens и ... социальную среду...». И далее он добавляет: «Биосфера XX столетия превращается в ноосферу, создаваемую прежде всего ростом науки, научного понимания и основанного на ней социального труда человека».

История человеческого общества изобилует различного рода экологическими кризисами. Такие кризисы всегда возникали там и тогда, где и когда человек начинал интенсивно изменять природу. Даже десятки тысячелетий назад человек не был рачительным хозяином всего того богатства, которое оказалось в его руках. Вместо этого он стал смело и бездумно использовать и ту гигантскую силу, которую давал разум, чтобы покорять природу.

И хотя сейчас никого не волнует судьба исчезнувшего с лица Земли мамонта или саблезубого тигра, наш мир наверняка будет беднее, если человек допустит исчезновение слона, тигра или носорога. В свое время немецкий философ Иммануил Кант утверждал, что человек имеет обязательства только перед самим собой. Так ли это? Не несет ли он подобные обязательства перед теми живыми существами, которые окружают его: перед зеленой травинкой, певчим дроздом или исполинским китом?

Нельзя, однако, сказать, что человек только и делал, что бездумно и методично разрушал дом, в котором живет. На разных стадиях развития биосферы определенные цивилизации проявляли особое уважение к живому, справедливо полагая, что их жизнь в полной мере зависит от даров природы. И хотя уже на стадии собирательства и охоты человек извел всех крупных млекопитающих (прежде всего копытных), чем поставил себя перед лицом экологической катастрофы, он нашел в себе силы и умение обратиться лицом к природе, перейдя от охотничьего образа жизни и собирательства к оседлому земледелию. Видимо, человечество рано поняло, что пользоваться природными богатствами необходимо разумно, не нарушая при этом продуктивных физических и биологических природных механизмов и сохраняя тем самым основу своего существования.

Эти процессы хозяйствования в природной среде продолжаются и теперь, поскольку никто еще пока не в силах сконструировать искусственную фабрику получения органических веществ из неорганических соединений, с чем на первый взгляд довольно легко справляются зеленые растения.

В ходе сельскохозяйственной революции человечество изобрело массу различных предметов - от плуга и лошадиного хомута до пресса, паруса и помпы. Все эти продукты аграрного образа жизни, точнее, процессы, с ними связанные, имели определенное воздействие на природу, правда, поначалу весьма ограниченное. ми орудиями земледельца остаются плуг, мотыга и лопата. Иначе обстоит дело на современном этапе эволюции человека и природы. Промышленная цивилизация и сельскохозяйственная революция охватили весь мир. Человек оказался подхваченным вихрем демографического взрыва и вовлеченным в стремительный темп современной жизни. Наши разнообразные потребности - действительные и надуманные - в последнее время начали оказывать на природу столь мощное давление, что возникла вполне реальная угроза самому существованию Человека как биологического вида.

Постепенно человек перестал быть гармоничной частью биосферы, выйдя за пределы ее ресурсных циклов. Мощь цивилизации возрастает неизмеримо быстрее, чем способность природы к самовосстановлению. И здесь важно знать те критические значения параметров биосферы, за которыми может начаться непредсказуемое развитие природных сил и переход современной биосферы в новое состояние, где для человека (увы!), места может не оказаться.

Следует отметить, что тревожные мысли, касающиеся будущего человечества, высказывались еще в прошлом веке крупными представителями философии, науки и культуры. Упоминаемый нами ранее Ж.Б. Ламарк в начале XIX века написал следующие слова: «...назначение человека как бы заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав земной шар непригодным для обитания».

Происхождение термина ноосфера, так же как и смысл, который в него вкладывают, неоднозначны. В.И. Вернадский начал пользоваться им лишь в конце своей жизни.

*13 декабря 1922 г. в Латинском квартале Парижа появились афиши о лекциях В.И. Вернадского в Сорбонне. Свои идеи о космичности живого вещества он излагал по-французски. Лекции пробудили множество свежих мыслей у пришедших слушателей. Идеи В.И. Вернадского многим пришлись по душе. Именно эти лекции и стали толчком к разработке французским математиком Эдуардом Леруа концепции о ноосфере. В 1927-1928 гг. он выступил со своим пониманием сферы разума в высокоинтеллектуальном заведении Парижа «Коллеж де Франс», где впервые употребил термин «ноосфера». Своим соавтором он назвал друга и единомышленника, Пьера Тейяр де Шардена, философа, геолога и палеонтолога, сочетавшего в своих работах христианское мировоззрение с научными обобщениями.*

Таким образом, духовным предтечей идеи ноосферы стал русский ученый В.И. Вернадский, в дальнейшей ее разработке принимали участие французы Леруа и Тейяр де Шарден. С тех пор новое учение стали называть **учением о ноосфере**.

Позже эта идея захватила умы многих известных во всем мире ученых, что само по себе говорит о ее значимости и глобальном характере. Проблема ноосферы возникла закономерно - как для отдельных ученых, так и для человечества в целом.

Философский энциклопедический словарь определяет ноосферу как «сферу взаимодействия природы и общества, в пределах которой разумная человеческая деятельность становится главным определяющим фактором развития».

Употребляя термин «ноосфера», экологи имеют в виду прежде весь тот комплекс проблем, решение которых необходимо для осуществления направленного развития биосферы. Говоря об «эпохе ноосферы», мы подчеркиваем еще одну важную сторону учения В.И. Вернадского. Оно утверждает не только необходимость целенаправленного развития биосферы, подчиненного обеспечению дальнейшего развития цивилизации, но и такого изменения общества, его природы и организации, которые были бы способны обеспечить нужную гармонию в развитии природы и общества.

Первое, что отметил Вернадский, - это повсеместное внедрение человека (с его преобразующей природу деятельностью) в биосферу: «В XX в. впервые в истории Земли человек узнал и охватил всю биосферу, закончил географическую карту планеты Земля, расселился по всей ее поверхности... Нет ни одного клочка земли, где бы человек не мог прожить, если бы это было ему нужно». Поэтому ноосфера может рассматриваться как новое явление на нашей планете. «Человек... становится могучей геологической силой, все растущей». Эта сила складывалась на протяжении веков, подчас незаметно для самого человека. К постепенным длительно формирующимся изменениям в положении человечества на планете добавились и перемены относительно резкие, связанные с небывалым подъемом развития науки и техники.

Вернадский приходит к выводу, что основа и постепенных, и резких изменений - человеческий разум: «Появление разума и наиболее точного его выявления - организации науки - есть первостепенный факт в истории планеты, может быть, по глубине изменений превышающий все нам известное, раньше выявлявшееся в биосфере». И далее: «...Созданные невесомые ценности - научная мысль и научное открытие - в дальнейшем меняют... ход процессов биосферы, окружающей нас природы».

Что же такое ноосфера?

**Ноосфера,** по В.И. Вернадскому (от греч. **«noos»** – разум + «**sphaira»** - шар) – новое эволюционное состояние биосферы, при котором разумная деятельность человека становится решающим фактором ее развития; это биосфера, разумно управляемая человеком. Ноосфера - это новая, высшая стадия биосферы, связанная с возникновением и развитием в ней человечества, которое, познавая законы природы и совершенствуя технику, становится крупнейшей силой, сопоставимой по масштабам с геологическими, и начинает оказывать определяющее влияние на ход процессов в охваченной его воздействием сфере Земли (впоследствии и в околоземном пространстве), глубоко изменяя её своим трудом.

В.И.Вернадский подчеркивал, что ноосфера – это тот период развития биосферы, когда *разумная деятельность человека становится главным определяющим фактором развития на Земле.* Он отмечал, что возникновение ноосферы как части биосферы есть природное явление, гораздо более глубокое и мощное в своей основе, чем человеческая история. «...Все человечество, вместе взятое, представляет ничтожную массу вещества планеты.

Мощь его связана не с его материей, но с его мозгом, разумом и направленным этим разумом его трудом. Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше». В.И. Вернадский понимал под ноосферой не нечто внешнее по отношению к биосфере, а новый этап в ее развитии, этап разумного регулирования отношений между человеком и природой.

Ноосфера включает:

- антропосферу - пространственное положение человечества и его хозяйственной деятельности;

- техносферу - часть биосферы, коренным образом преобразованная человеком в инженерно-технические сооружения: города, заводы и фабрики, карьеры и шахты, дороги, плотины и водохранилища и т.п;

- социосферу - обозначение человечества, общества, а также освоенной человеком природной среды.

Для В.И. Вернадского ноосфера - это естественный процесс, один из моментов эволюции материи. Практическая деятельность человека не зависит от полного понимания мироустройства. Человек действует методом проб и ошибок. Он не просто живет в природе, но замещает в ней естественное искусственным, создает вторую природу. Именно поэтому появились техногенная среда, техногенные ландшафты. Введение категории искусственного в структуру естественного является исходным пунктом экологизации последнего. Вообще, можно сказать, что экология и экологические проблемы возникли там и тогда, где и когда человек начал активно вмешиваться в жизнь природы, навязывая искусственные элементы. Это, к примеру, появление первых сельскохозяйственных орудий. Их создание привело к разрыву естественных связей в природе и возникновению самых различных проблем, до конца осмысленных только в нашем веке и названных экологическими. Перед учеными (экологами, физиками, химиками, генетиками и пр.) возникла проблема, решить которую на основе тривиальных, устоявшихся представлений о природной среде оказалось не так-то просто. Природа Земли фактически постоянно разными темпами изменялась (и изменилась), а законы природы, открытые Коперником, Кеплером, Галилеем, Ньютоном, остались прежними, и действуют вне воли человека. Запуски космических кораблей происходят точно с представлениями о законах природы, однако эти полеты реализуют новый тип связи человека и природы и формируют новые свойства цивилизации.

Человек неразрывно связан со средой, в которой он живет. «Человек есть определенная функция биосферы в определенном ее пространстве-времени». Именно поэтому ноосфера не есть что-то искусственное, чуждое истории планеты. Ноосфера - это результат развития биосферы, «последнее из многих состояний эволюции биосферы в геологической истории». «Создание ноосферы из биосферы есть природное явление, более глубокое и мощное в своей основе, чем человеческая история». «Это новая стадия в истории планеты, которая не позволяет пользоваться для сравнения, без поправок, историческим ее прошлым. Ибо эта стадия создает по существу новое в истории Земли, а не только в истории человечества». Итак, ноосфера - это современный этап развития биосферы, который сформировался в результате созидательной деятельности человечества,

изменяющей и биосферу, и весь ход геологической истории планеты Земля. Согласно В.И. Вернадскому, ноосферой называется такое состояние биосферы, в котором человек принимает на себя ответственность не только за дальнейшее развитие общества, но и биосферы.

Наконец, на стадии ноосферы человек осознает, что он, будучи отдельной личностью, не отделим от всего человечества. «Человечество своей жизнью стало единым целым». Но человечество - плод развития биосферы, а биосфера - результат развития планеты. Отсюда - люди должны действовать в интересах всей планеты. «Человек впервые реально понял, что он житель планеты и может - должен - мыслить и действовать в новом аспекте, не только в аспекте отдельной личности, семьи или рода, государств или их союзов, но и в планетном аспекте». И, быть может, самое главное (на наш взгляд): *«В геологической истории биосферы перед человеком открывается огромное будущее, если он поймет это и не будет употреблять свой разум и свой труд на самоистребление».*

Что же касается времени окончательного формирования этой стадии развития планеты, то однозначного ответа ученый не дал. Он говорил и о приближении к ноосфере, и о том, что «ноосфера... состояние наших дней», а расцвет творческих возможностей человечества придется на поколение его внучки, т.е. современный нам период. Такое понимание, по-видимому, естественно, если учесть психологию людей эпохи начала научно-технической революции, их энтузиазм и творческий порыв, когда казалось, что человеку все подвластно.

Ноосфера – это цель к осуществлению которой должно стремиться человечество. Если оно не начнет разумно регулировать свою численность и давление на природу, сообразуясь с ее законами, биосфера в измененном виде может сохраниться, но современная цивилизация, а не исключено и вид Homo sapiens погибнут. Управлять люди будут не природой, а прежде всего собой. И в этом смысл закона ноосферы. Именно поэтому фундаментальная константа ноосферы – нравственность.

Концепция ноосферы рассматривает коэволюцию человека и биосферы. Ноосфера - это универсальная совокупность связей природы и общества, которые позволяют установить искусственную и естественную компоненты человеческой деятельности и проецируют их на эволюцию биосферы. В.И. Вернадский учил: человек должен понять, «что он не есть случайное, независимое от окружающего (биосферы или ноосферы) свободно действующее природное явление. Он составляет неизбежное проявление большого природного процесса, закономерно длящегося в течение по крайней мере двух миллионов лет».

Что несет для биосферы развитие цивилизации и функций человечества? Прежде всего, существенные изменения среды обитания, изменения ландшафтов, продуктивности наземных экосистем, изменения в трофических цепях. Меняется сама роль человека в природе и в эволюции живых форм. Неуклонно уменьшается площадь естественных экосистем в природных ландшафтах, за счет расширения доли участия искусственных экосистем, назначение которых - обеспечение человечества необходимыми продуктами питания и потребления. Эксплуатация природных ресурсов постоянно возрастает, а это неизбежно ведет к обострению кризиса в отношениях человека и природы.

## 7.5. БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ КАК ОСНОВА СТАБИЛЬНОСТИ БИОСФЕРЫ

*Животные и растения - своеобразный барометр.*
*Если внезапно оказывается, что животные и растения исчезают, то это предупреждение: с экосистемой что-то не так. Поэтому охрана животных и растений,*
*по своей сути - охрана нас самих...*
*Надо защищать их, ведь если уйдут они, уйдем и мы.*
**Дж. Даррелл – английский натуралист, зоолог**

Предпосылки для возникновения понятия «биологическое разнообразие» создали предпринимаемые биогеографами оценки степени разнообразия Земли. Еще в XVIII–XIX веках были разработаны схемы ботанико-географического и зоогеографического разделения поверхности нашей планеты по степени своеобразия флоры и фауны.

Известно, что сам термин «биологическое разнообразие» впервые использовал в 1892 г. английский естествоиспытатель Генри Уолтер Бейтс в своих трудах по исследованию насекомых Амазонки.

В широкий обиход термин «биоразнообразие» вошел в 1972 г. после Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде. Многоаспектность понятия и внимание к этой проблеме широкого круга людей, когда термин стал наиболее часто употребляемым в биологии, в научных работах и в природоохранном движении, привело к тому, что «Биоразнообразие» стандартного определения не имеет. Бум вокруг слова «биоразнообразие» аналогичен ситуации с понятием «экология», научное содержание которого размывается вследствие популяризации.

Первым шагом к сохранению биоразнообразия явилось подписание в 1902 г. в Париже рядом стран Международной конвенции по охране птиц. Начало изучения и сохранения биоразнообразия положено в 1948 г., когда был создан Международный Союз по охране природы и её ресурсов (МСОП).

Благодаря Программе Организации Объединенных Наций по окружающей среде (UNEP), в 1988 году была создана Специальная рабочая группа экспертов с целью изучения необходимости разработки международной конвенции о биоразнообразии. 22 мая 1992 года в Найроби была проведена конференция по принятию согласованного текста Конвенции о биоразнообразии.

В 1992 г. на Всемирной Конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и устойчивому развитию в Рио-де-Жанейро (Саммит «Планета Земля») была принята Программа действий в XXI в., где обращалось внимание на первостепенные цели деятельности человечества, связанные с выявлением состояния биоразнообразия и потенциальных ему угроз.

Значимым событием стало принятие в Нагое в 2010 г. стратегического плана в области сохранения и устойчивого использования биоразнообразия на 2011-2020 годы. В рамках этого десятилетнего плана все страны должны принять меры к сохранению биоразнообразия и выгод, которые им обеспечиваются.

Биологическое разнообразие понимается и определяется многими экологами по-разному. Наиболее распространен взгляд на биоразнообразие как совокупность видового богатства живых организмов. Согласно этому, биологическое разнообразие включает в себя прежде всего все существующие на Земле виды растений, животных, микроорганизмов и грибов. Оно также охватывает и всю совокупность природных экосистем, которые слагаются этими видами. Таким образом, под биоразнообразием можно понимать разнообразие организмов и их природных сочетаний.

Всемирный фонд дикой природы определяет биоразнообразие как «все многообразие форм жизни на земле, миллионов видов растений, животных, микроорганизмов с их наборами генов и сложных экосистем, образующих живую природу». Однако такое широкое понимания биоразнообразие требует его структурирования, в соответствии с уровнями организации, такими как популяция, вид, сообщество, биоценоз, территориальные единицы более крупного ранга – ландшафт, регион, биосфера. Поэтому для учета качественных параметров и характера распределения в пространстве различных сообществ и структурного разнообразия самих сообществ предлагается следующее определение. «***Биоразнообразие*** — все разнообразие живых организмов, систем, частью которых они являются, и особенности их структуры, а также распространения в пространстве».

Под биоразнообразием подразумевается изменчивость экосистем всех живых организмов, включая земные, морские и другие водные экосистемы. В этом случае оно включает разнообразие в рамках одного вида (генетическое разнообразие), между разными видами (видовое разнообразие) и экосистемами (экосистемное разнообразие).

В основе биоразнообразия лежит видовое разнообразие. Оно включает в себя кроме всего прочего все существующие на Земле виды растений, животных и микроорганизмов. Это миллионы видов животных, растений, микроорганизмов, а также все разнообразие организмов – от мельчайшего фито- и зоопланктона в океане до гигантских деревьев, растущих в горах Калифорнии – секвой и огромных животных – слонов и китов. Однако биоразнообразие также охватывает и всю совокупность природных экосистем, которые слагаются этими видами. Таким образом, под биоразнообразием можно понимать разнообразие организмов и их природных сочетаний. На основе биоразнообразия создается структурная и функциональная организация биосферы и составляющих ее экосистем, которая определяет их стабильность и устойчивость к внешним воздействиям.

Обычно выделяют три основных типа биоразнообразия:

- генетическое разнообразие, отражающее внутривидовое разнообразие и обусловленное изменчивостью особей;
- видовое (организменное) разнообразие, отражающее разнообразие живых организмов (растений, животных, грибов и микроорганизмов). В настоящее время описано около 1,5-2,0 млн. видов, хотя их общее число, по некоторым оценкам, составляет до 50 млн.;
- разнообразие экосистем (экологическое разнообразие) охватывает различия между типами экосистем, разнообразием сред обитания и экологических процессов. Отмечают разнообразие экосистем не только по структурным и функциональным составляющим, но и по масштабу - от биоценоза до биосферы.

Однако многие экологи считают, что в общую структуру биоразнообразия следует включать отчасти и культурное разнообразие (рис. 7.6).

Поэтому нередко под биоразнообразием подразумевается изменчивость экосистем всех живых организмов, включая земные, морские и другие водные экосистемы. В этом случае оно включает разнообразие в рамках одного вида (генетическое разнообразие), между разными видами (видовое разнообразие) и экосистемами (экосистемное разнообразие).

Следует отметить, что биологическое разнообразие может быть представлено и как фундаментальная часть живого покрова, и как ресурс, наряду с пространством, временем и энергией. Это представление о разнообразии основано на структурной иерархии.

Все типы биологического разнообразия взаимосвязаны между собой: генетическое разнообразие обеспечивает разнообразие видов. Разнообразие экосистем и ландшафтов создает условия для образования новых видов. Повышение видового разнообразия увеличивает общий генетический потенциал живых организмов Биосферы. Каждый вид вносит свой вклад в разнообразие - с этой точки зрения не существует бесполезных и вредных видов.

Рис. 7.6. Структура и уровни биоразнообразия

В соответствии с Конвенцией 1992 г. о биологическом разнообразии, участниками которой по состоянию на 14 августа 2001 г. является 181 государство, правительства обязались сохранять биологическое разнообразие, использовать его компоненты на устойчивой основе и равноправно делиться выгодами, вытекающими из использования генетических ресурсов. Несмотря на это, биологическое разнообразие планеты необратимо утрачивается со скоростью, вызывающей тревогу, в результате крупномасштабной деятельности по сведению и выжиганию лесов; хищнических масштабов заготовки растений; неизбирательного применения пестицидов и других стойких ядохимикатов; осушения и засыпки болот; уничтожения коралловых рифов и мангровых зарослей; применения хищнических методов рыболовства; изменения

климата; загрязнения воды; превращения нетронутых природных зон в сельскохозяйственные угодья и городские массивы.

В столице Малайзии – Куале_Лумпуре в феврале 2004 г. под эгидой ООН состоялась седьмая конференция участников Конвенции по биологическому разнообразию. В ней принимали участие более 2 тыс. представителей свыше 180 стран мира. Участники конференции обсуждали вопросы защиты окружающей среды и исчезающих видов, изучали возможность создания специальной сети, которая помогла бы населению развивающихся стран защитить свое наследие.

После 2000 года, как заявил на форуме генеральный директор Программы ООН по окружающей среде Клаус Топфер, на планете ежегодно исчезает около 60 тыс. биологических видов, и это число неуклонно растет.

Биоразнообразие характеризует процесс реальной эволюции, который идет на многих уровнях организации живого. По оценкам ученых, общее число видов живых существ составляет от 5 до 30 млн. Из них в настоящее время описано не более 1,5-2,0 млн. Таким образом, со времен Линнея, попытавшегося создать классификацию живых организмов, число видов животных и растений, известных науке, возросло с 11 тысяч до 2 миллионов. Количество известных ученым видов живых организмов колеблется по подсчетам разных ученых и научных организаций (табл. 7.1)

По признанию большинства специалистов, сокращение биологического разнообразия сегодня занимает особое место среди наиболее острых экологических проблем. В результате интенсивного антропогенного воздействия во многих местах на пяти континентах отмечается интенсивное уничтожение природных экосистем и исчезновение все большего числа видов живых организмов. По некоторым данным, природные экосистемы полностью изменены на пятой части суши. Под угрозой исчезновения находятся тысячи видов растений и животных. По самым «оптимистичным» оценкам, за четыре столетия (XVII-XX вв.) зафиксировано исчезновение около 500 видов животных и свыше 650 видов растений. В действительности их, конечно, в несколько раз больше.

Дальнейшее сокращение биоразнообразия способно привести к дестабилизации биоты, утраты биосферой целостности и способности поддерживать важнейшие характеристики окружающей среды. Так что сохранение биоразнообразия не без оснований считается одним из важнейших условий не только для устойчивого развития цивилизации, но и просто для выживания человека.

Разнообразие живой природы является основным индикатором влияния человеческой деятельности на живое окружение. С началом развития промысла крупных млекопитающих и птиц, а затем с возникновением земледелия человек вторгся в естественные, созданные природой замкнутые циклы. В каждом таком цикле любой вид живых организмов выполняет свою роль и все они находятся в неразрывной связи. Стараясь изменить природные условия, человек вступил в конфликт с силами естественной саморегуляции. Одним из результатов такого конфликта явилось снижение биологического разнообразия природных экосистем. В настоящее время число видов на Земле стремительно уменьшается. Ежедневно исчезает от 1 до 10 видов животных и еженедельно — 1 вид растений. Гибель одного вида растений ведет к уничтожению примерно 30 видов мелких животных (прежде всего насекомых и круглых червей — нематод), связанных с ним в процессе питания. Есть

угроза, что в ближайшие 20-30 лет мы потеряем около 1 млн. видов. Это будет серьезным ударом по целостности и стабильности нашего природного окружения.

Таблица 7.1. Оценка глобального биоразнообразия

| **Царство** | **Тип, класс** | **Известные виды** | **Оценка общего числа видов** |
|---|---|---|---|
| Бактерии | | 4 000 | 1 млн |
| Простейшие | | 80 000 | 600 000 |
| Позвоночные, | | 52 000 | 55 000 |
| в том числе | Млекопитающие | 4 630 | |
| | Птицы | 9 946 | |
| | Пресмыкающиеся | 7 400 | |
| | Земноводные | 4 950 | |
| | Рыбы и круглоротые | 25 000 | |
| Беспозвоночные | Насекомые и многоножки | 963 000 | 8 млн. |
| | Моллюски | 70 000 | 200 000 |
| | Нематоды | 25 000 | 400 000 |
| | Ракообразные | 40 000 | 150 000 |
| Грибы | | 72 000 | 1,5 млн |
| Растения | | 270 000 | 320 000 |
| **Итого описанных видов** | | **1,75 млн** | |
| **Возможное количество, включая неизвестные виды** | | | **14 млн** |

Биологическое разнообразие в условиях усиления хозяйственной и техногенной деятельности человека зависит от степени развития научно обоснованной и эффективной сети охраняемых территорий. Для сохранения биоразнообразия видов необходимо сохранить разнообразие экосистем, и наоборот, поддержание экосистем в естественном состоянии невозможно без сохранения их видового разнообразия. Главная проблема охраны природы в настоящее время - не защита какого-то количества видов растений или животных от угрозы исчезновения, а сочетание высокого уровня продуктивности с сохранением в биосфере широкой сети центров генетического разнообразия. Биологическое разнообразие фауны и флоры обеспечивает нормальный круговорот веществ, устойчивое функционирование экосистем. Если страны смогут решить эту важную экологическую задачу в будущем можно рассчитывать на производство новых продуктов питания, лекарственных средств, сырья для промышленности.

Проблема сохранения биологического разнообразия живых организмов планеты в настоящее время является наиболее острой и значимой для человечества. От того, как и каким образом будет решена эта проблема, зависит возможность сохранения жизни на Земле и самого человечества как части биосферы.

## 7.6. БИОРАЗНООБРАЗИЕ И ПРОБЛЕМА ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ

***Инвазивными***, или инвазионными видами (от лат. «invasio» - нашествие, набег, насильственный захват) называются виды, не характерные для конкретного места (местообитания) и распространившиеся в результате деятельности человека. Они выделяются, прежде всего, агрессивностью, то есть способностью быстро распространяться и внедряться в различные типы биоценозов, в том числе и ненарушенные. Распространение таких видов угрожает биологическому многообразию м может причинить ущерб окружающей среде, человеческой экономики или здоровью человека. Основное отличие инвазивных видов от аборигенных заключается в том, что в новых местах обитания они оказываются вне досягаемости для своих многочисленных специализированных врагов, в результате чего получают исключительную возможность бесконтрольно размножаться.

В качестве экологического критерия вредоносности инвазий обычно рассматривается наличие серьезных, подчас катастрофических изменений в природных экосистемах.

Например, лесное хозяйство во многих странах несет ощутимые потери в результате распространения насекомых-вредителей, несвойственных коренному местообитанию. Так, азиатский усач (Anoplophora glabripennis)) с пятнистым черным туловищем и полосатыми, как зебра, усиками, способен убивать деревья, опустошать леса и даже повреждать древесину и пиломатериалы, предназначенные для торговли (рис. 7.7).

Данный жук является полифагом лиственных пород и способен повреждать более пятидесяти различных видов растений, в число которых входит клен, каштан, тополь, береза, ива, ясень, акация, платан и многие другие. Наиболее вероятный способ распространения усача – это транспортировка леса, лесоматериалов и изделий, произведенных из дерева.

Рис. 7.7. Азиатский жук-дровосек

Что касается вреда здоровью человека, то характерный пример этому – распространение такого заносного вида, как борщевик Сосновского (рис. 7.8). Это, довольно опасное для человека растение, достигает 4 м в высоту, с крупными листьями и соцветиями (диаметром до 75 см). От него можно получить довольно серьезные ожоги – I - II степени, то есть до волдырей. А если волдырь прорывается, получается рана, которая

может заживать до месяца. После нее на коже остается темное пятно, которое сходит год, а то и два.

Рис. 7.8. Борщевик Сосновского

В Беларуси зарегистрировано 2865 популяций борщевика Сосновского на площади более двух тысяч гектаров. Максимальная численность сосредоточена в двух областях — Витебской и Минской.

Один из основных путей распространения борщевика Сосновского - водные коридоры. Семена могут плыть по водотокам десятки километров. Период покоя у них сильно растянут. Точка роста растения примерно на глубине 10—12 сантиметров, поэтому скашивание не приводит к его полному уничтожению. Размножается борщевик Сосновского только семенами, причем одно растение дает 20-30 тысяч потенциальных новых агрессоров. Поэтому цветущие особи являются настоящим рассадником этого растения.

Кроме борщевика Сосновского, к числу наиболее опасных растений в Беларуси относятся также борщевик Мантегацци, золотарник канадский, клен ясенелистный, робиния псевдоакация, эхиноцистис ло́пастный.

Интродукция (внедрение) многих инвазивных видов в экосистемы может быть обусловлена несколькими факторами.

- *Европейская колонизация и крупные переселения народов.* Уже на заре цивилизации человек приобрел новое качество – он стал своеобразным «видом-переносчиком». Передвигаясь на большие расстояния, вольно или невольно «захватывал» с собой многочисленных животных и растения и переносил их на новые территории.

Прибывшие на новые места переселенцы из Европы в Новую Зеландию, Австралию, Южную Африку, желая сделать окрестности более привычными для взгляда и обеспечить себя традиционными развлечениями (в частности, охотой), завезли туда сотни европейских видов птиц и млекопитающих.

Многие виды были занесены в Европу азиатскими кочевниками и завоевателями с фуражом. Именно так, вероятно древние торговцы занесли со своими товарами из Индии в Египет амбарного долгоносика, распространившегося затем по всему миру.

Интенсивность подобных переносов постоянно возрастала. В эпоху великих географических открытий и последовавших за этим трансконтинентальных переселений

животные и растения вместе с человеком стали пересекать ранее непреодолимые преграды – горные системы и океаны.

- *Садоводство и сельское хозяйство.* Большое число видов декоративных растений, сельскохозяйственных культур и пастбищных трав интродуцируют и выращивают на новых для них территориях. Многие из этих видов «вырвались на свободу» и обосновались в местных сообществах.

*Во время трагических косовских событий в Югославии (1992 г.) был ослаблен пограничный фитосанитарный контроль и с недосмотренным грузом в самолете в международный аэропорт Белграда был занесен из США кукурузный жук диабротика, распространившийся оттуда в Югославии, Хорватии, Румынии, Венгрии, наносящий огромный ущерб посевам кукурузы и представляющий реальную опасность для южных регионов Молдавии, Украины и России. Его основное кормовое растение – это кукуруза. При отсутствии кормовой базы вредитель может также питаться генеративными органами подсолнечника и растениями семейства тыквенных. В настоящее время, несмотря на принимаемые меры, жук диабротика быстро распространяется и постепенно захватывает европейский континент, представляя реальную угрозу сельскому хозяйству тех стран, которые занимаются выращиванием кукурузы. В Соединенных Штатах от нашествия кукурузных жуков, даже в условиях принятия быстрых и высококвалифицированных защитных мер, потери урожая доходят до 30%. Отмечено, что захватывание новых территорий данным вредителем в Европе происходит в среднем со скоростью от 40 до 50 километров в год (в Соединенных Штатах до 150 километров).*

Через ботанические сады и коллекционеров экзотических растений в Европу проник североамериканский колючеплодник ло́пастный, или эхиноцистис (рис. 7.9). Это чрезвычайно агрессивный интродуцент, энергично внедряющийся в естественные сообщества, занимая устойчивые позиции в составе флор. Родина этого однолетнего травянистого растения семейства тыквенных - Северная Америка. Впервые в Беларуси его зафиксировали в начале 60-х гг. XX в. Попало оно к нам как декоративное, использующееся для озеленения. Эхиноцистис может быстро увеличивать площадь популяции, будучи выброшенным вместе с растительными остатками на свалки, опушки леса, берега рек. Растение трудно искоренимо. В настоящее время встречается практически по всей Беларуси, а также вдоль побережья рек Западная Двина и Полота г. Полоцка.

Рис. 7.9. Эхиноцистис ло́пастный

- *Случайное привнесение.* Виды часто транспортируются человеком непреднамеренно. В акваторию Черного моря еще пару лет назад проник один из видов гребневиков - мнемиопсис, который отвоевал себе львиную долю кормовой базы планктоноядных рыб и

уничтожает их икру и личинки. Самой пострадавшей стороной в этой экологической катастрофе оказалась хамса – одна из главных промысловых рыб Черного моря – ее численность резко сократилась. Часто семена сорняков, случайно собранные вместе с урожаем культурных растений и высеянные затем на новом месте становятся неискоренимыми вредителями. Крысы и насекомые, путешествующие на кораблях и самолетах; болезнетворные и паразитические организмы, переносимые их хозяевами – все это опасные и вредные инвазивные виды.

Недавно экологи предложили такой критерий оценки последствий экспансии вида за пределы его исходного ареала - влияние на биоразнообразие заселенных регионов. Этот подход отражен и в одном из определений инвазии: «*Инвазивный чужеродный вид - вид, интродукция или распространение которого угрожает биоразнообразию*». Инвазивные виды часто выступают в роли биологических загрязнителей и могут угрожать экологической безопасности страны. Их закрепление на «захваченных территориях» и дальнейшее распространение влечет за собой нежелательные экологические, экономические и социальные последствия.

В качестве примера такого биологического загрязнителя на территории Беларуси можно привести широко распространенный вид двустворчатых моллюсков – речную дрейссену (рис. 7.10). Этот моллюск еще в XIX веке вошел в число инвазивных видов, стремительно распространившись по системе рек Центральной Европы (в первую очередь, по Дунаю и Днепру). Дрейссена появилась в Беларуси в начале XIX века после открытия судоходных каналов, связавших бассейны Балтийского и Черного морей. В 1989 г. Дрейссена была впервые отмечена в озерах Нарочь, Мястро и Баторино.

Рис. 7.10. Речная дрейссена

Вселение дрейссены может полностью перестроить экосистему озера. Этот вид является мощным фильтратором воды, что увеличивает ее прозрачность, снижается общая численность и биомасса фитопланктона в 1,5-4 раза, падает концентрация хлорофилла в воде. Дрейссена выделяет значительное количество биогенных элементов (азота и фосфора), что приводит к вспышкам роста донных водорослей. Резко снижается обилие и видовое богатство аборигенных моллюсков, снижается рыбопродуктивность водоемов. Массовое развитие популяции дрейссены, являющейся промежуточным хозяином ряда

паразитов, может приводить к осложнению эпизоотической обстановки в водоеме. Мощные обрастания дрейссены затрудняют работу водозаборов в технических сооружениях, а также шлюзов.

Кроме дрейссены в фауне Беларуси присутствуют и многие другие инвазивные виды, оказывающие отрицательное воздействие на аборигенные популяции животных. Наиболее известные из них – американский полосатый рак, американская норка, благородный олень, енотовидная собака. Даже наш, обычный для Беларуси, карп обыкновенный был завезен в наши края монахами в конце XVIII века, которые разводили его в прудах и монастырях, а оттуда уже попал в реки и озера.

Один из самых распространенных инвазивных видов насекомых в республике - каштановая моль, завезенная к нам с территории бывшей Югославии (рис. 7.11). Она с молниеносной скоростью наносит серьезный ущерб городским посадкам: поражает деревья, и они усыхают. Эта бабочка из семейства молей-пестрянок напрочь уничтожает не только листву, но и высасывает древесные соки. А поэтому является грозной напастью для каштанов.

В Вилейско-Минской водной системе ученые-экологи зарегистрировали американскую красноухую черепаху. Попала она в нашу водную экосистему, видимо, из домашнего аквариума. Аквариумисты поспособствовали также тому, что в 1970-х годах в одном из прудов Минска появился обитатель Дальнего Востока – ротан головешка. Это очень прожорливая рыба, она активно уничтожает аборигенных обитателей водных глубин и их икру.

Случайно попавшая к нам по водным инвазивным коридорам небольшая пресноводная рыба семейства карповых чебачок амурский разносит вирусные инфекции рыб (рис. 7.12). Его родина - водоёмы Японии, Китая, Кореи, река Амур. В наших водоемах ему особенно полюбилась икра других обитателей водной среды. Там, где появляется чебачок, популяции других видов рыбы исчезают в течение нескольких лет.

Рис. 7.11. Каштановая моль

Рис. 7.12. Чебачок амурский

Борьба с наиболее опасными чужеродными растениями по данным Глобальной программы по инвазивным видам обходится миру ежегодно в 1,4 трлн. долларов.

По всему миру составляются «черные списки», в которые заносятся те виды биозахватчиков, которые причиняют особо значительный урон, наиболее опасные инвазивные виды животных и растений включены в «Черные книги». В Республике Беларусь в 2016 году издана «Черная книга инвазивных видов животных Беларуси», в которой содержится информация о 7 видах водных животных, 21-м наземных

беспозвоночных, одном виде рептилий, трех – рыб и двух – млекопитающих. В 2020 году в «Черной книге флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения» были обобщены сведения о биологических и экологических особенностях 52 видов наиболее вредоносных сосудистых растений, распространенных в экосистемах Беларуси.

Влияние чужеродных видов весьма разнообразно: некоторые из них оказывают влияние на здоровье местных жителей, на аборигенные дикие виды фауны и флоры, на сельскохозяйственные растения и животные; другие - наносят серьезный вред коренным и созданным человеком местообитаниям. Все это ведет не только к экологическим, но и к серьезным экономическим последствиям. Крысы, например, приносят экономический вред гораздо больший, чем все другие позвоночные вредители, вместе взятые. В свое время они распространили по земному шару пандемию чумы, названную «черной смертью», а также каждый год разрушают и уничтожают до 20 % мировых запасов продовольствия.

Проблема чужеродных видов стала глобальной проблемой. Инвазивные виды угрожают сохранению биологического разнообразия биосферы, вызывают экономические потери, влияют на здоровье человека. Решение ее одной страной, даже с применением самых современных методов, невозможно. Государственные границы не являются препятствием для проникновения чужеродных видов. Контролировать это глобальное явление возможно только сообща, усилиями многих стран. Для предотвращения дальнейшей потери биоразнообразия в результате влияния чужеродных видов крайне важно международное сотрудничество, в первую очередь на мировом уровне. В статье 8 Конвенции по биологическому разнообразию (1992) записано, что каждая страна - участница Конвенции должна предотвращать интродукцию, осуществлять контроль за чужеродными видами и уничтожать те из них, которые угрожают экосистемам, местообитаниям или коренным видам.

## 7.7. ЗНАЧЕНИЕ СОХРАНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ

Современная природоохранная деятельность ориентирована прежде всего на сохранение многообразия форм жизни на Земле. Совокупность видов живых организмов на нашей планете создает особый фонд жизни, который называется генофондом. Это понятие несколько шире, чем просто совокупность живых существ. Оно включает в себя не только проявившиеся, но и потенциальные наследственные задатки каждого вида. Мы еще не все знаем о перспективах использования того или иного вида. Существование какого-то организма, кажущееся сейчас ненужным, в будущем может оказаться не только полезным, но и, быть может, спасительным для человечества.

Конечно, не каждый вид растения или животного имеет именно сейчас практическую ценность. Может быть, только в будущем человек откроет в них какие-либо полезные качества. Пример тому - открытие одного ценнейшего лекарства. Кто бы мог подумать, что неприметная, да и в какой-то мере вроде бы и вредная грибная плесень из рода Penicillium окажется исключительно важной для рода человеческого. А ведь именно она послужила первоосновой для создания Александром Флемингом лекарства пенициллина, которое спасло миллионы человеческих жизней. Многие виды животных, как, например, броненосец и белый медведь, неожиданно также оказались полезными для научных

исследований как объекты экспериментов и ключ к техническим новшествам. Броненосцы - единственные живые существа, не считая человека, подверженные заболеванию проказой. Теперь они стали неоценимыми помощниками в поисках средств исцеления от этой болезни. Недавно было обнаружено, что шерсть белого медведя является исключительно эффективным поглотителем тепла. Мех белого медведя, отражая видимый свет, одновременно обладает свойством превращать в тепло до 95% попадающих на него солнечных лучей. Это дало в руки исследователям ключ к созданию материалов для изготовления более совершенной одежды, удерживающей тепло, и коллекторов солнечной энергии.

Главная причина сохранения биоразнообразия состоит в том, что оно выполняет ведущую роль в обеспечении устойчивости экосистем и биосферы в целом (поглощение загрязнений, стабилизация климата, обеспечение пригодных для жизни условий). Биоразнообразие выполняет регулирующую функцию.

Биологическое разнообразие является главным источником удовлетворения многих потребностей человека и служит основой для его приспособления к изменяющимся условиям окружающей среды. Практическая ценность биоразнообразия заключается в рассмотрении его как неиссякаемого источника биологических ресурсов. Это прежде всего продукты питания, лекарства, источники сырья для одежды, производства строительных материалов и т.д. Биоразнообразие имеет огромное значение для организации отдыха человека.

О полезных свойствах большинства организмов мы знаем очень немного. В активе человечества, например, всего около 150 видов культурных растений, которые находят широкое применение, а из 265 тыс. видов всех растительных организмов только 5 тыс. видов когда-либо возделывались человеком. В еще меньшей мере учитывается разнообразие микроорганизмов и грибов. Между тем в настоящее время насчитывается около 65 тыс. видов грибов. А много ли мы их используем?

Естественная растительность является основной базой для получения лекарственных препаратов, с помощью которых человечество избавилось от многих болезней. Так, например, если бы в сельве на восточных склонах Анд не обнаружили хинное дерево (Chinchona), дающее хинин, жители тропиков, субтропиков и немало обитателей умеренных зон были бы обречены на страдание от малярии. Появление синтетических аналогов этого лекарства стало возможным только благодаря детальному изучению оригинала. Мексиканский ямс, принадлежащий к роду Dioscorea, является источником диосгенина, который используется при производстве кортизона и гидрокортизона. Таких примеров можно привести достаточно, чтобы убедиться – почти все современные лекарственные препараты в своей основе имеют естественное растительное или животное начало.

Стараясь изменить природные условия, человек вступил в конфликт с силами естественной саморегуляции. Одним из результатов такого конфликта явилось снижение биологического разнообразия природных экосистем. В настоящее время число видов и животное разнообразие на Земле стремительно уменьшается. Так, например, с начала промышленного улова рыбы исчезло приблизительно 90% всего мирового запаса рыбы. Ежедневно исчезает от 1 до 10 видов животных и еженедельно - 1 вид растений. Гибель

одного вида растений ведет к уничтожению примерно 30 видов мелких животных (прежде всего насекомых и круглых червей — нематод), связанных с ними в процессе питания.

Есть угроза, что в ближайшие 20-30 лет мы потеряем около 1 млн. видов. Это будет серьезным ударом по целостности и стабильности нашего природного окружения.

Сокращение биоразнообразия занимает особое место среди основных экологических проблем современности. Происходит массовое уничтожение природных экосистем и исчезновение видов живых организмов. Природные экосистемы полностью изменены или уничтожены на пятой части суши. С 1600 года зарегистрировано исчезновение 484 видов животных и 654 видов растений (табл. 7.2).

По данным Всемирного союза охраны природы (The World Conservation Union) на 2008 год за последние 500 лет полностью вымерло 844 вида животных, а 23 % млекопитающих и 16 % птиц в мире находятся под угрозой вымирания. С начала 80 годов в среднем 1 вид/подвид животных исчезал ежедневно, а вид растений — еженедельно.

Распределение видов по поверхности планеты неравномерно. Разнообразие видов в естественных средах обитания максимально в тропической зоне и уменьшается с увеличением широты. Самые богатые видовым разнообразием экосистемы - дождевые тропические леса, которые занимают около 7 % поверхности планеты и содержат более чем 90% всех видов. Коралловые рифы и средиземноморские экосистемы также имеют высокое видовое разнообразие.

Таблица 7.2. Сокращение видового разнообразия Земли после 1600 года

| Компоненты биосферы | Исчезло | | Под угрозой исчезновения | |
|---|---|---|---|---|
| | видов | % от общего числа видов | видов | % от общего числа видов |
| Высшие растения | 384 | 0,15 | 18 699 | 7,4 |
| Рыбы | 23 | 0,12 | 320 | 1,6 |
| Амфибии | 2 | 0,05 | 48 | 1,1 |
| Рептилии | 21 | 0,33 | 1355 | 21,5 |
| Птицы | 113 | 1,23 | 924 | 10,0 |
| Млекопитающие | 83 | 1,99 | 414 | 10,0 |

Биоразнообразие обеспечивает генетическими ресурсами сельское хозяйство и, таким образом, составляет биологическую базу для всемирной продовольственной безопасности и является необходимым средством существования человечества. Ряд дикорастущих растений, родственных сельскохозяйственным культурам, имеет очень большое значение для экономики на национальном и глобальном уровнях. Например, эфиопские сорта калифорнийского ячменя обеспечивают защиту от болезнетворных вирусных организмов, в денежном выражении составляющую 160 млн. долл. США в год. Генетическая устойчивость к заболеваниям, достигаемая с помощью диких сортов пшеницы, в Турции оценивается в 50 млн. долл.

Причин необходимости сохранения биоразнообразия много: потребность в биологических ресурсах для удовлетворения нужд человечества (пища, материалы, лекарства и др.), этический и эстетический аспекты (жизнь самоценна) и т.д. Однако главная причина сохранения биоразнообразия состоит в том, что оно выполняет ведущую роль в обеспечении устойчивости экосистем и Биосферы в целом (поглощение загрязнений, стабилизация климата, обеспечение пригодных для жизни условий). Биоразнообразие выполняет регулирующую функцию в осуществлении всех биогеохимических, климатических и других процессов на Земле. Каждый вид, каким бы незначительным он не казался, вносит свой вклад в обеспечение устойчивости не только «родной» локальной экосистемы, но и Биосферы в целом.

По мере усиления антропогенного воздействия на природу, приводящего в конечном итоге к обеднению биологического разнообразия, изучение организации конкретных сообществ и экосистем, а также анализ изменения их разнообразия, становится насущной необходимостью. В 1992 году (3-4 июня) в Рио-де-Жанейро (Бразилия) состоялась конференция ООН по окружающей среде и развитию. На ней была подписана Конвенция о биологическом разнообразии представителями большинства государств Земного шара.

В Конвенции под «биологическим разнообразием» понимается вариабельность живых организмов из всех источников, включая, среди прочего, наземные, морские и иные водные экосистемы и экологические комплексы, частью которых они являются; это понятие включает в себя разнообразие в рамках вида, между видами и разнообразие экосистем.

Цель Конвенции о биологическом разнообразии звучала следующим образом: «Сохранение биологического разнообразия, устойчивое использование его компонентов и справедливое распределение доходов от использования генетических ресурсов».

В дополнение к Конвенции собравшимися была принята Программа действий в XXI веке (Повестка дня на 21 век). В этой программе было рекомендовано направлять деятельность человечества в первую очередь на выявление состояния биоразнообразия и потенциальных угроз ему в каждой из стран, признающих ценности, провозглашенные на конференции в Рио-де-Жанейро.

Для контроля и сохранения биологического разнообразия ландшафтов умеренной природной зоны разрабатывается и внедряется комплекс относительно недорогостоящих мероприятий. Прежде всего это выделение участков, на которых сохраняются в неприкосновенности места обитания диких животных. В естественных лесах обитают более разнообразные популяции диких животных, чем в лесонасаждениях столетней давности.

В наибольшей степени исчезновение диких видов растений и животных связано с уничтожением тропических лесов. Примерам здесь не счесть числа. Так, ареал оранжевой (золотой) жабы (Bufo periglenes) – вершина одной единственной горы в Коста-Рике. Впервые она была описана в 1966 году. По описаниям очевидцев эти жабы выглядели как драгоценности, неожиданно выросшие из земли (рис. 7.13). Однако, уже с 1989 года её никто не видел. Причиной ее исчезновения считается вырубка лесного массива (около 30 км в поперечнике) и, соответственно, исчезновение ее среды обитания. Вот поэтому, говоря об охране редких видов, имеется в виду, что охраняется не сам вид непосредственно, а его природное обитание.

Еще один пример касается миниатюрного филиппинского долгопята – одного из самых маленьких представителей отряда приматов. Его длина тела около 10 см (рис. 7.14). Он обитает на ограниченной территории Малайского архипелага и Филиппинских островов, выбирая для своей жизни джунгли, тропические леса, кустарники, бамбуковые заросли. В настоящее время популяции филиппинских долгопятов угрожает исчезновение из-за непрекращающейся вырубки лесов на островах филиппинского архипелага.

Рис. 7.13. Оранжевая жаба

Рис. 7.14. Филиппинский долгопят

При вырубке лесов необходимо стремиться к сохранению отдельных деревьев самых различных видов и возрастов. Даже несколько старых омертвевших деревьев играют важную роль в сохранении отдельных видов насекомых и птиц.

Можно создать условия для обитания птиц и животных под опорами линий электропередач, в старых заброшенных карьерах, путем посадки деревьев и кустарников на крутых откосах, малопригодных для сельскохозяйственного использования, и т.д. Важно сохранять также небольшие, площадью всего несколько квадратных метров, заболоченные участки и влажные луга, которые являются местом распространения ряда видов растений.

Особые требования предъявляются к естественным и искусственным водоемам. Берега должны иметь неправильную форму и полого погружающееся дно, что, с одной стороны, содействует развитию водных растений, с другой - обеспечивает диким животным защиту и укрытие.

Все эти комплексные мероприятия могут в значительной степени содействовать сохранению флоры и фауны даже в густонаселенных районах. Так, в условиях больших городов можно создавать искусственные экосистемы, сохраняя пустыри с комплексом растений, птиц и насекомых.

Одним из примеров содействию сохранения биоразнообразия на планете является создание так называемых экологических коридоров. В англоязычной литературе экологические коридоры называют wildlife corridor — «коридор дикой природы». Такие коридоры препятствуют фрагментации естественных местообитаний, вызванной человеческими сооружениями. Для этого создаются различные структуры, помогающие главным образом животным безопасно пересекать места интенсивной деятельности человека («зеленые» мосты через дороги, автомагистрали). Такие «зеленые» мосты помогают животным выбираться из изолированных местообитаний, расширяют среду их обитания и делают безопасными их передвижения (рис. 7.15).

Рис. 7.15. Экологические коридоры для животных

Поддержание биоразнообразия, наряду с его устойчивым использованием, является сложной и комплексной проблемой, которая связана с целой системой юридических, научных, организационных, финансовых, этических, воспитательных мероприятий. В последние десятилетия вопросы сохранения биоразнообразия из экологической сферы смещаются в сторону социально-экономических проблем. Например, одной из основных причин исчезновения флоры и фауны в тропических регионах Африки, Азии, Океании и Латинской Америки, служит нищета населения. Для выживания и пропитания оно вынуждено вырубать и выжигать под посевы и пастбища остатки тропических лесов и саванн и заниматься браконьерством.

Сегодня стало очевидным, что сохранение разнообразия живых организмов и биологических систем на Земле - необходимое условие выживания человека и устойчивого развития цивилизации. Утрата биологического разнообразия и его воздействие на нашу жизнь проявляется в самых различных формах. Своими корнями самобытность нашей культуры уходит вглубь окружающей нас биологической среды. Растения и животные являются символами нашего мира, будучи представленными на флагах, в скульптурах и других образах, которые определяют нас и наше общество. Один вид красоты и мощи природных явлений вдохновляет нас на создание шедевров. Однако современные темпы исчезновения видов резко ускоряются в результате человеческой деятельности. Мы на пороге созданного нами величайшего кризиса, который приведет к исчезновению большего числа видов, чем стихийное бедствие, в результате которого вымерли динозавры 65 миллионов лет назад. Процесс вымирания видов необратим и с учетом нашей зависимости от злаковых, лечебных растений и других биологических ресурсов, представляет угрозу нашему благосостоянию.

# ГЛАВА 8. ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ БИОСФЕРЫ

*Мы, Homo sapiens, научились использовать громадное количество природных ресурсов, от которых теперь зависим... В результате сложилась форма контролируемого существования, которую мы называем цивилизацией... Но похоже, мы сами себя загнали в угол... Без непрерывного снабжения природными ресурсами цивилизованное общество непременно рухнет, а человеческая популяция зачахнет.*

**Брайан Скиннер - австралийский и американский геолог и геохимик**

## 8.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Природные ресурсы - это все то, что человек использует для обеспечения своего существования — продукты питания, минеральное сырье, энергоносители, пространство для жизни, воздушное пространство, воду, объекты для удовлетворения эстетичных потребностей. Это часть всей совокупности природных условий существования человечества и важнейших элементов природы (виды вещества и энергии). Они являются средствами существования человека, используются им в хозяйственной деятельности.

Под общим понятием ресурсов понимаются любые источники и предпосылки получения необходимых людям материальных благ. Природные (естественные) ресурсы - это объекты и явления природы, используемые для прямого и непрямого потребления в качестве средств труда (земля, водные пути, вода для орошения), источников энергии (гидроэнергия, солнечная энергия, горючие ископаемые, атомное топливо), или предметов потребления (растения, животные, питьевая вода).

Природные ресурсы используются в качестве:

- непосредственных предметов потребления (кислород воздуха, питьевая вода, растения, грибы, продукты охоты, рыболовства);
- средств труда, с помощью которых осуществляется общественное производство (земля, водные пути, вода для орошения);
- предметов труда (древесина, минералы);
- источников энергии (гидроэнергия, атомное топливо, запасы горючих ископаемых, солнечные батареи и др.);
- банка генетического фонда (выведение новых сортов и пород);
- мест рекреации (восстановление здоровья и трудоспособности путем отдыха на природе).

Существует множество различных классификаций ресурсов. Экологов в первую очередь интересуют ресурсы природные, то есть вся совокупность естественных продуктов природы, используемых человеком для удовлетворения материальных и культурных потребностей общества. На рис. 8.1. представлена примерная классификация природных ресурсов.

Исчерпаемые природные ресурсы делятся на исчерпаемые восстанавливаемые (возобновимые) и исчерпаемые невосстанавливаемые (невозобновимые). К первой группе прежде всего относятся биологические ресурсы - растительность и животный мир. Это лесные ресурсы, ресурсы сельскохозяйственных растений, диких и домашних животных. Сюда же можно отнести и некоторые минеральные ресурсы, например, выпадающие в осадок соли в соленых водоемах. При определенных условиях возобновимые ресурсы могут в сравнительно короткий геологический период восстановиться качественно и количественно.

Ко второй группе относится большинство полезных ископаемых - нефть, уголь, газ и т.д. Исчерпаемость ресурсов связана, во-первых, с их широкомасштабным применением. Изъятие этих ресурсов из природной среды происходит очень интенсивно, запасы их неуклонно уменьшаются. Во-вторых, эти ресурсы восполняются значительно более медленными темпами, чем происходит их потребление (нефть, уголь, сланцы и др.).

Можно также выделить относительно возобновимые ресурсы. Это прежде всего почвы, частично вышедшие из сельскохозяйственного оборота в результате водной и ветровой эрозии либо радиоактивного загрязнения, лесные древостои высокого возраста, торф, используемый в качестве топлива. По истечении определенного промежутка времени (от сотен до нескольких тысяч лет) эти ресурсы можно будет снова использовать.

## 8.2. ПРОБЛЕМА ИСЧЕРПАЕМОСТИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

*Человек зависел, зависит и всегда будет зависеть от ресурсов природы, необходимых ему для питания и для производства множества предметов потребления. Именно в силу этого он не может пойти на нарушение многих природных законов, от которых теснейшим образом зависит наличие столь необходимых ему продуктов естественной среды.*

**Ж. Дорст – французский зоолог, эколог**

За годы после второй мировой войны было использовано столько же минерального сырья, сколько за всю предыдущую историю человечества. Поскольку запасы угля, нефти, газа, железа и других полезных ископаемых не возобновляемы, они будут исчерпаны, по расчётам учёных через несколько десятилетий. Но даже если ресурсы и относятся к категории возобновляемых, это вовсе не значит, что с ними все в порядке. Большинство этих ресурсов на деле быстро убывает, вырубка леса в мировом масштабе значительно превышает прирост древесины, площадь лесов, дающих земле кислород уменьшается с каждым годом. Главный фундамент жизни - почвы, повсюду на Земле деградируют. В то время как Земля накапливает один сантиметр чернозёма за 300 лет, ныне один сантиметр почвы погибает за три года.

Лишь 1/10 всех земель планеты пригодна для сельского хозяйства. Так, в Европе на их долю приходится 36 %, в Центральной Америке – 25 % и в Северной Америке – 22 %. Меньше всего хороших земель в Северной и Центральной Азии (10%), в Юго-Восточной Азии (14 %), в Южной Америке (15 %) и в Австралии (15 %). Значительная часть этих земель, несмотря на то что их и так мало, ежегодно изымается из сельскохозяйственного оборота под нужды строительства.

Расход невозобновимых видов сырья повышается, все больше пахотных земель выбывает из экономики, так на них строятся города и заводы.

Ныне вопрос коренного улучшения использования природных ресурсов и ресурсообеспечения человечества имеет большую остроту. Сохранение почвенного покрова как одного из основных компонентов биосферы - без сомнения, одна из важнейших задач, стоящих ныне перед человечеством. Из всей площади суши почти 45 млн км$^2$, или около 1/3, уже занято пахотными, сенокосными, пастбищными угодьями, садами и плантациями. Леса занимают более 40 млн км$^2$ всей суши, из них весьма значительная часть разрабатывается (ежегодно заготавливается свыше 2 млрд. м$^3$ древесины).

В целях избежания угрозы истощения природных ресурсов огромное значение приобретает разработка системы мероприятий, обеспечивающей усиленную разведку запасов невозобновляемых ресурсов, поиски новых источников сырья, топлива и энергии (в т. ч. освоение термоядерной энергии, развитие производства синтетических материалов и др.), наиболее полное вовлечение в хозяйственный оборот разнообразных возобновляемых ресурсов, организацию более интенсивного использования этих видов ресурсов в экологически рациональных масштабах и формах. Вместе с тем особую актуальность имеют задачи предотвращения нерационального использования природных ресурсов,

экономного и улучшенного их использования. Одним из важных путей решения этих задач является широкое применение вторичного сырья и комплексное использование природных ресурсов.

При эксплуатации невозобновляемых ресурсов необходимо достижение резкого сокращения потерь сырья в недрах при его добыче (по нефти, например, они составляют порядка 50% и более), переработке и транспортировке, а также максимального увеличения оборота извлечённого вещества природы за счёт всемерной утилизации вторичного сырья. Огромное значение имеет повышение коэффициента полезного использования уже извлечённых из природы видов исходных материалов и продуктов (ныне из всей энергии, заключённой в добытом топливе, используется лишь одна четверть; при заготовке и переработке древесины допускаются значительные потери и т.п.), а также повышение срока службы изделий длительного пользования.

Используя достижения науки, технологический прогресс должен быть организован таким образом, чтобы отходы производства не загрязняли окружающую среду, а вновь поступали в производственный цикл как вторичное сырьё. Пример даёт сама природа: углекислый газ, выделяемый животными, поглощается растениями, которые выделяют кислород, необходимый для дыхания животных. Безотходным является такое производство, в котором всё исходное сырьё в конечном счёте превращается в ту или иную продукцию. Если учесть, что 98 % исходного сырья современная промышленность переводит в отходы, то станет понятной необходимость задачи создания безотходного производства. Расчёты показывают, что 80 % отходов теплоэнергетической, горнодобывающей, коксохимической отраслей годны в дело. При этом получаемая из них продукция зачастую превосходит по своим качествам изделия, изготовленные из первичного сырья. Например, зола тепловых электростанций, используемая в качестве добавки при производстве газобетона, примерно в два раза повышает прочность строительных панелей и блоков. Большое значение имеет развитие природовосстановительных отраслей (лесное, водное, рыбное хозяйство), разработка и внедрение материалосберегающих и энергосберегающих технологий.

## 8.3. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ. ПРОБЛЕМА ДЕФИЦИТА ПРЕСНОЙ ВОДЫ

*Вода – больший дефицит, чем энергия. У нас есть альтернативные источники энергии, но альтернативы воды нет*.

**Юджин Одум – американский эколог**

Водные ресурсы мира - все воды гидросферы, включая воды мирового океана, поверхностные и подземные воды континентов (рис. 8.2). Это неотъемлемые и чрезвычайно ценные природные ресурсы планеты. Вода является наиболее распространенным веществом на нашей планете: хотя и в разных количествах, она доступна повсеместно, и играет жизненно важную роль для окружающей среды, и живых организмов. Наибольшее значение имеет пресная вода, без которой человеческое существование невозможно, и заменить ее ничем нельзя. Люди всегда потребляли свежую воду и использовали ее в различных целях,

включая бытовое, сельскохозяйственное, промышленное и рекреационное использование. Вода существует в трех агрегатных состояниях: жидком, твердом и газообразном. Она образует океаны, моря, озера, реки и подземные воды, находящиеся в верхнем слое коры, и почвенного покрова Земли. В твердом состоянии, она существует в виде снега и льда в полярных, и горных районах. Определенное количество воды содержится в воздухе в виде водяного пара. Огромные объемы воды находятся в составе различных минералов земной коры.

Вода повсюду на нашей планете – от земной коры до наших клеток. Вода в океанах и в атмосфере. В виде жидкости или льда она покрывает 75% поверхности планеты. Общий объем воды на Земле оценивается в 1,39 миллиарда кубических километров, и 97,4 % от этого объема находится в океанах.

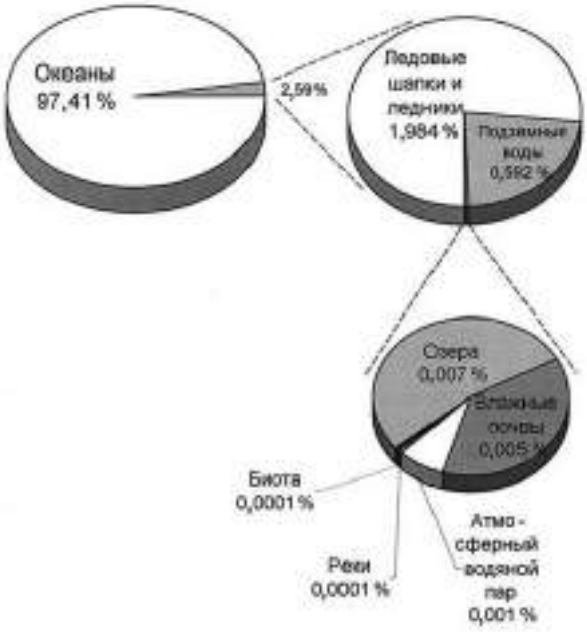



Рис. 8.2. Водные ресурсы мира

Из 100% всей воды на планете, доля пресной воды составляет около 2,5% Человеку доступен только 1% от этих 2,5. Основная масса пресной воды законсервирована в подземных водах, снежных вершинах, ледниках, айсбергах и недоступна для использования (рис. 8.3).

Объектами водных ресурсов являются:

- океаны и моря;
- озёра, пруды и водохранилища;
- болота; реки, каналы и ручьи;
- влажность почв;
- подземные воды (почвенные,
- грунтовые, межпластовые,
- артезианские, минеральные);

- ледяные шапки и ледники;
- атмосферные осадки (дождь, снег, роса, град и т.п.).

Пресная вода содержит минимальное количество солей (не более 0,1%) и подходит для человеческих потребностей. Однако, не все ресурсы доступны для людей, а даже те, которые доступны не всегда пригодны для использования. Рассмотрим источники пресной воды: Ледники и снежные покровы занимают около 1/10 суши в мире и содержат около 70% запасов пресной воды. К сожалению, большая часть этих ресурсов расположена вдали от населенных пунктов, поэтому является трудно доступной. Подземные воды на сегодняшний день являются наиболее распространенным и доступным источником пресной воды. Пресноводные озёра в основном расположены на

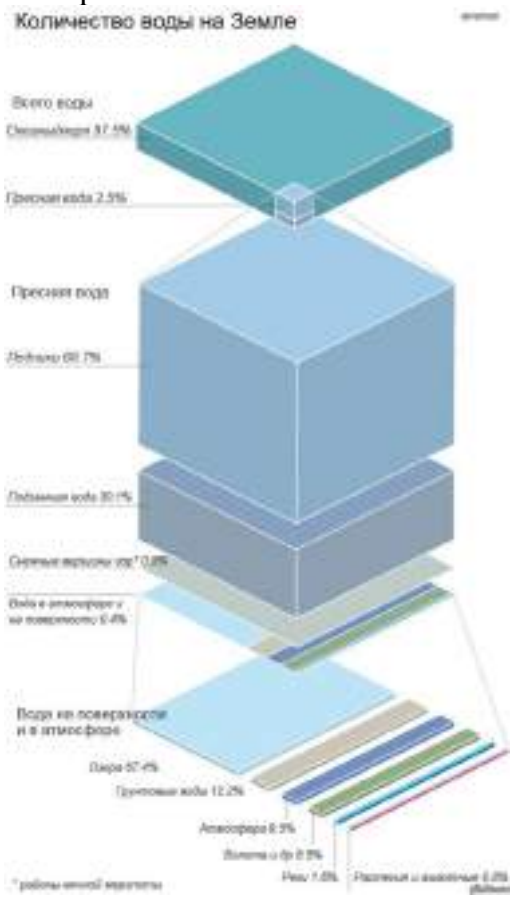



Рис. 8.3. Распределение водных ресурсов на Земле

больших высотах. В Канаде находится около 50% пресноводных озёр мира. Многие озёра, особенно, которые находятся в засушливых районах, становятся солеными за счет испарений. Каспийское море, Мертвое море, и Большое Солёное озеро являются одними из крупнейших в мире соленых озёр. Реки образуют гидрологическую мозаику. На Земле насчитывается 263 международных речных бассейна, которые охватывают более 45 % суши нашей планеты (исключение - Антарктика).

Возможность использования пресной воды была одним из главных условий (или предпосылок) зарождения цивилизации, существования людей и развития любых

производств. Для своих поселений человек издревле выбирал места вблизи водотоков. Посмотрите на карту мира. Все крупные города (да и большинство малых) основаны вблизи непосредственной близости водных источников - рек. Пути расселения человека по Земле также оказались путями воды. Заселение материков начиналось от рек. Вода с древнейших времен стала важнейшим и самым дешевым транспортным путем.

Древнейшие культуры начинали развиваться как водные цивилизации. Около 3-4 тысячелетий назад в плодородном междуречье Тигра и Евфрата неведомые нам люди начали сеять зерно. Именно это место считается одним из древнейших очагов цивилизации на планете. Здесь развивались государства Ассирия, Вавилония, Шумер. Уже тогда наши предки осознали: вода - это жизнь. Точно так же на жирных наносных почвах, образованных Индом и его притоками, выросла древняя индийская культура, а возникновение китайского земледелия принято связывать с рекой Вэйхэ - притоком Хуанхэ в Северном Китае.

Африка, где недостаток воды сказывается особенно сильно, также дала миру древнюю цивилизацию - египетскую. По берегам Нила возник созданный человеком оазис. Зеленая извилистая кромка вдоль берегов реки, окруженная пустыней, - вот то место, упоминание о котором связывается у нас с именами египетских фараонов. В высшей степени практичные египтяне начали ежегодно отмечать высоту паводка на Ниле за 3 тыс. лет до нашей эры. С научной точки зрения сами паводки египтян не интересовали, но высота воды показывала, какая площадь будет затоплена, а это давало возможность определить величину налогов с урожая. В жизни древних египтян Нил играл настолько большую роль, что деление года на периоды проводилось ими с учетом состояния реки. Год начинался среди лета, когда разливалась река. Он делился на три сезона: сезон наводнения, сезон роста и сезон уборки урожая при самой низкой воде.

Человечеству для жизни нужна не просто вода, не любая вода, а вода пресная и определенного качества. А ее очень и очень мало. Не следует забывать, что из каждых 100 л воды на Земле 97 л имеют соленый вкус. Современные исследования показали, что суммарные запасы всех видов пресных вод суши - рек, озер, подземных и снежно-ледниковых ресурсов не превышают 2,5 % от общего количества воды на Земле. Запас воды в реках и озерах оценивается цифрой в 95 000 км$^3$, т.е. всего 0,26 % от суммарных ресурсов пресных вод, или 0,007% от общих запасов воды на Земле.

Недостаток воды и ее плохое качество напрямую влияют на здоровье людей. Некоторые наиболее опасные заболевания встречаются именно в местах, где весьма затруднен доступ к источникам чистой воды.

Проблема питьевой воды связана с проблемой использования ее для получения продуктов питания. Особенно больших водных затрат требует сельское хозяйство. В Индии говорят: «Наше сельское хозяйство зависит не столько от земли, сколько от воды». На ирригацию там тратится 83% всей потребляемой воды.

Насколько велики потребности в воде в промышленности и сельском хозяйстве, можно судить по следующим цифрам. Для производства сахара из 1 т сахарной свеклы требуется 0,5-6 м$^3$ воды, 1 т бумаги - 1,5-60 м$^3$, 100 л пива - 5-21 м$^3$, для дубления 1 т сырой кожи - 20-50 м$^3$; 1 т пряжи - до 200 м$^3$, для выработки 1 т капронового волокна - 5600 м$^3$, 1 т стали - 25

тыс. л., для выпуска одного автомобиля - 300 тыс. л., для орошения 1 га хлопка - 5-6 тыс. $м^3$, 1 га риса - 15-20 тыс. $м^3$.

Растущие города требуют свою долю живительной влаги. Для обеспечения потребности в воде современного города с миллионным населением требуется по крайней мере 0,5 млн $м^3$ воды в сутки из расчета 0,5 $м^3$ на человека. Обычно город сталкивается с триединой водной проблемой: снабжение водой, отвод сточных вод и пополнение запасов воды. Уже сейчас из-за загрязнения природных вод многие города вынуждены пополнять водные запасы из источников, находящихся на большом удалении от них, либо бурить глубокие водозаборные скважины. Все это требует затраты огромных средств.

Совсем недавно казалось, что воды на Земле в избытке, и главный ресурс, за который идет соперничество, это углеводороды. Но когда население планеты приблизилось к восьми миллиардам, воды стало не хватать. По оценкам ООН на 2019 г. 2 миллиарда человек живут в странах, испытывающих нехватку воды; 2,21 миллиарда человек не имеют доступа к безопасной питьевой воде. Прогнозируется, что к 2025 году две трети населения мира будет жить в районах с истощёнными водными ресурсами: на Ближнем Востоке, в Северной Африке и Западной Азии.

Ситуацию усугубляет то, что бассейны 260 с лишним мировых рек разделены границами, причем часто водопользование никак не лимитируется. За последние полвека ООН насчитала более полутора тысяч конфликтов из-за воды, 27 раз дело доходило до применения оружия.

Наиболее горячие точки конфликтов находятся в Африке и в Азии. На Ближнем Востоке политика и вода тесно связаны. Показательным примером является израильско-палестинский конфликт. Во время жаркого лета 2016 года около 2,8 миллиона арабских жителей Западного берега и местные лидеры неоднократно жаловались на отказ в доступе к пресной воде. Река Иордан, которая протекает через Ливан, Сирию, Израиль, Западный берег и Иорданию, находится в центре одного из нескольких постоянных межгосударственных конфликтов, связанных с водой. Она является источником напряжённости между Израилем и арабскими государствами на протяжении 60 с лишним лет.

С 2006 по 2010 год Сирия страдала от засухи, сильнейшей за последние 900 лет. Из-за засухи вымер скот, подскочили цены на продукты питания и около 1,5 миллиона фермеров перебрались со своих выжженных земель в города. Приток беженцев, а также высокий уровень безработицы и другие факторы вызвали гражданские волнения, что в итоге привело к гражданской войне.

И, может быть, не все было бы так плохо, если бы вода, которую мы используем или планируем использовать, была чистой. Однако острота проблемы усугубляется тем, что качество ресурсов пресных вод постоянно ухудшается. Водные объекты все в большей мере загрязняются сточными водами и разного рода отходами.

Если учесть все сказанное, можно прийти к довольно печальному выводу. В первой четверти будущего века водные ресурсы на нашей планете будут практически близки к исчерпанию. В отдельных же странах, регионах и речных бассейнах источники пресной воды могут быть исчерпаны значительно раньше. Поэтому решение водной проблемы должно вестись по трем главным направлениям: ограничение эксплуатации подземных

запасов вод, экономия воды путем более эффективной ее доставки и регламентирования потребления, а также возрождение некогда чистых, а теперь загрязненных естественных водоемов. Американскому президенту Джону Кеннеди принадлежат слова: «Тот, кто решит проблему пресной воды, достоин двух Нобелевских премий: первая за саму идею, а вторая за мир».

## 8.4. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ПРОБЛЕМА ОПУСТЫНИВАНИЯ

*Почва - наш самый драгоценный капитал. Жизнь и благополучие всего комплекса наземных биоценозов, естественных и искусственных, зависят в конечном итоге от тонкого слоя, образующего самый верхний покров Земли.*

**Ж.Дорст – французский зооолог, эколог**

Почвы имеют крайне важное значение для производства сельскохозяйственных культур, поскольку они служат фильтром и очищают десятки тысяч кубических километров воды ежегодно. В качестве основного хранилища углерода почвы также помогают регулировать выбросы двуокиси углерода и других парниковых газов, а, следовательно, являются основой составляющей в вопросах регулирования климата.

Если представить Землю размером с куриное яйцо, то ее почвенный плодородный слой окажется настолько тонким, что его трудно будет различить невооруженным глазом.

Изменение состояния почв, прежде всего, происходит вследствие роста населения и экономического роста - факторы, которые, как ожидается, сохранятся еще на протяжении десятилетий.

Население планеты увеличилось почти до 8 миллиардов человек, а более 35 % поверхности суши, не покрытой льдом, были переведены под земли сельскохозяйственного назначения. Результатом этого стало то, что почвы, которые были очищены от естественной растительности для выращивания сельскохозяйственных культур или выпаса скота, страдают от резкого повышения эрозии и серьезных потерь углерода, питательных веществ и биоразнообразия.

В настоящее время 97 % всей сельскохозяйственной продукции в мире производится на площади, составляющей 3 % почвенного покрова земного шара. В течение последующих 50 лет мы должны будем производить столько же продуктов, сколько произведено с момента появления на Земле первых людей.

Сегодня на каждого жителя Земли, включая детей, приходится по 0,28 га плодородной земли. К первой трети XXI в. посевные площади, согласно прогнозу, возрастут на 5 %, в то время как население Земли возрастет до 8 млрд. Соответственно доля земельных угодий на каждого жителя планеты уменьшится до 0,19 га, т.е. она будет составлять еще на треть меньше, чем сегодня.

Ежегодные мировые потери плодородных почв на обрабатываемых землях в настоящее время составляют, по некоторым оценкам, 24 млн т. Для сравнения, такая же площадь засевается зерновыми во всей Австралии.

Одной из главных бед разрушения плодородного слоя является почвенная эрозия. Происходит она главным образом из-за так называемого «агропромышленного» земледелия: почвы распахиваются на больших площадях, а затем плодородный слой выдувается ветром, или смывается водой. По этой причине к настоящему времени произошла частичная потеря плодородия почвы на площади 152 млн га, или 2/3 общей площади пахотной земли. Установлено, что 20-сантиметровый слой почвы на пологих склонах разрушается эрозией под культурой хлопка за 21 год, под культурой кукурузы - за 50 лет, под луговыми травами - за 25 тыс. лет, под пологом леса - за 170 тыс. лет.

Эрозия уносит до 40 млрд. тонн верхнего слоя почвы ежегодно, что значительно снижает урожайность и способность почвы хранить углерод, питательные вещества и воду. Ежегодные потери производства зерновых вследствие эрозии по оценкам составляют 7,6 млн тонн ежегодно. Если не будут приняты меры по снижению эрозии, к 2050 году потери зерновых могут составить более 253 млн тонн, что эквивалентно удалению 1,5 миллиона квадратных километров сельскохозяйственных угодий - это примерно все пахотные земли в Индии.

Ежегодный объем смыва почвы на Земном шаре в результате водной эрозии достигает примерно 25 млрд т. В конечном счете вся эта почва попадает в реки, а затем в океаны. Водная эрозия приводит к тому, что продуктивность сельскохозяйственных угодий резко снижается. Накопленный осадочный материал в низовьях рек препятствует судоходству, создает угрозу наводнений и заиливания водохранилищ.

Естественная почвенная эрозия протекает довольно медленно. Ее причиной могут быть ливни, продолжительные засухи, сильные ветры. Однако главная угроза почвенному покрову проистекает от деятельности рук человеческих. Эрозия возникает в случае внедрения систем сельскохозяйственного производств, разработанных без учета подверженности почв смыву или дефляции (развеивание, выдувание).

Наиболее известный пример дефляции - разрушение почвенного покрова на огромных площадях штатов Канзас, Техас и Оклахома в США 12 мая 1934 г. В тот день ветер необычной силы срывал почву на площади в миллионы гектаров, поднимая в воздух облака земляной пыли. Двадцатипятисантиметровый слой плодородной почвы за несколько часов был рассеян в пространстве на тысячи километров к востоку и на три тысячи метров в высоту. Через некоторое время небо над отдаленными Нью-Йорком и Вашингтоном было закрыто этой необычной земляной тучей. Катастрофа стала следствием распахивания плодородной земли, на которой в свое время паслись бизоны, и выращивания на ней монокультуры (единственной сельскохозяйственной культуры). Как только наступили засушливые годы, почва, лишенная растительного покрова превратилась в мелкую пыль, и первый же порыв ветра сорвал ее с места.

Большой урон состоянию почвенного покрова Земли наносят процессы, связанные с опустыниванием. В результате опустынивания уменьшается продуктивность земель, подверженных засухе. Такой процесс может происходить вследствие сведения лесов, нерационального землепользования, засухи, перевыпасов, нерационального орошения (заболачивания и засоления), деградации почв и других причин. Многие проблемы, связанные со сведением лесов, имеют прямое отношение к проблеме опустынивания.

Засушливые земли составляют 41,3 % всей суши на земном шаре, а проживают там около 2 млрд человек. Это значит, что почти половина земель, имеющихся в распоряжении у человечества, являются потенциальными пустынями и при определённых условиях могут в них превратиться, что и происходит медленно, но неотвратимо.

Наиболее серьезной ситуация с опустыниванием и засухами представляется в Азии, где уже в наши дни из 4,3 млрд га общей площади суши 1,7 млрд га занимают засушливые и недостаточно увлажненные земли, которые простираются от Средиземного моря до Тихого океана. Площадь пустынь стремительно растет в Индии, Иране, Китае, Монголии, Пакистане и Сирии; еще быстрее происходит эрозия горных склонов в Непале или ведущая к эрозии вырубка лесов в Лаосе.

Опустыниванием называется процесс превращения в пустыню некогда плодородных земель, расположенных в засушливой местности. Второе название опустынивания — дезертификация (от английского слова «desert» — пустыня). Опустынивание – это распространенная проблема деградации земельных ресурсов. Она состоит в том, что плодородные земли превращаются в пустыни, лишенные влаги и растительности. В результате такие территории становятся непригодными для жизни людей, а только некоторые виды флоры и фауны смогут приспособиться к жизни в подобных условиях.

Вследствие нерационального землепользования происходит падение продуктивности почвы, уменьшаются урожаи, высыхает поверхностный слой почвы, увеличивается смыв плодородного слоя, песчаные дюны наступают на орошаемые земли и уничтожают урожай песчаными бурями.

К опустыниванию приводит также чрезмерный перевыпас. С увеличением поголовья скота увеличивается нагрузка на пастбища, и одновременно падает их продуктивность. Это приводит к уменьшению количества подножного корма и съедобной растительности, замещению многолетних видов растений однолетними, которые не способны уберечь почву от эрозии, сбиву пастбищ копытами скота, дестабилизации песчаных дюн в результате того, что скот поедает растительность на их гребнях.

Разрушению почв способствуют также вырубка лесов, подсечно-огневое земледелие. Особенно опасна вырубка горных лесов, приводящая к печальным последствиям. Со склонов гор, лишенных зелени, дожди смывают почву, делая изменения необратимыми. Новые лесопосадки тут уже не приживутся. На равнинах происходит эрозия почв, земля родит все меньше, местное население лишается основного хлеба - риса. Реки выносят смытую с полей почву в море. Если поблизости находятся богатые животным и растительным населением коралловые рифы, то они подвергаются непосредственной опасности: мельчайшие почвенные частицы оседают на прибрежных кораллах. Это означает, что заодно уничтожается еще один лес - подводный: ведь он, как и лес обычный, живет солнцем. Заиленная вода не пропускает лучи, и уникальный многокрасочный коралловый мир становится серым, мертвым, местное население лишается рыбы.

Уничтожение лесной и травянистой растительности, перевыпас, водная и ветровая эрозия превратили территории некогда «зеленых» стран Ближнего Востока и Северной Африки в области с большим распространением пустынь и полупустынь. Существует мнение, что все пустыни Ближнего Востока - дело рук человека (рис. 8.4).

В свое время Сирия снабжала Египет лесом, а Северная Сахара поставляла зерновые в Древний Рим. Кстати, в переводе с арабского языка Сахара и означает «пустыня». Склоны гор и долины Ливана, Приморского Египта, Туниса 2-3 тысячелетия тому назад были покрыты богатой растительностью. Оттуда вывозились в другие страны древесина, зерно, оливы, вино и т.д. На месте нынешней пустынной Сахары 9 тыс. лет назад находился, что называется, рай земной. Климат был тогда теплее и влажнее. И не только в Сахаре; в Сибири, например, тайга подступала к самому Северному Ледовитому (видимо, не столь тогда ледовитому) океану. А на месте Сахары простиралась плодородная степь с многочисленными озерами, покрытая густой травой и кустарником. Там паслись стада копытных, а на них охотились крупные хищники и люди. На знаменитых фресках Тассили в

Рис. 8.4. Экологический результат неолитического ведения хозяйства - возникновение пустыни Сахара.

Алжире, самые ранние из которых выполнены в 5-м тысячелетии до н.э., изображены буйволы, носороги, слоны, бегемоты, антилопы, жирафы. На землях Восточной Сахары, в плодородных прежде саваннах, еще до 2700 г. до н. э. скотоводы-кочевники пасли свои стада. Точные исследования показали, что южная граница Сахары с 1958 по 1975 год сдвинулась на юг на 200 км.

Историки полагают, что именно опустынивание Сахары и Аравии дало толчок к развитию современной цивилизации, вытеснив людей из потерявших плодородие земель в гиблые заболоченные долины Нила, Тигра и Евфрата, где они волей-неволей вынуждены были совершенствовать технику и общественные отношения.

Пустыня Такла Макан на западе Китая когда-то была цветущим регионом. Расположенные здесь города богатели на торговле вдоль Шелкового пути. Однако за тысячелетия деятельности человека пастбища и поля прекратились в движущиеся пески, которые и образовали пустыню площадью 240 тысяч кв. км.

Ежегодно из-за размытия почвы во влажных районах Африки, Азии и Латинской Америки теряется 5-7 млн га пахотных земель, из-за опустынивания исчезает 15 млн гектаров леса. Сегодня опустыниванием охвачена территория, равная по площади Северной и Южной Америке. Ежегодно около 6 млн га плодородной земли подвергается полному опустыниванию, а еще 21 млн га деградирует в такой степени, что растениеводство на таких почвах становится экономически невыгодным. Около 3/4 земель в засушливых районах в той или иной степени уже подверглись опустыниванию.

Большой ущерб почвенному слою Земли наносит засоление его в результате неправильной мелиорации. Нерациональная ирригация приводит к тому, что сначала происходит подтопление и заболачивание земли. Это, в свою очередь, приводит к тому, что соли выходят на поверхность или намываются водой, если дренажные системы не отводят эту воду. Сведение лесов становится причиной наводнений, которые тоже вносят вклад в процесс засоления, так как вместе с водой намывается соль.

Антропогенное засоление территории происходит за счет обогащения почвы и других субстратов различными солями - продуктами жизнедеятельности животных и человека или техногенного воздействия (бытовые сточные воды, стоки промышленных предприятий, стоки с дорог, на которых соли используются вместе с песком для предотвращения гололеда).

Уплотнение почвы и прочих субстратов вызывает нарушение воздушногазового режима и других их физических свойств. В результате действия этого фактора изменяются плотность и пористость субстрата, содержание кислорода в корнеобитаемом слое, что приводит к нарушению корневого питания и других физиологических процессов у растений, а в конечном итоге - к исчезновению из экосистем видов, не устойчивых к данному воздействию.

Большой урон почвам наносят также химические способы борьбы с сорной растительностью в сельском и лесном хозяйстве. Они связаны с такими негативными явлениями, как нарушение биологического равновесия, уменьшение видового разнообразия сообществ почвенных организмов, снижение биохимических процессов, изменение физико-химических свойств, снижение устойчивости почвенной экосистемы к неблагоприятным факторам внешней среды. На современном этапе химизации сельского хозяйства вопрос об охране почв, и в первую очередь с низким уровнем биогенности, приобретает особую актуальность.

Ежегодные мировые потери плодородных почв на обрабатываемых землях в настоящее время составляют, по некоторым оценкам, 24 млн т. Для сравнения, такая же площадь засевается зерновыми во всей Австралии.

За 100 лет, в период с 1882 по 1982 гг. доля территорий, определяемых как пустыни, возросла с 9,4 до 23,3 %. И сейчас пустыни также продолжают наступать.

Некоторые специалисты полагают, что опустынивание - это лишь одна из фаз естественного климатического процесса, который происходит очень медленно. Другие специалисты считают, что засухи только провоцируют процесс опустынивания, но не являются его причиной. Они полагают, что именно нерациональное землепользование и перевыпас, которые значительно ослабляют землю и снижают ее производительность, являются истинной причиной опустынивания.

## 8.5. РЕСУРСЫ СЫРЬЯ И ЭНЕРГИИ

Энергия всегда играла и продолжает играть важную роль в жизнедеятельности человеческого общества. Все виды деятельности человека связаны с затратами энергии. Применение нефти и природного газа в сочетании с развитием электроэнергетики, а затем и освоение энергии атома позволили промышленно развитым странам осуществить

грандиозные преобразования, итогом которых стало формирование современного облика Земли.

Энергия неразрывно связана с повседневной жизнью каждого человека. Уровень материальной, а в конечном счете и духовной культуры людей находится в прямой зависимости от количества энергии, имеющейся в их распоряжении. Чтобы добыть руду, выплавить из нее металл, построить дом, сделать любую вещь, нужно израсходовать энергию. А потребности человека все время растут, да и людей становится все больше. Добываемая человеком энергия составляет всего лишь тысячные доли процента того, что ему хотелось бы получать. Потребление энергии в разных регионах Земли на душу населения различается в сотни и даже тысячи раз. Например, средний американец обходится природе в сотни долларов за день, а житель Индии или Непала - меньше одного доллара в день.

Проблемы энергетики затрагивают все слои человеческого общества. Рассматривая энергию как таковую, весьма важно различать различные ее виды на определенных стадиях преобразования и использования.

Прежде всего это первичная энергия, которая содержится в первичных природных источниках. Потребность в первичной энергии будет существовать всегда. Объемы ее использования зависят с одной стороны от оптимального соотношения между качеством технологии превращения энергии и ее конечным использованием, и с другой стороны - от возможности применения альтернативных источников энергии.

Существует три класса источников первичной энергии:

1) ископаемое топливо;

2) атомная энергия;

3) энергия солнца.

Источниками первичной энергией являются также каменный уголь, нефть, природный газ, природный уран. В качестве источника первичной энергии также можно рассматривать воду, падающую через плотину. Иногда первичная энергия может выступать в роли конечной энергии, то есть энергии, непосредственно обеспечивающей энергетические нужды потребителя. Одним из источников такой энергии, является природный газ.

В большинстве случаев первичная энергия преобразуется во вторичную энергию. Примерами источников вторичной энергии служат электричество и бензин.

Способы преобразования первичной энергии во вторичную могут быть разными. В одном случае она может преобразовываться на тепловых электростанциях (энергия падающей воды превращается в электрическую), и нефтеперерабатывающих предприятиях, где нефть преобразуется в более удобные виды энергии - бензин, керосин, дизельное топливо, лигроин. В другом случае это может быть атомная электростанция, где используется энергия расщепленного ядра. Необходимо помнить, что при любом преобразовании первичной энергии во вторичную происходят ее потери, так же, как и при доставке энергии потребителю.

Вторичная энергия в форме конечной энергии используется человеком в свечении электрической лампочки, работе кофемолки, компьютера или мотора.

Последний этап, - превращение конечной энергии в полезную, т.е. в энергию, которая фактически переходит в продукцию или используется в обслуживании.

В настоящее время на каждого из живущих на земле людей приходится около 3 кВт энергии. Для сравнения: электрокамин с одной спиралью обычно потребляет 1 кВт. Однако это потребление энергии неодинаково в различных районах мира. Наиболее высоко оно в странах Северной Америки и Европы. В развивающихся странах потребление энергии составляет около 500 Вт (1 кВт = 1000 Вт), а промышленно неразвитые страны живут на уровне потребления менее 100 Вт на человека.

Основным источником энергии в современном мире является ископаемое органическое топливо. Оно состоит из остатков растений, произраставших в доисторическую эпоху. Энергия ископаемого топлива заключена в химических связях, которые образовались под воздействием энергии Солнца растениями прошлых эпох при посредстве реакции фотосинтеза. Ископаемое топливо - это главным образом углерод в сочетании с другими элементами.

Одной из характерных черт современного этапа научно-технического прогресса является возрастающий спрос на все виды энергии. Важным топливно-энергетическим ресурсом является природный газ. До настоящего времени было использовано примерно около 40 % известных его запасов. Согласно подсчетам энергоэквивалент подтвержденных запасов газа составляет примерно 2/3 запасов нефти. Затраты на его добычу и транспортировку ниже, чем для твердых видов топлива. Являясь прекрасным топливом (калорийность его на 10 % выше мазута, в 1,5 раза выше угля и в 2,5 раза выше искусственного газа), он отличается также высокой отдачей тепла в разных установках. Газ используется в печах, требующих точного регулирования температуры; он мало дает отходов и дыма, загрязняющих воздух. Широкое применение природного газа в металлургии, при производстве цемента и в других отраслях промышленности позволило поднять на более высокий технический уровень работу промышленных предприятий и увеличить объем продукции, получаемой с единицы площади технологических установок.

Объемы потребления природного газа будут расти наиболее быстро. Ежегодно они будут возрастать на 3,2 %, вдвое быстрее, чем потребление угля. В 2020 году мировое потребление газа увеличится вдвое по сравнению с 1999 годом и составит примерно 80 трлн. куб. метров. В основном, газ будет использоваться для производства электроэнергии.

Газ является более «чистым» видом топлива по сравнению с углем и нефтью и поэтому будет особенно широко использоваться индустриально развитыми странами, заинтересованными сокращать выброс вредных веществ в атмосферу.

Поскольку в настоящее время нефти потребляется примерно в 2,5 раза больше, чем газа, то последнего должно хватить на значительно больший период времени. Прогнозируется, что максимальный уровень мировой добычи газа будет достигнут в 2030 г.

До недавнего времени основным источником ископаемой энергии был уголь. Его образно называют «похороненным солнечным светом». Подавляющая часть угля образовалась 210-280 млн лет назад в так называемый каменноугольный период, когда происходило химическое преобразование гигантских масс отмерших трав и деревьев. Пятьдесят лет назад уголь обеспечивал почти все энергетические потребности человечества. Его залежи сосредоточены в основном в странах бывшего СССР, США и Китая. Здесь сосредоточено около 88 % известных запасов угля. Считается, что в настоящее время запасы угля в четыре раза превышают количество уже добытого сырья. Подсчитано, что

мировые залежи каменного угля обладают энергетическим потенциалом, в 25 раз превосходящим нефтяной. Сейчас уголь покрывает мировые потребности в энергии примерно на 30 %. Если предположить, что человечество откажется от всех других источников энергии и будет использовать только каменный уголь, то его хватит еще примерно на 200 лет.

За последние три десятилетия существенно изменилась структура потребления угля в связи с вытеснением его нефтепродуктами и газом. Сократилось потребление угля в железнодорожном, морском и речном транспорте, а также в бытовом секторе. Более 56 % потребления угля приходится на тепловые электростанции. Крупные потребители угля — коксохимические предприятия. Доля их в общем потреблении за последние годы почти не изменилась, хотя производство чугуна заметно увеличилось. Это обусловлено внедрением новых способов выплавки чугуна и стали, строительством крупных доменных печей, вызвавших снижение удельного потребления кокса. На снижение удельного расхода кокса влияет не только использование топливных реагентов (природного газа), но и обогащение доменного дутья кислородом, улучшение качества исходного сырья путем повышения содержания железа в руде и т. п. Одним из главных путей расширения использования угля является использование его как сырья для производства синтетического жидкого и газообразного топлива для химической промышленности.

Наилучшим видом ископаемого топлива является нефть, на долю которой приходится 63%. Однако ее запасы постепенно уменьшаются. В настоящее время в мире уже использована треть известных и доступных для добычи запасов нефти, а в США - половина.

В настоящее время в связи с ростом энергопотребления, выработанностью легкодоступных месторождений нефти, ограниченностью ее запасов в земной коре, угрозой ее исчерпания, а также более эффективным использованием нефти как сырья в химической промышленности возникла проблема ускорения развития других отраслей топливно-энергетического комплекса как в целом по стране, так и по отдельным регионам.

Еще одним источником энергии являются горючие сланцы и битуминозные пески. Добываемая нефть может представлять собой не жидкость, а довольно вязкую массу. В этом случае порода именуется битуминозным песком. Если же нефть смешана с мелкими частицами, которые лишают ее текучести, то такая порода носит название горючих сланцев. Месторождения горючих сланцев преимущественно сосредоточены в Северной Америке (70 %) и в Латинской Америке (25 %), битуминозных песков - в Канаде, Южной Америке, Сибири и Нигерии. Их запасы приближаются к запасам природного газа. Получаемое из них топливо сравнительно дорогое, поскольку и сланцы, и пески требуют предварительной термической обработки. Прогнозируется, что максимум добычи этого ископаемого топлива будет приходится на 2010 г.

Экономия топливно-энергетических ресурсов в настоящее время становится одним из важнейших направлений перевода экономики на путь интенсивного развития и рационального природопользования. Основными направлениями экономии энергоресурсов являются: совершенствование технологических процессов, совершенствование оборудования, снижение прямых потерь топливно-энергетических ресурсов, структурные изменения в технологии производства, структурные изменения в производимой продукции, улучшение качества топлива и энергии, организационно-технические мероприятия.

Проведение этих мероприятий вызывается не только необходимостью экономии энергетических ресурсов, но и важностью учета вопросов охраны окружающей среды при решении энергетических проблем.

## 8.6. ГИДРО- И ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Любые крупные энергетические объекты в значительной мере оказывают влияние на окружающую среду.

Из всех источников энергии в настоящее время только гидроэнергетика вносит существенный вклад во всемирное производство электроэнергии (21 %). О ней часто говорят как об экологически чистом способе производства электроэнергии. Преимущества гидроэлектростанций очевидны - это постоянно возобновляемый самой природой запас энергии, простота эксплуатации, отсутствие загрязнения окружающей среды. Однако, чтобы привести во вращение мощные гидротурбины, нужно накопить за плотиной огромный запас воды. Для постройки плотины требуется уложить такое количество материалов, что объем гигантских египетских пирамид по сравнению с ним покажется ничтожным.

Настораживает и тот факт, что при строительстве гидроэлектростанций возникает необходимость затопления обширных площадей, обжитых человеком или представляющих собой естественные природные комплексы. Обычно возле гидроэлектростанций имеются водохранилища, занимающие различные (но значительные) площади. В связи с этим по берегам водохранилищ наблюдается дополнительное давление на грунт, фильтрация воды в берега и дно, переформирование берегов, а сама вода в водохранилище обычно имеет повышенную температуру. Подтопление территории, прилегающей к гидроэлектростанции приводит к тому, что уровень воды поднимается выше критического. Следствием этого является обычно гибель древесной растительности и размокание грунтов. Подсчитано, что площадь земель, затопленных при строительстве гидроэлектростанций на территории бывшего СССР, примерно равна площади всей Франции!

Строительство равнинных ГЭС полностью нарушает жизнь экосистемы реки. На дне водоемов накапливаются тысячи тонн (как правило, ядовитых за счет промышленных и бытовых стоков в реки) осадков. Это практически навсегда выводит территорию из дальнейшего использования даже в случае, если водохранилище будет спущено. Ликвидация таких водохранилищ затруднена также тем, что современные суда приспособлены к большим глубинам, чем в реках с незарегулированным стоком, и замена их на суда с меньшей осадкой будет стоить огромных денег, потребует дополнительного строительства железных и шоссейных дорог.

ГЭС на горных реках удобны тем, что не связаны с затоплением больших территорий, но они могут быть опасны из-за довольно высокой вероятности катастроф ввиду сейсмической нестабильности этих районов. Землетрясения приводят к огромным жертвам. Так, в Италии в Вайоне в 1993 г. при прорыве плотины погибли 2118 человек, а в Индии от прорыва плотины Гуджерат — 16 тыс. человек.

По современным представлениям, у крупных ГЭС нет перспектив. Строительство ГЭС имеет смысл лишь в ограниченных масштабах, на малых реках или же на больших, но при

особом варианте свободнопроточных ГЭС мощностью от нескольких десятков до нескольких сотен Вт, позволяющем обходиться без строительства плотин.

Самые крупные гидроэлектростанции мира построены в Венесуэле (плотина Гури, 10 млн кВт, что соответствует 10 средним АЭС), в Бразилии на реке Парана (ГЭС «Итайпу», 12,6 млн кВт). В Китае начато строительство ГЭС мощностью 13 млн кВт. Крупные ГЭС преобладают в России. Пример — каскады ГЭС на Волге и реках Сибири (Шушенская, Ангарская, Братская, Красноярская и др.).

Значительными загрязнителями окружающей среды являются тепловые электростанции. Нефть и уголь, сжигаемые на современных тепловых электростанциях, стали причиной выпадения кислотных дождей, серьезно влияющих на состояние окружающей среды. Современная теплоэлектростанция мощностью 2,4 млн кВт расходует до 20 тыс. т угля в сутки и выбрасывает за это время в воздух 680 т $SO_2$ и $SO_3$, а также 120-140 т твердых частиц (зола, пыль, сажа), 200 т оксидов азота.

Перевод установок на жидкое топливо (мазут) снижает выбросы золы, но практически не уменьшает количество оксидов азота и серы.

В целом использование любых органических видов топлива чревато разрушительными экологическими последствиями. Происходит газопылевое загрязнение атмосферы, почвы, растительности, поверхностных и подземных вод. Создание прудов-охладителей приводит к изменению микроклимата. В индустриальных районах pH атмосферных осадков снижается до 2-4. Газопылевые выбросы содержат большое количество цинка, свинца, ртути, никеля и других токсичных элементов.

## 8.7. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Из всех вмешательств человека в природу наиболее широкомасштабным и опасным можно считать применение реакции деления ядра. Ионизирующая радиация стала одним из самых серьезных факторов загрязнения окружающей среды.

В настоящее время в мире эксплуатируется 470 энергоблоков в 25 странах (по состоянию на 1.12.1998), из которых 230 находятся в Восточной и Западной Европе. В стадии строительства до 1986 г. находилось примерно 200 реакторов. Катастрофа на ЧАЭС внесла свои коррективы в прогноз роста мощностей АЭС. Тем не менее развитие ядерной энергетики продолжается.

Чтобы получать то количество энергии, которое сейчас производят атомные электростанции, используя уголь и нефть, потребовалось бы дополнительное количество угля, равное тому, что ныне используют в США, или дополнительное количество нефти, равное тому, что добывают в Саудовской Аравии. Самая высокая доля ядерной энергетики принадлежит Франции - более 70 %, в Бельгии она составляет 66 %, в Швеции – 50 %, в Финляндии – 37 %, в Великобритании и США – 18 %, в Японии – 29 %, в Южной Корее – 53 %, в Венгрии – 39 %, в бывшем СССР - около 11 %.

По вопросу целесообразности и безопасности ядерной энергии существовали и существуют противоречивые мнения. Одна из точек зрения состоит в том, что, если сравнивать ее с другими способами производства электроэнергии, она якобы является одним из наиболее чистых источников энергии. Такой взгляд господствовал во времена,

предшествовавшие крупнейшей экологической катастрофе современности - аварии на Чернобыльской АЭС. Тогда ученые-теоретики с полной серьезностью утверждали, что шансы погибнуть в автодорожном происшествии равны 1 : 4000 в год, а вероятность серьезной аварии ядерной установки равна 1 : 5 000 000 000 в год. Считалось, что серьезная авария ядерной установки в тысячу раз менее вероятна, чем сильное землетрясение или прорыв крупной плотины.

В настоящее время уже никто не рискует делать такие благодушные заявления, поскольку стало ясно, какой опасный ядерный джин был выпущен из чернобыльской бутылки. Действительно, задымление воздуха - это мелочь по сравнению с загрязнением воздуха, воды и почвы ионизирующей радиацией. Радиоактивное загрязнение не идет ни в какое сравнение с тем, с чем ранее сталкивалось человечество.

Даже если атомные электростанции будут работать в безаварийном режиме, существует еще одна опасность, угрожающая роду человеческому. Это радиоактивные отходы. В отличие от прочих загрязнителей, методов устранения радиоактивности в настоящее время не существует, как и способов контролирования радиоактивных отходов. Все, что предложено до сих пор, дает человечеству лишь ничтожную надежду, что когда-нибудь позже вопрос утилизации радиоактивных отходов будет решен. Таким образом, мы взваливаем на плечи грядущего поколения задачу, решения которой не знаем сами.

Каждый 1000-мегаваттный реактор содержит столько радиоактивного материала, сколько его выпало бы после взрыва тысячи бомб, эквивалентных хиросимской. Каждый реактор ежегодно производит тонны радиоактивных отходов, которые остаются опасными в течение более чем 500 тыс. лет. Атомная электростанция мощностью 1000 МВт производит около 200 килограмм отходов в год. Умножив эту цифру на число действующих в мире АЭС, мы получим 70 т отходов в год с периодом полураспада в 24300 лет. Это означает, что отходы будут представлять угрозу для здоровья людей еще полмиллиона лет в течение жизни 16 тыс. поколений.

Дата 26 апреля 1986 года стала черным днем для Республики Беларусь. В этот день, в 1 час 23 минуты, произошла катастрофа. В результате двух последовательных взрывов произошло разрушение крыши здания четвертого блока. В атмосферу были выброшены продукты распада и большое количество уранового топлива. Более тяжелые частицы оседали непосредственно около станции, а более легкие унесло радиоактивное облако, которое вскоре достигло стран Западной Европы, Атлантики, Ближнего Востока и Японии (рис. 8.4). Более четырех миллионов человек Беларуси, России и Украины пострадали от последствий катастрофы, причем наиболее пострадала от Чернобыльской катастрофы Беларусь.

Около четверти республики оказалось загрязненной радионуклидами. Территория зоны отчуждения имеет площадь около 170 тыс. Га и входит в состав созданного Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, общая площадь которого составляет 215,5 тыс.га. Зона отселения занимает площадь 450 тыс. га и охватывает территории, в основном, в Гомельской и Могилевской областях.

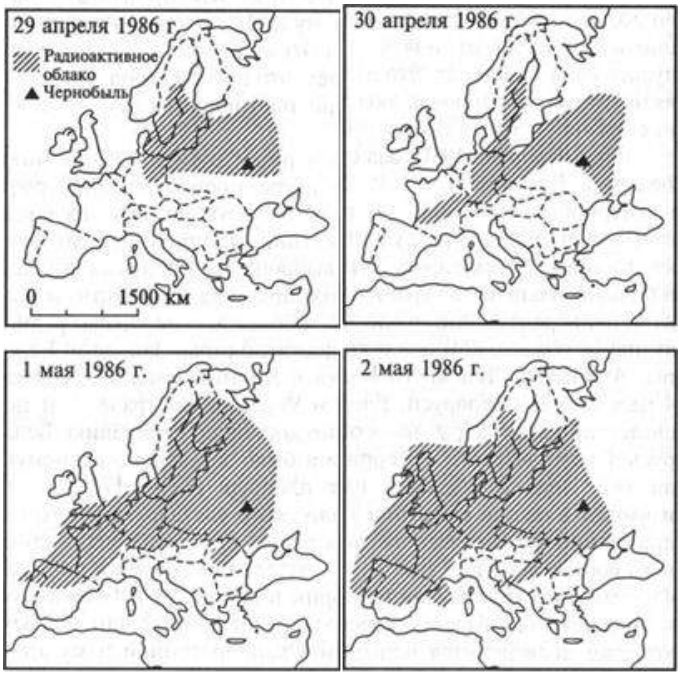



Рис. 8.4. Распространение радиоактивного облака после аварии на ЧАЭС

На этой территории проживают почти 2 млн человек, которые подвергаются повышенной канцерогенной и мутагенной опасности. Здесь осложнено, а подчас и невозможно получение соответствующей международным нормам сельскохозяйственной продукции. Практически у всех жителей республики имеет место радиофобия, выражающаяся в чувстве повышенной опасности в связи с питанием загрязненными продуктами.

Следует отметить, что при взрыве атомной бомбы мощностью 20 килотонн над Хиросимой было выброшено 740 г радиоактивных веществ, в то время как при аварии на ЧАЭС - 63 кг! По мнению некоторых ученых общая оценка количества выброшенной радиации во время аварии на ЧАЭС сравнимо с полным количеством радиации от всех испытаний атомного оружия в атмосфере.

Все эти факторы заставили пересмотреть планы о строительстве ядерной электростанции под Минском, а также принять статус безъядерного государства. Казалось бы, обеспокоенность населения в ближайшем и отдаленном будущем должна быть значительно уменьшена. Однако нельзя сбрасывать со счетов, что Беларусь находится в кольце атомных станций, среди которых, кроме печально известной Чернобыльской (ближайшее расстояние до границы Беларуси - 12 км) Игналинская АЭС (Литовская республика; ближайшее расстояние - 4 км), Смоленская АЭС (Россия; 80 км), Ровенская АЭС (Украина; 70 км).

Таким образом, жители Беларуси ничем не застрахованы, случись на какой-то из этих станций авария вроде Чернобыльской.

## 8.8. АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

*Если его Величество дорожит прелестью своих садов, белизной лица и красивостью белья, и если не хочет, чтобы его верноподданные задохнулись и закоптели, подобно дурной ветчине, то парламент убедительнейше просит совершенно запретить употребление этого горючего материала, называемого каменным углем.*

**Из послания английского парламента королю от 1316 г.**

Альтернативные источники энергии - это ветер, солнце, приливы и отливы, биомасса, геотермальная энергия Земли.

Освоение энергии ветра по всему миру, в последние годы, происходит весьма стремительно. Большая часть мирового объема установленных мощностей ветроэнергетических установок приходится на пять стран: США, Китай, Германию, Индию, и Испанию, на них приходится 73,6 %. Однако и остальной мир постепенно развивает это перспективное направление «чистой» энергетики, базирующейся на неисчерпаемом природном ресурсе – энергии ветра. Если не брать в расчет гидроэнергетику, то на данный момент ветроэнергетика является самой развитой отраслью возобновляемой энергетики в мире.

Средства преобразования кинетической энергии ветрового потока в механическую, тепловую, и электрическую формы энергии занимают все большую долю в энергетической мировой отрасли. Запасы этой энергии неисчерпаемы, поскольку ветер возникает в результате действия солнца, а уровень вредных выбросов при такой генерации практически нулевой.

Ветряные мельницы давно зарекомендовали себя в качестве альтернативного источника энергии. Однако они эффективны и экономичны только для мелкого пользователя. К сожалению, энергия ветра пока еще не в состоянии давать электроэнергию в достаточных количествах. Солнечная и ветровая энергетика имеет серьезный недостаток - временную нестабильность именно в тот момент, когда она особенно нужна. В связи с этим необходимы системы хранения энергии, чтобы потребление ее могло быть возможно в любое время, но экономически зрелой технологии создания таких систем пока нет.

Первые ветряные электрогенераторы были разработаны еще в 90-х годах XIX в. в Дании, а уже к 1910 году в этой стране было построено несколько сот мелких установок. Еще через пару лет датская промышленность получала от ветряных генераторов четверть необходимой ей электроэнергии. Их общая мощность составила 150–200 мегаватт.

Основную проблему ветряных электростанций вызывает непостоянная природа ветра. При этом мощность ветряных электростанций в каждый момент времени переменна. Невозможно иметь от одной ветроэлектростанции стабильное поступление определенных объемов электроэнергии. Поэтому возникает необходимость объединения ветряных электростанций в энергосистемы и комплексы. Ветряные электростанции имеют

аккумуляторы для накопления электроэнергии, для более равномерной и стабильной работы системы.

В настоящее время солнечную энергию используют в некоторых странах в основном для отопления, а для производства энергии - лишь в незначительных масштабах. Между тем, мощность солнечного излучения, достигающего Земли, составляет 2 х $10^{17}$ Вт, что более чем в 30 тыс. раз превышает сегодняшний уровень энергопотребления человечества.

Различают два основных варианта использования энергии солнца: физический и биологический. При физическом варианте энергия аккумулируется солнечными коллекторами, солнечными элементами на полупроводниках или концентрируется системой зеркал.

При биологическом варианте используется солнечная энергия, накопленная в процессе фотосинтеза в органическом веществе растений (обычно в древесине). Этот вариант используется в странах с определенной долей лесистости. Например, Австрия планирует в ближайшие годы получать от сжигания древесины до 1/3 необходимой ей электроэнергии. Для этих же целей в Великобритании планируется засадить лесом около 1 млн га земель, непригодных для сельскохозяйственного использования. Высаживаются быстрорастущие породы, такие, как тополь, срезку которого производят уже через 3 года после посадки (высота деревьев около 4 м, диаметр стволиков больше 6 см).

Проблема использования нетрадиционных источников энергии в последнее время особенно актуальна. Это, несомненно, выгодно, хотя подобные технологии и требуют значительных затрат.

Один из примеров создания такой технологии – сооружение солнечных электростанций. В 2014 г. в калифорнийской пустыне Мохаве, где более 300 солнечных дней в году была построена крупнейшая в мире солнечная станция. Она вырабатывает чистую энергию, не сжигая ни капли топлива, и обеспечивает электричеством 140 тысяч домов. Вместо традиционных солнечных батарей используются обычные зеркала, или гелиостаты. Размер каждого - с гаражные ворота, а всего их на станции 173 тысячи. Они не просто отражают солнечные лучи, а направляют их на вершины трех башен высотой с 50-этажный дом. Причем каждый гелиостат с помощью компьютера все время поворачивается вслед за Солнцем, непрерывно нагревая воду в котлах и превращая ее в пар. А дальше все как на обычных ТЭЦ. Пар вращает турбину, вырабатывая электрическую энергию. Но Солнце светит не всегда. Как же быть ночью? И здесь ученые нашли решение. Днем станция может запасать излишки энергии. Для этого часть разогретой днем жидкости направляется в специальные огромные хранилища с расплавленной солью, которая считается лучшим аккумулятором тепла. Ночью это тепло крутит турбины. Эти хранилища обеспечивают непрерывную работу станции еще 15 часов после захода Солнца.

Данные установки перспективны для регионов с постоянным снабжением солнечной энергии и в первую очередь густонаселенных стран третьего мира, таких, как Китай, Индия, где потребление энергии ежегодно возрастает на 10 %.

Вероятно, будущее энергетики - за ветряной и солнечной энергией. В настоящее время наибольшего развития ветроэнергетика достигла в Германии, Англии, Голландии, Дании, США (только в штате Калифорния 15 тыс. ветряков). Энергия, получаемая с помощью ветра, может постоянно возобновляться. Ветряные станции не загрязняют окружающую

среду. С помощью ветряной энергии можно электрифицировать самые отдаленные уголки Земного шара.

Как еще можно получать энергию, не загрязняя окружающую среду?

Для использования энергии приливов и отливов обычно строят приливные электростанции в устьях рек либо непосредственно на морском берегу. Конструкция такой станции примерно следующая. В обычном портовом волноломе оставляются отверстия, куда свободно поступает вода. Каждая волна повышает уровень воды, а вместе с тем и давление остающегося в отверстиях воздуха. «Выдавливаемый» наружу через верхнее отверстие воздух приводит в движение турбину. С уходом волны возникает обратное движение воздуха, который стремится заполнить вакуум, и турбина получает новый импульс к вращению. Согласно оценкам специалистов, такие приливные электростанции могут использовать до 45 % приливной энергии.

Волновая энергия представляется довольно обещающей формой из новых энергоисточников. Например, на каждый метр волнового фронта, окружающего Британию со стороны Северной Атлантики, в среднем за год приходится мощность 80 киловатт. Это составит средний годовой потенциал 120 000 гегаватт вдоль Британского побережья Атлантики. Неизбежны существенные потери при переработке и передаче этой энергии, и реально, по-видимому, лишь третья часть ее может поступать в сеть. Тем не менее оставшаяся часть составит объем, достаточный, чтобы обеспечить всю Британию электричеством на уровне существующей нормы потребления.

Привлекает ученых и использование биогаза, который представляет собой смесь горючего газа - метана (60-70 %), и негорючего углекислого газа. В нем обычно бывает немного примесей – сероводород, водород, кислород, азот. Образуется биогаз в результате анаэробного (бескислородного) разложения органики. Этот процесс в природе можно наблюдать на низинных болотах. Многие нередко замечали воздушные пузырьки, поднимающиеся со дна заболоченных участков. Это и есть биогаз – метан и его производные, образующийся при гниении и разложении растительных остатков.

Процесс получения биогаза можно разделить на два этапа. Вначале усилиями анаэробных бактерий из углеводов, белков и жиров образуется набор органических и неорганических веществ: кислоты (масляная, пропионовая, уксусная), водород, углекислота или водородная фаза. На втором этапе брожения (щелочном или метановом) в работу включаются метановые бактерии, которые разрушают органические кислоты с выделением метана, углекислого газа, небольшого количества водорода.

В зависимости от химического состава сырья при сбраживании выделяется от 5 до 15 кубометров газа на кубометр перерабатываемой органики.

Биогаз можно сжигать для отопления домов, сушки зерна, использовать в качестве горючего для автомобилей и тракторов. По своему составу биогаз мало отличается от природного газа. Кроме того, в процессе получения биогаза остается остаток брожения (примерно половина органических веществ). Его можно брикетировать и получать твердое топливо. Однако, такое использование осадка в хозяйственном отношении не совсем рационально. Эффективнее остаток брожения использовать в качестве прекрасного удобрения.

Один кубический метр биогаза соответствует 1 литру жидкого газа или 0,5 литра высококачественного бензина. Получение биогаза дает технологическую выгоду – уничтожение отходов, и энергетическую выгоду – получение дешевого горючего.

В Индии для получения биогаза используется около миллиона дешевых и простых установок, а в Китае их свыше 7 млн. С точки зрения экологии биогаз имеет огромные преимущества, так как он может заменить дрова и таким образом способствовать борьбе против ликвидации лесов и опустынивания. В Европе уже целый ряд установок по очистке городских сточных вод удовлетворяют все свои энергетические потребности за счет производимого ими биогаза.

Еще одним альтернативным источником энергии является различное сельскохозяйственное сырье - сахарный тростник, сахарная свекла, картофель, топинамбур и др. Из него методом ферментации в некоторых странах производят жидкое топливо, в частности этанол. Так, в Бразилии растительную массу преобразуют в этиловый спирт в таких количествах, что она уже удовлетворяет большую часть своих потребностей в автомобильном топливе. Сырье, необходимое для организации массового производства этанола - это в основном сахарный тростник. Сахарный тростник активно участвует в процессе фотосинтеза и производит больше энергии на каждый гектар обрабатываемой площади, чем другие культуры. В настоящее время его производство в Бразилии составляет 8,4 млн т, что соответствует 5,6 млн т бензина самого высокого качества. В США производится «биохол» - горючее для автомобилей, содержащее 10 % этанола, полученного из кукурузы.

Тепловую или электрическую энергию можно добывать за счет тепла земных глубин. Это также один из вариантов нетрадиционной энергетики. Энергия, выделяемая из естественного тепла Земли, называется геотермальной энергией. Внутренняя тепловая энергия Земли то и дело грозно проявляется в форме извержений тысяч вулканов, землетрясений, движений земной коры и других, менее заметных, но от того не менее глобальных, природных процессов.

Экономически эффективна геотермальная энергетика в районах, где горячие воды приближены к поверхности земной коры — в районах активной вулканический деятельности с многочисленными гейзерами (Камчатка, Курилы, острова Японского архипелага). В отличие от других первичных источников энергии носители геотермальной энергии невозможно транспортировать на расстояние, превышающее несколько километров; их приходится использовать на месте. Поэтому земное тепло – это типично локальный источник энергии. Именно по этой причине работы, связанные с его эксплуатацией (разведка, подготовка буровых площадок, бурение, испытание скважин, забор жидкости, получение энергии, подпитка, передача энергии, создание инфраструктур и т.д.), ведутся, как правило, на относительно небольшом участке с учетом местных условий.

На данный момент освоением геотермальной энергии активно занимаются: США, Исландия, Новая Зеландия, Филиппины, Италия, Сальвадор, Венгрия, Япония, Россия, Мексика, Кения и другие страны, где тепло из недр планеты поднимается к поверхности в форме пара и горячей воды, вырывающихся наружу, при температурах достигающих 300 °С.

Сегодня лидером по количеству геотермальной электроэнергии, вырабатываемой на душу населения, является Исландия. Название «Исландия» переводится как «ледяная страна». Здесь нет собственных используемых месторождений нефти и газа. Зато она очень богата горячими источниками и знаменитыми гейзерами – фонтанами горячей воды. Геотермальные источники вырабатывают 25 % энергии, а на долю традиционных углеводородов приходится всего 0,5 %. Еще в 1940-е годы в Рейкьявике с помощью геотермальной воды обогревали жилые дома, магазины и фабрики. Здесь работает пять теплофикационных геотермальных электростанций общей мощностью 570 мегаватт. Геотермальное тепло подается по трубам в города и запасается в огромных резервуарах, обогревая дома, предприятия и даже плавательные бассейны (рис. 8.5). 90 % домов в Исландии обогреваются за счет горячих вод, поступающих из геотермальных источников. Реки, образовавшиеся в результате вулканической деятельности, движут турбины, которые производят практически всю нужную в стране электроэнергию. В 2009 году в кратере действующего вулкана Крафла пробурили скважину глубиной две мили. Оттуда извлекают воду и ее тепло используют для получения электричества.

Филиппины - тоже один из крупнейших производителей геотермальной энергии. В 1984 году там открылась геотермальная электростанция Макилинг-Банахау. Ее мощность тогда составляла 330 мегаватт, сейчас - больше 458 мегаватт. Более 20 % всего электричества, потребляемого страной, получают с помощью геотермальных электростанций.

Сегодня геотермальная энергия в широких масштабах используется в США, Мексике и на Филиппинах. Доля геотермальной энергии в энергетике Филиппин 19 %, Мексики — 4 %, США (с учетом использования «напрямую» для отопления, т. е. без переработки в электрическую энергию) — около 1 %. Суммарная энергия всех геоТЭС США превышает 2 млн кВт.

Рис 8.5. Путепровод геотермальных источников в Исландии

В перспективе видится весьма вероятным использование тепловой энергии магмы в тех регионах планеты, где она находится не слишком глубоко под поверхностью Земли, а также тепловой энергии разогретых кристаллических пород, когда в выбуренную скважину глубиной в несколько километров закачивают холодную воду, а на поверхность возвращают

горячую воду или пар, а дальше получают отопление или генерацию электроэнергии (рис. 8.6).

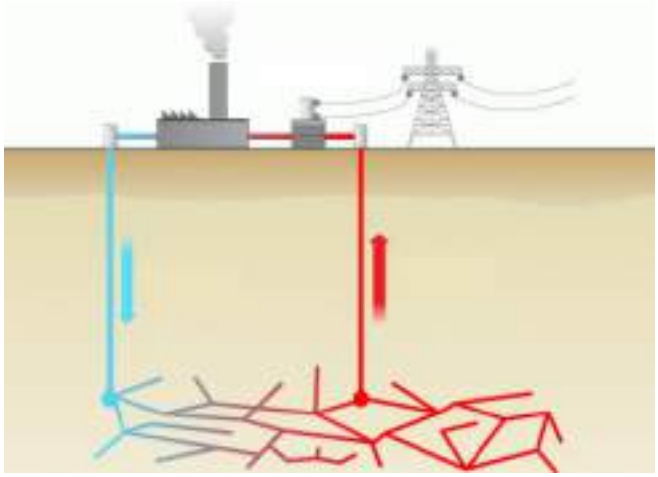


Рис. 8.6. Схема использования геотермальной энергии Земли

И еще несколько слов об одном нетрадиционном источнике энергии будущего - водороде, самом распространенном элементе в космосе. Газообразный водород - самый легкий газ. Он нетоксичен, но пожаро- и взрывоопасен. В свободном состоянии на Земле он встречается крайне редко. Температура его воспламенения – 630 °С, температура пламени в воздухе – 2140 °С. Струя водорода, истекая в воздух, за счет трения ионизуется, происходит самовозгорание.

В настоящее время водород широко используется в современных технологиях. Он применяется в качестве восстановителя многих окислов металлов, для гидрирования нефтяных остатков и органических соединений, получения пищевых жиров. Он служит высококалорийным горючим в ракетной технике, делаются попытки использовать его как топливо для самолетов. Водород, полученный на электролизерах с помощью электроэнергии, выработанной на АЭС, и углерода из каменных углей, а также тепла от ядерных реакций или реакций горения каменного угля, можно использовать для производства любого синтетического жидкого и газообразного топлива, удобного в эксплуатации, нетоксичного и максимально безопасного.

Водород не является энергоисточником, так как его в природе вне химических соединений нет. Для получения водорода надо затратить энергию. В будущем он может стать универсальным энергоносителем. Должна быть создана технология крупномасштабного использования водорода.

## 8.9. БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Важнейшей составляющей среды обитания человека являются те ресурсы для его жизнедеятельности, которые он получает и использует непосредственно от природы. Это главным образом - растения, животные, грибы, водоросли, бактерии, а также их совокупности — сообщества и экосистемы (леса, луга, водные экосистемы, болота и др.). К

биологическим ресурсам относятся также организмы, которые окультурены человеком: культурные растения, домашние животные, использующиеся в промышленности и сельском хозяйстве штаммы бактерий и грибов.

Таким образом, биологические ресурсы - это природные источники получения необходимых человеку материальных благ (пищи, сырья для промышленности, материала для селекции культурных растений, сельскохозяйственных животных и микроорганизмов, для рекреационного использования). За счет способности организмов размножаться все биологические ресурсы являются возобновимыми, однако человек должен поддерживать условия, при которых возобновимость этих ресурсов будет осуществляться. При современной системе использования биологических ресурсов значительной их части угрожает уничтожение.

Главнейшими биологическими ресурсами являются ресурсы растительного и животного мира. Человек по своему эволюционному развитию неразрывно связан с живой природой. Кажущаяся его нынешняя самостоятельность от природы на самом деле является лишь следствием того, что человек в процессе эволюции вышел за пределы ее ресурсного цикла и утратил прямую связь с ней. Однако, природа прекрасно проживет и без человека, человек же без природы погибнет. Именно в этом значение природных биологических ресурсов.

Биологические ресурсы - это основа жизни человечества. Это его пища, его жилище, его одежда, источник дыхания, среда его отдыха и восстановления сил. Истощение биологических ресурсов может привести к массовому голоду, а, следовательно, к непредсказуемым последствиям. Для поддержания стабильности биологических ресурсов необходима достаточно высокоразвитая база их воспроизводства. Численность человечества растет, а количество пахотной земли в мире, на которой выращивается необходимая сельскохозяйственная продукция, в расчете на душу населения уменьшается. Даже если гипотетически предположить, что общая площадь сельскохозяйственных земель не будет уменьшаться (а это не так!), то и в этом случае количество плодородной земли на душу населения будет уменьшаться в связи с ростом количества людей.

Сегодня на каждого жителя планеты, включая детей, приходится по 0,28 га плодородной земли. К 2030 году посевные площади предположительно вырастут на 5 % (всего!), в то время как население земли предположительно возрастет до 8 миллиардов. Это, соответственно, приведет к сокращению количества земли на душу населения до 0,19 га, т.е. на треть меньше, чем в сегодняшнем мире, страдающем от недостатка продовольствия. Практически вся Азия и в особенности Китай будут пытаться прокормить себя из гораздо меньшего расчета площади плодородной почвы на душу населения (табл. 8.1).

Основное значение для обеспечения жизнедеятельности человека имеют ресурсы растительного и животного мира. Сюда же относятся продукты сельскохозяйственного производства. Потребность в пищевых ресурсах человек обеспечивает главным образом тем, что выращивает различные сорта культурных растений и разводит домашних животных. Этим занимаются такие отрасли сельского хозяйства как растениеводство, включая полеводство, плодоводство, луговодство, овощеводство, бахчеводство, лесоводство, цветоводство и животноводство - звероводческий, рыбный и другие виды

промысла. Именно благодаря этим отраслям человек обеспечивает себя пищей, а промышленность растительным и животным сырьем.

Таблица 8.1 Обеспеченность землей и пашней (га/чел.) в некоторых странах мира

| Страна | Землеобеспеченность | Пашнеобеспеченность |
|---|---|---|
| Австралия | 45,1 | 2,85 |
| Канада | 37,4 | 1,72 |
| Россия | 11,6 | 0,89 |
| Аргентина | 8,6 | 0,77 |
| Бразилия | 5,6 | 0,75 |
| США | 3,8 | 0,40 |
| Испания | 1,3 | 0,34 |
| Франция | 1,0 | 0,32 |
| Китай | 0,8 | 0,11 |
| Великобритания | 0,42 | 0,08 |
| Япония | 0,31 | 0,03 |

Значение растительных ресурсов в жизни человека состоит в том, что растения создают необходимую среду для жизни людей, служат неиссякаемым источником разнообразных пищевых продуктов, технического и лекарственного сырья, строительных материалов и т.п. Не следует забывать, что именно растения являются первичным звеном в пищевых природных цепях, а, следовательно, являются первичным звеном (продуценты) по отношению к животному миру (консументы).

# ГЛАВА 9. ОСНОВНЫЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА

*Как яблоко на блюде,*
*У нас Земля одна.*
*Не торопитесь, люди,*
*Все выскрести до дна.*
**М. Дудин – российский поэт**

Как изменилось природное окружение человека за последние несколько веков? Перечитайте страницы классиков, посвященных описанию картин природы. В них передается гармоничная взаимосвязь человека и природного окружения. Еще в XIX в. лучшие умы человечества подали свой голос в защиту природы. В 40-х годах XIX в. известный французский писатель Г. Флобер писал: «Если общество и впредь пойдет тем же путем, через две тысячи лет не останется ни травинки, ни дерева; они изведут природу». Флобер оказался неправ только в одном: не две тысячи, а только сто лет спустя человек подошел к той грани, переступать которую крайне опасно.

Ф. Энгельс в своей «Диалектике природы» констатировал: «Все действия всех животных не сумели наложить на природу печать их воли. Это смог сделать только человек».

В своем отзыве на поэму А. М. Горького «Человек» Лев Толстой отмечал: «Человек не может и не смеет переделывать того, что создает жизнь; это бессмысленно – пытаться исправлять природу, бессмысленно».

А вот слова Льва Толстого: «Покорение природы и увеличение производства благ земных для того, чтобы переполнить благами мир так, чтобы всем достало, такое же неразумное действие, как то, чтобы увеличивать количество дров и кидание их в печи для того, чтобы увеличить тепло в доме, в котором печи не закрываются».

Некая эйфория в действии человека появилась в первой половине XX в., когда развитие промышленного производства и покорение природы казались верхом прогресса человеческого общества.

Вот строки поэта Владимира Маяковского, написанные в первой четверти XX века:

«...Мы разносчики новой веры,
красоте задающие железный тон.
Чтоб природами хилыми
не сквернили скверы,
в небеса шарахаем железобетон».

Стиль мышления человека был направлен исключительно на порабощение природы, разрушение природной среды во имя светлого будущего. Что из этого вышло? Плоды прессинга человека пожинает современное поколение, задача которого сохранить то, что еще не затронуто бездумным вмешательством в окружающую среду, оставить потомкам хотя бы частицу свежих рощ, тенистых лесов, чистых вод.

Самуил Маршак в стихотворении «Война с Днепром» писал:

«Где вчера качались лодки –
Заработали лебедки.

Где шумел речной тростник –
Разъезжает паровик.
Где вчера плескались рыбы –
Динамит взрывает глыбы».

Развитие человечества проходило под знаком постоянной войны с природой, с природным окружением. Казалось в лице природы человек обрел постоянного недруга. И все мероприятия, связанные с окультуриванием природной среды называли не иначе как «завоевание» и «борьба».

Вот что писал о завоевании природы русский биолог-селекционер Иван Владимирович Мичурина в 1943 г.: «Не ждать милостей от природы, а брать их у нее, с нещадной эксплуатацией природных ресурсов, а также превалирования технократического мышления, при котором процесс ассоциируется со всевозрастающими количествами извлеченного из недр Земли угля, выплавленной стали, произведенной электроэнергии...».

И вот, похоже, эта война, приближается к концу, к трагической развязке. Что же приобрел человек в результате своих «побед»? Вот уж, поистине эти победы можно назвать пирровыми.

Всего лишь два-три столетия понадобилось «человеку разумному», чтобы привести природу к той грани истощения, на которой находится она сейчас.

Все мелкие кризисы, порожденные деятельностью человека (не только техногенной) и его отношением к окружающей природе, в конце концов привели к всеобъемлющему, глобальному кризису биосферы. При продолжающихся темпах воздействия на окружающую среду в ближайшем будущем можно будет говорить не столько о дигрессии отдельных элементов биосферы, сколько о необратимом процессе - изменении геологически сложившейся ее организованности. Возникнет (или уже возникла) опасность распада очень хрупкой системы жизнеобеспеченности на планете.

Однако, несмотря на кажущуюся первопричину неблагоприятных последствий хозяйственной деятельности человека, многие ученые подчеркивают, что охрану природной среды нужно начинать не с борьбы с антропогенными факторами, а с порождающими их причинами, в первую очередь с социально-экономическими. Влияние ухудшения состояния окружающей среды на жизнь и здоровье людей наблюдается в каждом обществе, а причины и следствия могут быть различными.

Еще совсем недавно казалось, что основная цель человечества - сделать людей богатыми и сытыми. Однако теперь этого уже мало.

Вспомним сказку о золотой антилопе, где жадный правитель был заживо погребен под огромной горой золотых монет. Он стал богатым? - Да! Но он не смог выжить, имея все это богатство. Аналогично в современном человеческом обществе богатства и сытости уже недостаточно для выживания. Нужна также благоприятная среда жизни.

В настоящее время ни одна страна мира не может автономно решить весь спектр экологических проблем, которые сопутствуют человеку в его повседневной жизни. Однако выход из экологического кризиса возможен. Нужно только объединить усилия всех стран для осуществления международного сотрудничества в этом вопросе.

## 9.1. ПОНЯТИЕ И ПРИЧИНЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА

*Грядущий экологический кризис имеет ту же причину, что и кризис неолита: несоответствие системы нравственных начал и организации общества техническим возможностям быстро развивающейся цивилизации.*

**Н. Н.Моисеев – российский математик**

Еще в древнейших писаниях ранних христиан был предсказан конец мира, если брать более приземленно, то это конец цивилизации, а еще более конкретнее – гибель человечества. Это весьма серьезное предупреждение человечеству, потому что окружающий мир будет существовать и без человека, природа в любом ее проявлении сможет прекрасно обойтись без двуногих существ, якобы обладающих разумом, а человек без природной среды существовать не сможет.

Таким образом, тревоги о судьбе нашей планеты обуревали землян еще тысячи лет назад. И только на переломе веков перед цивилизацией встала реальная угроза глобального экологического кризиса.

При этом под термином «экологический кризис» понимается прежде всего груз разнообразных экологических проблем, который навис в настоящее время над человечеством.

Развитие человечества на протяжении всей своей истории сопровождалось экологическими кризисами разного уровня антропогенного происхождения.

Если рассматривать начальные этапы воздействия человека на окружающую его природную среду, то нужно констатировать, что вмешательство в природный цикл был начат человеком с того момента, когда безымянный индивидуум впервые бросил в землю зерно (а может быть это произошло и случайно). Именно с этого момента началась эпоха завоевания человеком нашей планеты.

А что же предшествовало этому, что побудило первобытного человека заняться земледелием, а затем и скотоводством? Прежде всего то, что на заре своего развития люди северного полушария уничтожили почти всех копытных животных, используя их в качестве пищи (один из примеров - мамонты в Сибири). Недостаток пищевых ресурсов привел к тому, что большинство особей тогдашней человеческой популяции вымерло. Это был один из первых природных кризисов, обрушившихся на людей того времени. Следует подчеркнуть, что человек мог не поголовно истребить тех или иных крупных млекопитающих. Резкое снижение численности в результате охоты ведет к расчленению ареала вида на отдельные островки. Судьба малых изолированных популяций плачевна: если вид не в состоянии быстро восстановить целостность ареала, происходит неизбежное вымирание из-за эпизоотий или нехватки особей одного пола при переизбытке другого

Первые кризисы (не только недостаток пищи) заставили наших предков искать пути сохранения численности своей популяции. Все это привело к возникновению земледелия а затем и скотоводства. Так началась эпоха великого противостояния человека и природы. Человек все больше и больше отдалялся вдоль однонаправленного вектора прогресса от

естественного природного цикла, в основе которого лежит замещенность природных частей и безотходность природных процессов.

Со временем противостояние человека оказалось настолько большим, что в настоящее время возврат к естественной природной среде для человека оказался уже невозможным.

Утилитарный подход к окружающей среде без учета потенциальных нужд человечества в будущем поставил человека на грань кризиса, грозящего общемировой экологической катастрофой.

Приведем рассуждения американского эколога Линдсея Гранта - бывшего помощника государственного секретаря США по вопросам окружающей среды и населения, а позднее консультанта Экологического фонда США. Грант предлагает рассмотреть три математических примера.

1. Если мы предположим, что вся масса Земли состоит из нефти, то даже в этом случае нефть будет исчерпана за 342 года при условии стабилизации скорости ее потребления, какой она была до 1973 года.

2. Предположим, что человечество располагает чем-либо, чего хватит на миллион лет. Если мы станем увеличивать размеры потребления этого «чего-либо» всего на 2% в год, то запаса этого гипотетичного вещества хватит всего лишь на 501 год.

3. Если провести расчеты, через сколько лет при существующей тенденции прироста населения на один свободный ото льда квадратный метр земли будет приходится по одному человеку, то ответ будет следующим: через 600 лет.

Следовательно, если человечество не снизит темпы использования ресурсов и не изменит политику народонаселения, то реальная экологическая (мировая, глобальная, всеобщая и иная) катастрофа окажется не такой уж и далекой.

Поэту Василию Федорову принадлежат следующие строки:

«...Земли не вечна благодать:
Когда далекого потомка
Ты пустишь по миру с котомкой,
Ей будет нечего подать».

Во второй половине XX века человечество вынуждено было ввести в обиход новое понятие современной экологии - экологический кризис. Начиная с 50-х годов прошлого столетия все человечество начало ощущать первые симптомы воздействия промышленных выбросов, которые на первый взгляд не грозили серьезными осложнениями. Предполагалось, что это локальные явления, не угрожающие здоровью популяции человека. Однако напряжение взаимоотношений между человечеством и природой, возникшее в природных экосистемах, не только не ослабевало, но и постоянно усиливалось. Описанию таких опасных противостояний человека и природы можно было бы посвятить не один десяток многостраничных томов.

Апофеозом взаимоотношений человека и природы, негативного воздействия на нее стала в 1986 г. самая крупная в истории земли техногенная Чернобыльская катастрофа. В результате этой аварии образовалось больше радиоактивных веществ, чем при бомбардировке Хиросимы и Нагасаки. Долго живущих радионуклидов поступило в биосферу в 66 раз больше, чем в результате взрыва в Хиросиме. Чернобыльская авария

затронула более 7 миллион человек и коснется еще людей – потомков оставшихся в живых вследствии радиоактивного заражения.

Еще одним примером крупнейшей экологической катастрофы является высыхание Аральского моря, вызванное строительством Каракумского канала. Для увеличения водности бассейнов Мургаба, Теджена и ряда других малых рек в канал подавали воды Амударьи (питающей Аральское море). Это способствовало приходу воды в бесплодную пустыню через оросительные системы. Канал обеспечивал потребности в воде городов, промышленности и сельского хозяйства в районе Каракумов до Ашхабада, включая юго-западную и нефтепромысловую зоны Западной Туркмении. Но полезный эффект от орошения не подтвердился, почвы на громадной территории оказались засоленными, вода в многочисленных каналах стала высыхать, и приблизилась катастрофа. Кроме того, вода двух рек - Аму-Дарьи на юге и Сыр-Дарьи на северо-востоке, питающих Арал, постоянно и в больших объемах перекачивалась на орошение хлопковых полей. Монокультура хлопка требовала много воды. Это привело к тому, что с 1960 г. уровень воды в море упал на 13-14 м, а его объем и площадь уменьшились на 66 и 40% соответственно. К 1989 г. поступление в море воды из двух питающих его рек сократилось в 8 раз. Зажатое между двумя пустынями - Кызылкум и Каракум некогда рыбное море само превратилось в соляную пустыню. В настоящее время площадь Аральского моря уменьшилась наполовину, а ветры с его дна носят токсические соли на плодородные земли, расположенные от него на тысячи километров.

Каково же определение экологического кризиса? Согласно теоретику современной экологии Н. Реймерса, ***экологический кризис*** - это ***напряженное состояние взаимоотношений между человечеством и природой, характеризующееся несоответствием развития производительных сил и производственных отношений в человеческом обществе ресурсно-экологическим возможностям биосферы***. Одна из характеристик экологического кризиса - увеличение влияния измененной людьми природы на общественное развитие. В отличие от катастрофы - кризис обратимое состояние, в котором человек выступает активно действующей стороной. Катастрофическое состояние – необратимое.

Более просто экологический кризис можно определить как *нарушение равновесия между природными условиями и воздействием человека на окружающую природную среду.*

Иногда под экологическим кризисом понимается ситуация, возникшая в природных экосистемах под воздействием стихийных естественных явлений (наводнение, извержение вулканов, засуха, ураган и др.) или в результате антропогенных факторов (загрязнение окружающей среды, вырубка лесов).

Использование термина «экологический кризис» для обозначения экологических проблем учитывает тот факт, что человек как природное существо является прежде всего частью экосистемы, которая видоизменяется в результате его деятельности (прежде всего производственной). Природные и общественные явления представляют собой единое целое и их взаимодействие проявляется в разрушении экосистемы. Экологический кризис представляет собой нарушение равновесия между природными условиями и влиянием человека на окружающую природную среду.

Сейчас уже очевидно для всех, что экологический кризис - понятие общеглобальное и общечеловеческое, касающееся каждого из населяющих Землю людей.

Что конкретно может указывать на приближающуюся катастрофу?

Вот лишь неполный список негативных явлений, указывающих на общее неблагополучие:

- глобальное потепление, парниковый эффект, сдвиг климатических зон;
- озоновые дыры, разрушение озонового экрана;
- глобальное загрязнение окружающей среды;
- водная и ветровая эрозия и сокращение площадей плодородных почв;
- вырубка лесов и сокращение биологического разнообразия;
- демографический взрыв, урбанизация;
- истощение невозобновляемых минеральных ресурсов;
- энергетический кризис;
- резкий рост числа ранее неизвестных и зачастую неизлечимых болезней;
- недостаток продуктов питания, перманентное состояние голода большей части населения планеты;
- истощение ресурсов мирового океана и его загрязнение.

Общая экономическая нагрузка на экологические системы упрощенно зависят от трех факторов: численности населения, среднего уровня потребления и широкого применения различных технологий. Уменьшить степень ущерба, наносимого окружающей среде обществом потребителей, можно изменив сельскохозяйственные модели, транспортные системы, методы городского планирования, интенсивность потребления энергоресурсов, пересмотрев существующие промышленные технологии и т.п. Однако при изменении технологий может быть снижен и уровень материальных запросов. И это постепенно происходит из-за удорожания жизни, что напрямую связано с экологическими проблемами. Так, огромные монстры из мира автомобилей, оснащенные моторами в несколько сот лошадиных сил, были вынуждены уступить дорогу малолитражным экономичным машинам с малым расходом горючего и удобными для маневрирования формами.

*Отдельно следует отметить те кризисные явления, происходящие в результате участившихся в последнее время на планете локальных военных действий. Примером экологической катастрофы, вызванной воинским конфликтом, являются события, которые происходили на территории Кувейта и близлежащих территорий Персидского залива после операции «Буря в пустыни» в начале 1991 г. Отступая из Кувейта, иракские оккупанты подорвали взрывчаткой свыше 500 нефтяных буровых скважин. Значительная их часть вспыхнула и горела на протяжении шести месяцев, отравляя вредными газами и сажей большую территорию. Из буровых скважин, которые не воспламенились, нефть била фонтанами, образовывая большие озера и стекала в Персидский залив. Сюда же вылилось большое количество нефти из подорванных терминалов и танкеров. В результате нефтью было покрыто близко 1554 км$^2$ поверхности моря, 450 км береговой полосы, где погибло большинство птиц, морских черепах, дюгоней и других животных. В огневых факелах ежесуточно сгорало 7,3 млн л нефти, которая равняется объему нефти, которая ежедневно импортирует США. Тучи сажи от пожаров поднимались на высоту до 3 км и разносились ветрами далеко за границы Кувейта — черные дожди выпадали в Саудовской Аравии и Иране, черный снег — в Кашмире (за 2 000 км от Кувейта). Загрязненное нефтяной сажей воздуха вредно влияло на здоровье людей, так как сажа содержала много канцерогенов. Эксперты установили, что эта катастрофа сопровождалась такими явлениями:*

*1. Тепловое загрязнение (86 млн квт ежесуточно). Такое же количество тепла выделяется вследствие лесного пожара на площади 200 га.*

*2. Сажа от горящей нефти — 12 000 т ежесуточно.*

*3. Углекислый газ— 1,9 млн т ежесуточно (это составляет 2% всего $CO_2$, что выделяется в атмосферу Земли вследствие сжигания минерального топлива всеми странами мира).*

*4. Выбросами в атмосферу $SO_2$ - 20 000 т ежесуточно (что составляет 57 % количества $SO_2$, которая ежесуточно поступает из топок всех ТЭЦ США).*

Суть экологической угрозы состоит в том, что растущее давление антропогенных факторов на биосферу может привести к полному разрыву естественных циклов воспроизводства биологических ресурсов, самоочищения почвы, вод, атмосферы. Это порождает резкое и стремительное ухудшение экологической обстановки, что может повлечь за собой скоротечную гибель населения планеты. О грядущих деструктивных процессах говорят уже достаточно давно: о нарастании «парникового эффекта», расползании озоновых дыр, выпадении все большего количества кислотных осадков.

Перечисленные отрицательные тенденции в развитии биосферы все больше и больше приобретают глобальный характер и представляют в настоящее время особую угрозу для будущего человечества.

В XXI в. возникло совершенно новое состояние взаимоотношений природы и общества, одним из самых существенных свойств которого является взаимодействие экологических проблем. Так, например, сжигание огромного количества топлива, вырубка лесов, загрязнение нефтепродуктами и пестицидами океана, ведущее к гибели в нем растительности – основного источника кислорода, привело к катастрофическим последствиям. В результате редуцирующая деятельность человека превзошла продуцирующую деятельность биосферы. Человек разрушает мир, разрушая природное окружение, что и является основной причиной экологического кризиса, так как природа есть порождающее человека начало, и разрушение ее подрывает основу существования общества.

## 9.2. ДЕМОГРАФИЧЕСКИЙ ВЗРЫВ И ПРОБЛЕМА ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ПЛАНЕТЫ

*Через пятьсот лет на Земле*
*останутся только стоячие места.*
**Вернер фон Браун - американский**
**конструктор ракетно-космической техники**

Любой вид живых существ теоретически может размножиться безгранично. В реальной жизни этого не происходит, а всплески численности отдельных популяций случаются достаточно редко. Это объясняется тем, что численность любого вида сдерживается ограниченностью необходимых для его жизнедеятельности ресурсов и прежде всего пищи. Взаимодействия хищник-жертва в какой-то мере контролируют относительно постоянное особей разных видов в природе.

Ни один представитель живого не получал ранее решающего преимущества в сообществах. Слишком интенсивное размножение отдельных видов, происходящее время

от времени (саранча, лемминги, вирусы), приводило лишь к локальным катаклизмам, но не могло сказаться на состоянии биосферы в целом. Сейчас ситуация в корне изменилась.

Один из представителей живого мира - человек - стал исключением из правила. Этот вид размножился необычайно. Это единственный вид на планете, который размножается бесконтрольно.

Современный этап развития человечества характеризуется ускоренным ростом народонаселения. Ежедневно население мира растет на 250 тысяч человек.

Десять тысяч лет назад на Земле было около 10 млн людей, к началу нашей эры их стало 200 млн, к 1650 г - 500 млн к XIX в. - 1 млрд, в 1900 г. численность населения составила 1 млрд 660 млн. В 1950 г., несмотря на потери в двух мировых войнах, численность населения возросла до 2,5 млрд, а затем стала ежегодно увеличиваться на 70-100 млн человек (рис. 9.1).

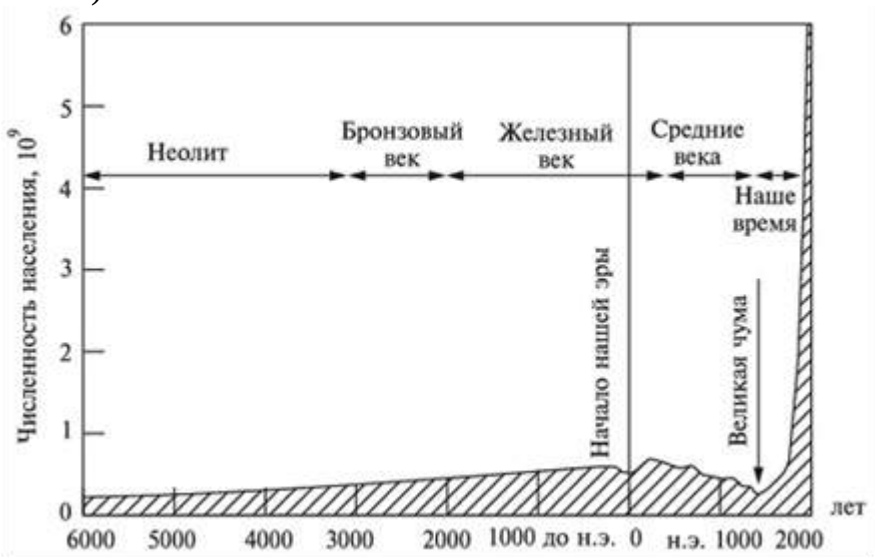



Рис. 9.1. Рост численности населения Земного шара

В 1993 г. численность населения достигла 5,5 млрд человек, т.е. удвоилась по сравнению с 1950 годом. 12 октября 1999 года в 0 часов 02 минуты в одном из родильных домов Сараево родился мальчик, ставший 6-миллиардным жителем планеты. 31 октября 2011 года на свет появился 7-миллиардный землянин. Как видим, за почти 19 веков (1900 лет) население Земли доросло до 1 млрд, а только за один XX век (100 лет) добавилось еще 5 млрд. Таковы темпы роста населения Земного шара.

Если динамика роста численности не изменится, то рубеж в 8 миллиардов человек будет преодолён примерно в 2024 году. Прогнозируется, что к 2030 году в мире будет на миллиард человек больше, к 2042 году вырастет до 9 млрд, к 2050 году - до 9,7 млрд, а к концу столетия на планете будут проживать 11 миллиардов человек.

На 1 апреля 2020 года численность землян достигла цифры 7 миллиардов 786 миллионов 800 тысяч человек и она увеличивается на 2% в год. В табл. 9.1. представлена численность наиболее населенных стран Земного шара.

Таблица 9.1. Страны с численностью населения свыше 80 млн чел. (по состоянию на 2016 год)

| № | Страна | Население |
|---|---|---|
| 1 | Китай | 1 395 602 389 |
| 2 | Индия | 1 359 204 088 |
| 3 | США | 330 936 453 |
| 4 | Индонезия | 270 122 854 |
| 5 | Бразилия | 215 038 337 |
| 6 | Пакистан | 204 177 001 |
| 7 | Нигерия | 201 002 595 |
| 8 | Бангладеш | 168 310 241 |
| 9 | Россия | 146 523 559 |
| 10 | Мексика | 133 659 800 |
| 11 | Япония | 126 053 706 |
| 12 | Эфиопия | 109 110 128 |
| 13 | Филиппины | 106 767 239 |
| 14 | Египет | 99 192 857 |
| 15 | Вьетнам | 97 413 943 |
| 16 | Демократическая Республика Конго | 86 778 712 |
| 17 | Иран | 82 919 521 |
| 18 | Германия | 81 413 869 |
| | ИТОГО | 5 297 006 004 |
| | Всего население Земли на 2016 год | 7 700 000 000 |

Для описания темпов роста популяции человека употребляется экспоненциальная модель. Кривая, отображающая данную модель, называется *экспонентой* (рис. 9.2). Экспоненциальный рост характеризуется неоднократным удвоением численности, происходящим через одинаковые промежутки времени.

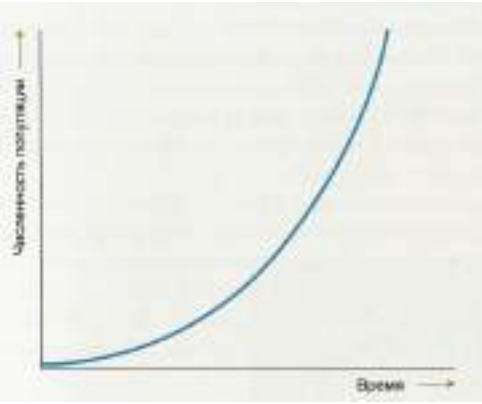



Рис. 9.2. При экспоненциальном росте скорость увеличения численности популяции повышается до бесконечности

Чтобы лучше понять, что такое экспоненциальный рост, представьте себе популяцию, состоящую изначально из одной бактерии. Через определенное время (через несколько

часов или минут) бактерия делится надвое, тем самым удваивая размер популяции. Через следующий промежуток времени каждая из этих двух бактерий снова разделится надвое, и размер популяции вновь удвоится - теперь будет уже четыре бактерии. После десяти таких удвоений будет уже более тысячи бактерий, после двадцати - более миллиона, и так далее. Если с каждым делением популяция будет удваиваться, ее рост будет продолжаться до бесконечности.

Единственное необходимое и достаточное условие такого роста - это постоянство коэффициента естественного прироста, определяющего для размножающихся организмов скорость их размножения. Так, например, проводя серию наблюдений за ростом популяции каких-либо одноклеточных организмов в разных температурных условиях, нетрудно заметить, что с уменьшением температуры скорость деления клеток падает, но экспоненциальный характер роста сохраняется.

Некоторые ученые (в частности, проф. А.П. Капица) считают что модель роста человечества не экспоненциальная, а гиперболическая, т.е. описывается гиперболой. Что такое гиперболический рост? Это рост с гораздо большим ускорением, чем обычный экспоненциальный. Если мы представим себе, что в аквариуме размножаются какие-то простейшие микроорганизмы вроде амеб и каждую минута каждая амеба делится пополам, то, соответственно, раз в минуту общее число этих организмов будет удваиваться. Это - пример экспоненциального роста. Гиперболический же рост отличается тем, что его ускорение по сравнению с экспоненциальным еще выше. Здесь мы имеем дело не просто с размножением в геометрической прогрессии, но и с дополнительным ускорением. Такое могло бы произойти, если бы в «сообществе» амеб действовали какие-то специфические положительные обратные связи.

Следует отметить, что гиперболическая зависимость отлично описывает рост человечества в прошлом. По мере увеличения населения. ускорение роста его численности лучше объясняет экспоненциальная кривая.

Рост населения Земли в середине XX в. приобрел стремительные темпы и получил название «демографического взрыва». ***Демографический взрыв*** (от др.-греч. «демос», «δῆμος» – народ) – резкое увеличение скорости роста народонаселения Земли, вызванное преобладанием рождаемости над смертностью, и связанное с изменением социально-экономических или общеэкологических условий жизни. Пик рождаемости, до сих пор не превзойденный, приходится на *1960-80-ые годы*, когда в течение 27 лет население планеты увеличилось на 2 млрд человек.

На современную возрастную структуру населения Земли большое влияние оказывают новейшие достижения науки и медицины. Побеждены многие болезни, уносившие в прошлом тысячи и миллионы жизней: малярия, оспа, чума, холера, полиомиелит и другие, снизилась детская смертность. Достижения в медицине и фармацевтике, улучшение гигиенических и социальных условий постепенно способствовали ликвидации инфекций, сопровождавших человека с младенчества (в середине XVIII в. на первом году жизни умирало 250 из 300 детей, сейчас - только 5).

Наблюдающийся в наше время рост числа сердечно-сосудистых и раковых заболеваний (от инфаркта миокарда умирает до полумиллиона человек в год) специалисты

связывают с возможностью большинства людей современности дожить до возраста, когда эти заболевания преимущественно проявляются.

Ученые называют целый комплекс процессов и причин, приводящих в итоге к резкому повышению рождаемости. Прежде всего, это снижение смертности среди населения, вызванное распространением гигиены, развитием сферы здравоохранения и социальной политики, улучшением материальных условий жизни. К наиболее существенным причинам демографического взрыва можно отнести следующие:

- улучшение питания, связанное с прогрессом в аграрных технологиях (достижения в сфере «зеленой революции» - активное выведение более продуктивных сортов растений и их внедрение в производство, расширение орошения, применение удобрений, пестицидов, современной техники);
- индивидуальная гигиена;
- распространение медицинской помощи (вакцинация, создание нового класса эффективных лекарств, в частности, антибиотиков);
- распространение всеобщего образования.

Ежегодно в мире рождается около 140 млн. человек, ежедневно - 250 тысяч; каждую секунду на свет появляется 21 и умирают 19 человек. Таким образом, население Земли *увеличивается на 2 человека в секунду*. В наше время удвоение числа людей на планете происходит за 35 лет, а производство пищи растет на 2,3% в год и удваивается за 30 лет.

Человеческие поселения есть почти во всех уголках планеты, хотя в некоторых регионах, таких как Антарктика, отсутствуют условия для постоянного проживания. В других суровых районах живут только небольшие группы людей, ведущие особый образ жизни. Из-за большого количества на Земле таких районов большинство мирового населения сосредоточено на относительно небольшой территории. В начале 1990-х годов почти половина из 5,4 млрд населения планеты занимала только 5% ее площади. И наоборот, на половине площади Земли проживало только 5% ее населения. Около 30% населения мира сосредоточено в Южной и Юго-Восточной Азии, включая Индию, Индонезию и Пакистан, 25% - в Восточной Азии, включая Китай и Японию. Основные очаги находятся также на востоке Северной Америки и в Европе.

Жители преимущественно сельскохозяйственных стран распределены более равномерно. В Индии, где 73% населения проживает в сельской местности, его средняя плотность в 1990 году составила 270 человек на 1 км$^2$. Но и здесь наблюдаются значительные колебания. Например, плотность населения в средней части Гангской равнины в три раза выше, чем в среднем по стране.

В Африке и Южной Америке средняя плотность населения по странам значительно ниже. Наиболее густонаселенная страна Африки - Нигерия (130 человек на 1 км$^2$.). Среди южноамериканских стран только в Эквадоре этот показатель превышает 30 человек на 1 км$^2$. Значительные территории Земли до сих пор остаются почти незаселенными. В Австралии на 1 км$^2$ приходится 2,2 человека, а в Монголии - только 1,4.

Очень большим скоплением городов отличаются Северная Америка и Европа. Высокий жизненный уровень городского населения этих регионов сильно контрастирует с условиями жизни в Азии (исключая Японию), где преобладают сельские жители, занимающиеся землепашеством и скотоводством. Меньшие ареалы сосредоточения

населения расположены в Юго-Восточной Австралии, на юго-востоке Южной Америки, на западном побережье Северной Америки и в некоторых частях североамериканского Среднего Запада.

В указанных районах плотность населения также весьма неравномерна. В некоторых небольших государствах она чрезвычайно высока. Площадь Гонконга, например, всего лишь 1045 км$^2$, а плотность населения - около 5600 человек на 1 км$^2$. Среди более крупных государств наибольшая скученность была зарегистрирована в 1991 г. в Бангладеш (около 800 человек на 1 км$^2$). Как правило, наибольшая плотность населения наблюдается все-таки в промышленно развитых странах. Так, в Нидерландах в 1990 году она составила 440 человек на 1 км$^2$. Не так уж отстает и наиболее развитая страна Азии - Япония (330 человек на 1 км$^2$).

Следует отметить, что проблема народонаселения не связана напрямую с количеством жителей на нашей планете. Земля может прокормить большее число людей. Проблема заключается в неравномерном распределении людей по поверхности планеты, и возникающие поэтому различного рода социальные несправедливости в распределении продовольствия, доходов и средств к жизни.

Несмотря на кажущееся огромное количество землян на планете в настоящее время, гипотетически все это количество людей можно разместить на площади около 8 000 км$^2$, если на каждого жителя для размещения выделить площадь в 1 м$^2$. Эта площадь соответствует площади острова Крит, либо равна примерно трем площадям такого государства как Люксембург. Вся же остальная территория Земного шара была бы свободной от человеческих особей.

Анализ современной ситуации распределения населения на Земном шаре позволил выявить несколько закономерностей.

1. Прирост населения распределен чрезвычайно неравномерно. Он максимален в развивающихся странах и минимален в развитых странах Европы и Америки (рис. 9.3). К 2027 году перегонит Китай по увеличению численности населения. Кроме Индии прирост населения прогнозируется в Нигерии, Пакистане, Демократической Республике Конго, Эфиопии, Танзании, Индонезии, Египте и США.

Рис. 9.3. Рост численности населения в экономически развитых и развивающихся странах

2. Быстрый прирост населения нарушает его возрастное соотношение: увеличивается процент нетрудоспособного населения - детей, подростков и пенсионеров. Доля детей до 15 лет в большинстве развивающихся стран увеличивается до 50%, а доля пожилых людей старше 65 лет возрастает с 10 до 15 %. Мировой рекорд по числу пожилых людей принадлежит Италии - 60-летних здесь больше 24 % населения (табл. 9.2). Для сравнения в Нигере 3,3%, Уганде - 3.8, Сомали - 3,9 %.

Таблица 9.2. Доля населения старше 60 лет в 2000 и 2050 годах по прогнозу ООН, %

| Страна | 2000 | 2050 |
|---|---|---|
| Италия | 24,1 | 42,3 |
| Греция | 23,4 | 40,7 |
| Германия | 23,2 | 38,1 |
| Швеция | 22,4 | 37.7 |
| Бельгия | 22,1 | 35,5 |
| Испания | 21,8 | 44,1 |
| Болгария | 21,7 | 38,6 |
| Швейцария | 21,3 | 38,9 |
| Латвия | 20,9 | 37,5 |
| Португалия | 20,8 | 35,7 |

3. Возрастает плотность населения. Ускоренный процесс урбанизации концентрирует население в крупных городах. В 1900 г. в городах проживало немногим более около 1,5 млрд человек. В 2009 году впервые за всю историю человечества численность городского населения сравнялась с численностью сельского, составив 3,4 млрд человек. В 2011 году число городских жителей достигло 3,6 млрд – больше половины жителей Земли. Прогнозируется, что к 2030 году число горожан вырастет до 4 млрд человек.

## 9.3. АТМОСФЕРА. ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

*Возьмите глобус и покройте его слоем лака – этот слой по толщине окажется почти таким же, как слой земной атмосферы в сравнении с толщей Земли.*

**Карл Саган – американский астроном и астрофизик**

Наружная газовая оболочка, окутывающая Землю, называется атмосферой. Основные составляющие ее газы - азот и кислород. Из числа так называемых малых газов наиболее важны озон и углекислый газ. Современный газовый состав атмосферы находится в динамическом равновесии, которое поддерживается совместной деятельностью автотрофных и гетеротрофных организмов и различными глобальными геохимическими явлениями.

Обычно атмосферу делят на три части. Нижняя часть – тропосфера (8-10 км над полярными широтами и 16-18 км над экватором). Данный атмосферный слой содержит

примерно 90 % массы воздуха, а также основное количество атмосферных примесей. Здесь находится почти весь водяной пар, который образует облака. Следующий слой - стратосфера. Он распространен примерно до высоты 60 км. В этом слое находится особая прослойка с повышенной концентрацией озона - озоновый слой. И выше стратосферы располагается ионосфера, где воздух находится в ионизированном состоянии. Он имеет протяженность в сотни километров.

В некоторых справочных изданиях можно встретить деление атмосферы на пять слоев. Первый слой до высоты 20- 25 км состоит из смеси молекулярных азота и кислорода, причем процентное содержание последнего убывает с высотой. Второй слой (25-30 км) - озоновый, содержащий трехатомный кислород. Затем до высоты 85 км атмосфера состоит из молекулярных азота и кислорода с примесью их ионизированных молекул. Следующий слой до высоты 200-800 км - это почти полностью ионизированные атомы и молекулы азота и кислорода. И последний слой от 800 до 2000-3000 км - это ионизированные атомы водорода и гелия.

Слой воздуха высотой 50-100 м называют приземным. Здесь наиболее резко изменяются метеорологические факторы. В последнее время к наиболее актуальным экологическим проблемам относят загрязнение атмосферы вредными химическими веществами и разрушение озонового слоя. Однако некоторые ученые справедливо полагают, что человечество столкнулось еще с одним негативным явлением, таким, как загрязнение приземного слоя атмосферы и почвы избытком $CO_2$. А то, что процентное отношение количества $CO_2$ в атмосфере увеличивается (главным образом из-за негативного антропогенного воздействия - чрезмерного сжигания органического топлива) - уже установленный факт.

Углекислый газ обладает большей плотностью, чем кислород или азот. Поэтому слой $CO_2$ плотно покрывает водный и почвенный покров Земли. Сам по себе углекислый газ является опасным компонентом атмосферы для всего живого. Зарегистрированное увеличение концентрации $CO_2$ у поверхности Земли является причиной возникновения в одних местах сильнейших засух, а в других - опасных наводнений.

Схематично механизм иссушения почвы можно представить себе следующим образом. Припочвенный слой $CO_2$ (до 100-110 см) нагревается более интенсивно от излучения Солнца, поскольку плотность этого газа почти в полтора раза выше плотности чистого атмосферного воздуха. Его температура обычно градуса на полтора выше средней температуры воздуха, что способствует интенсификации испарения из почвы влаги, пары которой проходят через данный слой с потоком теплого воздуха. Все это приводит к иссушению почвы и возникновению так называемого «эффекта пустыни». Такой эффект наблюдался летом 1988 г. в США, когда жестокая засуха поразила огромную часть бассейна реки Миссисипи и ее притоков, заключенных между горными массивами Кордильер и Аппалачей. Компенсацией таких засух является чрезмерное увеличение осадков в других регионах.

Увеличение содержания $CO_2$ в приземном слое атмосферы может привести не только к массовому уничтожению всего живого в почвенном покрове и ухудшению его плодородия.

Проблема загрязнения атмосферного воздуха – одна из серьезнейших глобальных проблем, с которыми столкнулось человечество. Опасность загрязнения атмосферы – не только в том, что в чистый воздух попадают вредные вещества, губительные для живых организмов, но и в вызываемом загрязнениями изменении климата Земли.

Основной причиной загрязнения воздуха является попадание в него нехарактерных физических, химических и биологических веществ, а также изменение их естественной концентрации.

Это происходит в результате как природных процессов, так вследствие деятельности человека. Причем именно человек играет все большую роль в загрязнении атмосферы. Причиной большой части химических и физических загрязнений является сжигание углеводородного топлива при производстве электрической энергии и при работе двигателей транспортных средств.

В декабре 1952 г. одна из самых тяжелых катастроф обрушивается на пуританскую Англию. Во время антициклона, принёсшего холодную и безветренную погоду, загрязняющие вещества - в основном уголь - собрались над городом, образовав толстый слой удушающего воздуха, в погибло около 12 000 человек и пострадало более 100 тысяч. Эта катастрофа близка к эпидемии холеры 1866 г., когда умерло около 5 тыс. человек. Только на этот раз в роли холерной бациллы выступили промышленные дымы и сернистый газ.

Этот случай отравления связан с явлением, получившим название «смог» (от англ. «smoke» - дым, копоть, «fog» - туман) - чрезмерное загрязнение воздуха вредными веществами, выделенными в результате работы промышленных производств, транспортом и теплопроизводящими установками при определённых погодных условиях. Такое соединение пылевых частиц от выбросов промышленных предприятий с каплями тумана приводит к массовой гибели людей. Смог является большой проблемой во многих мегаполисах мира. Он вызывает одышку, удушье, кашель, приступы бронхиальной астмы, различные аллергические реакции, раздражение глаз. Основные случаи появления смога часто связаны с интенсивным движением автотранспорта, высокой температурой воздуха, солнечным светом и безветренной погодой.

Кроме прочих вредных веществ и газов, в смоге содержится оксид углерода, знакомый нам как угарный газ. Он не заметен для нас, поскольку не имеет ни запаха, ни цвета, но его удушающее воздействие может значительно повлиять на здоровье и даже привести к гибели.

Все источники загрязнения атмосферы условно можно разделить на две большие группы. Естественные или природные загрязнители не столь сильно влияют на качественные изменения воздуха, как более опасные искусственные или антропогенные загрязнители. К ним можно отнести различные проявления жизнедеятельности на нашей планете - извержения вулканов, лесные и степные пожары, насыщенные солями морские брызги и туманы, поднимающаяся в воздух эродированная пыль из-за неправильного обращения с почвенным покровом, растительная пыльца, выделения животных и, наконец, космическая пыль. Со всеми этими загрязнителями биосфера как саморегулирующаяся система благополучно справляется.

Гораздо более опасны искусственные загрязнители - промышленные, транспортные и бытовые выбросы. Условно их можно разделить на несколько групп.

1. *Биологические* - загрязнителями являются организмы, привнесение и размножение которых несёт нежелательный характер как для человека, так и для экосистем в целом. Проникновение может идти естественным путём, а в некоторых случаях является следствием деятельности человека. В качестве составной части выделяют микробиологическое загрязнение.
2. *Механические* - различные выбросы промышленных предприятий (цементные заводы), дым от сгорания угля в котельных, топках и печах, сажа от сгорания нефти, истирающаяся резина автопокрышек и т.п. В результате происходит загрязнение химически и физически инертным мусором среды, которое, как правило, приводит к ухудшению её качеств и оказывает влияние на обитающих в ней организмов. В реальности механическое загрязнение идёт в совокупности с физико-химическим воздействием.
3. *Физические* - загрязнители приводят к изменению физических параметров среды, среди которых температурно-энергетический (тепловое загрязнение), волновой (световое, шумовое, электромагнитное загрязнения), радиационный (радиоактивное загрязнение) и некоторые другие.
4. *Химические* - загрязнители приводят к изменению естественных химических свойств среды, выражаемое в повышении их концентрации, либо к проникновению веществ, которые отсутствовали в среде раньше (пылевидные или газообразные вещества, способные вступать в химические реакции). Примером химического загрязнения является аэрозольное.
5. *Радиоактивные* загрязнители - опасные выбросы радионуклидов в результате аварий на атомных электростанциях, атомных военных объектах, радиоактивное загрязнение от оружия массового поражения и от отходов ядерного производства.

Основным источником загрязнения атмосферы является промышленность и прежде всего тепловые электростанции и топки промышленных предприятий. При неполном сгорании топлива на этих предприятиях в атмосферу выделяются механические загрязнители - несгоревшие частицы, зола, хлопья сажи и т.п. Угольная электростанция мощностью 700 МВт, работающая при полной или средней нагрузке и потребляющая в год около 1 млн т угля с содержанием серы 1%, за 1 ч работы на полной мощности выбрасывает в воздух: 500 т диоксида углерода; 0,15 т оксида углерода; 7,0 т диоксида серы; 1,7 т оксидов азота; 0,05 т углеводородов и 0,7 т пыли.

Значительную лепту в общий баланс механических загрязнителей вносят и цементные заводы. Цементная пыль способна превратить зеленый оазис в безжизненно-серый пустырь, кроме того, она значительно влияет на здоровье и самочувствие человека.

До недавнего времени существовала проблема загрязнения атмосферы резиновой пылью от истирающихся автопокрышек колес автомобилей. Несмотря на усовершенствование технологий производства автопокрышек эта проблема пока еще остается насущной. Достаточно сказать, что каждый автомобиль в год выделяет примерно 10 кг резиновой пыли.

В последнее время благодаря разработке и внедрению эффективных фильтров для промышленных предприятий количество поступающих в атмосферу механических частиц снизилось. Первенство перешло к химическим загрязнителям. Прежде всего это сернистый газ, выделяющийся при сжигании угля, сланцев, нефти и ее производных. Помимо того, металлургические заводы выбрасывают в воздух оксиды углерода, железа, меди и других металлов. Быстро развивающаяся химическая промышленность занимает особое место среди источников загрязнения атмосферы. Выброс широкого спектра газов, содержащих токсические вещества, приводит к опасному уровню загрязнения в районах действия химических предприятий.

Весьма опасным для окружающей среды и для здоровья человека является такой токсикант, как свинец. Еще древние греки и римляне знали, что рабы на свинцовых рудниках подвержены отравлению свинцовой пылью. Коварство отравления свинцом связано с тем, что при многолетнем поступлении в организм даже ничтожных количеств металла развивается тяжелое заболевание, поначалу никак себя не обнаруживающее. Даже если человек получает ежедневно всего 1 мг свинца, у него через определенное время начинаются запоры, появляются боли в области сердца.

Интересно утверждение американского историка медицины Сибюри Гилфиллана о том, что массовое отравление населения свинцом привело к крушению Римскую империю. Такое утверждение может вызвать усмешку, однако не следует торопиться. Дело в том, что в империи было принято подслащивать вино так называемой сапой - сильно уваренным в котлах виноградным соком. И с этой вот сапой представители высшего света древнеримского общества на своих пиршествах ежедневно получали намного более 1 мг свинца в день. В дальнейшем привычка подслащивать сапой вино перекочевала и в Германию. В итоге в конце XVII в. в стране разразились многочисленные эпидемии кишечных колик, которые были напрямую связаны со свинцовым отравлением. В Вюртемберге в 1696 г. был даже принят закон, по которому каждому, кто подслащивал вино «свинцовым сиропом», грозила смертная казнь.

До недавнего времени наиболее опасными источниками загрязнения свинцом были двигатели автомобилей. Переход на бессвинцовый бензин несколько улучшил ситуацию. В некоторых случаях отмечено уменьшение концентрации этого металла на 65 %. Тем не менее свинец, содержащийся в выхлопных газах автомобилей, может пагубно отражаться на жизнедеятельности человека и на содержании свинца в почве близ оживленных автострад. Именно поэтому не рекомендуется собирать и использовать растения и их плоды вблизи автодорог.

Наиболее опасным загрязнением атмосферы все же следует признать радиоактивное заражение. В настоящее время атомные электростанции действуют во многих странах мира (на 1 января 2016 года во всём мире работало 398 реакторов). В каждом 1000-мегаваттном реакторе содержится столько же радиоактивного материала, сколько бы выпало после взрыва 1000 бомб мощностью с хиросимскую. Каждый реактор ежегодно производит тонны радиоактивных отходов, некоторые из них остаются опасными в течение более чем 500 тыс. лет. До сих пор не найдено безопасных методов ликвидации и хранения этих веществ.

Кроме производства энергии, во многих «коммерческих» атомных реакторах ежегодно вырабатывается около 180-220 кг плутония, являющегося сырьем для

производства атомных бомб (5 кг плутония достаточно для производства одной атомной бомбы). Плутоний - самое смертоносное из всех известных веществ; 0,000001 г плутония (невидимая глазу частица) при вдыхании внутрь может вызвать рак, 0,001 г - вызывает фиброз легкого и смерть через несколько лет. Если равномерно распределить 1 фунт (450 г) плутония по дыхательному тракту всех людей на Земле, он теоретически может вызвать рак легких у каждого жителя.

В пищевой цепи плутоний в больших количествах содержится в рыбе, птице, яйцах и молоке. Он обладает хорошей растворимостью, особенно в хлорированной воде. Частички плутония могут откладываться в мужских и женских половых железах последующих поколений человека, вызывая множественные генетические повреждения на протяжении до 500 тыс. лет, а поврежденные гены будут передаваться от поколения к поколению. Изотоп плутоний-241 имеет другое «убийственное» свойство. Он порождает америций - побочный продукт с периодом полураспада 460 лет. Америций из-за более высокой растворимости еще опаснее, так как с большей легкостью включается в пищевую цепь.

Из всех живых существ, населяющих Землю, человек является наиболее восприимчивым к канцерогенному воздействию радиации. Кроме провокации рака, радиация также вызывает генетические мутации - резкое изменение наследственных признаков организма. Причем воздействует она на все живые организмы. Основные источники радиационного воздействия на человека - производство атомной энергии и ядерного оружия. Они ведут к образованию сотен радиоактивных элементов, которые, внедряясь в пищевые цепи, циркулируют в почвах, реках, озерах, океанах. Величина выбросов различных веществ в отдельных странах различна. Общемировой уровень загрязнения атмосферы в настоящее время точно установить невозможно из-за широкой изменчивости показателей в зависимости от места, времени, характера загрязнения и иных переменных величин.

На территории Республики Беларусь основными источниками загрязнения воздушного бассейна являются предприятия теплоэнергетики, химической и нефтехимической отраслей промышленности. Основные загрязнители атмосферного воздуха в Республике Беларусь - автотранспорт, объекты энергетики и промышленные предприятия.

В 1995 г. ими было выброшено в атмосферу 2200,6 тыс. т токсических веществ. В составе выбросов преобладали: оксид углерода (56,9 %); диоксид серы (14,3 %); углеводороды (13,8 %); оксиды азота (8,9 %); твердые частицы (4,2 %). Среди крупных центров республики наибольший объем выбросов в 1995 г. приходился на Минск - 295 тыс. т. Наибольший объем загрязняющих веществ приходился на Витебскую область (432,7 тыс. т), наименьший - на Гродненскую (258 тыс. т). Следует отметить, что в настоящее время наблюдается тенденция к снижению объемов выбросов от стационарных источников и небольшому увеличению их от передвижных источников (главным образом за счет бензина и дизельного топлива).

## 9.4. ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ И ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

Еще в 1827 году французский физик Жозеф Фурье предположил, что атмосфера земли выполняет функцию своего рода стекла в теплице: воздух пропускает солнечное тепло, не давая ему при этом испариться обратно в космос. Этот эффект достигается благодаря некоторым атмосферным газам второстепенного значения, каковыми являются, например, водяные испарения и углекислый газ. Они пропускают видимый и «ближний» инфракрасный свет, излучаемый солнцем, но поглощают «далекое» инфракрасное излучение, имеющее более низкую частоту и образующееся при нагревании земной поверхности солнечными лучами. Если бы этого не происходило, Земля была бы примерно на 30 градусов холоднее, чем сейчас, и жизнь бы на ней практически замерла. Исследования последних лет подтвердили, что парниковые газы временно удерживают тепло в нашей атмосфере, благодаря чему создается так называемый парниковый эффект (рис. 9.4).

Следует отметить, что данный термин не совсем правилен. Стеклянный парник и «парник» атмосферы, оба представляют собой барьеры, блокирующие утечку тепла и тем самым повышающие температуру перед барьером. Однако, физические механизмы различны. Стекло парника действительно пропускает солнечный свет и задерживает инфракрасное излучение, но процесс этот происходит только благодаря рассеиванию тепла посредством конвекции, атмосферный же «парник» блокирует главным образом тепловое излучение. Однако термин «парниковый эффект» понятен каждому, и он прижился в научной терминологии.

Рис. 9.4. Парниковый эффект: а - парник нагревается на солнце (световая энергия проникает внутрь через стекло, поглощается и превращается в тепловую, т.е. в инфракрасное излучение, не проходящее через стекло). Таким образом теплота улавливается, температура поднимается: б -

аналогично нагревается атмосфера Земли: световая энергия сквозь нее проникает, а инфракрасное излучение поглощается парниковыми газами. Чем выше концентрация этих газов, тем сильнее нагревается атмосфера

Что такое парниковый эффект или глобальное потепление? Его можно определить как ***долгосрочное постепенное повышение средней температуры на планете Земля в результате накопления в атмосфере антропогенных газов***. Основной причиной является человеческая деятельность (антропогенный фактор).

Средняя температура Земли в настоящее время составляет 14,53 °С (по состоянию на 2010 год) (рис. 9.5). При данной температуре поверхность планеты и атмосфера находятся в тепловом равновесии. Нагреваясь энергией Солнца и инфракрасным излучением атмосферы, поверхность Земли возвращает в атмосферу в среднем эквивалентное количество энергии. Это энергия испарения, конвекции, теплопроводности и инфракрасного излучения.

История цивилизации тесно связана со сжиганием топлива, начиная от использования огня и кончая современными системами выработки электричества и тепла. Основная причина возникновения парникового эффекта является использование человеком в промышленных масштабах ископаемого топлива (нефти, угля, газа, горючих сланцев), или полученных из него горючих веществ (например, бензина). В результате сгорания ископаемого топлива углерод, законсервированный там, высвобождается и образуется углекислый газ по интегральной реакции углерода с кислородом воздуха:

$$C + O_2 = CO_2 + \text{энергия}.$$

Так, например, механизм образования $CO_2$ при сгорании бензина следующий. Бензин сгорает, реагируя с газообразным кислородом воздуха и выделяет энергию, которая используется для передвижения автомобиля. При сгорании атомы углерода и водорода из бензина и атом кислорода из воздуха реагируют с образованием диоксида углерода ($CO_2$) и воды ($H_2O$), которые удаляются через выхлопную систему.

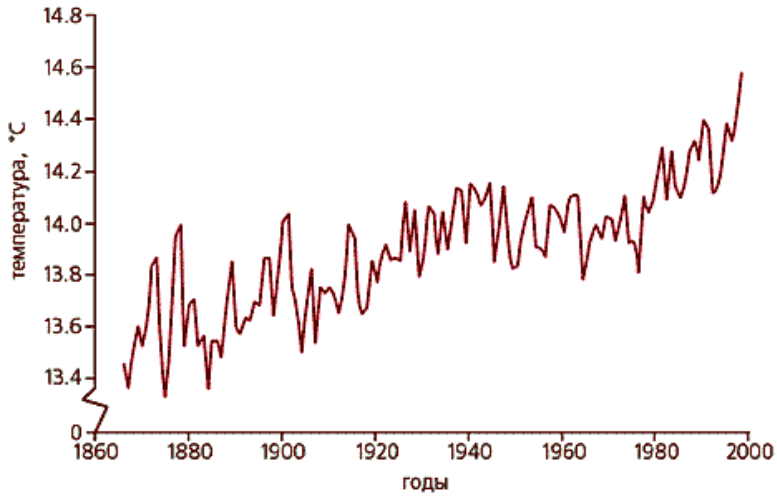



Рис. 9.5. Средняя глобальная температура земной поверхности (1866-2000)

В последнее столетие деятельность человека, связанная с техническим прогрессом, привносит дисбаланс в соотношении поглощаемой и выделяемой энергии. До вмешательства человека в глобальные процессы Земли изменения, происходящие на ее поверхности и в атмосфере, были связаны с содержанием в природе газов, которые с легкой руки ученых были названы «парниковыми». К таким основным газам относятся диоксид углерода, метан, оксид азота и водяной пар (табл. 9.3). Сейчас к ним добавились антропогенные хлорфторуглероды (ХФУ). Без газового одеяла, окутывающего Землю, температура на ее поверхности была бы ниже на 30-40 °С. Существование живых организмов в таком случае было бы весьма проблематичным.

Парниковый эффект достигается благодаря некоторым атмосферным газам второстепенного значения, каковыми являются, например, водяные испарения и углекислый газ. Они пропускают видимый и «ближний» инфракрасный свет, излучаемый солнцем, но поглощают «далекое» инфракрасное излучение, имеющее более низкую частоту и

Таблица 9.3. Основные парниковые газы атмосферы Земли

| Газ | Формула | Вклад (%) |
|---|---|---|
| Водяной пар | $H_2O$ | 36-72 |
| Диоксид углерода | $CO_2$ | 9-26 |
| Метан | $CH_4$ | 15-20 |
| Закись азота | $N_2O$ | 5-6 |
| Озон | $O_3$ | 3-7 |

образующееся при нагревании земной поверхности солнечными лучами. Если бы этого не происходило, Земля была бы примерно на 30 градусов холоднее, чем сейчас, и жизнь бы на ней практически замерла.

Одним из главных вкладов в глобальное потепление вносит ***водяной пар***. Концентрация водяного пара в тропосфере существенно зависит от приповерхностной температуры: увеличение суммарной концентрации «парниковых» газов в атмосфере должно привести к усилению влажности и парникового эффекта, вызванного водяным паром, который в свою очередь приведет к увеличению приповерхностной температуры.

Время жизни водяного пара в атмосфере достаточно мало и составляет примерно 10 суток. Однако водяной пар может вносить значительный косвенный вклад в усиление парникового эффекта. Особенностью водяного пара является способность конденсироваться. Его концентрация в атмосфере зависит от температуры воздуха, что придаёт ему свойство сильной положительной обратной связи в климатической системе: увеличение температуры воздуха вызывает повышение влагосодержания атмосферы, которое в свою очередь вызывает усиление парникового эффекта и тем самым способствует дальнейшему повышению температуры воздуха.

В результате техногенной деятельности человека некоторые парниковые газы *увеличивают долю своего участия* в общем балансе атмосферы. Это касается прежде всего ***углекислого газа,*** который занимает значительное место в структуре парниковых газов содержание которого из десятилетия в десятилетие неуклонно растет (рис. 9.6).

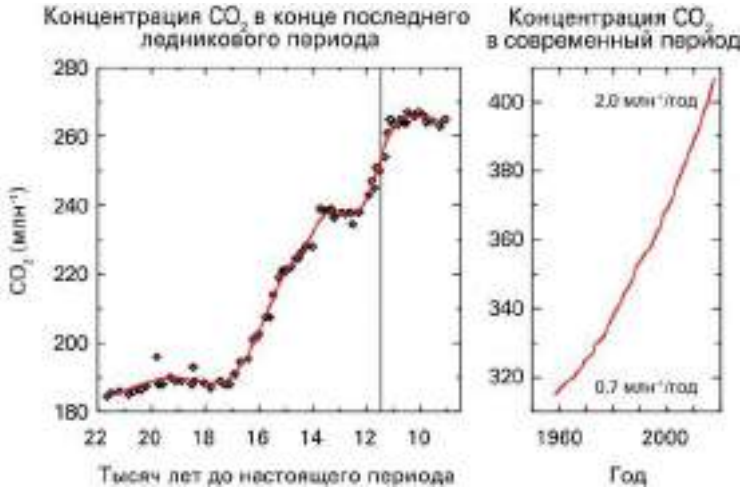



Рис. 9.6. Уровни концентрации парниковых газов во время ледникового периода и в настоящее время

По данным бюллетеня Всемирной метеорологической организации по парниковым газам концентрация $CO_2$ росла в 2016 году стремительными темпами и достигла самого высокого уровня за 800 000 лет. Резкие изменения в атмосфере, которые наблюдались в последние 70 лет, беспрецедентны.

Глобально усредненные концентрации $CO_2$ увеличились с 400,00 части на миллион (млн$^{-1}$) в 2015 году, достигнув 403,3 млн$^{-1}$ в 2016 году. Уровни концентрации $CO_2$ в настоящее время составляют 145 % по отношению к доиндустриальному уровню (до 1750 года). Быстрый рост уровней концентрации $CO_2$ и других парниковых газов в атмосфере способен спровоцировать беспрецедентные изменения в климатической системе, что приведет к серьезным нарушениям экологического и экономического равновесия.

В глобальном масштабе содержащийся в воздухе углекислый газ играет ту же роль, что и стекло. Световая энергия проникает сквозь атмосферу, поглощается поверхностью Земли, преобразуется в ее тепловую энергию и выделяется в виде инфракрасного излучения. Однако углекислый газ и некоторые другие газы, в отличие от иных природных элементов атмосферы, его поглощают. При этом он нагревается и, в свою очередь, нагревает атмосферу в целом. Значит, чем больше в ней углекислого газа, тем больше инфракрасных лучей будет поглощено и тем теплее она станет.

В первой половине XX в. содержание углекислого газа в атмосфере приближалось к 0,03 %. В 1956 г. ученые провели специальные исследования в рамках Первого международного геофизического года. Приведенная величина была уточнена и составила 0,028 %. В 1985 г. измерения были проведены снова, и оказалось, что количество углекислого газа в атмосфере возросло до 0,034 %. Таким образом, увеличение содержания в атмосфере углекислого газа - факт доказанный.

За последние 200 лет в результате антропогенной деятельности содержание оксида углерода в атмосфере увеличилось на 25 %. Связано это, с одной стороны, с интенсивным сжиганием ископаемого топлива: газа, нефти, сланцев, угля и др., а с другой - с ежегодным уменьшением площадей лесов на нашей планете, которые являются основными поглотителями углекислого газа. К тому же развитие таких отраслей сельского хозяйства,

как рисоводство и животноводство, а также увеличение площадей городских свалок приводят к увеличению выделения метана, оксида азота и некоторых других газов. Следовательно, если количество вещества, поглощающего в инфракрасной области (например, углекислого газа) растет, то земная поверхность поглощает больше энергии и ее температура увеличивается.

С одной стороны, вклад $CO_2$ в общий парниковый эффект планеты сейчас не такой уже и большой. Но для глобального потепления характерен эффект «разбегания»: чем теплее становится на планете, тем больше влаги испаряется с поверхности Мирового океана, а это парниковый газ номер один. Чем выше температура, тем меньше газов растворяется в воде и тем больше углекислого газа высвобождается опять же из океана, в котором его изначально в 60 раз больше, чем в атмосфере. Принимая во внимания этот факт, можно прийти к выводу, что скромная человеческая цивилизация вполне способна запустить адскую машину глобального потепления.

Еще одним парниковым газом является ***метан***. Его содержание в атмосфере ежегодно увеличивается на 1 %. Биологические превращения метана способны осуществлять только очень специфические бактерии. Метан имеет как природное, так и антропогенное происхождение. Около 40 % метана поступает в атмосферу из естественных источников (например, водно-болотные угодья и термитники), а приблизительно 60 % в результате деятельности человека. Природный газ, используемый человеком в огромных количествах, более чем на 90% состоит из метана. А это гораздо более сильный парниковый газ, чем $CO_2$. До последнего времени считалось, что парниковый эффект от метана в 25 раз сильнее, чем от углекислого газа. Однако Межправительственная группа экспертов по изменению климата ООН (IPCC, 2014) пришла к выводу, что «парниковый потенциал» метана еще опаснее, чем оценивалось раньше. Как следует из свежего доклада IPCC, в расчете на 100 лет парниковая активность метана в 34 раза сильнее, чем у углекислого газа. А в 20-летней перспективе - в 84 раза!

В последнем случае он образуется при производстве топлива, пищеварительной ферментации (например, у скота), рисоводстве, накоплении свалок, сведении лесов (главным образом, вследствие горения биомассы и распада избыточной органической субстанции). Запасы газа на свалках крупных городов можно рассматривать как небольшие газовые месторождения. Что касается рисовых полей, то, как выяснилось, несмотря на большой выход метана, в атмосферу его поступает относительно мало, поскольку большая часть расщепляется бактериями, связанными с корневой системой риса. Так что на поступление метана в атмосферу рисовые сельскохозяйственные экосистемы оказывают умеренное влияние.

Максимумы концентрации метана в атмосфере были найдены в высоких широтах Северного полушария. Ученые установили, что в тундре, особенно над кочками с пушицей, довольно много метана. Там были найдены бактерии, в частности метаносарцина, образующие метан при низких положительных температурах (+5 °С). Метаносарцина является наиболее универсальной из метаногенов. Впоследствии было рассчитано предполагаемое местонахождение центров образования метана на Земле. Один из таких центров расположен в Западной Сибири, а область повышенного образования протягивается через Северную Европу.

***Закись азота*** ($N_2O$), как парниковый газ, поступает в атмосферу из естественных (около 60 %), и из антропогенных (около 40 %) источников, включая океаны, почву, сжигание биомассы, использование удобрений и различные промышленные процессы. Таким образом, сегодня уже не остается сомнений, что тенденция использования преимущественно ископаемого топлива неизбежно ведет к глобальному катастрофическому изменению климата. При нынешних темпах использования угля и нефти в ближайшие 50 лет прогнозируется повышение среднегодовой температуры на планете в пределах от 1,5 °С (близ экватора) до 5 °С (в высоких широтах).

За 100 лет температура в Северном полушарии выросла больше, чем за предыдущую тысячу лет. В крупных городах стало на 1,5 °С теплее, если не исключать «городской» эффект - даже на 3 °С. На некоторых территориях мороз стал редкостью, весна приходит раньше.

Около половины всех парниковых газов, получаемых в ходе хозяйственной деятельности человечества, остаётся в атмосфере. Около трёх четвертей всех антропогенных выбросов углекислого газа за последние 20 лет стали результатом добычи и сжигания нефти, природного газа и угля, при этом примерно половина объёма антропогенных выбросов углекислоты связывается наземной растительностью и океаном. Бóльшая часть остальных выбросов $CO_2$ вызвана изменениями ландшафта, в первую очередь вырубкой лесов, однако скорость связывания наземной растительностью углекислого газа превосходит скорость его антропогенного высвобождения вследствие сведения лесов. До трети общих антропогенных выбросов $CO_2$ являются результатом обезлесения. Около четверти всех парниковых газов образуется из-за сельскохозяйственной деятельности

Если государства не начнут всерьез заниматься проблемой охраны окружающей среды, к 2100 году температура на планете может подняться на 3,7-4,8 °С. Климатологи предупреждают: необратимые последствия для экологии наступят уже при потеплении более чем на 2 °С. Климатические пояса сдвинутся, изменения погоды станут более резкими (сильные морозы, сменяющиеся внезапными оттепелями зимой, рост числа аномально жарких дней летом). Увеличится частота и сила аномальных явлений, таких как засухи и наводнения.

Связь между изменением климата и возникновением стихийных бедствий доказали американские ученые, которые обнаружили следы потепления при изучении тропических циклонов в Тихом океане, необычно высоких летних температур в Европе, Китае, Южной Корее и Аргентине, а также лесных пожаров в американском штате Калифорния. Климатические изменения послужили также катализатором засухи в Африке и на Ближнем Востоке, снежных бурь в Непале и проливных ливней, вызвавших наводнения в Канаде и Новой Зеландии.

По расчетам климатологов, при текущем темпе роста выбросов парниковых газов уже к 2070 году средняя температура воздуха в странах Персидского залива может составить 74-77 °С. Это сделает территории непригодными для людей. Исключение могут составить крупные мегаполисы с развитой системой кондиционирования. Но и в них люди смогут выходить из дома лишь по ночам.

Одним из самых ощутимых следствий потепления климата, по всей видимости, станет таяние ледников и повышение уровня Мирового океана. Миллионы людей на побережье погибнут от частых наводнений или будут вынуждены переселиться, предсказывают аналитики ООН.

Если уровень моря поднимется примерно на метр - что является худшим сценарием - то к 2100 году под водой окажутся около 1 процента территории Египта, 6 процентов территории Нидерландов, 17,5 процента территории Бангладеш и 80 процентов атолла Маджуро, входящего в состав Маршалловых островов. Это станет началом трагедии для 46 млн. людей. По самым пессимистическим прогнозам, повышение уровня мирового океана в XXI веке может повлечь исчезновение с карты мира некоторых стран, например, Голландии, Пакистана и Израиля, затопление большей части Японии и некоторых других островных государств. Под воду могут уйти такие города как Санкт-Петербург, Нью-Йорк и Вашингтон. В то время, как одни участки суши рискуют оказаться на дне моря, другие будут страдать от жесточайшей засухи. Исчезновение грозит Азовскому и Аральскому морям и многим рекам. Также увеличится площадь пустынь.

Отрицательные тенденции парникового эффекта проявляются уже в наши дни.

Группой шведских климатологов установлено, что за период с 1978 по 1995 г. площадь плавучих льдов в Северном Ледовитом океане сократилась примерно на 610 тыс. км$^2$, т.е. на 5,7%. Одновременно выяснилось, что через пролив Фрам, отделяющий архипелаг Свальбард (Шпицберген) от Гренландии, ежегодно со средней скоростью около 15 см/с выносится в открытую Атлантику около 2600 км$^3$ плавучего льда (что примерно в 15 - 20 раз больше стока такой реки, как Конго). Значительные территории могут быть затоплены в таких странах, как Россия, США, Великобритания, Италия, Германия, Дания, Бельгия, Ирак, Таиланд и Вьетнам. Серьезный ущерб грозит Китаю, где около 140 млн человек могут лишиться крова, и Японии, где может затопить дома более 30 млн человек - четвертой части населения страны.

Глобальное потепление отразится и на состоянии лесов планеты. Лесная растительность, как известно, может существовать в очень узких пределах температуры и влажности. Большая часть ее может погибнуть, сложная экологическая система окажется на стадии разрушения, а это повлечет за собой катастрофическое уменьшение генетического разнообразия растений.

О глобальном потеплении свидетельствует необычно быстрый рост хвойных деревьев на о. Тасмания. Местные сосны, возраст которых составляет несколько тысяч лет, среди древесной флоры Южного полушария выделяются четко выраженными годичными кольцами. Детальное изучение колец у 23 живых и засохших сосен показало, что с 1985 г. их рост за последнюю тысячу лет оказался наиболее быстрым.

В декабре 1997 г. на встрече в Киото (Япония), посвященной глобальному изменению климата, делегатами более чем из 160 стран была принята конвенция, обязывающая развитые страны сократить выбросы $CO_2$. Протокол был принят 11 декабря 1997 года и вступил в силу 16 февраля 2005 года. Главная цель соглашения: стабилизировать уровень концентрации парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему планеты.

30 ноября 2015 года в Париже на Конференции по вопросам климатических изменений съехались первые руководители 150 стран мира. На Конференции решался главный вопрос, волнующий все человечество: принятие конкретных решений и новых обязательств по снижению выбросов $CO_2$, новых стандартов и требований к экологии. Основная глобальная цель Конференции - удержание потепления климата в пределах 2 °С в течение 100 лет. Основными загрязнители планеты были признаны: Китай (10,7 млрд тонн выбросов $CO_2$ ежегодно, США (5,8 млрд тонн), Индия (2,9 млрд тонн), Россия (2,3 млрд тонн) и Индонезия (1,9 млрд тонн). На долю этой пятёрки приходится почти половина всех выбросов $CO_2$ на планете (47,5 млрд тонн в год). Экосистема планеты нуждается в равновесии. Либо мы спасаем свою планету, либо она нас обрекает на страдания. Собравшиеся констатировали: экосистема планеты нуждается в равновесии; либо мы спасаем свою планету, либо она нас обрекает на страдания.

## 9.5. ОЗОНОВЫЙ ЭКРАН И ПРИЧИНЫ ЕГО НАРУШЕНИЯ

Живые организмы на Земле защищены от коротковолнового ультрафиолетового (УФ) излучения Солнца, которое губительно для всего живого, озоновым экраном (озоновым слоем). ***Озоновый экран*** — это воздушный слой в верхних слоях атмосферы (стратосфере), состоящий из чрезвычайно химически реактивных и токсичных трехатомных молекул кислорода – озона.

Озон - трехатомная форма молекулярного кислорода ($O_3$). Он нестабилен, так как окисляет практически все с чем сталкивается. Однако, в стратосфере не так много веществ, с которыми могли бы взаимодействовать молекулы озона. Кроме того, являясь продуктом реакции между ультрафиолетовой частью спектра солнечного излучения с обычными молекулами кислорода, озон в стратосфере существует в течении довольно длительного времени. Так и образуется озоносфера, которая защищает нас (и все живое) от агрессивного воздействия ультрафиолета, поглощая более 99% губительного излучения.

Основное количество озона сосредоточено в стратосфере на высоте 15-25 км (верхняя граница - 45-50 км). Парадокс, но те же самые молекулы озона в тропосфере (нижний слой атмосферы) представляют собой опасные элементы, разрушающие живую ткань, включая легкие человека. Однако здесь озона весьма мало, и он может образовываться лишь во время грозовых разрядов. Озон в стратосфере является продуктом воздействия солнечного ультрафиолетового излучения (УФ-излучения) на молекулы кислорода (рис. 9.7).

Начало образования озона в стратосфере связано с реакцией расщепления молекулярного кислорода коротковолновым ($X < 242$ нм) УФ-излучением Солнца:

$$O_2 + h\nu \rightarrow O + O$$

Далее происходит взаимодействие атомов кислорода (в присутствии третьего тела - М) с его же молекулами. В результате некоторые из них распадаются на свободные атомы, а те, в свою очередь, могут присоединяться к другим молекулам кислорода с образованием озона ($O_3$). Однако весь кислород не превращается в озон, так как свободные атомы О, реагируя с молекулами озона, дают две молекулы $O_2$. Таким образом, количество озона в стратосфере не статично; оно представляет собой результат равновесия между этими двумя реакциями.

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$$

Образуя в верхних слоях атмосферы (стратосфере) тончайший слой, так называемый озоновый экран, молекулы озона защищают все живое на Земле от УФ-излучения.

Содержание озона в атмосфере менее 0,0001 %, однако именно озон полностью поглощает жесткое УФ-излучение Солнца с длиной волны $\lambda<280$ нм, наносящее серьезные поражения клеткам живых организмов.

Что же представляет собой слой озона в атмосфере? Теоретически, если весь озон «сжать» до плотности воды и разместить на поверхности Земли, то он образовал бы пленку всего 2-4 мм толщиной. Для сравнения, вся сжатая под нормальным давлением атмосфера составляла бы слой в 8 км. Толщина озонового слоя в масштабе атмосферы - не больше листа бумаги в объеме домашней библиотеки. Максимальные концентрации озона находятся на полюсах, а минимумы располагаются по экватору. Высотное же

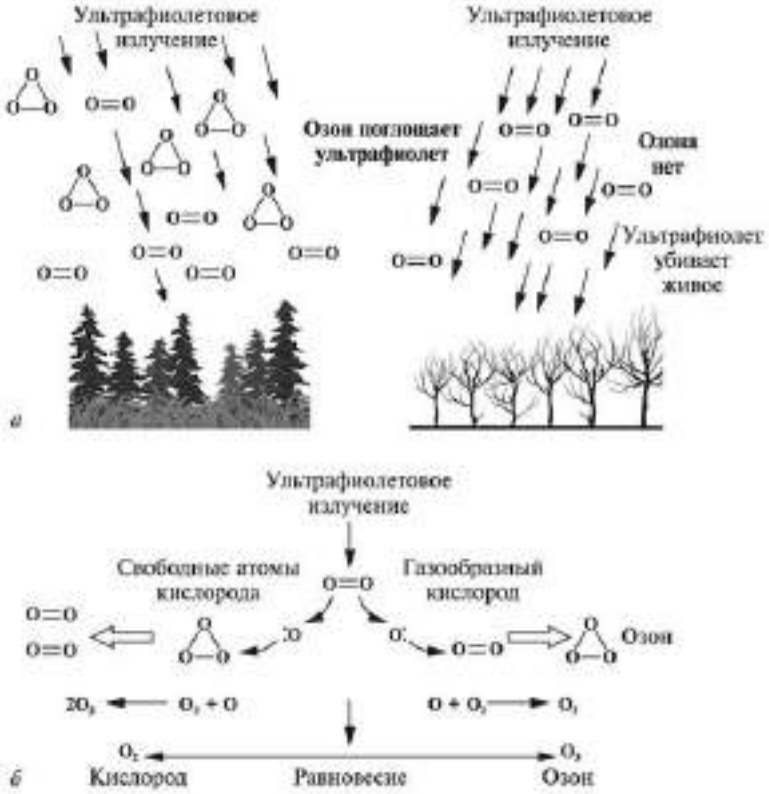



Рис. 9.7. Озоновый экран: а — озон ($0_3$) в стратосфере поглощает УФ-лучи Солнца; б — озон формируется в стратосфере, когда под действием УФ-лучей молекулы $0_2$ распадаются на свободные атомы, способные присоединяться к другим его молекулам

распределение озона таково, что максимум концентрации отмечается на высоте 25 км (рис. 9.8). Но она повышается также и на высоте 70 км. Ирония состоит в том, что те же самые молекулы озона в тропосфере (нижний слой атмосферы) представляют собой опасные элементы, разрушающие живую ткань, включая легкие человека.

Большая часть озона находится в стратосфере, и этот слой в Арктике обычно расположен низко, тогда как в тропической зоне - высоко. Что касается тропосферы, то

здесь озона меньше, к тому же он в большей мере подвержен как сезонным, так и другим изменениям, в частности вызванным загрязнениями.

По своему воздействию на живые организмы жесткий ультрафиолет близок к ионизирующим излучениям, однако, из-за большей, чем у γ-излучения длины волны он не способен проникать глубоко в ткани, и поэтому поражает только поверхностные органы. Жесткий ультрафиолет обладает достаточной энергией для разрушения ДНК и других органических молекул, что может вызвать рак кожи, в особенности быстротекущую злокачественную меланому, катаракту и иммунную недостаточность. Биологическое действие УФ-излучения обусловлено химическими изменениями поглощающих их молекул живых клеток, главным образом, молекул нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) и белков, и выражается в нарушениях деления, возникновении мутаций и гибели клеток.

Естественно, жесткий ультрафиолет способен вызывать и обычные ожоги кожи и роговицы. Уже сейчас во всем мире заметно увеличение числа заболевания раком кожи, однако значительное количество других факторов (например, возросшая популярность загара, приводящая к тому, что люди больше времени проводят на солнце, таким образом получая большую дозу УФ-облучения) не позволяет однозначно утверждать, что в этом повинно уменьшение содержания озона.

Жесткий ультрафиолет плохо поглощается водой и поэтому представляет большую опасность для морских экосистем. Эксперименты показали, что планктон, обитающий в приповерхностном слое, при увеличении интенсивности жесткого УФ может серьезно пострадать и даже погибнуть полностью. Планктон находится в основании пищевых цепочек практически всех морских экосистем, поэтому без преувеличения можно сказать, что практически вся жизнь в приповерхностных слоях морей и океанов может исчезнуть.

Растения менее чувствительны к жесткому УФ, но при увеличении дозы могут пострадать и они. Если содержание озона в атмосфере значительно уменьшится, человечество легко найдет способ защититься от жесткого УФ-излучения, но при этом рискует умереть от голода.

Значительное пространство с уменьшением концентрации и количества озона в озоносфере планеты (до 50 %) носит название ***озоновая (озонная) дыра***.

Такое утончение слоя озона может привести к серьезным последствиям для человечества. Падение концентрации озона на 1% приводит в среднем к увеличению

интенсивности жесткого ультрафиолета у поверхности земли на 2%. По своему воздействию на живые организмы жесткий ультрафиолет близок к ионизирующим излучениям, однако, из-за большей, чем у γ-излучения длины волны он не способен проникать глубоко в ткани, и поэтому поражает только поверхностные органы. Жесткий ультрафиолет обладает достаточной энергией для разрушения ДНК и других органических молекул.

Такие лучи способны вызывать у человека рак кожи, в особенности быстротекущую злокачественную меланому, катаракту и иммунную недостаточность, а также наносить вред животным и растениям. Естественно, жесткий ультрафиолет способен вызывать и обычные ожоги кожи и роговицы. Он плохо поглощается водой и поэтому представляет большую опасность для морских экосистем.

Впервые мысль об опасности разрушения озонного слоя была высказана еще в конце 1960-х годов. Большую тревогу со стороны экологов привлекло влияние выбросов водяного пара и оксидов азота ($NO_X$), которые выбрасываются реактивными двигателями сверхзвуковых самолетов и ракет на высоте 20-25 км. Именно на этой же высоте находится защитный слой молекул озона, которые задерживают жесткое ультрафиолетовое излучение космоса. Такие опасения основаны на свойстве оксида азота разрушать озон:

$$2NO + O_3 = N_2O + 2O_2$$

Когда на отечественные Ту-144 и англо-французские «Конкорды» возлагались большие надежды, было подсчитано, что предполагаемый авиапарк «убьет» за несколько лет до 15 % озона, который в высших слоях атмосферы защищает все живое от жесткого излучения. Эта цифра заметно превышала ущерб, наносимый озоновому щиту основным его врагом - фреонами. Кроме пассажирских самолетов, на состояние озонового экрана влияют также полеты военных сверхзвуковых стратегических бомбардировщиков и самолетов-разведчиков: опасность для атмосферного озона представляют выбросы водяного пара и оксидов азота из их двигателей.

Как выяснилось, озон разлагают не только продукты сгорания топлива, но и сама ударная волна от сверхзвукового самолета. Подсчитано, что этой мощной волной самолет типа Ту-144, перелетая из Москвы в Алма-Ату, уничтожает несколько тонн озона.

Запуски ракет также могут наносить серьезный локальный ущерб озонному слою в районе запуска. Это происходит из-за того, что в современных космических системах, например в твердотопливных ускорителях «Спейс-Шаттл» или «Ариан», используются хлоратные твердые топлива. Сгорающее топливо «выжигает» в озоновом слое большие дыры. Когда-то предполагалось, что эти «дыры» затягиваются. Оказалось, что это не так - они существуют довольно долго.

В настоящее время образование таких озоновых дыр наблюдается также и над Европой, Азиатским континентом, на юге Южной Америки. Особенно сильное влияние дыра оказывает на один из чилийских городов Пунта-Аренас, где уже сегодня показатели солнечной радиации настолько высоки, что местным жителям рекомендуется как можно меньше находиться на улице. Озоновая дыра в верхних слоях атмосферы над Антарктикой,

по данным Метеорологического управления Японии, достигла рекордных размеров: слой озона на высоте 15-22 км уменьшился на 45-75 %.

Что касается «озоновой дыры» над Антарктидой, то ее появление во многом является следствием метеорологических процессов. Образование озона возможно только при наличии ультрафиолета и во время полярной ночи не идет. Зимой над Антарктикой образуется устойчивый вихрь, препятствующий притоку богатого озоном воздуха со средних широт. Поэтому к весне даже небольшое количество активного хлора способно нанести серьезный ущерб озонному слою. Такой вихрь практически отсутствует над Арктикой, поэтому в Северном полушарии падение концентрации озона значительно меньше.

В 1974 году ученые М.Молина и Ф.Роуленд из Калифорнийского университета показали, что различные хлорфторорганические соединения - хлорфторуглероды (ХФУ) могут вызывать нарушение озонового слоя (рис. 9.9). В 1995 году эти исследователи за свое открытие были удостоены Нобелевской премии по химии. Начиная с этого времени так называемая хлорфторуглеродная проблема стала одной из основных в исследованиях по загрязнению атмосферы. ХФУ — летучие и нерастворимые в воде соединения (потому не вымываемые из атмосферы). Время пребывания ХФУ в стратосфере исчисляется десятками и сотнями лет. К ним, в частности, относятся фреоны — химически инертные на поверхности Земли вещества, широко применяемые в холодильной промышленности и в производстве бытовых аэрозольных упаковок. Они уже более 60 лет используются как

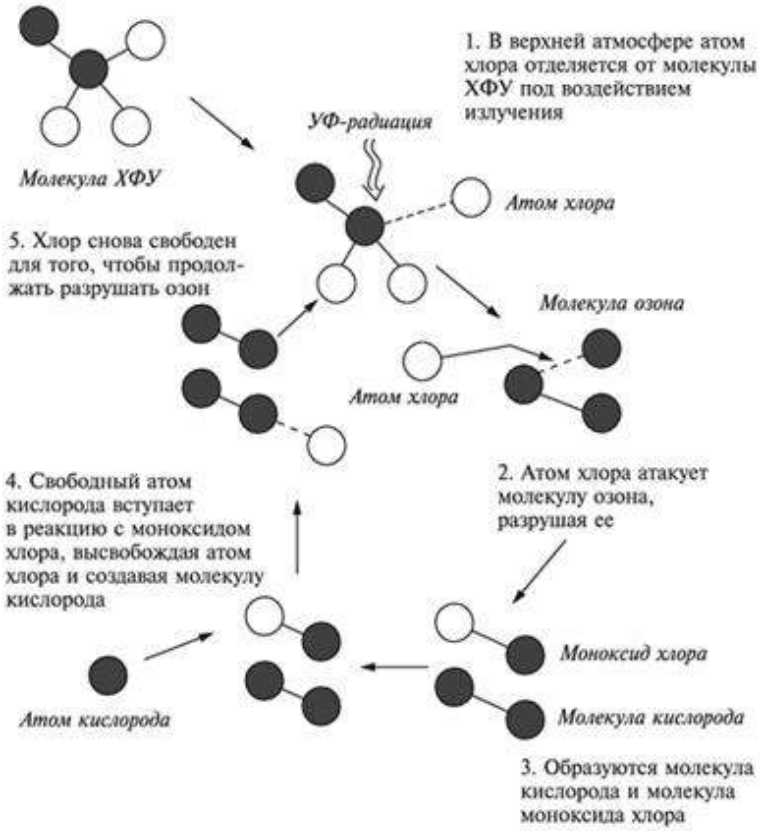


Рис. 9.9. Схема разрушения озонового экрана

хладагенты в холодильниках и кондиционерах, пропелленты для аэрозольных смесей (в бытовых аэрозольных баллончиках), пенообразующие агенты в огнетушителях, очистители для электронных приборов, при химической чистке одежды, при производстве пенопластиков.

Почти все количество производимого в мире фреона (или фторорганических соединений) в конечном счете поднимается в верхние слои атмосферы и разлагается там под влиянием ультрафиолетовых лучей, которые разрушают устойчивые в обычных условиях молекулы ХФУ. Последние распадаются на компоненты обладающие высокой реакционной способностью, в частности атомный хлор. В ходе фотохимического разложения в стратосфере фреоны такой ион хлора выступает как агент разрушения озона. Таким образом ХФУ переносит хлор с поверхности земли через тропосферу и нижние слои атмосферы, где менее инертные соединения хлора разрушаются, в стратосферу, к слою с наибольшей концентрацией озона. Осколки фреоновых молекул разрушительно действуют на слой атмосферного озона. ХФУ уже разрушили от 3 до 5% озонового слоя атмосферы.

ХФУ очень летучи и нерастворимы в воде. Следовательно, они не вымываются из атмосферы и, продолжая распространяться в ней, достигают стратосферы, где более интенсивное солнечное излучение воздействует на них и в результате реакции выделяется хлор. Последний действует как катализатор, постоянно вступая в реакцию с молекулами озона с образованием молекул кислорода ($O_2$) и молекул оксида хлора ($ClO_2$). Молекулы оксида хлора затем вступают в реакцию с атомарным кислородом, с образованием молекул кислорода и свободных атомов хлора. И все начинается сначала. Посредством этого повторяющегося процесса одна молекула хлора может разрушить тысячи молекул озона, прежде чем сама будет нейтрализована. Это свойство ХФУ и выделяемого ими хлора делает фреоны очень опасными для озонового слоя стратосферы. Таким образом, ХФУ наносят ущерб, выступая в роли переносчиков атомов хлора в стратосферу. Осколки фреоновых молекул разрушительно действуют на слой атмосферного озона. ХФУ уже разрушили от 3 до 5 % озонового слоя атмосферы. Они относительно инертны химически, негорючи и ядовиты. Более того, будучи газами, при комнатной температуре они сжижаются при небольшом давлении с выделением тепла, а испаряясь, вновь его поглощают и охлаждаются. Эти свойства позволили применять их в следующих целях.

- ХФУ используются практически во всех холодильниках, кондиционерах воздуха и тепловых насосах как хлорагенты (фреоны). Поскольку эти приспособления рано или поздно ломаются и выбрасываются, содержащиеся в них ХФУ обычно попадают в атмосферу.

- ХФУ при производстве пористых пластмасс подмешивают в жидкие пластмассы при повышенном давлении (они растворимы в органических веществах). Когда давление понижают, ХФУ вспенивают пластмассу, как углекислый газ вспенивает содовую воду. И при этом улетучиваются в атмосферу.

- Еще одна основная область их применения - электронная промышленность, а именно очистка компьютерных микросхем, которая должна быть весьма тщательной. И опять же ХФУ попадают в атмосферу. Наконец, в некоторых странах ХФУ до сих пор используют как компоненты в аэрозольных баллончиках, которые распыляют их в воздухе.

Использование фреонов продолжается и пока далеко даже до стабилизации уровня ХФУ в атмосфере. Так, по данным сети Глобального мониторинга изменений климата, в фоновых условиях - на берегах Тихого и Атлантического океанов и на островах, вдали от промышленных и густонаселенных районов - концентрация фреонов-11 и -12 в настоящее время растет со скоростью 5-9 % в год. Содержание в стратосфере фотохимически активных соединений хлора в настоящее время в 2-3 раза выше по сравнению с уровнем 50-х гг. XX в., до начала быстрого производства фреонов.

Очень важно, что хлор при разрушении озона действует подобно катализатору: в ходе химического процесса его количество не уменьшается. Вследствие этого один атом хлора может разрушить до 100 000 молекул озона прежде чем будет дезактивирован или вернется в тропосферу. Сейчас выброс ХФУ в атмосферу исчисляется миллионами тонн, но следует заметить, что даже в гипотетическом случае полного прекращения производства и использования ХФУ немедленного результата достичь не удастся: действие уже попавших в атмосферу ХФУ будет продолжаться несколько десятилетий.

Для использования в качестве пропеллента в аэрозолях уже найден неплохой заменитель ХФУ - пропан-бутановая смесь. По физическим параметрам она практически не уступает фреонам, но, в отличие от них, огнеопасна. Тем не менее такие аэрозоли уже производятся во многих странах, в том числе и в России. Сложнее обстоит дело с холодильными установками - вторым по величине потребителем фреонов. Дело в том, что из-за полярности молекулы ХФУ имеют высокую теплоту испарения, что очень важно для рабочего тела в холодильниках и кондиционерах. Лучшим известным на сегодня заменителем фреонов является аммиак, но он токсичен и все же уступает ХФУ по физическим параметрам. Неплохие результаты получены для полностью фторированных углеводородов. Во многих странах ведутся разработки новых заменителей и уже достигнуты неплохие практические результаты, но полностью эта проблема еще не решена.

Осознание опасности «озонового кризиса» привело к подписанию в 1987 г. Монреальского протокола, по которому, начиная с 1989 г. предусматривалось замораживание производства ХФУ. Этого было недостаточно для спасения озоносферы и в июне 1990 г. было принято Лондонское соглашение, в котором предусмотрено 50% сокращение производства ХФУ к 1995 г. и полное его запрещение к 2000 году. Вследствие этих мер, начиная примерно с 2005 г. концентрация хлора в стратосфере стала снижаться.

Как же может повлиять возникновение озоновых дыр на самочувствие и здоровье человека? Исследованиями ученых установлено, что в случае разрушения озонового слоя может увеличиться частота трех типов рака кожи. Два наиболее распространенных типа рака кожи - базальноклеточный рак (базалиома) и плоскоклеточный рак (шиповидный).

Сегодня более 500 тыс. американцев ежегодно подвержены таким заболеваниям. В ранней стадии развития эти типы рака излечимы. Третий тип рака, саркома, встречается значительно реже, но это наиболее опасная форма. Ежегодно отмечается около 25 тыс. случаев этого заболевания. В 5 тыс. случаев саркома приводит к летальному исходу, что

составляет 65 % всех смертей, вызванных всеми видами рака кожи вместе взятыми. Опасность развития саркомы прямо связана с чувствительностью кожи отдельного человека к солнечному свету (светлокожие люди более подвержены этому процессу, чем темнокожие).

УФ-радиация также может повредить роговую оболочку глаза, соединительную оболочку глаза, хрусталик и сетчатку глаза, а также вызвать фотокератозиз (или снежную слепоту), похожий на солнечный ожог роговой или соединительной оболочки глаза. Медики считают, что увеличение воздействия УФ-радиации на людей вследствие разрушения озонового слоя приведет к увеличению числа людей с катарактой.

А может ли озон образовываться в приземном слое атмосферы? Оказывается, может. Иногда после грозового ливня, особенно в летнюю пору, воздух становится необычайно свежим, приятным, а в народе говорят, что «пахнет озоном». В данном случае какая-то часть озона образуется в результате разрядов электрических молний и проходит до нижних слоев атмосферы с потоками воздушных масс. Эта разновидность газа считается так называемым полезным озоном, который и вносит в атмосферу ощущение необыкновенной свежести. В основном такие явления наблюдаются вслед за грозовыми ливнями.

Однако, встречается еще и весьма вредоносная, чрезвычайно опасная для людей разновидность озона. Он вырабатывается выхлопными газами и промышленными выбросами, и при попадании под влияние лучей Солнца, вступает в фотохимическую реакцию. Вследствие этого происходит формирование так называемого приземного озона, который чрезвычайно вреден для здоровья людей.

Сокращение плотности озонового щита планеты влечет за собой снижение урожаев сельскохозяйственных культур и продуктивности животноводства, резкое уменьшение биологической продуктивности приповерхностного слоя Мирового океана, а, следовательно, уловов рыбы, существенное увеличение заболеваемости людей раком кожи. Проблема озона ясна еще далеко не полностью. Впервые человечество зримо столкнулось с неуверенностью во всеземном благополучии в ходе мирного развития экономики. Стало ясно, что без знания общих экологических законов развития человечества дальнейший прогресс эколого-экономической теории трудно себе представить.

## 9.6. КИСЛОТНЫЕ ОСАДКИ

В 1872 г. Британский химик Роберт Энгус Смит в книге «Воздух и дождь: начала химической климатологии», изучая вопросы загрязнения города Манчестера, доказал, что дым и пары содержат вещества, вызывающие серьезные изменения в химическом составе дождя, и что эти изменения можно заметить не только вблизи от источника их выделения, но и «в полях, на большом расстоянии от него». Он также впервые описал некоторые виды вредных воздействий кислотных осадков: обесцвечивание тканей, коррозия металлических поверхностей, разрушение строительных материалов и гибель растительности. Таким образом, Р. Смит стал известен как создатель концепции кислотного дождя.

В настоящее время многие экологи сошлись во мнении, что термин «кислотные дожди» недостаточно точен. Лучше подходит выражение «кислотные осадки». Действительно, загрязнители существуют в атмосфере не только в виде дождя, но также в

виде снега, облаков, тумана («влажные осадки») или в виде газа и пыли («сухие осадки») в засушливый период. Однако, в обиходе чаще всего пользуются термином «кислотный дождь».

Несмотря на то, что сигнал тревоги Роберта Смита прозвучал около ста лет назад, индустриальные государства долго игнорировали кислотные осадки. И только в начале 50-х годов канадское правительство разработало программу изучения и мониторинга вод в озерах Новой Шотландии, где наблюдалось быстрое повышение кислотности. В 60-е годы Скандинавия сообщила об уменьшении косяков рыбы и даже ее полном исчезновении в некоторых озерах. В 1972 г. проблема кислотных осадков была впервые поднята Швецией на Конференции ООН по окружающей среде. С этого времени опасность глобального закисления окружающей среды превратилась в одну из наиболее острых проблем, обрушившихся на человечество.

Первыми жертвами кислотных осадков стали водоемы - озера и реки. Особенно пострадали озера Скандинавии, северо-восток США, юго-восток Канады и юго-запад Шотландии. Известный журналист Василий Песков, будучи в Норвегии в 70-х годах прошлого века отмечал, что «…страсть норвежцев к рыбалке частную рыбную речку или какое-нибудь озерцо могли бы сделать золотоносными, но приносимые южным ветром выбросы труб опустошают здешние воды. Мы видели много озер, в которых нет рыбы и нет вообще ничего, - пугающе тихая, неживая вода».

Развитие промышленности, транспорта, освоение новых источников энергии приводит к тому, что количество промышленных выбросов постоянно увеличиваются. Это связано главным образом с использованием горючих ископаемых на тепловых электростанциях, промышленных предприятиях, в двигателях автомобилей и в системах отопления жилых домов.

В результате сжигания ископаемого топлива в атмосферу земли поступают соединения азота, серы, хлора и некоторые другие элементы. Среди них преобладают оксиды серы - $SO_2$ и азота - $NO_x$ ($N_2O$, $NO_2$). Соединяясь с частицами воды, оксиды сера и азота образуют серную ($H_2SO_4$) и азотную ($HNO_3$) кислоты различной концентрации.

Химизм процесса выглядит следующим образом:

$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$ - образуется серная кислота;

$2NO_2 + H_2O = HNO_3 + HNO_2$ - образуются, соответственно, азотная и азотистая кислóты.

Шведский ученый Сванте Аррениус ввел в обращение два термина - кислота и основание. Он назвал кислотами вещества, которые при растворении в воде образуют свободные положительно заряженные ионы водорода (H+). Основаниями он назвал вещества, которые при растворении в воде образуют свободные отрицательно заряженные гидроксид-ионы ($OH^-$). Термин pH используют в качестве показателя кислотности раствора. В переводе с английского он означает: «показатель степени концентрации ионов водорода» - водородный показатель. Он равен отрицательному десятичному логарифму концентрации, т. е. в растворе с pH = 6 в 10 раз больше ионов H+, чем при pH = 7, и в 100 раз больше, чем при pH = 8.

Водные растворы могут иметь pH от 0 до 14. Нейтральные растворы имеют pH 7,0, кислая среда характеризуется значениями pH меньше 7,0, а щелочная - больше 7,0 (рис. 9.10).

Кровь здорового человека имеет pH 7,3-7,4. Точнее, плазма крови имеет pH около 7,36. Если pH крови приближается к 7,2 - это сигнал о серьезных нарушениях жизнедеятельности организма, а при pH 7,1 и ниже - необратимые изменения грозят смертельным исходом. Желудочный сок человека содержит кислоту и соответствует pH от 0,9 до 1,6. Кишечный сок имеет почти нейтральную реакцию (pH от 6,0 до 7,6). Наоборот, слюна человека всегда щелочная (pH 7,4 - 8,0).

До определенного времени проблема кислотных дождей считалась региональной, связанной главным образом с развитием промышленности Северного полушария. Однако высокие выбросы серы и азота в местах, где используются техногенные ископаемые, сделали проблему кислотных дождей международной. Выбросы промышленных предприятий могут переноситься воздушными потоками на многие тысячи (рис. 9.11).

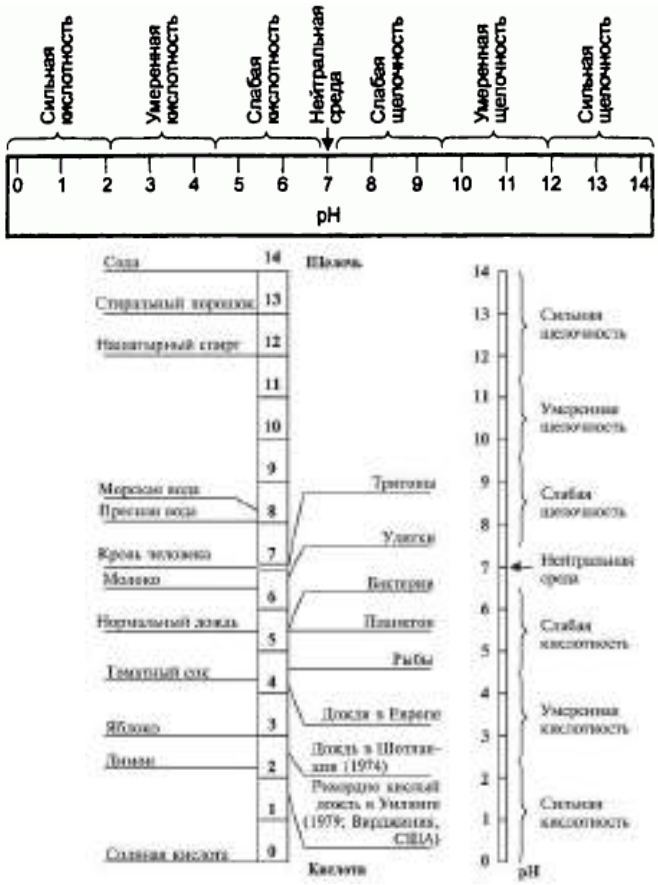


Рис. 9.10. Шкала кислотности (pH)

Установлено, что на долю техногенных выбросов, связанных со сжиганием ископаемого угля, приходится около 60-70 % от их общего количества, на долю

нефтепродуктов - 20-30 % и на остальные производственные процессы - оставшиеся 10 %; 40 % выбросов $NO_x$ составляют выхлопные газы постоянно растущей армии автомобилей.

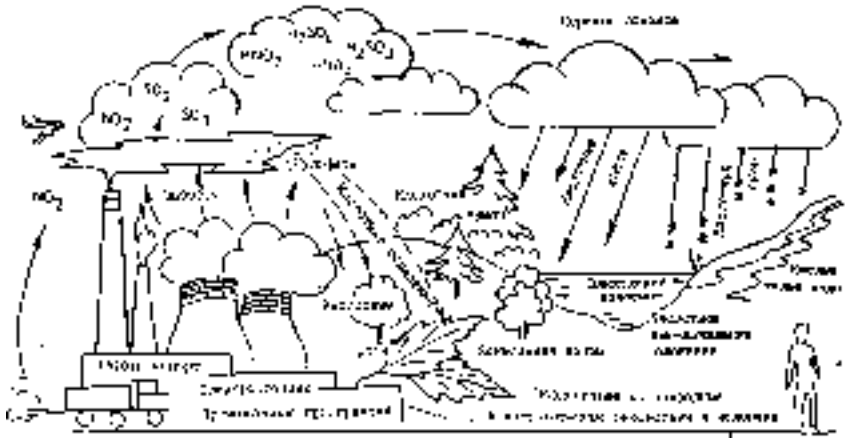


Рис. 9.11. Схема образования кислотных осадков

Все виды метеорологических осадков — снег, дождь, град, туман, дождь со снегом, pH которых меньше, чем среднее значение pH дождевой воды (средний pH для дождевой воды равняется 5,6), получили название ***кислотных (кислых) дождей***. Их источник в атмосфере - микрогазы, содержащие соединения серы и азота.

Вода обычного дождя представляет собой слабокислый раствор. Это происходит вследствие того, что природные вещества атмосферы, такие, как диоксид углерода ($CO_2$), вступают в реакцию с дождевой водой. При этом образуется слабая угольная кислота ($CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$). Тогда как в идеале pH дождевой воды равняется 5,6-5,7, в реальной жизни показатель кислотности дождевой воды в одной местности может отличаться от показателя кислотности дождевой воды в другой местности. Это, прежде всего, зависит от состава газов, содержащихся в атмосфере той или иной местности, таких, как оксид серы и оксиды азота.

Кислотный дождь оказывает отрицательное воздействие на водоемы (озера, реки, заливы, пруды), повышая их кислотность до такого уровня, что в них погибает флора и фауна. Когда среда водных экосистем имеет кислую реакцию, то, практически все организмы, особенно на ранних стадиях развития, погибают, прежде всего из-за невозможности размножения. Могут прерываться многие пищевые цепи, что в свою очередь приводит к снижению биоразнообразия. Водяные растения лучше всего растут в воде со значениями pH между 7 и 9,2. С увеличением кислотности (показатели pH удаляются влево от точки отсчета 7) водяные растения начинают погибать, лишая других животных водоема пищи. В среде с pH 6,0 погибают пресноводные креветки и такие виды рыб, как лосось, форель, плотва. При pH 5,5 погибают донные бактерии, которые разлагают органические вещества и листья, и органический мусор начинает скапливаться на дне. Затем гибнет планктон – крошечные одноклеточные водоросли и простейшие беспозвоночные, которые составляют основу пищевой цепи водоема. Когда кислотность достигает pH 4,5, погибает вся рыба, большинство лягушек и насекомых, выживают только некоторые виды пресноводных беспозвоночных.

По мере накопления органических веществ на дне водоемов из них начинают выщелачиваться токсичные металлы. Повышенная кислотность воды способствует более высокой растворимости таких металлов, как алюминий, кадмий, ртуть и свинец, из донных отложений и почв. Эти токсичные металлы представляют опасность для здоровья человека. Люди, пьющие воду с высоким содержанием свинца или принимающие в пищу рыбу с высоким содержанием ртути, могут приобрести серьезные заболевания.

Наряду с гибелью озер происходит деградация лесов. Хотя лесные почвы менее восприимчивы к подкислению, нежели водоемы, произрастающая на них растительность крайне негативно реагирует на увеличение кислотности. Кислые осадки в виде аэрозолей обволакивают хвою и листву деревьев, проникают в крону, стекают по стволу, накапливаются в почве. Прямой ущерб выражается в химическом ожоге растений, снижении прироста, изменении состава подпологовой растительности.

Кислотные осадки разрушают здания, трубопроводы, приводят в негодность автомобили, понижают плодородие почв и могут способствовать просачиванию токсичных металлов в водоносные слои почвы.

Разрушительному действию кислотных осадков подвергаются многие памятники мировой культуры. Так, за 25 веков мраморные статуи всемирно известного памятника архитектуры Древней Греции Акрополя постоянно подвергались воздействию ветровой эрозии и дождей. В последнее время действие кислотных осадков ускорило этот процесс. Кроме того, это сопровождается и осаждением на памятниках корки сажи в виде двуокиси серы, выделяемой промышленными предприятиями. Для соединения отдельных архитектурных элементов древние греки использовали небольшие стержни и скобы из железа, покрытые тонким слоем свинца. Тем самым они были защищены от ржавчины. Во время реставрационных работ (1896-1933) были использованы стальные детали без всяких мер предосторожности, и вследствие окисления железа под действием раствора кислот в мраморных структурах образуются обширные трещины. Ржавчина вызывает увеличение объема, и мрамор раскалывается.

Результаты исследований, проведенных по инициативе одной из комиссий ООН, свидетельствуют, что кислотные осадки оказывают губительное воздействие и на старинные витражные стекла в некоторых городах Западной Европы, что может окончательно их разрушить. Под угрозой находится более 100 000 образцов цветного стекла. Старинные витражи находились в хорошем состоянии до начала XX в. Однако за последние 30 лет процесс разрушения ускорился, и, если не будут проведены необходимые реставрационные работы, через несколько десятков лет витражи могут погибнуть. Особой опасности подвергается цветное стекло, изготовленное в VIII-XVII вв. Это объясняется особенностями технологии производства.

Вещества, содержащие серу, оказывают губительное влияние также на кожаные и бумажные изделия. Старинные образцы кожи, обработанные органическими веществами, так же как и бумага, подвержены воздействию двуокиси серы: в результате они становятся ломкими. Особенно страдает бумага, изготовленная после 1750 г.

Среди антропогенных источников образования атмосферных соединений серы основное место занимает сжигание угля, которое дает 70 % выбросов двуокиси серы, а

также сгорание нефтепродуктов и переработка нефти, металлургическая промышленность, предприятия по производству серной кислоты, работа двигателей внутреннего сгорания.

Кроме антропогенных источников поступления окислов серы и азота их эмиссия (выбросы) может происходить и в результате естественных процессов.

К таким естественным источникам основных «поставщиков» кислотных осадков, относятся:

1) процессы разрушения органических веществ с помощью анаэробных бактерий, в результате чего образуются газообразные соединения серы (30—40 млн тонн в год);

2) извержения вулканов (около 2 млн тонн серосодержащих соединений);

3) почвенная эмиссия оксидов азота. Эти соединения образуются из нитритов в результате деятельности денитрифицирующих микроорганизмов (8 млн. тонн ежегодно в пересчете на азот);

4) грозовые разряды, сопровождающиеся высокой температурой и переходом молекулярных кислорода и азота в плазменное состояние также приводит к образованию оксидов азота (до 8 млн. тонн в год);

5) лесные пожары, в результате которых в воздух поступает 12 млн. тонн год оксидов азота.

В целом количество естественных и искусственных выбросов соединений, принимающих участие в образовании кислотных осадков, приблизительно одинаково, однако антропогенные выбросы двуокиси серы и оксидов азота сосредоточены на ограниченных территориях с развитой промышленностью и, таким образом именно в этих местах создаются высокие концентрации кислотных микроэлементов в атмосфере.

## 9.7. ИСТРЕБЛЕНИЕ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ЗЕМЛИ

*Где, бывало, леса вековечные*
*на огромных пространствах шумят,*
*там теперь пустыри бесконечные*
*пеленою могильной лежат.*

**Н. А. Некрасов – русский поэт**

Около 10 тысяч лет назад на Земном шаре существовали обширные лесные массивы лесов и редколесий. В течение многих веков из-за потребностей человечества в площадях, необходимых для выращивания сельхозкультур, под пашни, для выпаса скота, заготовки деловой древесины и вырубки деревьев на топливо, зеленый океан сократил свою площадь до 4,2 млрд га. Таким образом, сегодня общая площадь лесных земель на планете составляет чуть больше 4 млрд га. Фактический ареал лесной растительности составляет более 40% суши.

Леса являются основным средоточием жизни на Земле и средой обитания самого большого числа живых организмов. Они являются одним из основных источников материальных благ для человека. Невозможно перечислить то разнообразие полезных вещей и предметов, которые дают леса человеку.

Неоценимо значение леса для здоровья людей. Каждый гектар его за год поглощает до 10 т углекислого газа, выделяет до 20 т кислорода и большое количество разнообразных

летучих органических соединений, получивших название фитонцидов. Эти биологически активные вещества уничтожают болезнетворных микробов, оздоровляют окружающую среду.

Сведение лесов имеет огромное количество побочных эффектов. Оно является главной причиной таких экологических проблем, как, например, опустынивание, деградация почв, наводнение, образование селевых потоков, заиливание водотоков, разрушение ареалов диких животных, вымирание видов животных и растений.

Процесс деградации лесных экосистем особенно интенсивно начался в эпоху Возрождения, то есть с XVI века, в связи с развитием промышленности и сельского хозяйства в странах Западной Европы. Так, во Франции лесистость территории до того составляла 80 %, но к 1789 году леса в этой стране сохранились лишь на 14 % ее территории. К середине XVII века Франция и Англия настолько истощили свои лесные ресурсы, что стали закупать лес для строительства кораблей в других странах.

Основная причина сокращения площади лесов на Земле - их прямая вырубка для заготовки древесины, а также при расчистке земель под сельскохозяйственные угодья.

Лесные ресурсы способствуют поддержанию жизнеспособности общин и экономики целых стран, однако многие современные формы их использования являются экологически неустойчивыми. Естественные леса во всем мире по-прежнему уничтожают с вызывающей тревогу скоростью с тем чтобы использовать земельные ресурсы в других целях. В настоящее время процесс обезлесения идет наиболее быстрыми темпами в странах тропического пояса.

Тропические леса являются местами обитания большого количества растений и животных. Воздействие человека, выражающееся в вырубке и урбанизации, разрушает экосистемы, в результате чего количество видов сокращается. В этом смысле Сингапур - яркий пример. С начала британской колонизации в 1819 году, наземные и пресноводные ареалы сократились на 95 %, погибло до 87% всех бабочек, рыб, птиц и млекопитающих острова. Охота подкосила самых крупных животных. Последний тигр на Сингапуре был убит еще в 1930 году. Более того, представители некоторых видов слишком малочисленны, чтобы популяции восстановились, т. е. они обречены на вымирание. Конечно, сценарий Сингапура, возможно, самый пессимистичный. Но и другие страны Юго-Восточной Азии идут той же дорогой. Малайзия, к примеру, уже утратила около 60 % своих лесов.

Основные причины обезлесения и деградации лесов включают расширение площадей, отводимых под сельское хозяйство, и прямую вырубку для заготовки древесины. Половина заготавливаемой в мире древесины используется в качестве дров, главным образом в развивающихся странах. В развитых странах лесные ресурсы используются в основном для производства промышленной продукции. Лишь 6 % территории лесов в развивающихся странах регулируется с помощью официальных лесохозяйственных планов, принятых на национальном уровне, тогда как в развитых странах доля таких площадей составляет 89 %.

Лесные экосистемы являются центрами биологического разнообразия. Нетронутые леса дают приют различным видам животных и растений, зона обитания которых простирается на десятки тысяч квадратных километров, например, медведям, волкам, тиграм, некоторым видам птиц. С другой стороны, только в лесных массивах, где редко

ступала нога человека, сохраняются особые условия обитания, необходимые для жизни некоторых видов животных и растений. К примеру, пятнистая сова, обитающая на Дальнем Востоке, гнездится в стоящих на корню, но уже мертвых стволах деревьев, которые встречаются только в старых лесах, где не совершались рубки.

Вырубка лесов привела к полному исчезновению в Иране короткогривого тигра и поставило перед серьезной угрозой существование каспийского тигра.

Леса несут важную экологическую и социально-экономическую функцию, в частности, они регулируют количество и качество поступающей в реки дождевой воды. Они также помогают противостоять эрозии почв и опустыниванию, играют ключевую роль в борьбе с последствиями глобального изменения климата, поглощая углекислый газ.

Защищают леса и водные ресурсы. Они регулируют гидрологический режим рек и почв. В тех районах, где исчез лесной покров на водоразделах рек, стали не редки наводнения или наоборот, полное усыхание и исчезновение водного потока. Уничтожение леса приводит к эрозии почв, которая прогрессирует со страшной скоростью.

Однако, в настоящее время не существует уже половины лесов, некогда покрывавших поверхность планеты. Большая часть их была уничтожена за последние тридцать лет, и этот процесс продолжает набирать силу. Каждый год лесной покров планеты сокращается на 17 млн. га. По площади это равно территории такой европейской страны, как Австрия. Так, почти полностью «облысел» такой европейский остров, как Исландия. Ученые утверждают, что раньше в Исландии было очень много лесов, но все их вырубили на дрова первые поселенцы, заселявшие остров с IX века.

Около 10 тыс. лет назад, до зарождения сельскохозяйственной деятельности, густые леса и другие покрытые лесом пространства занимали более 6 млрд га поверхности суши. К концу XX столетия их площадь сократилась почти на 1/3 и ныне они занимают лишь немногим более 4 млрд га. Во Франции, например, где леса изначально покрывали около 80 % территории, к концу XX в. их площадь сократилась до 14 %; в США, где лесами в начале XVII в. было покрыто почти 400 млн. га, уже к 1920 году этот лесной покров был на 2/3 уничтожен.

Аналитические исследования экологов показали, что за 80 столетий мировое истребление лесов на планете достигло почти 50 %. Из этого количества лишь 22 процента состоят из естественных экосистем, остальные сильно изменены под натиском человека.

По оценкам специалистов, глобальные темпы обезлесения составляют около 14,6 млн. гектаров в год - это непоправимая потеря, потому что один гектар леса может абсорбировать примерно в 20 раз больше углекислого газа, чем сельскохозяйственные растения, занимающие ту же площадь. Любопытно, что процессы уничтожения лесов идут, в основном, в развивающихся странах. С 1991 по 1994 год потребление бумаги на душу населения выросло в мире в среднем на 86 процентов, а в развивающихся странах - на 350 процентов!

Кроме этого, в развивающихся странах леса и перелески используются прежде всего как источники топлива, а также для расчистки под пашни. Более 1,5 млрд человек в этих странах используют лес как источник топлива для приготовления пищи. Это составляет свыше 80 % общего потребления лесоматериалов развивающимися странами, не считая экспорта. В Африке древесина в энергетическом балансе составляет 58 %, в Юго-Восточной

Азии – 42 и в Латинской Америке – 20 %. В результате лес вырубается на огромных площадях. Например, возле одного рыболовецкого центра в сахельском районе Африки (территория, расположенная между пустынями Сахары и саваннами Западной Африки), где сушка рыбы требует 130 000 тонн дров ежегодно, леса вырублены на 100 км вокруг. В Гамбии дров настолько мало, что их сбор составляет около 360 «женщино-дней» на семью.

Примером нерационального использования лесных ресурсов является случай Гаити и Доминиканской Республики, располагающихся на одном острове к востоку от Кубы. Изначально обе части острова были покрыты обширными лесными массивами. После завоевания острова европейцами началась вырубка лесов на всей территории острова, но Гаити потеряла значительно большую их площадь. Теперь, если встать на границе двух государств и сначала посмотреть на восточную часть острова (Доминикана), то по всей протяженности границы можно увидеть сосновый лес. Если повернуться и встать лицом к западу (Гаити), то взору откроются обширные, пустые, совершенно безлесные пространства. Лес на Гаити почти полностью истреблен.

Жители Гаити постоянно вырубают леса, с одной стороны, чтобы заработать хоть какие-то деньги на черном рынке древесины, с другой - ради увеличения площади сельскохозяйственных земель. В результате почва подвергается эрозии и теряет плодородность, урожаи сельскохозяйственных культур падают. Дальше снова вырубается лес, почва снова подвергается эрозии — и так по кругу.

А что же в Доминиканской Республике? Там в 1967 году был введен запрет на вырубку лесов, тогда как в Гаити по-прежнему активно использовали древесный уголь. Результат можно наблюдать на фото со спутника: в Доминикане по состоянию на 2011 год лесом покрыто 40,8 процентов территории, а в Гаити — всего один процент (рис. 9.12).

Рис. 9.12. Лесной покров Гаити (слева) и Доминиканской республики

Относительно хорошо сохранились леса так называемого бореального пояса – это территория между арктической тундрой и лиственными лесами более теплой зоны умеренного климата. К ним относятся леса России, Скандинавии, Аляски и Канады. Суровый климат, малое плодородие почвы, невысокая плотность населения – все это помогло сохраниться лесному покрову Северного полушария.

Более пострадали леса Центральной и Западной Европы. Это в основном широколиственные леса, занимающие плодородные почвы. От них ничего не осталось. Достаточно сказать, что в Европе нет места, где бы не произрастали вторичные, посаженные человеком леса. Исключение составляет небольшая территория Национального парка «Беловежская пуща» и север Швеции. В остальных местах, даже если и встречается старый дремучий лес, это лес был некогда посажен нашими предками.

Почти все лесные массивы умеренного пояса нашей планеты были вырублены и распаханы человеком для получения продуктов питания. И сейчас уже не каждый сможет поверить, что что в древности почти весь Китай был покрыт лесами. Ведь уже к 100 году до н. э. большая часть этих лесов была сведена под пахотные земли. А леса, окаймляющие Средиземное море, 2000 лет назад уничтожили древние греки и римляне. Площадей неосвоенных лесов становится все меньше и меньше. Сейчас можно отметить только три крупных лесных массива таких неосвоенных лесов: один находится в России, второй простирается через часть Канады и Аляски, третий - тропический лес на северо-западе бассейна Амазонки. Однако, согласно последнему исследованию программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), посвящённому девственным, старовозрастным и естественным вторичным лесам, хуже всего дело с охраной этих ценных природных территорий обстоит в России и Мексике: в этих странах заповедано соответственно 2 и 3 процента малонарушенных лесов. Из пятнадцати стран мира, располагающих этим природным богатством, лучше всего относятся к лесам в Венесуэле и Боливии, где под охрану взято соответственно 63 и 30 процентов малонарушенных лесных территорий.

По состоянию на 2000 г. лесами было покрыто в общей сложности 3,9 млрд. гектаров земли, т.е. примерно треть земной суши. В Африке леса занимают 17 % территории, в Азии - 14 %, в Океании - 5 %, в Европе - 27 %, в Северной и Центральной Америке - 14 % и в Южной Америке - 23 %.

Последние результаты исследований лесного покрова Земли при помощи спутников, проведенные недавно в рамках программы ООН по защите окружающей среды (UNEP), оказались неожиданно неприятными. Выяснилось: лесов на планете значительно меньше, чем считалось до сих пор. Например, канадцы были уверены, что у них лесами занято 45% территории страны. Однако подсчет из космоса показал, что вторая после России «зеленая держава» реально располагает лишь 38-процентным лесным покровом (табл. 9.4). А общая картина получилась настолько тревожной, что UNEP обратилась к правительствам 15 стран, где сосредоточены основные лесные ресурсы планеты, с предложением срочно разработать планы по защите девственных массивов и увеличить площадь охраняемых территорий.

Леса бассейнов рек Амазонки в Южной Америке и Конго в Африке, Коста-Рики в Центральной Америке, острова Мадагаскар, островов Юго-Восточной Азии принадлежат к влажным тропическим лесам. Здесь для них сложилось наиболее угрожающее положение. В качестве примера можно упомянуть печальную историю о. Мадагаскар, где были уничтожены почти все леса и, в настоящее время, на 9/10 территории острова идет активная эрозия почвы. Тропические леса в зоне экватора находятся под угрозой. Еще в прошлом веке они оставались в девственном состоянии, однако с 1960 по 1990 год была уничтожена пятая часть лесного покрова тропиков.

По разнообразию жизни на нашей планете ничто не может сравниться с тропическими дождевыми лесами. 1 гектар экваториального леса может вместить 42 000 видов насекомых, 750 видов деревьев и 1500 разновидностей других жизненных форм. Число видов рыб в Амазонке больше, чем во всем Атлантическом океане. Для тропических лесов характерны обильные, постоянно выпадающие осадки и тепло без выраженных сезонных колебаний.

Средняя температура в течение года составляет здесь 26 $^{o}$C, средняя величина годовых осадков - 230-240 см. Иногда годовые осадки достигают 762 см, как, например, в

департаменте Чоко (Колумбия). Относительная влажность в лесу составляет в среднем 76 %.

Тропические леса занимают всего около 7% суши. Они переполнены жизнью от кроны самых высоких деревьев до лесной подстилки. Разнообразие растений (свыше 4/5 всех видов) и животных (почти половина всех наземных видов) порождено, возможно, идеальными жизненными условиями (все время тепло и влажно). Здесь встречается 80% всех насекомых и 90% приматов, из числа существующих на планете. С тропическими лесами связано происхождение каждой второй сельскохозяйственной культуры, возделываемой в мире.

Человек кажется пигмеем под семнадцатиэтажным пологом тропического леса. На 1 га такого леса вмещается до 1000 т растительного материала. На 1 $м^2$ экваториального леса ползают 800 муравьев до полусотни различных видов. Тропический лес – это единственное место на Земле, где природа в своем развитии достигает оптимума. Около 40% влажных

Таблица 9.4. Десять стран с крупнейшей площадью лесов (2015 год)

| | Страна | Площадь лесов (тыс. га) | Доля в площади суши, % | Доля в совокупной площади лесов, % |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Российская Федерация | 814 93 | 50 | 20 |
| 2 | Бразилия | 493 538 | 59 | 12 |
| 3 | Канада | 347 069 | 38 | 9 |
| 4 | США | 310 095 | 34 | 8 |
| 5 | Китай | 208 321 | 22 | 5 |
| 6 | Демократическая Республика Конго | 152 578 | 67 | 4 |
| 7 | Австралия | 124 751 | 16 | 3 |
| 8 | Индонезия | 91 010 | 53 | 2 |
| 9 | Перу | 73 973 | 58 | 2 |
| 10 | Индия | 70 682 | 24 | 2 |
| 11 | ИТОГО | 2 686 948 | | 67 |

тропических лесов Земли сосредоточено в Бразильской Амазонии. Они играют огромную роль в гидрологии континента, сохранении биоразнообразия, поглощении атмосферного углерода.

Тропические дождевые леса нельзя рубить. Дело в том, что в отличие от лесов умеренной зоны, которые после вырубки можно восстановить, дождевые леса тропиков восстановить невозможно.

Корни тропических деревьев не идут вглубь, а распространяются горизонтально в поверхностном слое грунта. В лесах Амазонии, например, корни деревьев находятся на глубине всего 10—20 см. А, чтобы тяжелые деревья не падали, у основания ствола у них имеются часто своеобразные подпорки (контрфорсы): корни первого порядка досковидно расширены в вертикальном направлении, что обеспечивает дереву более широкую и

жесткую опору (рис. 9.13). Судя по всему, земная твердь небходима деревьям главным образом для опоры. Но тогда каждое из них, как и дождевой тропический лес в целом, должны хронически испытывать резко выраженное минеральное голодание.

Тем не менее дождевой тропический лес роскошно процветает, являя собой вечный праздник жизни, ее высшее торжество. Причем, заметим, все это не благодаря тучной почве, с плодородием которой у нас обычно ассоциируются биологическое изобилие и урожайность, а вопреки ей. В чем же тут дело?

Дождевой тропический лес не только оправдывает свое название, но именно в этом названии отражена главная его суть. В тропическом лесу постоянно высокая влажность, проистекающая от обилия выпадающих осадков. Лес постоянно промывается дождями, которые идут здесь почти ежедневно (годовое количество осадков составляет 2500-7000 мм и более). Постоянная подача воды в корневую зону растений как неотъемлемый атрибут гидропоники здесь стабильно обеспечена самими природными процессами. Кроме того, здесь весьма благоприятный тепловой режим. Круглогодичные температуры во влажных тропиках удерживаются на уровне не ниже 25 °С.

Рис. 9.13. Досковидные выросты у деревьев тропического леса

Что же касается элементов минерального питания дождевого леса, то его источником является сам лес, точнее, отмирающее органическое вещество (опад), которое в тропических условиях в кратчайший срок, в считанные недели, полностью разрушается и минерализуется гетеротрофными организмами (они функционируют здесь в высшей степени интенсивно). Несмотря на огромную массу опада (250 ц/га в год), способность влажного тропического леса утилизировать органическое вещество в десятки раз превышает его поступление. Освобождающиеся минеральные элементы переходят в поверхностные воды, которые становится уже по сути дела гидропонным питательным раствором, постоянно омывающим корни. Содержащиеся в этом растворе биофильные

элементы немедленно захватываются и поглощаются сложной (к тому же обильно снабженной микоризой) корневой системой многоярусного дождевого леса.

Вырубая тропические леса, мы вмешиваемся в естественный круговорот лесной экосистемы. Почва оголяется, запасов элементов минерального питания в ней почти нет. Высокая постоянная температура иссушает почву и превращает ее в безжизненную пустыню. Ничего, кроме жалких кустиков случайных растений здесь больше не вырастет. Лес исчезнет.

И, несмотря на все это, влажный тропический лес подвергается нещадной вырубке. Интенсивность уничтожения тропических лесов достигает 2 млн га/год., 23 га в минуту. Уничтожение тропических лесов Амазонки в Бразилии, которые называют «легкими планеты», достигло устрашающих размеров. Только в 2003 г. в бразильской Амазонии было вырублено около 20 тысяч квадратных километров леса - рекордный показатель за последние пять лет. Это на 15 % больше, чем в предшествующем году, и вырубленная площадь равняется территории Бельгии.

Причин тому несколько: это и рост численности населения региона с 1960-х годов примерно в 10 раз, и промышленная вырубка лесов, и бурное развитие горнодобывающих производств. Причем если раньше вырубка и выжигание шли в основном по границе с плотно заселенными восточными и южными районами бассейна Амазонки, то теперь они охватили и его центральную область.

До недавней вырубки леса вдоль Трансамазонской магистрали считалось, что обезьяна могла проделать путь от Колумбии до Аргентины, ни разу не коснувшись земли. А теперь вырубка влажных тропических лесов ведется убийственными темпами – миллион деревьев в день!

Что же делать, чтобы сохранить те зеленые островки, которые еще остались на нашей планете? Прежде всего ученые-экологи должны разработать систему мероприятий по улучшению состояния сохранившихся на планете лесов, как неосвоенных, так и измененных деятельностью человека. Часть лесных территорий должна быть сохранена от вырубок и землепользования: государство может получать от них доход, используя для туризма, защиты водоразделов и охраны биологического разнообразия страны. Каждое государство, на территории которого сохранились лесные массивы, необходимо посоветовать охранять свои неосвоенные леса, даже если в соседнем государстве тоже существуют сходные с ними экосистемы. Также нужно организовать землепользование на территории, прилегающей к неосвоенным лесам, чтобы максимально защитить их. Ну и, конечно, там, где вырубка лесов наиболее интенсивна, необходимо попытаться восстановить фрагментированные и исчезающие леса. Это только малая часть тех мероприятий, которые должны обеспечить охрану лесов нашей планеты. Задача эта коллективная, и только объединившись, правительства разных стран могут получить первые столь необходимые нам, землянам, результаты.

Такая работа уже начата. В настоящее время разработана и выполняется Международная программа сохранения бразильских влажных лесов. На нее ассигновано 340 млн амер. долл., которые выделили Великобритания, Германия, Италия, Канада, США, Франция и Япония, а также дополнительно Европейский Союз. На эти деньги создаются заповедники и резервации для индейских племен, коридоры для миграции животных,

участки, где сохраняются традиционные промыслы — сбор смолы каучуконосных растений, бразильского ореха и т.п.

История человечества на протяжении тысячелетий неразрывно связана с судьбой естественного лесного покрова Земли. Лес был убежищем, источником продовольствия, топлива, строительных материалов, т.е. основой экономической деятельности человечества. Однако, эта деятельность привела к тому, что современному человеку впору задуматься о судьбе зеленого покрова планеты. Французский писатель Франсуа Рене де Шатобриан еще в XVIII в. написал такие известные многим слова: «Леса предшествовали человеку, пустыни следовали за ним».

Человек до сих пор не задумывается о том, что уничтожение обычных деревьев для своих нужд может привести к глобальной катастрофе. Подсчитано, например, что на производство тонны бумаги необходимо спилить 24 дерева. Согласно усредненным цифрам, за год для выпуска газеты, в которой печатаются статьи и призывы об охране «зеленого друга» уничтожается 720 деревьев, то есть вырубается лес на площади 3,8 гектаров. Поистине, человек рубит сук, на котором сидит сам. Вот что написал по этому поводу французский поэт Жак Превер:

«Все меньше остается лесов
их истребляют, их убивают,
их сортируют и в дело пускают,
их превращают в бумажную массу,
из которой получают миллиарды газетных листов,
настойчиво обращающих внимание
публики на крайнюю опасность истребления лесов».

## 9.8. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

*Я понимаю и не спорю,*
*Что человек с природой в ссоре,*
*И всем живым несет он горе, внушает страх,*
*Хоть все мы смертные и вскоре вернемся в прах.*

**Роберт Бернс – шотландский поэт**

Всестороннее изучение человека, его взаимоотношений с окружающим миром привели к пониманию, что здоровье - это не только отсутствие болезней, но и физическое, психическое и социальное благополучие человека. Здоровье - это капитал, данный нам не только природой от рождения, но и теми условиями, в которых мы живем.

В истории нашей планеты (со дня ее формирования и до настоящего времени) непрерывно происходили и происходят грандиозные процессы планетарного масштаба, преобразующие лик Земли. С появлением могущественного фактора - человеческого разума - начался качественно новый этап в эволюции органического мира. Благодаря глобальному характеру взаимодействия человека с окружающей средой он становится крупнейшей геологической силой.

Производственная деятельность человека оказывает влияние не только на направление эволюции биосферы, но определяет и собственную биологическую эволюцию.

Специфика среды обитания человека заключается в сложнейшем переплетении социальных и природных факторов. На заре человеческой истории природные факторы играли решающую роль в эволюции человека. На современного человека воздействие природных факторов в значительной степени нейтрализуется социальными факторами. В новых природных и производственных условиях человек в настоящее время нередко испытывает влияние весьма необычных, а иногда чрезмерных и жестких факторов среды, к которым эволюционно он еще не готов.

Со временем развития темпов техногенеза в мире изменилось представление о некоторых заболеваниях. Раньше считалось, что инфаркт миокарда - это болезнь пожилых интеллигентных людей, малоподвижных, легкоранимых. И вот данные врачей, опубликованные в конце 80-х годов показали, что болезнь помолодела. Она начала поражать людей, труд которых связан с физическими напряжениями, например, шоферов.

Американские врачи, делавшие вскрытие своих солдат, погибших во время вьетнамской войны, и проходивших службу в десантных войсках, установили у многих из них начальные признаки атеросклероза. А ведь известно, что в армию США, а особенно в десант, попадали высокотренированные, физически здоровые солдаты.

Таким образом, развитие общества и всеобъемлющее техногенное воздействие привело к следующей парадигме: медицина без экологии становится бессильной. Медики пришли к выводу, что дальнейшее увеличение капиталовложений в медицину не приведет к снижению заболеваемостей. Поэтому ни увеличение койко-мест, ни применение новых лекарств, ни строительство больниц, ни тотальная диспансеризация населения не дадут положительного эффекта. Только здоровая полноценная среда обитания может обеспечить человеку здоровый образ жизни.

В настоящее время хозяйственная деятельность человека все чаще становится основным источником загрязнения биосферы. В природную среду во все больших количествах попадают газообразные, жидкие и твердые отходы производств. Различные химические вещества, находящиеся в отходах, попадая в почву, воздух или воду, переходят по экологическим звеньям из одной пищевой цепи в другую, попадая в конце концов в организм человека.

На земном шаре практически невозможно найти место, где бы не присутствовали в той или иной концентрации загрязняющие вещества. Даже во льдах Антарктиды, где нет никаких промышленных производств, а люди живут только на небольших научных станциях, ученые обнаружили различные токсичные (ядовитые) вещества современных производств. Они заносятся сюда потоками атмосферы с других континентов.

Вещества, загрязняющие природную среду, очень разнообразны. В зависимости от своей природы, концентрации, времени действия на организм человека они могут вызвать различные неблагоприятные последствия. Кратковременное воздействие небольших концентраций таких веществ может вызвать головокружение, тошноту, першение в горле, кашель. Попадание в организм человека больших концентраций токсических веществ может привести к потере сознания, острому отравлению и даже смерти. Примером подобного действия могут являться смоги, образующиеся в крупных городах в безветренную погоду, или аварийные выбросы токсичных веществ промышленными предприятиями в атмосферу.

Реакции организма на загрязнения зависят от индивидуальных особенностей: возраста, пола, состояния здоровья. Как правило, более уязвимы дети, пожилые и престарелые, больные люди.

При систематическом или периодическом поступлении в организм сравнительно небольших количеств токсичных веществ происходит хроническое отравление.

Признаками хронического отравления являются нарушение нормального поведения, привычек, а также нейропсихического отклонения: быстрое утомление или чувство постоянной усталости, сонливость или, наоборот, бессонница, апатия, ослабление внимания, рассеянность, забывчивость, сильные колебания настроения.

При хроническом отравлении одни и те же вещества у разных людей могут вызывать различные поражения почек, кроветворных органов, нервной системы, печени.

Сходные признаки наблюдаются и при радиоактивном загрязнении окружающей среды.

В 70-80-е годы в ФРГ нашумела история с препаратом талидомидом. Это средство успокаивало нервную систему. Однако, у применяющих препарат женщин, впоследствии рождались дети-уроды. Эксперты, вызванные в суд показали, что все компоненты этого препарата безвредны, и каждый из них вполне сочетался с естественными биологическими функциями. Однако никто не мог предвидеть, что в процессе синтеза, в производственных условиях, наряду с левовращающимися сахарами нарабатывались правовращающиеся, что и явилось причиной патологии. Неправомерное вторжение человека в сокровенные тайны человеческого организма привели к трагедии.

Загрязнение окружающей среды напрямую влияет на здоровье людей. Медикам и экологам известно, что высокие концентрации сернистого ангидрида, окислов азота и взвешенных частиц оказывают негативное воздействие на человека. Считается, что минимальная потенциально опасная для здоровья человека концентрация сернистого ангидрида составляет 250 мкг/м$^3$ в среднем за сутки или 100 мкг/м$^3$ в среднем за долгосрочный период. Для двуокиси азота эти цифры составляют свыше 190-320 мкг/м$^3$ в течение часа чаще одного раза в месяц.

Подкисление воды способно привести к экстрагированию различных металлов из водопроводных труб, сделанных из меди и гальванизированной стали.

По оценкам Всемирной организации здравоохранения, 80% всех болезней в мире связано с неудовлетворительным качеством воды. Болезни возникают из-за употребления загрязненной воды при питье, а также при несоблюдении санитарно-гигиенических требований из-за отсутствия воды.

Кроме химических загрязнителей, в природной среде встречаются и биологические, вызывающие у человека различные заболевания. Это болезнетворные микроорганизмы, вирусы, гельминты, простейшие. Они могут находиться в атмосфере, воде, почве, в теле других живых организмов, в том числе и в самом человеке.

Наиболее опасны возбудители инфекционных заболеваний. Они имеют различную устойчивость в окружающей среде. Одни способны жить вне организма человека всего несколько часов; находясь в воздухе, в воде, на разных предметах, они быстро погибают. Другие могут жить в окружающей среде от нескольких дней до нескольких лет. Для третьих

окружающая среда является естественным местом обитания. Для четвертых - другие организмы, например, дикие животные являются местом сохранения и размножения.

Часто источником инфекции является почва, в которой постоянно обитают возбудители столбняка, ботулизма, газовой гангрены, некоторых грибковых заболеваний. В организм человека они могут попасть при повреждении кожных покровов, с немытыми продуктами питания, при нарушении правил гигиены.

Болезнетворные микроорганизмы могут проникнуть в грунтовые воды и стать причиной инфекционных болезней человека. Поэтому воду из артезианских скважин, колодцев, родников необходимо перед питьем кипятить.

Особенно загрязненными бывают открытые источники воды: реки, озера, пруды. Известны многочисленные случаи, когда загрязненные источники воды стали причиной эпидемий холеры, брюшного тифа, дизентерии

Заболевания, вызванные нечистой водой, можно объединить в пять групп.

Группа первая объединяет заболевания при использовании зараженной воды для мытья посуды, продуктов, умывания. Это тиф, холера, дизентерия, гастроэнтерит (диарея вирусная) и инфекционный гепатит. Такая опасная болезнь, как гастроэнтерит ежегодно уносит жизни 6 миллионов детей и 18 миллионов взрослых в развивающихся странах. Это воспалительное заболевание желудка и тонкой кишки. Сопровождается рвотой, диареей, внутренними болями и спазмами. Смерть наступает в результате обезвоживания организма. Антисанитарные условия создают возможность легкого переноса ее от ребенка к ребенку.

Ко второй группе относятся заболевания кожи и слизистых оболочек, возникающие главным образом при умывании. Это трахома, чесотка, конъюнктивит, сепсис наружных покровов, язвы. Одна из болезней этой группы - трахома приводит к деформации края век, воспалению и помутнению роговицы. Следствием всего этого является слепота. Передается она мухами и от человека к человеку. В настоящее время этой болезнью в мире страдает около полумиллиона человек.

Третья группа охватывает заболевания, которые вызываются моллюсками, живущими в воде. Они являются переносчиками таких инфекций как, например, шистоматоз, который вызывает лихорадку, боли в печени, сыпь на коже, появление крови в фекалиях. Возбудитель болезни - паразитирующие черви, сложный цикл которых проходит частично в водоеме, частично в некоторых видах улиток, частично в организме человека. Заболеть ею можно искупавшись в воде зараженного пруда, озера или канала. Шистоматозом страдают примерно 200 миллионов человек в Африке, на Ближнем Востоке, в Юго-Восточной Азии и некоторых района Латинской Америки.

Четвертая группа - это заболевания, вызываемые живущими или размножающимися в воде насекомыми. Они являются переносчиками малярии, желтой лихорадки, сонной болезни, онхоцеркоза. Онхоцеркоз, или «речная слепота» - болезнь глаз, вызываемая укусом мелкой черной мошки, обитающей на быстрых реках. Личинка проникает в организм человека (в глаза) и, повреждая ткани, вызывает слепоту. Этой болезнью страдают в мире примерно 30 миллионов человек.

Пятая группа - заболевания, возникающие из-за несовершенной канализации. Наиболее распространенное из них – нематодоз - болезнь человека, животных и растений, вызываемая круглыми червями (Nematoda).

Человек, как и другие виды живых организмов, способен адаптироваться, то есть приспосабливаться к условиям окружающей среды. Адаптацию человека к новым природным и производственным условиям можно охарактеризовать как совокупность социально-биологических свойств и особенностей, необходимых для устойчивого существования организма в конкретной экологической среде.

Жизнь каждого человека можно рассматривать как постоянную адаптацию, но наши способности к этому имеют определенные границы. Также и способность восстанавливать свои физические и душевные силы для человека не бесконечна.

В настоящее время значительная часть болезней человека связаны с ухудшением экологической обстановки в нашей среде обитания: загрязнениями атмосферы, воды и почвы, недоброкачественными продуктами питания, возрастанием шума.

Следует отметить, что способность адаптироваться к новым условиям у разных людей не одинакова. Так, у многих людей при дальних авиаперелетах с быстрым пересечением нескольких часовых поясов, а также при сменной работе возникают такие неблагоприятные симптомы, как нарушение сна, падает работоспособность. Другие же адаптируются быстро.

Изучение адаптивных возможностей человека и разработка соответствующих рекомендаций имеет в настоящее время важное практической значение.

# ГЛАВА 10. ЭКОЛОГИЯ И ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ

*Первозданную природу надо беречь не меньше, чем мы бережём картины Рафаэля, Кёльнский собор, индийские храмы; их при желании можно восстановить. Уничтожая или ставя под угрозу многие виды животных на Земле, люди обедняют тем самым не только окружающую нас Природу, но и самих себя.*

**Бернгард Гржимек – немецкий зоолог и эколог**

С первых шагов человека по Земле его жизнь неотделима от природной среды, дома в котором он обитает. И только природе он обязан своему существованию на планете по имени Земля. На протяжении всей своей истории человек старался познать объективные закономерности природы. Постепенно, воздействуя на нее с помощью постоянно совершенствующихся орудий и средств труда, человек преобразовывал окружающую его среду. Пока человек занимался сбором пищи и охотой, он оказывал на окружающую его среду не больше влияния, чем любое другое млекопитающее.

Целенаправленное преобразование природной среды уходит в глубокую древность. Достаточно вспомнить подсечное земледелие, создание систем ирригации.

Когда же человек начал реально влиять на эволюцию экосистем? Анализ пыльцы показывает, что в средиземноморском бассейне человек начал играть существенную роль в изменении состава основных видов около 7500 лет тому назад, а 3500 лет тому назад здесь началась обширная вырубка лесов. В Китае массовая вырубка началась около 4000 лет тому назад, а в зоне влажных тропиков, особенно в Азии, - с началом земледелия.

Огромные размеры африканских саванн, восточноевропейских степей и южноамериканских пампасов связаны с тем, что человек, научившись добывать огонь, стал использовать его в целях расчистки районов охоты, что благоприятствовало крупным травоядным животным. Даже природа тропических островов подверглась глубоким изменениям и деградации еще до прибытия на них европейцев.

В последнее время в экологической литературе наряду с термином «природная среда» употребляется термин «окружающая среда». Окружающая среда включает в себя гармоническое сочетание естественного и преобразованного человеком мира живой и неживой природы. Окружающая среда является для человека источником материальных и духовных благ, она обеспечивает экономическое процветание и культурный прогресс всех цивилизаций.

Нобелевский лауреат этолог Н. Тинберген так сказал о взаимоотношениях человека и окружающей среды: «Мы так быстро меняем окружающую среду..., что наши генетически обусловленные поведенческие приспособления не поспевают за столь резкими преобразованиями. Не в наших силах ускорить генетическую эволюцию человека и приспособить ее к этим порой ужасающим изменениям. Наша единственная надежда - научиться управлять этой новой средой».

Но чтобы управлять окружающей средой, ее нужно знать, то есть представлять, как те или иные ее изменения отражаются на человеке и обществе, к каким последствиям ведут. И

здесь на помощь приходит экология. Потребности экологии стимулировали углубление знаний о механизмах развития различных природных сред, подвергающихся непосредственному воздействию человека, - воздушного бассейна, водных ресурсов, почвенного покрова, ледников, пустынь, горных областей, лесных экосистем.

Современная экология ориентирует все науки на решение своеобразной «сверхзадачи» - поисков гармонии человека и природы, создает научные основы рационального использования природных и биологических ресурсов и охраны природы. И хотя в последнее время наблюдается некоторое смешение таких понятий, как экология, охрана природы, охрана окружающей среды и природопользование, несомненна самостоятельность экологии как фундаментальной основы всех областей природоохранного знания, конечная цель которых - сохранение среды обитания человека, природы Земли ради здоровья и жизни людей.

В процессе становления экологии произошло смешение понятий того, что же определяет суть этой науки в общем и всей структуры экологического цикла наук в частности. Экологию стали трактовать прежде всего как науку об охране и рациональном использовании природы. Автоматически все, что касается природного окружения, стали называть «экологией», в том числе и охрану природы и охрану окружающей человека среды.

При этом последние два понятия были искусственно смешаны, и в настоящее время рассматриваются в комплексе. Исходя из конечных целей, охрана природы и охрана окружающей среды близки между собой, но все же не идентичны.

На сегодняшний день главная проблема охраны природы - это не защита некоторого количества видов (и не только животных растений) от угрозы исчезновения, а сочетание высокого уровня продуктивности с сохранением в биосфере сети центров генетического разнообразия. Подобный подход к сохранению видов требует обязательной охраны мест их обитания; в противном случае сохранение будет носить статичный, изолированный характер и сведется к созданию зоологических или биологических заповедников, что неминуемо приведет к эволюционной дегенерации.

***Охрана природы*** нацелена прежде всего на поддержание рационального взаимодействия между деятельностью человека и окружающей средой с целью его сохранения и восстановления природных ресурсов и предупреждения вредного влияния результатов хозяйственной деятельности на природу и здоровье человека.

В Уставе Международного союза охраны природы (МСОП) сказано: «Под охраной природы и природных ресурсов понимается сохранение органического мира, естественной среды, в которой живет человек, а также возобновимых природных ресурсов Земли – основного условия всякой цивилизации».

***Охрана окружающей среды*** концентрирует свое внимание прежде всего на потребностях самого человека. Это комплекс самых различных мероприятий (административно-хозяйственных, технологических, юридических, общественных и пр.), направленных на обеспечение функционирования природных систем, необходимых для сохранения здоровья и благосостояния человека.

Природопользование направлено на удовлетворение различных потребностей человека путем рационального использования природных ресурсов и природных условий. Понятию

«природопользования», определению объекта природопользования как науки, а также как сферы знаний посвящены работы российского теоретика экологии Н. Ф. Реймерса. По Реймерсу «природопользование – совокупность всех форм эксплуатации природно-ресурсного потенциала и мер по его сохранению». Природопользование «как сфера знания включает в себя элементы естественных, общественных и технических наук».

***Природопользование*** - это совокупность воздействий человечества на географическую оболочку Земли, рассматриваемая в комплексе, совокупность всех форм эксплуатации природных ресурсов, практика использования природной среды и природных ресурсов человеком. Поэтому природопользование представляет собой систему взаимоотношений человека с природой. Задачи природопользования сводятся к разработке общих принципов осуществления всякой деятельности человека, связанной либо с непосредственным пользованием природой и ее ресурсами, либо с изменяющими воздействиями на нее.

Практическое применение экологического знания можно видеть, прежде всего, в решении вопросов природопользования. Только экология, как наука, способна создать научную основу эксплуатации природных ресурсов. Внимание экологии направлено прежде всего на законы, лежащие в основе естественных природных процессов.

***Рациональное природопользование*** предполагает обеспечение экономной эксплуатации природных ресурсов и условий с учетом перспективных интересов будущих поколений людей. Оно направлено на обеспечение условий существования человечества и получение материальных благ, на максимальное использование каждого природного территориального комплекса, на предотвращение или максимальное снижение возможных вредных последствий процессов производства или других видов человеческой деятельности, на поддержание и повышение продуктивности и привлекательности природы, обеспечение и регулирование экономичного освоения её ресурсов.

Под рациональным природопользованием понимается система деятельности, призванная обеспечить экономную эксплуатацию природных ресурсов и условий и наиболее эффективный режим их воспроизводства с учетом перспективных интересов развивающегося хозяйства и сохранения здоровья людей. Оно предполагает:

- обеспечение и дальнейшее улучшение существования человеческого общества;
- максимальное использование всех необходимых природных ресурсов;
- предотвращение, снижение или уничтожение вредных последствий процессов производства;
- поддержание и повышение продуктивности и привлекательности природы;
- обеспечение, регулирование экономного, научно-обоснованного использования ресурсов;
- изучение законов природы и ее компонентов в их взаимодействии.

В противовес рациональному, нерациональное природопользование сказывается в снижении качества, растрате и исчерпании природных ресурсов, подрыве восстановительных сил природы, загрязнении окружающей среды, снижении её оздоровительных и эстетических достоинств. Оно ведет к ухудшению природной среды и не обеспечивает сохранения природно-ресурсного потенциала.

Природопользование включает в себя:

■ извлечение и переработку природных ресурсов, их охрану, возобновление или воспроизводство;

■ использование и охрану природных условий среды жизни человека;

■ сохранение, восстановление и рациональное изменение экологического равновесия природных систем;

■ регуляцию воспроизводства человека и численности людей.

Охрана природы, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов - общечеловеческая задача, участвовать в решении которой должен каждый живущий на планете.

Природоохранная деятельность ориентирована главным образом на сохранение многообразия форм жизни на Земле. Совокупность видов живых организмов на нашей планете создает особый фонд жизни, который называется генофондом. Это понятие несколько шире, чем просто совокупность живых существ. Оно включает в себя не только проявившиеся, но и потенциальные наследственные задатки каждого вида. Мы еще не все знаем о перспективах использования того или иного вида. Существование какого-то организма, кажущееся сейчас ненужным, в будущем может оказаться не только полезным, но и, быть может, спасительным для человечества.

Разнообразие живой природы является основным индикатором влияния человеческой деятельности на живое окружение. С началом развития промысла крупных млекопитающих и птиц, а затем с возникновением земледелия человек вторгся в естественные, созданные природой замкнутые циклы. В каждом таком цикле любой вид живых организмов выполняет свою роль и все они находятся в неразрывной связи. Стараясь изменить природные условия, человек вступил в конфликт с силами естественной саморегуляции. Одним из результатов такого конфликта явилось снижение биологического разнообразия природных экосистем. В настоящее время число видов на Земле стремительно уменьшается.

Биологическое разнообразие в условиях усиления хозяйственной и техногенной деятельности человека зависит от степени развития научно обоснованной и эффективной сети охраняемых территорий. Для сохранения биоразнообразия видов необходимо сохранить разнообразие экосистем, и наоборот, поддержание экосистем в естественном состоянии невозможно без сохранения их видового разнообразия. Главная проблема охраны природы в настоящее время - не защита какого-то количества видов растений или животных от угрозы исчезновения, а сочетание высокого уровня продуктивности с сохранением в биосфере широкой сети центров генетического разнообразия. Биологическое разнообразие фауны и флоры обеспечивает нормальный круговорот веществ, устойчивое функционирование экосистем. Если страны смогут решить эту важную экологическую задачу в будущем можно рассчитывать на производство новых продуктов питания, лекарственных средств, сырья для промышленности.

В «Конвенции о биологическом разнообразии», принятой 5 июня 1992 г. в качестве основной цели провозглашается «сохранение биологического разнообразия, устойчивое использование его компонентов и совместное получение на справедливой и равной основе выгод, связанных с использованием генетических ресурсов».

Проблема сохранения биологического разнообразия живых организмов планеты в настоящее время является наиболее острой и значимой для человечества. От того, как и

каким образом будет решена эта проблема, зависит возможность сохранения жизни на Земле и самого человечества как части биосферы.

## 10.1. КРАСНАЯ КНИГА И ОХРАНА ПРИРОДЫ

В парке плакала девочка: «Посмотри-ка ты, папочка,
У хорошенькой ласточки переломана лапочка,
Я возьму птицу бедную и в платочек укутаю…»
И отец призадумался, потрясенный минутою,
И простил все грядущие и капризы и шалости
Милой маленькой дочери, зарыдавшей от жалости.

**И. Северянин – русский поэт**

В 1884 г. французские ботаники, исследовав флору Парижа, насчитали 209 видов и забили тревогу, потому что с территории города исчезли многие виды, зарегистрированные ботаником Ж. Турнефором в 1698 г. Экологи, изучающие современную флору Франции, при обследовании центра Парижа отметили всего 90 видов, причем самыми распространенными растениями являлись мелколепестник канадский, подорожник большой, одуванчик лекарственный, крестовник обыкновенный и мятлик однолетний. Таким образом, ботаники недосчитались 119 видов растений, которые произрастали на территории города в прошлом веке.

Всего лишь два-три столетия понадобилось «человеку разумному», чтобы довести природу до грани истощения. Пришло время серьезно проанализировать современное состояние растительного и животного мира планеты.

Ученые подсчитали, что почти десятая часть высших растений мира находится под угрозой исчезновения. В недалеком будущем до 30 % дикорастущей флоры планеты может погибнуть. Если не принять соответствующих мер, наши дети и внуки, повзрослев, уже не увидят красочно цветущих лугов и тенистых зеленых лесов. Да и в букет они смогут собрать не те прекрасные травы, которыми мы восхищаемся сегодня, а разве что одуванчики и чертополохи. А для того, чтобы такие меры были приняты, необходимо выявить и всесторонне изучить виды, которым угрожает опасность исчезновения.

Страдает не только растительность планеты, но и животный мир. Массовое истребление животных приняло невиданные масштабы. В густонаселенных странах для диких животных в буквальном смысле не остается места. Стоит привести слова известного журналиста Василия Пескова: «Если процессу разграбления природы не будет быстро поставлена преграда, очнуться можем в пустыне». В настоящее время число видов на Земле стремительно уменьшается. Есть угроза, что в ближайшие 20-30 лет мы потеряем около 1 млн видов. Это будет серьезным ударом по целостности и стабильности нашего природного окружения.

В 1948 г. группа ученых и общественные организации разных стран, объединившись, создали Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП). С этого момента данная организация ведет непрерывную работу по тщательному и всестороннему изучению видов растений и животных, находящихся под угрозой исчезновения. МСОП регулярно составляет Красные книги и Красные списки – документы, отражающие

ситуацию и тенденции исчезновения и сокращения численности различных таксонов живых организмов. Задача Союза - содействие сохранению и разумному использованию широких природных богатств. В настоящее время более 100 государств принимают участие в этой организации. Прежде всего Союз организовал ревизию (учет) всех редких животных и растений, которым угрожает исчезновение с лица Земли. Так появились пять томов с перечнем видов, которые могли бы навсегда исчезнуть. Первое издание Красной книги вышло в 1963 г. У истоков ее создания стоял сын известного исследователя Южного полюса Роберта Скотта - английский профессор Питер Скотт. В два тома Красной книги вошли сведения о 211 видах и подвидах млекопитающих и 312 видах и подвидах птиц. Одновременно составлялся так называемый «черный список», куда вошли животные и растения, исчезнувшие безвозвратно.

Можно считать, что Красная книга - самая знаменитая книга нашей эпохи, о которой, по крайней мере, слышало большинство населения планеты. Все страницы этого издания были окрашены в красный цвет. Отсюда и название книги - «Красная». Красный цвет всегда был цветом опасности. Таким образом ученые-составители пытались привлечь внимание общественности к той угрозе, которая нависла над живым населением Земли. С того времени аналогичные Красные книги начали выходить во многих странах мира, хотя красным в них остался лишь переплет. Сведения, представленные в Красной книге, являются не только сводом данных о состоянии видов животных и растений, но и руководством по их спасению, сохранению и приумножению для будущих поколений.

***Красная книга*** - это систематизированный перечень редких и исчезающих видов животных, растений и грибов с описанием распространения, основных местообитаний (для растений произрастаний), численности, сведений об образе жизни, принятых и необходимых мер охраны и воспроизводства. Красная книга является основным документом, в котором обобщены материалы о современном состоянии редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений и животных, на основании которых проводится разработка научных и практических мер, направленных на их охрану, воспроизводство и рациональное использование. Каждый пятый вид животной и растительной жизни на Земле в той или иной мере находится под угрозой исчезновения,.

Красная книга содержит данные о численности, биологии видов, а также краткие сведения о принятых и необходимых мерах охраны того или иного животного или растения. Занесение любого вида в Красную книгу означает, что он нуждается в охране.

По мере поступления новых сведений листы Красной книги обновляются и заменяются. Если вид устойчиво восстанавливает свою численность и угроза его исчезновения миновала, он может быть вычеркнут из Красной книги. В настоящее время Международная Красная книга МСОП не издается типографским способом из-за огромного объема – около 80 тысяч страниц, который ежегодно значительно увеличивается, учитывая темпы пополнения знаний и число видов, попадающих под антропогенный пресс. Она сейчас более походит на Википедию, обновляется ежеквартально, добавились разделы, посвящённые настоящим водорослям, актиномицетам, бактериям, цианофитам, археям и даже вирусам, но они пока не заполнены.

Виды, внесенные в Красную книгу, подлежат обязательной международной и государственной охране, они являются объектами многочисленных межгосударственных

соглашений, договоров, научных проектов. Однако Красная книга МСОП не является юридическим (правовым) документом, а носит исключительно рекомендательный характер по охране видов, адресованные странам и правительствам, на территории которых сложилась угрожающая ситуация. На основании этих списков по всему миру проводится разработка научных и практических мер, направленных на охрану, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов.

В 1988 г. МСОП Наряду с Красной книгой приступило к изданию совершенно новой формы информации о редких растениях и животных в виде издания «Красных списков угрожаемых видов» (англ. IUCN Red List of Threatened Animals). Они выходят также под эгидой МСОП, но официально и практически не являются вариантом Красной книги, не аналогичны ей, хотя и близки к этому.

Для задач сохранения редких видов, включенных в красные книги, Международный Союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП) предложил 9 категорий их статуса.

1. Вымершие, исчезнувшие виды (***EX***): известны как несуществующие.

2. Вымершие в дикой природе (***EW***): сохранились только в условиях неволи или в виде восстановленных популяций.

3. Находящиеся на грани полного исчезновения (***CR***): имеют высокий риск вымирания в дикой природе в недалеком будущем. Относятся к категории «критического состояния».

4. Находящиеся под угрозой исчезновения (***EN***): имеют высокий риск вымирания в дикой природе в недалеком будущем и могут перейти в категорию «критического состояния».

5. Уязвимые (***VU***): имеют высокий риск вымирания в дикой природе в перспективе, и могут перейти в категорию «под угрозой исчезновения».

6. Требующие сохранения (***NT***): им не грозит вымирание, но это зависит от программы сохранения, без которой существует угроза вымирания вида.

7. Существует близкая угроза исчезновения (***LC***): категория для видов, близких к категории «уязвимые», но для которых в настоящее время нет непосредственной угрозы.

8. Данных недостаточно (***DD***).

9. Данные отсутствуют (***NE***): требуется дополнительная информация для присвоения видам категорий по степени угрозы вымирания.

Эта классификация используется при реализации важнейшего документа, регламентирующего торговлю редкими видами - Международной конвенции о торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения (СИТЕС).

Красная книга Республики Беларусь представляет собой издание, содержащее список редких и находящихся под угрозой исчезновения на территории Беларуси видов (в том числе подвидов) диких животных и дикорастущих растений.

Первое издание Красной книги Беларуси было предпринято в 1981 г. В то время на ее страницы попало 80 видов животных и 85 редких и исчезающих видов растений.

Второе издание Красной книги вышло в 1993 году. В нее включено уже 182 вида животных, 180 - растений, 17 - грибов и 17 видов лишайников.

В 2006 г. было предпринято новое издание Красной книги. Новое издание национальной Красной книги подготовлено с использованием усовершенствованных международных подходов и критериев. Одновременно с этим учитывалась региональная

специфика, национальные природоохранные приоритеты и возможности для решения задач по сохранению видов. Новое издание Красной книги включает 463 вида животных, растений и грибов.

В настоящем издании учтено 189 видов животных. Основные группы представлены млекопитающими – 17 видов, птицами – 72 вида и насекомыми – 70 видов.

Представители флоры Беларуси представлены 274 видами: 173 вида сосудистых растений, 27 видов мохообразных, 21 вид водорослей, 24 вида лишайников и 29 видов грибов (табл. 10.1). С 2007 года существует электронная версия книги.

Таблица 10.1. Виды растений и животных Красной книги Республики Беларусь

| Таксон | Издание | | |
|---|---|---|---|
| | 1-е | 2-е | 3-е |
| РАСТЕНИЯ | | | |
| Высшие растения | 85 | 156 | 173 |
| Мохообразные | - | 15 | 27 |
| Грибы | - | 17 | 29 |
| Лишайники | - | 17 | 24 |
| Водоросли | - | 9 | 21 |
| Всего | 85 | 214 | 274 |
| ЖИВОТНЫЕ | | | |
| Млекопитающие | 10 | 14 | 17 |
| Птицы | 45 | 75 | 72 |
| Пресмыкающиеся | 2 | 2 | 2 |
| Земноводные | 1 | 1 | 2 |
| Кругоротые (миноги) | - | - | 1 |
| Рыбы | 7 | 5 | 10 |
| Моллюски | 1 | 1 | 2 |
| Насекомые | 9 | 78 | 70 |
| Многоножки | - | 1 | 1 |
| Паукообразные | - | - | 1 |
| Ракообразные | 5 | 5 | 10 |
| Пиявки | - | - | 1 |
| Всего | 80 | 182 | 189 |

Все виды животных и растений, попавшие на страницы Красной книги, сгруппированы по разделам: млекопитающие, птицы, рептилии, амфибии, рыбы, насекомые, двустворчатые моллюски, ракообразные, плаунообразные, хвощеобразные, папоротникообразные, голосеменные, покрытосеменные, мохообразные, водоросли, лишайники, а также грибы.

Категории национальной природоохранной значимости Красной книги Республики Беларусь в основном соответствует четырем общепринятым категориям Международного союза охраны природы. Каждый вид охарактеризован с точки зрения его статуса, то есть категории охраны.

*I категория CR* (находящиеся под глобальной угрозой исчезновения). Виды наивысшей национальной природоохранной значимости. Включает таксоны, имеющие очень низкую или быстро сокращающуюся численность, спасение которых невозможно без специальных мер охраны.

Среди животных, попавших в эту категорию охраны, можно отметить такие виды, как европейская норка, большой подорлик, беркут, турухтан, стерлядь, атлантический лосось. Из растений – хвощ болотный, чистоуст величавый, пихта белая, фиалка горная, бриум прибрежный, кладония дернистая.

*II категория EN* (находящиеся под критической угрозой исчезновения). Включает таксоны, имеющие низкую численность и тенденцию к неуклонному сокращению численности или ареала и прогнозируемое в ближайшее будущее ухудшение их статуса.

Из животных – европейский зубр, бурый медведь, европейская рысь, алиайская перламутровка, орлан-белохвост, скопа, ручьевая форель, жук-олень, медицинская пиявка.

Из представителей растительного мира сюда включены кубышка малая, ломонос прямой, дуб скальный, плюш обыкновенный, ятрышник мужской, кладония стройная.

*III категория VU* (уязвимые). Включает таксоны не находящиеся под прямой угрозой исчезновения, но подверженные риску вымирания, делающие их уязвимыми при любых даже незначительных изменениях окружающей среды.

Из животных к данной категории относятся: барсук, крапчатый суслик, большая белая цапля, черный аист, камышовая жаба, обыкновенный рыбец, блестящая жужелица, широкопалый рак.

Из растений – кубышка белая, живокость высокая, береза низкая, рододендрон желтый, чина гладкая, водяной орех, линнея северная, венерин башмачок.

*IV категория NT* (близкие к первым трем категориям). Включает таксоны имеющие неблагоприятные тенденции на окружающих территориях или зависимые от осуществляемых мер охраны.

Из животных в данную категорию попали: малый погоныш, белощекая крачка, европейская корюшка, решетчатая жужелица, серый гусь, белоспинный дятел, усатая синица, воробьиный сыч.

Растения: многоножка обыкновенная, ветреница лесная, купальница европейская, прострел раскрытый, лунник оживающий, осока теневая.

Авторы Красной книги утверждают, что каждый пятый вид животной и растительной жизни на Земле в той или иной мере находится под угрозой исчезновения. Видов флоры и фауны, которым грозит вымирание, все больше. При этом авторы Книги утверждают, что активная деятельность экологов позволила отвести некоторые виды от грани, за которой - исчезновение с лица Земли.

Среди примеров успешной деятельности экологов можно назвать сохранение калифорнийского кондора, черноногого хорька и лошади Пржевальского. Благодаря работе экологов, численность этих животных в естественной среде обитания вновь начала расти. А горбатые киты и вовсе перестали числиться в Красной книге, после того как власти государств мира ввели глобальный запрет на китобойный промысел.

## 10.2. ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ

*Аэродромы, пирсы и перроны,*
*Леса - без птиц*
*И земли без воды.*
*Все меньше окружающей природы,*
*Все больше окружающей среды.*
**Роберт Рождественский – российский поэт**

Наиболее совершенной формой охраны живой природы является заповедный режим. Организация заповедных территорий в настоящее время - это наиболее совершенный и надежный способ сохранения тех остатков могущественной некогда Природы, которым угрожает исчезновение по вине человека. Поэтому деятельность естествоиспытателей большинства стран направлена на расширение географической сети заповедных территорий и увеличение их площади.

Главная проблема охраны природы - это не защита отдельных видов растений или животных, а сохранение в биосфере достаточно обширной сети центров генетического разнообразия для обеспечения нормального развития широкого диапазона эволюционных процессов.

Идея сохранения нетронутых уголков с целью сбережения природных ресурсов возникла не в наше время. Сохранились сведения, что еще до нашей эры правители некоторых развитых государств принимали природоохранительные законы. Имеется свидетельство, что индийский император Ашока в 242 г. до н. э. издавал указы об охране лесных массивов и охотничьей фауны.

В XVI в. в окрестностях Киева был расположен так называемый «Красный двор», вокруг которого охранялись лесные охотничьи угодья. Исторически сложилось так, что возникновение первых заповедных территорий было напрямую связано с утилитарным, потребительским подходом к окружающей природе. Именно поэтому на Руси первые заповедные участки возникли в местах поселения ценных для человека видов животных, таких, как бобры, туры, или редких - зубры, антилопы, страусы, кенгуру (заповедник Аскания-Нова).

Одним из самых старых заповедников Европы является знаменитая Беловежская пуща. Охрана ее природных богатств началась с XI в. Лесные массивы, помогающие населению отдельных стран и районов в отражении захватнических действий многочисленных противников, также усиленно охранялись. Эти лесные массивы назывались засеками. Могучие деревья на определенной площади подрубались (засекались) выше человеческого роста в сторону предполагаемого противника и становились естественной защитой при нападении врага. Такие засеки создавались на южных границах Московского государства (Тульские и др.). На Днепре для защиты от нападения крымских татар специальным указом от 1765 г. были взяты под охрану леса острова Монастырский.

Таким образом, несмотря на расточительное отношение к природе, человек все же был вынужден прибегать к природоохранительным мероприятиям. Однако никакого научного подхода при отведении природных территорий для охраны вплоть до XIX в. не существовало. Первым из естествоиспытателей, кто предложил необходимость целевой

охраны природных компонентов, был известный путешественник и географ А. Гумбольдт. Во время путешествия по Венесуэле в 1799-1804 гг. он предложил термин «памятник природы» для охраны группы вековых деревьев из семейства мимозовых и позже ввел это понятие в научную литературу.

В настоящее время общепринятой классификации заповедных объектов живой и неживой природы не существует. Одним из методов охраны природы является создание особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Это сложная и важная структура в системе охраны окружающей среды, объединяющая совокупность экологически взаимосвязанных природных объектов, выполняющих важнейшие средо-, ресурсо- и информационноохранные функции. Регулируя интенсивность природопользования на конкретных участках Земли, ООПТ формируют понимание значимости таких территорий в сознании человека. Такие территории исключаются из традиционного хозяйственного использования (рубка леса, распашка, осушение, орошение и т.п.). В опубликованной «Мировой стратегии охраны природы» (1978) говорится, что в настоящее время почти каждый природный объект - большинство видов растений и животных (или хотя бы отдельные их популяции в разных частях ареалов), биоценозов, экосистем и ландшафтов нуждается в той или иной степени охраны. Однако реально организовать действенную охрану природных объектов можно лишь для их ограниченного числа, поэтому необходимо сосредоточить усилия хотя бы на самых важных.

Среди всего количества таких территорий, создаваемых в глобальном масштабе, выделим заповедники, национальные парки, заказники, памятники природы и ландшафтные парки.

***1. Заповедники.*** Это особо охраняемые пространства, полностью исключенные из любой хозяйственной деятельности ради сохранения в нетронутом виде природных комплексов, а также охраны редких и исчезающих видов растений и животных, типичных ландшафтов и экосистем. Они подчинены строгому режиму охраны, который запрещает всякую деятельность человека, не связанную с задачами заповедника. Заповедники являются природоохранными и научно-исследовательскими учреждениями, имеющими штат; всегда создаются с изъятием земель; на них запрещается любая хозяйственная деятельность, кроме направленной на нужды самого заповедника.

Термин «заповедник» происходит от слова «заповедь», то есть завет. Заповедники служат цели сохранения генофонда живой природы на планете, качественного многообразия жизни на Земле.

Исторически сложилось так, что возникновение первых заповедных территорий было напрямую связано с утилитарным, потребительским подходом к окружающей природе. Именно поэтому первые заповедные участки возникли в местах поселения ценных для человека видов животных, таких, как бобры (Березинский заповедник), туры, или редких – зубры (Беловежская пуща), антилопы (заповедник Аскания-Нова).

Одним из самых старых заповедных участков Европы является знаменитая Беловежская луща. Охрана ее природных богатств началась с XI столетия. Как охраняемая природная территория Беловежская пуща известна с конца XIV – начала XV вв., когда Великий князь Ягайло объявил ее заповедной. В 1538 году польский король Сигизмунд I учредил на территории пущи строго охраняемый охотничий заказник. Лесные массивы,

помогающие населению отдельных стран и районов в отражении захватнических действий многочисленных противников, также усиленно охранялись. Эти лесные массивы назывались «засеками». Могучие деревья на определенной площади подрубались (засекались) выше человеческого роста в сторону предполагаемого противника и становились естественной защитой при нападении врага.

Первый в России заповедник был создан на острове Вайка в Эстонии в 1910 г. В 1912 г. по инициативе известного ботаника К. Купфера в Западной Латвии, на острове Морицсала, был учрежден резерват, имевший статус заповедника. Несколько позже, в 1916 г., основаны заповедники Баргузинский - на побережье озера Байкал и Кедровая Падь - Приморский край. В 1987 г. в СССР было создано 156 заповедников и заповедно-охотничьих хозяйств. На земном шаре сейчас насчитывается свыше 20 тыс. заповедных объектов различных типов.

Сегодня на территории Республики Беларусь находится два государственных заповедника: Березинский биосферный и Полесский радиационно-экологический заповедник.

***2. Национальные парки.*** Один из самых распространенных и крупных видов ООПТ - национальный парк: охраняемый участок территории (акватории) с малонарушенным природным комплексом, часто с уникальными объектами (водопады, каньоны, живописные ландшафты и т.п.). Он включает охраняемые природные ландшафты, выделенные для охраны природы в оздоровительных, эстетических, научных и культурно-просветительских целях. Заповедные зоны занимают здесь от 10 до 50 % общей площади. А на остальной части организуется хозяйственная и рекреационная деятельность со щадящим режимом природопользования. По определению МСОП «национальный парк есть территория, утвержденная центральной властью, на которой должны выполняться три основных условия: полная защита природы; достаточная площадь; установленный статус. На территории национального парка допускается и организуется туризм». В отличие от заповедников, где деятельность человека практически полностью запрещена, на территории национальных парков кроме зоны заповедности могут быть организованы зоны отдыха и туризма, а также допускается хозяйственная деятельность.

Территория национального парка представляет собой экологическую, историческую и эстетическую ценность, сочетающую естественные и культурные ландшафты, предназначенную как для отдыха, так и для научных и иных целей. Участки парка предназначенные для отдыха располагаются на менее ценных и более устойчивых к антропогенным перегрузкам землях. Заповедная же часть парка является резерватом природы, доступ в нее разрешается лишь в научных и познавательных целях.

Вместе с другими ООПТ национальные парки обеспечивают «фундамент» основных охраняемых территорий, которые поддерживают разнообразную, здоровую и устойчивую окружающую среду. Хорошо спланированный ландшафт необходим для сохранения тысяч видов, находящихся под угрозой исчезновения. Национальные парки образуют систему сохранения биоразнообразия, где содержатся жизненно важные места обитания, обеспечивающие безопасные убежища, в которых животные и растения могут выживать и процветать.

К середине XIX в. необходимость организации крупных природоохранных территорий для сохранения неповторимых природных ландшафтов стала очевидной для многих естествоиспытателей. Природоохранное движение набирало силу, и следствием этого стала разработка концепции национального парка - особой обширной территории, которая включает охраняемые природные ландшафты, не затронутые человеческой деятельностью. Главное назначение национального парка наряду с сохранением природных комплексов в неприкосновенности - это рекреационная деятельность (отдых человека на лоне природы).

Официально процесс заповедания территорий начался в 1872 году, когда был основан первый в мире национальный парк в США г. Это Йеллоустонский национальный парк. Он занимает площадь в 898 тыс. га и располагается в зоне хвойных лесов. На его территории находится около 3000 гейзеров и горячих источников (рис. 10.1).

Рис. 10.1. Йелоустонский национальный парк

Идею создания национальных парков после США подхватили Мексика (национальные парки Дезирто де Лос Леоне - 1876 г. и Эль Чико - 1898 г.) и Канада (национальные парки Глейшерский - 1886 г. и Банфский - 1887 г.). В Европе первые национальные парки были организованы в Швеции также в конце XIX в. (Сарек, Стора Сейфаллет и Пелекайсе). В 1913 г. в Швейцарии состоялась конференция по проблеме международной охраны природы. На ней впервые была обоснована необходимость организации в различных природных зонах крупных заповедников, в которых охранялись бы основные компоненты биоценоза - животный и растительный мир. Одновременно с этим высказывались идеи и о международном сотрудничестве в природоохранном деле. Природа не знает границ, искусственно возведенных человеком. Как известно, Амазония раскинулась на южноамериканском континенте на территории нескольких государств. Разрозненные усилия каждого из них по сохранению уникальной экосистемы тропического дождевого леса принесут мало пользы. Только кооперативные действия по охране лесов в бассейне Амазонки могут дать положительные результаты.

В настоящее время в мире насчитывается около 2 тыс. национальных парков, самый крупный из которых - Северо-Восточный Гренландский национальный парк, его площадь - 972 тыс. км², что превышает площадь 163 стран мира. Это примерно четвёртая часть Европейской части России.

Первым национальным парком Республики Беларусь стала Беловежская пуща, далее учредили нацпарки «Браславские озера», «Припятский», «Нарочанский».

***3. Заказники природы*** - участки природной территории, где временно или постоянно запрещены отдельные формы хозяйственной деятельности человека. Представляют интерес в научном, познавательно-воспитательном и культурном отношении. Организация заказников - это целевая форма охраны, когда охраняется какой-либо один из природных компонентов. В них охраняются отдельные компоненты природных экосистем, один или многие виды живых существ, ценные объекты живой природы (озеро, болото) или живописные типы ландшафта. Обычно заказники организуются для увеличения численности диких животных в природных условиях и для восстановления ресурсов ценных растений - лекарственных, эфиромасличных, декоративных и др. В заказниках устанавливается частичный режим охраны и допускается деятельность человека, не наносящая ущерба объектам охраны. Заказники могут быть различного назначения: комплексные, ботанические, зоологические, гидрологические, геологические, озерные, ландшафтные, охотничьи, мемориальные и иные.

По состоянию на 1 января 2014 года в Беларуси расположено 85 заказников республиканского значения и 249 - местного.

***4. Памятники природы*** - природные достопримечательности, имеющие научное, историческое или культурно-эстетическое значение, а также объекты природы, связанные с какими-либо историческими событиями или лицами. Обычно это охраняемые территории небольшого размера - памятные, исторически ценные или вековые деревья, водопады, пещеры, геологические обнажения, ледниковые валуны, отдельные водоемы, места исторических событий, старинные аллеи и парки и т.п. Кроме этих категорий охраняемых объектов, вокруг городов и санитарно-курортных комплексов создаются специальные зеленые зоны и выделяются курортные леса. Не подлежат рубке лесные массивы у истоков и по берегам водоемов - водоохранные леса.

На сегодняшний день в республике функционирует 306 памятников природы республиканского значения и 568 — местного.

***5. Ландшафтные парки*** - искусственно созданные или окультуренные охраняемые антропогенные ландшафты, отличающиеся природными достопримечательностями и высокой эстетичностью. Территория ландшафтного парка обычно имеет благоприятные климатические условия, ценные для оздоровления, отдыха, туризма и чаще всего используется в рекреационных целях.

## 10.3. БИОСФЕРНЫЕ ЗАПОВЕДНИКИ: ИХ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Концепция биосферных резерватов была разработана в 1970-х годах в рамках международной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАБ). Цель их создания — сохранение для нынешнего и будущего поколений наиболее типичных примеров природных экосистем и сообществ, а также генетического фонда растений и животных, сформировавшихся в ходе эволюции жизни на Земле. Выделенные участки должны обеспечить проведение многолетних экологических исследований, как фундаментальных,

так и в области мониторинга окружающей среды, и служить базой для природоохранного просвещения и подготовки специалистов.

***Биосферный заповедник*** - охраняемая территория с эталонными участками какого-либо из основных биомов Земли; репрезентативная (характерная) ландшафтная единица (природный участок), выделяемая с целью ее сохранения, на которой производится постоянное слежение (мониторинг) за антропогенными изменениями природной среды на основе инструментальных определений и наблюдений за биоиндикаторами.

Биосферные заповедники - строго охраняемые значительные по размерам природные территории, не испытывающие прямых антропогенных воздействий. Они располагаются в наиболее типичных (характерных) в природном отношении регионах Земли и образуют мировую сеть эталонов биосферы до появления человека. Это глобальная сеть природных территорий, на которых должен проводиться мониторинг состояния окружающей среды по единым методикам. Считается, что территория биосферного заповедника практически не испытывает локальных воздействий преобразованных человеком окружающих ландшафтов. Главное предназначение биосферных заповедников - сохранение в естественном виде природных экосистем и их генофонда, а также постоянный и всесторонний контроль за состоянием и ходом различных изменений, протекающих в биосфере (экологический мониторинг). Особенностью биосферных заповедников является тот факт, что научные исследования, наблюдения за состоянием окружающей природной среды и другая деятельность осуществляются на международном уровне.

Основные задачи биосферных заповедников заключаются в сохранении разнообразия и целостности сообществ растений и животных в пределах природных экосистем, генетического разнообразия генофонда, проведении долгосрочных научных исследований в измененных и приближенных к естественным условиям.

Любой биосферный заповедник должен отвечать следующим основным требованиям:

- быть типичным эталоном данной природной зоны;
- обязательно иметь редкие виды растений или животных или уникальные комплексы на своей территории;
- представлять пример гармонического развития природы при исторически сложившемся традиционном хозяйственном использовании данной территории;
- иметь эффективную охрану территории и прочную базу для проведения долгосрочных научных исследований;
- представлять эталон (нулевую точку, точку отсчета) для оценки изменений, протекающих в биосфере.

Все биосферные заповедники мира проектируются по единой принципиальной схеме, обязательной для всех заповедников такого ранга. Модель биосферного заповедника включает три зоны (рис. 10.2).

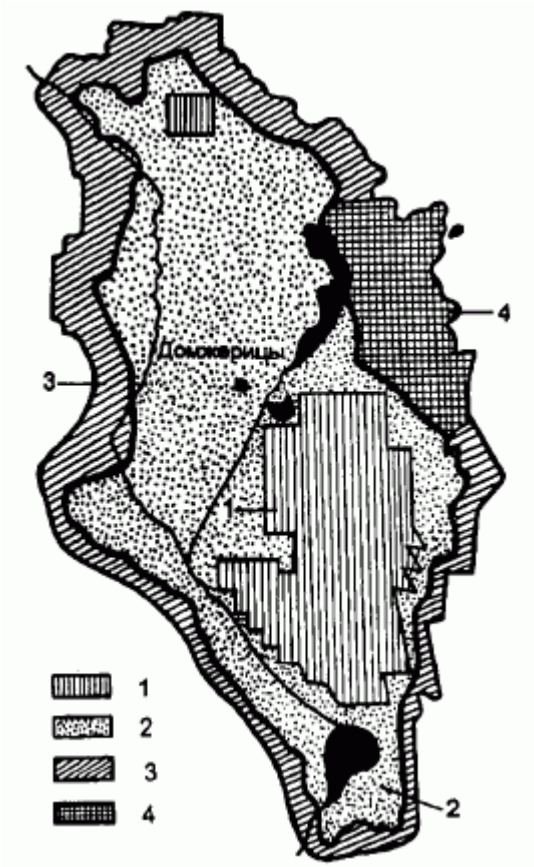



Рис. 10.2. Схема зонирования Березинского биосферного заповедника:
1 - абсолютно заповедная зона (ядро); 2 - буферная зона; 3 - охранная зона;
4 - охотничье хозяйство

В центре - ядро заповедника (зона абсолютной заповедности), в котором охраняется биологическое разнообразие животных и растений. Эта зона предназначена для сохранения и восстановления наиболее ценных природных и минимально нарушенных антропогенными факторами природных комплексов, генофонда растительности и животного мира. Здесь эволюция растительных и животных видов может происходить по возможности естественным способом. Это абсолютно заповедная территория, где запрещаются все виды хозяйственной деятельности и обеспечивается естественное развитие природных процессов. Здесь ведутся наблюдения за процессом естественного развития экосистемы, не затронутой деятельностью человека. Всякое вмешательство человека, кроме проведения научных исследований, запрещено.

Вокруг ядра формируется более широкая «буферная», или научно управляемая зона, которая окружает заповедную зону или примыкает к ней. Она выделяется с целью предотвращения негативного воздействия на заповедную зону хозяйственной деятельности на прилегающих территориях. В этой охраняемой зоне частично разрешены те виды деятельности, которые совместимы с развитием устойчивых природных экосистем. Здесь ведется наблюдение за структурой и функционированием экосистемы, когда она

подвергается различным видам антропогенного воздействия и использования. Чаще всего эта зона совпадает с границами заповедника.

За буферной идет охранная, или переходная, зона для снижения негативного влияния прилегающих хозяйственных территорий на природные комплексы заповедника. Охранная зона является частью заповедника и объединяет территории с земле-, лесо-, водопользованием, поселениями, рекреацией и другими видами хозяйственной деятельности. Режим ведения хозяйства в буферной зоне согласуется с администрацией заповедника.

Первые биосферные заповедники были организованы во второй половине 70-х гг. прошлого века. К 1984 г. их число в 58 странах мира составляло 226, к 1985 г. их стало 243 (60 стран), а к 1995 г. - 325 (82 страны мира). В настоящее время международная сеть охраняемых территорий охватывает 669 биосферных заповедника в 120 странах.

## 10.4. ОХРАНЯЕМЫЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

*Берегите землю!*
*Берегите*
*Жаворонка в голубом зените,*
*Бабочку на листьях повилики,*
*На тропинке солнечные блики,*
*На камнях играющего краба,*
*На могиле тень от баобаба,*
*Ястреба, парящего над полем,*
*Полумесяц над речным покоем,*
*Ласточку, мелькающую в жите.*
*Берегите Землю! Берегите...*
**М. Дудин – российский поэт**

В Беларуси проблемы охраны природной среды стали подниматься только в 20-е гг. прошлого столетия. 30 января 1925 г. в 120 км севернее г.Мипска в верхнем течении реки Березина был создан ***Березинский биосферный заповедник*** - первая официально утвержденная заповедная территория Беларуси. В месте размещения заповедника, где протекает Березина со многими ее притоками, сохранились труднодоступные лесные и болотные массивы с естественными популяциями лося, медведя, бобра, выдры, европейской норки и других животных. Это одно из немногих мест в Европе, где сохранились естественные массивы черноольхово-ясеневых лесов и обширных болот.

Главной лесообразующей породой заповедника является сосна. Она занимает около половины всей лесопокрытой площади. Сосновые насаждения простираются на территории заповедника широкой полосой с севера на юг. Наиболее распространенные из них - вересковые и мшистые - занимают почти треть площади всех сосняков. Это излюбленные места поселения лис и барсуков. В рыхлом песчаном грунте они устраивают себе уютные норы.

По мере понижения местности вересковые боры сменяются брусничными, черничными. Сосны в таких местах становятся выше, стройнее. В насаждениях появляются

береза, ель, которые при переходе к сфагновым болотам опять исчезают, уступая место карликовой сосне.

Самое обширное болото заповедника - Домжерицкое. Это царство безраздельного господства сосны, и лишь там, где минеральная «подушка» на этих почвах близка к поверхности, а почва подпитывается грунтовыми водами, к сосне примешиваются береза, ель, реже - осина. Покров таких насаждений, кроме сфагнума, составляют также багульник, голубика, осоки.

Сосняки сфагновые занимают в заповеднике 11 тыс. га.

Елово-широколиственные леса произрастают в заповеднике на островах, грядах, среди сфагновых болот и ольховых топей. В их составе дуб, клен, липа, осина, береза. Подлесок состоит из лещины, рябины, черемухи, крушины и малины, а в покрове много зеленчука, майника, сочевичника. Это - самые богатые насаждения. Смешанные древостой их дают приют и пищу многим видам животных. Любит эти места и хозяин березинских лесов - бурый медведь. Он только ранней весной посещает сфагновые болота, питаясь прошлогодней клюквой, а летом здесь вдоволь малины, черники, орехов, желудей.

Но таких насаждений в заповеднике мало. Здесь чаще попадаются елово-мелколиственные древостой. Они тенисты, мрачны и очень густы. Лишь изредка хрустнет где-то ветка, да среди ветвей с шумом вспорхнет рябчик.

Самые распространенные из ельников - черничниковые и кисличниковые. Именно здесь, среди покрова кислицы обыкновенной, еще с третичного периода геологической истории Земли сохранилось растение - линнея северная. Эту небольшую травку очень любил сам король ботаники - Карл Линней. На многих рисунках того времени он изображен с линнеей в руках. Именно в его честь она так и названа.

Преобладающими насаждениями юга и юго-востока заповедника, занимающими около 11 тыс. га, являются ольшаники (массивы черной ольхи) на торфяно-болотных почвах. Их часто посещают лоси и косули. Они находят здесь обильный корм и спасаются от назойливых оводов.

В заповеднике обнаружены интересные растения: орхидея севера - венерин башмачок, довольно редко встречающийся в лесах нашей республики, а возле деревни Селец - зубянка луковичная, медвежий лук и другие растения.

На территории заповедника 73 речки и ручья. Большинство их здесь же и берет начало, питаясь из обширных болот, занимающих 46 тыс. га. В отличие от Беловежи здесь есть и озера. Самые крупные из них - Олыпица, Плавно, Манец, Домжерицкое - соединены между собой рекой Сергуч. Озера в основном мелководны. Берега их плоские и почти повсеместно заболочены.

Наиболее интересное озеро Плавно: северо-восточная часть его несет свои воды в Балтийское море, юго-западная - в Черное, а река Сергуч, впадающая в это озеро, является по существу притоком двух морей.

Реки, озера и каналы в заповеднике с зарослями ивняков, ольхи, осины заселены речным бобром. Иногда бобры строят свои хатки в отдалении от водоема, соединяя их каналами. Нередко от бобровой хатки отходит целая сеть каналов. Очень интересны бобровые плотины, построенные животными для регулирования уровня воды. Некоторые из них имеют длину в десятки и даже сотни метров.

В заповеднике имеется музей, где представлены искусно выполненные чучела птиц и зверей. Имеется научный гербарий.

***В 1979 г. Березинский заповедник в числе первых заповедников бывшего СССР получил статус биосферного и был включен в мировую сеть биосферных заповедников.*** На его базе в 1983 г. был проведен I Международный конгресс по биосферным заповедникам.

Природоохранная деятельность 20-30-х гг. XX в. проводилась в основном на базе опытных лесных станций - Жорновской, Горецкой, Велятичской, которые в 1926 г. были объединены в Центральную лесную опытную станцию. В 1939 г., после воссоединения с Западной Белоруссией, *государственным заповедником была объявлена белорусская часть Беловежской пущи*. Леса Беловежской пущи тянутся почти на 70 км с севера на юг, занимая в бассейне Буга и Нарева более 87 тыс. га. Местность равнинная с небольшими холмами и впадинами. Озер нет. Водный режим территории регулируют 16 рек. Некоторые из них берут начало здесь же, в пущанских болотах.

Лесные насаждения необычайно богаты. Большую половину всей лесной площади занимает сосна, остальную часть территории - ольха, ель, береза, дуб.

Пуща - это оригинальный природный комплекс. Располагается она как бы на стыке разных растительных зон. Здесь соседствуют дуб скальный и плющ обыкновенный с ивой лапландской и березой карликовой. Манжетка балтийская растет в пуще в 250 км к западу от границ своего основного ареала, а осока болотолюбивая - в 380 км к югу; встречаются такие редчайшие растения, как валериана двудомная и астрагал песчаный.

Необычайное сочетание растений - представителей юга и севера, приморского и континентального климата - характерная черта растительности пущи.

Но более всего знаменита пуща зубрами - современниками мамонтов. С этими животными связана вся ее история. Говорят, что именно зубры «спасли» пущу, а она сохранила их.

*Первое упоминание о пуще относится к IX в. Тогда лесной массив начинался от берегов Балтики и простирался далеко на юг. В нем водились туры, тарпаны, зубры, лоси, кабаны, медведи и другие дикие животные. В 1988 году Беловежская пуща перешла в собственность царской семьи. Она постепенно становилась местом, где устраивались «царские охоты». При Николае II в августе 1897 года во время охоты было убито 35 зубров, а в августе 1900-го — еще 40 (рис.10.3). «Последний вольный зубр Беловежской пущи был убит 9 февраля 1921 г. бывшим лесником пущи Бартоломеусом Шпаковичем: пусть его имя, подобно имени Герострата, сохранится в веках!» — писала Эрна Мор, крупный немецкий зоолог.*

*Нынешняя Беловежская пуща лишь маленькая частица того огромного и как бы растаявшего за многие века лесного массива. Название это пошло от сторожевой башни - «Белая вежа», построенной Владимиром Волынским у слияния рек Лесной и Белой.*

*Древостой пущи, как ландшафтные парки, отличаются необычайной красотой лесных пейзажей. Вот перед вами сосновый бор с блестящим, почти золотистым ковром лесной подстилки из хвои, а за ним виднеется темная стена ельника, за которой вдруг брызнет белизной березняк, а вот зеленая дубрава...*

Рис. 10.3. Царская охота в Беловежской пуще

*То там то здесь попадаются лощины, поляны, луга, серебрятся ручьи и кажется необычайным, сказочным все это разнообразие пейзажей и смена красок. А неумолкаемый гомон птиц и прозрачный, напоенный ароматом цветов и трав воздух, делают пущу какой-то празднично-нарядной, радостной. Кроны деревьев вверху смыкаются и образуют туннели. Лучи солнца только кое-где проникают сквозь ветви и при легком дуновении ветерка рассыпаются, теряясь в густых зарослях. В некоторых местах было бы совсем мрачно, но темный частокол елей вдруг сменяется нежной зеленью граба.*

*Один безымянный польский автор сказал о Беловежской Пуще:*

*«Пуща должна остаться на веки-вечные как неприкасаемый лес, как жилища старых идолов, по которому бродит Святой Олень, как пристанище отшельников, как великое дыхание Земли и живая песня вечности! Пуща есть ничья - ни моя, ни твоя, ни наша — только Бога, святая».*

***В 1991 г. на базе Государственного заповедно-охотничьего хозяйства «Беловежская пуща» создан первый белорусский национальный парк с одноименным названием.***

Его площадь составляет 101 тыс. га (на 01.01.1999 г.). В 1992 г. решением ЮНЕСКО под номером 73 Государственный национальный парк «Беловежская пуща» включен в Список всемирного наследия человечества.

***В 1995 г. вслед за национальным парком «Беловежская пуща» был создан национальный парк «Браславские озера»***, расположенный на северо-западе Беларуси на Браславской возвышенности. Общая площадь парка составляет 69,12 тыс. га, из них лесопокрытые площади - 56,41 тыс. га, площадь водоемов и водотоков - 12,6 тыс. га. Самыми привлекательными природными особенностями национального парка являются его рельеф и озера. Озера гидрологически объединены в группы, среди которых выделяется Браславская. Территория национального парка представляет собой своеобразный природный комплекс с неповторимым сочетанием гряд, холмов, озер, заболоченных низин и речных долин. Все это привлекает сюда многочисленных туристов и любителей путешествий.

В 1969 г. был организован ***Припятский ландшафтно-гидрологический заповедник*** площадью 60,3 тыс. га. Он располагается на землях древнего Туровского княжества и

объединяет сохранившиеся полесские болота и естественную пойму реки Припять. Болотные сообщества (верховые, переходные и низинные) представляют собой остатки крупнейшего болотного комплекса Европы, значительно сократившего свою площадь в связи с интенсивными мелиоративными работами, начавшимися в 60-х гг. XX в. В заповеднике сохранились уникальные крупные массивы пойменных дубрав, единственных в Европе. Природные комплексы заповедника являются наиболее сохранившейся в естественном состоянии пойменной экосистемой.

На просторах Припятского заповедника обитают множество водоплавающих птиц, белые и черные аисты, серые цапли. Нередки здесь выдра, бобр, енот-полоскун, ондатра. В осоковых болотах встречаются популяции редкого гнездящегося вида - вертлявой камышовки. По оценкам ученых Института зоологии НАН Беларуси, около половины мировой популяции вертлявой камышовки обитает в Белорусском Полесье. В 1996 г. на базе Припятского ландшафтно-гидрологического заповедника организован ***национальный парк «Припятский»***. Общая площадь парка на 01.01.1999 г. составляла 82,5 тыс. га - 1,35 % от общей площади Белорусского Полесья. Территория парка представляет собой обширную равнину с общим уклоном к долине Припяти.

18 июля 1988 г. после чернобыльской катастрофы на месте земель, отчужденных из сельскохозяйственного использования, был создан ***Полесский радиационно-экологический заповедник.*** Заповедник объединил в себе территории трех, наиболее загрязненных радионуклидами, районов Гомельской области Беларуси. Это территории Брагинского, Наровлянского и Хойникского районов.

Расстояние до государственной границы Республики Беларусь, а значит до Полесского заповедника, от административного центра зоны отчуждения - города Чернобыль составляет 26 км в северном направлении и 14 км в восточной.

Национальный парк «Нарочанский» образован в 1999 г. Он расположен на территории Минской области. Его общая площадь составляет 94,0 тыс. га. Основной целью создания Национального парка явилось сохранение уникальных природных комплексов. Жемчужиной Нарочанского края является озеро Нарочь - самый крупный естественный водоем республики, который наряду с другими озерами Мястро, Баторино и Бледное образует Нарочанскую группу озер.

В настоящее время разработаны обоснования по созданию еще нескольких национальных парков: «Белая Русь», «Налибокский», «Свислочско-Березинский», «Суражский» и др.

Кроме заповедников и национальных парков, имеются также заказники и памятники природы.

Среди множества заказников, организованных на территории республики, настоящей жемчужиной выделяется Свитязянский ландшафтный заказник.

Озеро Свитязь находится почти в центре Новогрудской возвышенности. Его площадь около 170 га, и оно имеет округлую форму. Наибольшая глубина озера 15 м. Озеро обрамлено массивным изумрудным ожерельем - плотным кольцом леса километровой ширины.

Вода в Свитязи кристально чистая. В ясные, солнечные дни Свитязь просматривается до самого дна - тоже необычайно чистого, устланного песком. Наличие незначительного

количества щелочных элементов не только не портит вкуса воды, но и придает ей приятную мягкость.

*Озеро Свитязь образовалось в результате провала четвертичных отложений в подземные пустоты. Утверждение геологов о происхождении этого уникального водоема вполне согласуется с легендой, использованной Адамом Мицкевичем в балладе «Свитязь». Вот она. На город нападает вражеское войско. Гордые свитязяне предпочитают смерть позорному рабству: по их мольбе город провалился в бездну и похоронил завоевателей. Погибли и сами свитязяне, но затем заново возродились в виде цветов, украшающих озеро. Кое-кто уверяет даже сейчас, что в ясную и тихую погоду можно увидеть на дне озера мостовую бывшего города.*

*Озеро объявлено заказником вместе с лесным массивом площадью 847 га. Здесь смешанные насаждения из дуба, ели, граба, ясеня, клена, осины на небольших площадях чередуются с чистыми сосняками, олыианниками, березняками, образуя более 25 различных типов леса. В хорошо сохранившихся лесах много черники, брусники, земляники; на торфяных лугах интересные насекомоядные растения - росянка круглолистая и жирянка обыкновенная, а в лесных зарослях среди большого разнообразия травянистой растительности - редкие орхидеи.*

*Красивая холмистая местность, живописные берега, богатая лесная растительность, среди которой выделяются могущественные дубы-гиганты, замечательная легенда о непокоренном городе и вековые загадки озера привлекают сюда множество туристов. Они обычно останавливаются там, где старый шлях Барановичи-Новогрудок, пересекая лесной массив, проходит у самого берега озера и лишь небольшая полянка, редко усаженная дубами, отделяет его от воды. Именно среди этих дубов бродил Адам Мицкевич, сочиняя свою бессмертную балладу «Свитязянка» о трагической судьбе двух влюбленных:*

*Плещут, исполнены гнева;*
*Мчатся по ним две знакомые тени -*
*Юный стрелок то и дева!*

***Таким образом, на территории Беларуси в настоящее время действуют 2 государственных заповедника (Березинский биосферный и Полесский радиационно-экологический), 4 национальных парка («Беловежская пуща», «Браславские озера», «Припятский», «Нарочанский»), а также 85 заказников и 306 биологических памятников республиканского значения (рис. 10.4).***

А

Б

В

Г

Рис. 10.4. Национальные парки Республики Беларусь: Беловежская пуща (А), Браславские озера (Б), Припятский (В), Нарочанский (Г)

2 февраля 1971 года в городе Рамсар (Иран) Международная конференция по водно-болотным угодьям и водоплавающей птице приняла Конвенцию о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение главным образом в качестве местообитаний водоплавающих птиц. Основной целью Конвенции является сохранение и рациональное использование водно-болотных угодий как средства достижения устойчивого развития во всем мире. Нарушение их состояния является одной из причин глобального изменения климата, сокращения биологического разнообразия, деградации земель и других негативных последствий.

Рамсарская конвенция вступила в силу 21 декабря 1975 г. На данный момент участниками Рамсарской конвенции уже являются 170 стран (по состоянию на 31.01.2019 г.).

Государственный биологический заказник «Споровский», расположенный в Брестской области, стал первой природной территорией в Республике Беларусь, получившей в 1999 году международный статус охраны Рамсарского угодья. Это одно из крупнейших низинных болот в Европе с богатой уникальной флорой и фауной. На участках к востоку от Споровского озера в изобилии произрастают редкие охраняемые виды орхидей. На территории заказника растет удивительное и очень редкое растение - венерин башмачок. Зацветает оно только на 15-18 году жизни. Заказник является самым крупным в Европе местообитанием вертлявой камышевки, являющейся наиболее редким и единственным глобально угрожаемым видом воробьиных птиц в Европе. Она включена в Красный список исчезающих видов Международного союза охраны природы и Красную книгу Беларуси. (рис. 10.5).

Рис. 10.5. Вертлявая камышовка

В список Рамсарских угодий в 2001 году включен республиканский ландшафтный заказник «Ольманские болота». Он занимает Столинский район Брестской области. Это самый крупный в Европе цельный лесоболотный комплекс занимающий площадь 94 тыс. га. Среди болотного массива находится более 20 озер, разбросаны песчаные дюны, поросшие хвойными и лиственными лесами. Здесь выделено несколько особо охраняемых участков, являющихся местом произрастания редких и охраняемых растительных сообществ.

В 2002 году статус водно-болотного угодья международного значения получил заказник «Ельня». Это старейший озерно-болотный комплекс, находящийся в Витебской области и объединяющий более 100 озер различных размеров. «Ельня» - уникальный болотный массив с комплексом редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений и животных, он играет важную роль в сохранении ландшафтного и биологического разнообразия Республики Беларусь и Европы в целом. Только здесь можно увидеть нетронутые остатки послеледниковой тундры.

Площадь заповедников и национальных парков Республики Беларусь составляет 481,2 тыс. га, или 2,32 % территории. Всего система особо охраняемых территорий Беларуси на 1 января 2019 года включает в себя 1289 особо охраняемых природных территорий общей площадью 1862 тыс. га.

## 10.5. МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Старайся наблюдать различные приметы:*
*Пастух и земледел в младенческие леты,*
*Взглянув на небеса, на западную тень,*
*Умеют уж предречь и ветр, и ясный день,*
*И майские дожди, младых полей отраду,*
*И мразов ранний хлад, опасный винограду.*

**А. С. Пушкин**

Жизнь собирателей и охотников первобытных человеческих сообществ полностью зависела от состояния окружающей среды и изменений, происходящих в ней. Такие изменения всегда привлекали к себе внимание человека, прежде всего с точки зрения его хозяйственных интересов. В процессе развития человеческого общества люди учились наблюдать и предсказывать появление ближайших событий в окружающей их природе: от изменений численности тех или иных видов животных и растений до солнечных затмений. И хотя едва ли в те далекие времена человек пытался оценивать результаты своего вмешательства в окружающую среду, очевидно, что уже тогда основой его успешного хозяйственного опыта служили наблюдения. Особенно это было важно для сельского хозяйства, где результаты работы больше всего зависят от погоды.

Люди пытались предсказывать погоду всегда. В древние времена это, правда, больше походило на гадание. Слово «метеорология» упоминается еще у Платона. Тогда оно означало свободную дискуссию на тему небесных явлений. Две с половиной тысячи лет назад в греческих городах-государствах на всеобщее обозрение выставлялись парапегмы -

таблицы, в которых описывались климатические условия прежних лет, сообщалось об их особенностях - бурях, туманах, грозах, ливнях. Считалось, что это может помочь в предсказании погоды на ближайшее будущее. В средние века погоду предсказывали по движению звезд, поведению диких животных, облику растений.

В 1650 г. царь Алексей Михайлович послал своему стольнику А.И.Матюшину грамоту, положившую начало регулярным визуальным наблюдениям за погодой в России. «Как к тебе сия наша грамота придет, и ты бы записывал, в который день и которого числа дождь будет, да отписать бы теперь о птицах, как их носит и как они летят, и что на Москве у нас делается».

Хозяйство человека сегодня - понятие глобальное. И для эффективной его организации, для оптимизации взаимоотношений человеческого общества с природой необходима объективная информация не только об изменениях природной среды в районах интенсивного развития промышленности и сельского хозяйства, но и о состоянии биосферы в целом.

Прежде всего нужны сведения об общем состоянии биосферы и о возможных отклонениях, например, в глобальной биопродуктивности, или о происходящих или возможных климатических изменениях. Мы все уже давно наблюдаем изменения состояния биосферы под влиянием деятельности человека. Теперь эти изменения происходят достаточно быстро и в широких масштабах. В связи с этим возникла необходимость организации регулярных наблюдений за состоянием биосферы и ее реакцией на антропогенное воздействие на разных уровнях экосистем (локальном, региональном, глобальном), экологических регионов, целых континентов.

Термин «мониторинг» появился в 1971 г. В связи с проведением Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде (1972 г.). Он происходит от английского «monitoring» - контроль, смысл, и от латинского «monitor» - напоминающий, надзирающий, проверяющий.

***Мониторинг окружающей среды – это комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений природных сред, природных ресурсов, растительного и животного мира, позволяющие выделить изменения их состояния и происходящие в них процессы под влиянием антропогенной деятельности человека.***

Мониторинг обычно понимают как триединую систему: наблюдение, анализ (оценка состояния) и прогноз (возможные изменения).

В отличие от изменения состояния биосферы, вызываемых естественными причинами, изменения в окружающей среде, протекающие под воздействием человеческой деятельности, происходят во много раз быстрее. Для того, чтобы выделить и оценить антропогенные изменения на фоне естественных и возникла необходимость в организации системы специальных наблюдений – мониторинга.

Этим термином называют регулярные, выполняемые по единообразной заданной программе наблюдения природных сред, природных ресурсов, растительного и животного мира, позволяющие выделить изменения их состояния и происходящие в них процессы под влиянием антропогенной деятельности.

Основная цель мониторинга - максимально раннее предупреждение нежелательных последствий антропогенного воздействия. Задачи мониторинга довольно широки.

Необходимо не просто и не только наблюдать за изменениями в биосфере, но научиться предсказывать, прогнозировать нежелательные последствия вмешательства человека в установившееся природное равновесие. Помимо наблюдения задачами мониторинга являются также оценка состояния среды и прогнозирование ее изменений.

Основной принцип мониторинга - непрерывность слежения. Эффективность мониторинга определяется рациональным выбором и достаточной плотностью контрольных пунктов наблюдения, а также эффективной организацией автоматического получения, обработки первичных данных и выдачи информации (рис. 10.6). Задачи, которые призван решать мониторинг, могут быть различной степени сложности и широты охвата. Соответственно этому обычно выделяют три уровня, или три ступени, мониторинга.

Слежение и контроль за состоянием и изменением природных экосистем предполагает наличие широко разветвленной сети объектов наблюдений, представляющих различные компоненты этих экосистем.

Система мониторинга реализуется на нескольких уровнях:

- импактном (изучение сильных воздействий в локальном масштабе, направленное, например, на оценку сбросов или выбросов конкретного предприятия);
- региональном (проявление проблем миграции и трансформации загрязняющих веществ, совместного воздействия различных факторов, характерных для экосистем в масштабе региона);
- фоновом, осуществляемом в рамках международной программы «Человек и биосфера» на базе биосферных заповедников, где исключена всякая хозяйственная деятельность (имеет целью зафиксировать фоновое состояние окружающей среды, что необходимо для дальнейших оценок уровней антропогенного воздействия).

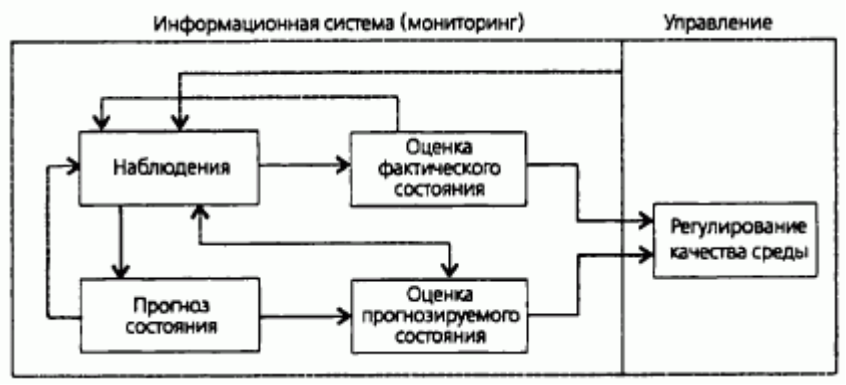



Рис. 10.6. Структурная схема системы мониторинга

Наиболее важен для оценки состояния окружающей среды *экологический мониторинг*. Под экологическим мониторингом понимается мониторинг окружающей природной среды, при котором обеспечивается постоянная оценка экологических условий среды обитания человека и биологических объектов (растений, животных, микроорганизмов), а также оценка состояния и функциональной целостности экосистем.

Экологический мониторинг рассматривается прежде всего как базовый (фоновый) мониторинг - слежение за общебиосферными, в основном природными, явлениями без наложения на них региональных антропогенных влияний. Фоновое состояние биосферы

изучают на так называемых фоновых станциях, которые организованны в ряде стран на базе биосферных заповедников. Фоновое состояние среды в прошлом можно реконструировать с помощью анализа колец деревьев, газовых слоев ледников и донных отложений.

Основная задача исследований при экологическом мониторинге состоит в накоплении, систематизации и анализе информации о количественном характере взаимоотношений между живыми организмами и средой их обитания с целью получения следующих результатов:

- оценка качества изучаемых экосистем (в конечном итоге – с точки зрения возможности их использования человеком);
- выявление причин наблюдаемых и вероятных структурно-функциональных изменений биотических компонентов и адресная индикация источников и факторов негативного внешнего воздействия;
- прогноз устойчивости экосистем и допустимости изменений и нагрузок на среду в целом;
- оценка существующих резервов биосферы и тенденций в их исчерпании (накоплении).

С помощью экологического мониторинга осуществляютя наблюдения за антропогенными изменениями, а также за естественным состоянием природы как объекта для сравнения при оценке антропогенных изменений. Основной принцип его заключается в детальном учете исходного состояния биоты на определенный момент (точка отсчета) и в последующих наблюдениях за отклонениями от этого состояния. Экологический мониторинг - это слежение за развитием живых организмов и динамикой природных биогеоценозов (экосистем) при естественных экологических процессах и при их нарушениях, чаще всего антропогенного происхождения. Такая информация может быть получена только на долговременных стационарных объектах. Чтобы следить за изменениями, необходимо иметь первоначальную характеристику объекта (точку отсчета). Такой точкой отсчета являются биогеоценозы, располагающиеся в абсолютно заповедных зонах биосферных заповедников.

Оптимальным объектом мониторинга является биогеоценоз (экосистема) с его составными компонентами - фитоценозом, зооценозом, микробоценозом и экотопом. При этом наиболее чувствительной структурой, своеобразным маркером биогеоценоза, отзывчивым на любые воздействия, является растительное сообщество, или фитоценоз.

Поскольку сообщества живых организмов замыкают на себя все процессы протекающие в экосистеме, ключевым компонентом мониторинга окружающей среды – является мониторинг состояния биосферы или *биологический мониторинг*, под которым понимают систему наблюдений, оценки и прогноза любых изменений в биотических компонентах, вызванных факторами антропогенного происхождения и проявляемых на организменном, популяционном или экосистемном уровнях (рис. 10.7.

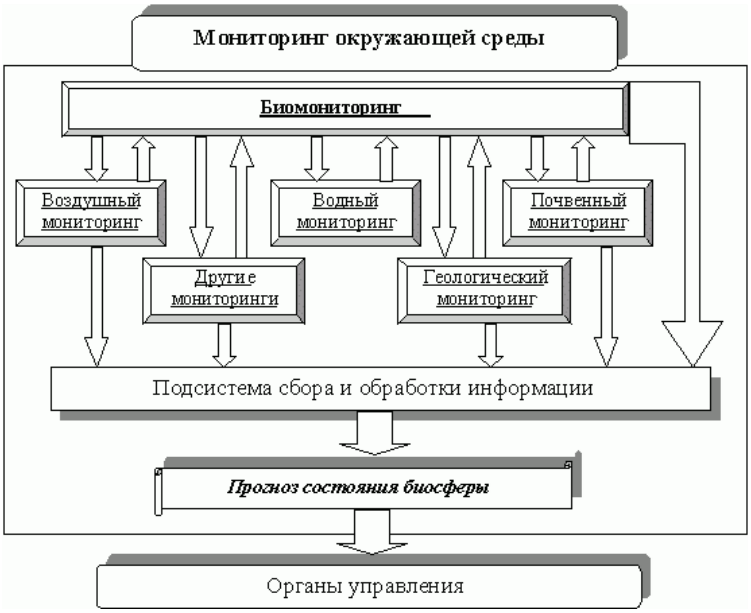



Рис. 10.7. Подсистемы экологического мониторинга

Оценка изменения природно-общественных ситуаций осуществляется с помощью *комплексного мониторинга* - системы наблюдения и отслеживания состояния атмосферы, гидросферы, почвы, растительности, животного мира и ландшафта в целом. Комплексный мониторинг проводится в целях объединения ряда программ различных видов мониторинга для всесторонней оценки загрязнения окружающей среды на разных уровнях экосистем:

- локальном - слежение на сравнительно небольшой территории (загрязнение воздуха в городских условиях, загрязнение питьевой воды, загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами и т. п.);
- региональном - слежение в пределах какого-либо региона (крупного территориального подразделения Земли);
- глобальном - слежение за общемировыми процессами и явлениями в биосфере (включая все ее экологические компоненты).

Комплексный мониторинг - это непрерывная программа долгосрочного сбора информации о специфических экологических системах. Число таких систем должно быть установлено в соответствии с фактическим биологическим разнообразием данного региона, а также с современным уровнем знаний по идентификации типов экосистем. Сбор информации должен по возможности вестись с помощью сравнительно простой технологии, чтобы нивелировать различные технические возможности сторон - участников мониторинга.

При мониторинге окружающей среды выделяется несколько этапов его организации. Первый этап - инвентаризация природных объектов, второй - выбор объектов мониторинга, третий - организация регулярных наблюдений и четвертый - систематизация и анализ полученной информации.

По методам ведения и объектам наблюдения выделяются, например, мониторинг авиационный, космический, окружающей человека среды, агроценозов, леса.

Для изучения качественных и количественных характеристик окружающей среды, их пространственно-временных изменений используются физические явления, химические вещества и т.п. Однако, в последнее время, все чаще и чаще ученые используют более простые и доступные методы.

Реакция животных, растений, грибов и других организмов на воздействие антропогенных факторов не адекватна. Например, многие высшие сосудистые растения сильно страдают от высоких концентраций некоторых поллютантов (загрязнителей) и в конечном итоге, особенно при длительном их воздействии, погибают. Этого нельзя сказать о таких организмах как лишайники и мхи.

Некоторые из них способны выдерживать длительное воздействие поллютантов, сохраняя при этом свою жизненную структуру, и накапливая в своем организме значительное количество загрязнителя, количество которого затем определяют в лабораторных условиях и изучают его природу. В условиях глобального загрязнения окружающей среды перед учеными встала проблема своевременной и быстрой оценки происходящих в природе изменений. Одним из решений данной проблемы является применение такого метода мониторинговых исследований природных экосистем как биологическая индикация.

Метод биологической индикации основан на принципах исследования изменения окружающей среды при помощи биологических объектов (видов растений, животных, растительных сообществ) и их реакций. Используя такой метод можно оценить степень антропогенного нарушения природных экосистем.

Оценка состояния, изменения и контроля окружающей среды с помощью таких организмов получила название биоиндикация. Ни один из методов и способов по определению состояния и контролю окружающей среды не является таким наглядным и дешевым как наличие, состояние и поведение организмов при различных антропогенных нагрузках на окружающую среду.

***Биоиндикация*** - метод определения степени загрязненности геофизических сред, а также определение биологически значимых нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ. ***Биоиндикатор***: группа особей одного вида или сообщество, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в среде, в том числе о присутствии и концентрации загрязнителей. В качестве биоиндикаторов используются различные группы организмов: бактерии, грибы, водоросли, лишайники, мхи, некоторые высшие растения (особенно хвойные породы деревьев) и животные (чаще беспозвоночные).

В основу биоиндикации положена способность организмов накапливать в тканях и органах загрязняющие вещества или их производные, а также биохимические и физиологические изменения на уровне популяции.

Использование биоиндикации в качестве сигнальной информации имеет все преимущества: высокую чувствительности биоты к изменениям состояния атмосферного воздуха и почв, интегральный характер данных и возможность анализировать образцы в одной (центральной) лаборатории.

Одним из ярких примеров биоиндикации является ***лихеноиндикация*** - процесс определения состояния, изменения окружающих условий и степени загрязнения природной среды с помощью лишайников (от лат. «lichen» - лишайник). Установлено, что лишайники

особенно чутко реагируют на загрязнение атмосферы токсическими веществами. Обладая крайне медленным ростом (прирост слоевища составляет 2-5 см в год), автотрофностью и другими биологическими особенностями, лишайники чутко реагируют на малейшие изменения параметров окружающей среды. Произрастая на самых различных субстратах, в различных местообитаниях они являются одними из самых надежных и доступных индикаторов состояния воздушной и водной среды, почв, состояния и возраста каменистых субстратов, а также санитарно-гигиенических свойств природных и селитебных ландшафтов.

Своими слоевищами они активно поглощают атмосферные осадки, а следовательно, и растворенные в них вредные вещества, в частности тяжелые металлы. Поэтому по количеству вредных веществ, содержащихся в лишайниках, можно судить о степени загрязненности территории.

Лишайники весьма чувствительны к загрязнению воздуха и поэтому быстро погибают в крупных городах, а также вблизи заводов и фабрик. По этой причине они могут служить индикаторами загрязненности воздуха вредными веществами.

Использование лишайников дает положительные результаты при биологической индикации атмосферного $SO_2$, фторидов, тяжелых металлов и фотохимических загрязнителей. Лишайники позволяют наблюдать за динамикой загрязнения в течение 20-25 лет. Хотя лишайники не заменяют дорогостоящей измерительной аппаратуры, они могут дополнить данные, полученные физико-химическими и химическими методами.

Изучение лишайников крупных городов мира (Парижа, Мюнхена, Цюриха, Хельсинки, Лондона, Нью-Йорка, Москвы, Риги и др.) выявило ряд общих закономерностей: чем больше индустриализирован город, чем больше загрязнен в нем воздух, тем меньше видов лишайников встречается в его границах, тем меньшую площадь покрывают лишайники на стволах деревьев и других субстратах, тем ниже жизненность видов лишайников.

Каждому уровню загрязнения воздушной среды соответствует свой набор видов лишайников. Чем выше концентрация вредных веществ в населенном пункте, тем беднее видовой состав лишайников. Видовой состав лишайников в различных частях городов (в центре, в индустриальных районах, в парках, в периферийных частях) оказался настолько различным, что исследователи в пределах городов выделяют так называемые зоны лишайников: относительно чистую, умеренного и критического загрязнения, «лишайниковую пустыню».

В качестве биоиндикаторов можно также использовать широко распространенные в наших лесах виды зеленых мхов (***бриоиндикация***, от греч. «bryon» - мох): Pleurozium schreberi, Dicranum undulatum и Hylocomium splendens. Данные виды используются в настоящее время в странах Западной и Северной Европы для мониторинга содержания тяжелых металлов в бриофитах (мохообразные) и гумусовом слое экосистем сосновых лесов.

Объектами мониторинга часто являются насекомые, поскольку они легко реагируют на антропогенные воздействия, обитают повсеместно и доступны для количественного учета. Например, чехословацкие ученые установили, что в районе золоторудных месторождений увеличивается содержание золота в майских жуках. Известны случаи, когда под влиянием загрязнения среды меняется цвет насекомых, например, божьих коровок. Высказана

гипотеза, что потемнение божьих коровок в регионе некоторых промышленных центров - реакция на ухудшение освещения в результате загрязнения атмосферы.

В качестве биологического теста на чистоту воды могут использоваться «золотые рыбки», которые так любят выращивать в аквариумах любители эти экзотичных животных. Рыбок помещают в специальный аквариум с речной водой. Учуяв грязь, они начинают метаться, бьются о решетки.

Состояние довольно большой территории можно охарактеризовать с помощью анализа меда пчел. Американские исследователи показали, что в пробах меда можно обнаружить до 47 различных металлов и химикатов. На территории США насчитывается 4-5 млн. пчелиных семей, каждая из которых собирает пыльцу и нектар с площади свыше 4 тыс. га. Такие пчелиные семьи выносливы к воздействию многих химических препаратов. В связи с этим медоносные пчелы могут быть эффективно использованы в качестве показателей загрязнения окружающей среды.

Первые опыты по использованию медоносных пчел для биологического мониторинга проведены в 1974 г. в штате Монтана, где изучали степень ущерба, нанесенного выбросами ТЭС, работающей на каменном угле. Интенсивное изучение возможности использования медоносных пчел для биологического мониторинга было начато в 1981 г. Радиус сбора нектара пчелами, как правило, составляет 1,5 км (иногда до 6 км) от улья, поэтому пчелиный мед является достоверным индикатором состояния окружающей среды в данной местности. Содержание загрязнителей в меде хорошо коррелирует с их содержанием в окружающей среде.

Хорошими биоиндикаторами на содержание некоторых тяжелых металлов могут служить дождевые черви. Польские исследователи изучали содержание цинка, меди, свинца и кадмия в почвах и тканях дождевых червей, взятых с газонов вдоль дорог с интенсивным движением в Варшаве и с газонов парков, расположенных на расстоянии 200 м от дорог. Результаты проведенных исследований показали значительную способность дождевых червей аккумулировать в своих тканях цинк, медь, свинец и особенной кадмий. Содержание последнего в тканях червей во много раз выше, чем в почвах. Установлено, что содержание тяжелых металлов в тканях дождевых червей может служить хорошим показателем загрязнения почвы.

Большое значение для контроля состояния водоемов имеет наблюдение за поведением рыб и содержанием отдельных компонентов в их организме. Установлено, что по мере загрязнения в европейских водоемах вначале исчезает лосось, затем форель, окунь и др.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*Не навреди, человек, ни березе, ни морю,*
*Влажной тропинке и птице, летящей во тьму.*
*Вместе со всею немыслимой мощью*
*Не навреди ненароком себе самому.*
*Не обольщайся цифирью немедленных выгод,*
*Реки корежить и горы срывать погоди.*
*Вместо того чтоб, не думая, что-то воздвигнуть,*
*Лучше остынь и подумай, не навреди.*

**Роберт Рождественский – российский поэт**

Начиная со второй половины XX в. в связи с резкими неблагоприятными последствиями воздействия человека на биосферу (так называемый «экологический кризис»), резко возрастает практическое значение экологии, необходимость проведения природоохранительных мероприятий, происходит «экологизация» многих естественных наук, устанавливается связь экологии с философией и социологией. Экологический подход становится необходим при решении производственных, научно-технических, демографических и других задач.

XXI век поставил перед человечеством новые ориентиры. Это прежде всего приоритеты экологии и нравственности. Решение современных экологических проблем - это наипервейшая задача человека, если он хочет сохранить за собой эпитет «разумного». К сожалению, человеку уже не суждено вернуться назад, в лоно матери природы. Это невозможно. Жестокие законы прогресса диктуют особое поведение человеческого существа в условиях надвигающейся экологической катастрофы. И вот здесь развитие нравственных начал позволит человеку с меньшими потерями для себя решать задачи жизнеутверждения на планете Земля.

Мы постепенно начинаем понимать, что наши нравственные основы, наш духовный мир, наше поведение в биосфере уже не соответствуют условиям жизни, в которое погружается общество, а наше понимание обстановки недостаточно для преодоления трудностей развития. Уже ясно просматривается несоответствие деятельности человека как единого биологического вида тем общим законам, которыми управляется развитие биосферы. Деятельность человека, выработанная на прежних цивилизационных парадигмах, ведет, вероятно, к деградации биосферы и не способна гарантировать сохранения человека в ее составе. Если человек не найдет нужного ключа для своих взаимоотношений с природой, то он будет обречен, какова бы ни была политика, демократия, государственное устройство.

Как писал немецкий зоолог и эколог Бергард Гржимек: «Вечной останется на Земле только природа, если мы ее бездумно не разрушим. Через 50 лет вряд ли кого-нибудь будут интересовать конференции, репортажи о которых сегодня заполняют страницы всех газет. А вот если даже через 50 лет на утренней заре из кустов величественно выйдет лев и огласит окрестности своим могучим рыком, у любого человека захватит дух и сильнее забьется сердце».

Проблема взаимодействия человеческого общества с природой и влияния деятельности человека на окружающую среду вызывает все более возрастающий интерес и озабоченность в кругах общественности многих стран.

Современный этап развития экологии характерен организацией и осуществлением комплексных фундаментальных научных исследований воздействия человека на естественные процессы в биосфере, а также изучением влияния изменений происходящих изменений на самого человека. Такая постановка вопроса, при которой человек из стороннего и чужеродного элемента превращается в органичное составляющее биосферы, его ядро, означает переворот в концепциях и методах современной экологии, поскольку последняя начала принимать во внимание не поддающиеся количественной оценке элементы деятельности и образ мышления человека. Ключевым элементом стала концепция «участия», подразумевающая участие человека, группы людей, местного населения в экологическом планировании.

Экология сегодня представляет собой стремительно развивающуюся науку, изучающую широкий комплекс проблем, имеющую собственную теорию и методологию. Современная экология - универсальная, бурно развивающаяся, комплексная наука, имеющая большое практическое значение для всех жителей нашей планеты. Экология - наука будущего, и возможно, само существование человека будет зависеть от прогресса этой науки.

Экология  из частной биологической дисциплины всего лишь за последние полвека превратилась в колоссальную по своему охвату междисциплинарную область науки - меганауку, занимающуюся изучением воздействия на живое не только естественных факторов среды, всегда существовавших в природе, но и многочисленных процессов, порожденных человеческой деятельностью. Прикладная экология стала изучать способы предотвращения нежелательных последствий антропогенного воздействия на природу и на здоровье самих людей. В этой области оказалось недостаточно одной лишь биологии, поэтому и химия, и физика, и инженерные знания были использованы в полной мере.

Именно экология в содружестве с охраной природы породили мониторинг состояния окружающей среды, экологическую экспертизу, экологическую политику, направленную на обеспечение экологической безопасности и параллельно на научные основы рационального природопользования, природоохранное законодательство, экологическое страхование. В язык вошли понятия «хорошей» и «плохой» экологии, «экологии быта», экологической журналистики, «экологии духа», экологической этики и многие другие.

Экология открыла миру глаза на процессы, имеющие глобальное значение, и в то же время именно с этими процессами связаны самые неприятные ожидания, а возможно, и беды человечества. У человечества остается может быть последний шанс для возрождения нашей планеты. Нужно торопиться, чтобы катастрофа не стала необратимой. Именно к этому призывает российский поэт Игорь Губерман:

«Все шрамы на природе – письмена,
о том, как мы неправы там и тут,
и горестными будут времена,
когда эти послания прочтут».

# РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА


Бродский, А. К. Общая экология : учебник / А. К. Бродский. – М. : Академия, 2010.

Вернадский, В. И. Биосфера и ноосфера / В.И.Вернадский. – М. : Айрис-Пресс, 2013.

Галковская, Г. А. Популяционная экология : учеб. пособие / Г. А. Галковская. – Минск : Изд. Гревцова, 2009.

Гиляров, А.М. Популяционная экология : учеб. пособие/ А. М. Гиляров. - М. : Московский Университет, 1990.

Зверев, А. Т. Основные законы экологии / А. Т. Зверев // М.: Издательский дом Паганель, 2009.

Камлюк, Л.В. Глобальная экология: курс лекций / Л. В. Камлюк. – Минск : БГУ, 2004.

Коробкин, В. И. Экология : учебник / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – Ростов н/Д : Феникс, 2014.

Маврищев, В. В. Основы экологии : учебник / В. В. Маврищев. – Изд. 3-е. - Минск : Вышэйшая школа, 2007.

Маврищев, В. В. Основы экологии : учеб. пособие / В. В. Маврищев, В. Ф. Кулеш, Т. А. Бонина. – Минск : БГПУ, 2009.

Маврищев, В. В. Общая экология : курс лекций / В. В. Маврищев. – 3-е изд. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2011.

Миркин, Б. М. Основы общей экологии : учебник / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова. – М. : Логос, 2003.

Общая и прикладная экология : учебное пособие / Г. С. Розенберг [и др.]. – Самара-Тольятти : Изд. Самар. гос. экон. ун-та, 2016.

Одум, Ю. Экология : в 2 т. / Ю. Одум. – М. : Мир. – 1986.

Реймерс, Н. Ф. Природопользование : Словарь-справочник / Н. Ф. Реймерс. – М. : Мысль, 1990

Реймерс, Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н. Ф. Реймерс. – М. : Журнал «Россия Молодая», 1994.

Риклефс, Р Основы общей экологии / Р. Риклефс. – М. : Мир, !979

Федорук, А. Т. Экология : учеб. пособие / А. Т. Федорук. – Минск : Вышэйшая школа, 2013.

Чернова, Н. М. Общая экология : учебник / Н. М. Чернова, А. М . Былова. – М. : Дрофа, 2004.

Шилов, И. А. Экология : учебник / И. А. Шилов. – М. : Юрайт, 2011.